

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем
Кафедра радиосистем

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 11 7D 78 67 C2 66 A3 34 B2 CE 4F 9A FD E9 38 84 E5 28 4A 09
Владелец: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Новгородский государственный университет
имени Ярослава Мудрого»
Действителен: с 08.07.2021 до 08.10.2022



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭИС

С.И. Эминов

«25»

2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

учебного модуля

УСТРОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ И АНТЕННЫ

по направлению подготовки

11.03.01- Радиотехника

Направленность (профиль) Радиотехнические средства передачи, приема и
обработки сигналов

11.03.01 Радиотехника

Направленность (профиль) Аппаратно-программные средства радиотехнических систем

СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора ИЭИС

Ариас Е.А. Ариас

«25» 12 2020 г.

Разработал

Доцент кафедры радиосистем

Сочилин А. В. Сочилин

«11» 11 2020 г.

Принято на заседании кафедры РС

Протокол № 156 от «26» 11 2020 г.

Заведующий кафедрой РС

Жукова И.Н. Жукова

«26» ноября 2020 г.

1 Цели и задачи освоения учебного модуля

Цель освоения учебного модуля «Устройства сверхвысокой частоты и антенны» УСВЧиА: изучение методологии анализа и синтеза основных типов устройств СВЧ и антенн, используемых в современной радиоэлектронике; изучение принципа действия и конструкций основных типов устройств СВЧ и антенн; изучение и освоение методологии выбора устройств СВЧ и антенн в зависимости от назначения и конкретных условий эксплуатации; получение представлений о перспективах развития устройств СВЧ и антенн.

Задачи:

- а) сформировать у учащихся целостные представления об основных положениях теории практического использования устройств СВЧ и антенн различных диапазонов длин волн;
- б) развить у учащихся навыки применения математического аппарата при расчетах и моделировании электромагнитных процессов в узлах и устройствах СВЧ и антеннах;
- в) сориентировать обучающихся в области анализа и поиска решений практически важных задач анализа и синтеза устройств СВЧ и антенн;
- г) дать учащимся представление о проблемах и перспективах развития теории устройств СВЧ и антенн, компьютерных программах электромагнитного моделирования, параметрах, характеристиках, областях применения и перспективах развития различных типов устройств СВЧ и антенн;
- д) развить навыки работы с измерительной аппаратурой СВЧ.

2 Место учебного модуля в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.03.01 Радиотехника профиль Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов.

В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках следующих дисциплин (модулей, практик): «Физика», «Высшая математика», «Информационные технологии», «Теоретические основы электротехники», «Материалы электронной техники», «Теоретические основы радиотехники», «Метрология, стандартизация и технические измерения», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Практика учебная».

Освоение учебного модуля является компетентностным ресурсом для дальнейшего изучения следующих дисциплин (модулей, практик): «Практика производственная», «Радиопередающие устройства», «Радиоприемные устройства», «Радиотехнические системы», «Выполнение и защита выпускной квалификационной работы».

3 Требования к результатам освоения учебного модуля

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебного модуля:

Профессиональные компетенции:

ПК-1 Способность выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ;

ПК-2 Способен реализовывать программы экспериментальных исследований, включая выбор технических средств и обработку результатов;

ПК-3 Способен выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и устройств радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования;

ПК-4 Способен осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.

Результаты освоения учебного модуля:

Таблица 1. Результаты освоения учебного модуля

<i>Код и наименование компетенции</i>	<i>Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)</i>		
ПК-1 Способность выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ		Умеет строить физические и математические модели узлов и блоков радиотехнических устройств и систем	Владеет навыками компьютерного моделирования
ПК-2 Способен реализовывать программы экспериментальных исследований, включая выбор технических средств и обработку результатов	Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов и блоков радиотехнических устройств и систем	Умеет проводить исследования характеристик радиотехнических устройств и систем	
ПК-3 Способен выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и устройств радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	Знает принципы конструирования отдельных деталей, узлов и устройств радиотехнических систем	Умеет проводить оценочные расчеты характеристик деталей, узлов и устройств радиотехнических систем	Владеет навыками подготовки принципиальных и монтажных электрических схем
ПК-4 Способен осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам	Знает принципы построения технического задания при разработке деталей, узлов и устройств радиотехнических систем	Умеет использовать нормативные и справочные данные при разработке проектно-конструкторской документации	Владеет навыками оформления проектно-конструкторской документации в соответствии со стандартами

4 Структура и содержание учебного модуля

4.1 Трудоемкость учебного модуля

4.1.1 Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения представлена в таблице 2.

Таблица 2. Трудоемкость учебного модуля

Части учебной дисциплины	Всего	Распределение по семестрам
		5 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	5	5
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	70	70
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) (при наличии)	-	-
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	110	110
5. Промежуточная аттестация (зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)	ДЗ	ДЗ

4.1.2 Трудоемкость учебного модуля для заочной / очно-заочной формы обучения:
Не предусмотрена

4.2 Содержание учебного модуля

УЭМ 1 Устройства СВЧ

Раздел №1.1 Введение.

Основные определения. Роль антенно-фидерных трактов в радиотехнических системах СВЧ. Краткая история становления техники СВЧ и антенн.

Раздел №1.2 Линии передачи в радиосистемах и устройствах.

1.2.1 Основные параметры линий передачи.

Определение линии передачи (ЛП). Тип волны. Структура ЭМП. Критическая частота. Дисперсионная характеристика. Коэффициент затухания. Максимальная пропускная мощность.

1.2.2 Основные типы линий передачи.

Классификация ЛП. Проволочные ЛП. Коаксиальные ЛП. Полосковые и микрополосковые ЛП. Прямоугольные и круглые волноводные ЛП. Диэлектрические ЛП. Волоконно-оптические ЛП.

1.2.3 Математическая модель регулярной линии передачи.

Падающие и отраженные волны. Эквивалентная длинная линия. Нормированные напряжения падающей и отраженной волн. Примеры: коаксиальный волновод с Т-волной, прямоугольный волновод с волной типа Н₁₀. Коэффициент отражения. Полные нормированные напряжения и токи в ЛП. Нормированные сопротивления и проводимости. Соотношения нормировки. Пример нормировки напряжений и токов падающей и отраженной волны в прямоугольном волноводе.

1.2.4 Влияние режима линии передачи на коэффициент полезного действия и пропускную мощность.

Режим бегущих волн. Режим стоячих волн. Режим смешанных волн. Коэффициент бегущей волны (КБВ). Коэффициент стоячей волны (КСВ). Измерительные линии. Коэффициент отражения. Коэффициент полезного действия ЛП.

1.2.5 Трансформация сопротивлений в линиях передачи.

Электрическая длина отрезка ЛП. Трансформация сопротивлений вдоль ЛП. Реактивные шлейфы. Четвертьволновый трансформатор. Полуволновый трансформатор. Измерение параметров комплексных нагрузок методом В. В. Татаринова.

1.2.6 Круговая номограмма для линий передачи.

Принцип построения круговой номограммы А. Р. Вольперта. Применение круговой номограммы для измерения параметров нагрузки методом В. В. Татарина.

1.2.7 Узкополосное согласование в линиях передачи.

Условие узкополосного согласования. Условия широкополосного согласования как альтернативы узкополосного согласования. Согласование с помощью четвертьволнового трансформатора. Согласование с помощью сосредоточенных реактивностей.

Раздел №1.3 Элементы трактов для различных диапазонов длин волн.

1.3.1 Согласованные нагрузки.

Коаксиальные согласованные нагрузки. Нагрузки для полосковых линий. Волноводные согласованные нагрузки.

1.3.2 Реактивные нагрузки.

Область применения. Конструкции реактивных нагрузок.

1.3.3 Изоляторы для коаксиального тракта.

Диэлектрические шайбы (Конструкция. Особенности). Утопленные шайбы. (Конструкция. Особенности). Диэлектрические шайбы с концентрическими канавками. Металлические изоляторы. Широкополосный металлический изолятор (Конструкция, характеристики и параметры).

1.3.4 Разъемы и сочленения в трактах СВЧ.

Высокочастотные коаксиальные соединители (конструкции, особенности). Волноводные сочленения. Контактные притертые фланцы. Дроссельные сочленения. Волноводные вращающиеся сочленения (с трущимися контактами и дроссельными канавками). Коаксиальные вращающиеся сочленения (эскиз, схема замещения дроссельной канавки, схема замещения сочленения).

1.3.5 Переходы между линиями передачи различных типов.

Коаксиально-волноводные переходы (зондовый, с коаксиальным шлейфом, с поперечным стержнем, «пуговичный»). Коаксиально-волноводный переход для возбуждения волны E_{01} . Соосные переходы от прямоугольного волновода с волной H_{10} к круглому волноводу, с волной H_{11} . Способы возбуждения осесимметричной волны E_{01} в круглом волноводе. Плавный переход для возбуждения волны H_{01} в круглом волноводе. Коаксиально-полосковые переходы. Волноводно-полосковые переходы.

1.3.6 Повороты линии передачи.

Основные положения при проектировании поворотов ЛП. Повороты ЛП с компенсацией отражений.

1.3.7 Отражающие препятствия в волноводных трактах.

Волноводные стыки. Волноводные диафрагмы (индуктивная диафрагма, емкостная диафрагма, резонансная диафрагма. Индуктивный штырь в прямоугольном волноводе. Емкостной штырь в прямоугольном волноводе.

1.3.8 Рассогласование тракта СВЧ с многими нерегулярностями.

Основные определения. Распределение Рэлея для модуля коэффициента отражения в тракте с нерегулярностями.

Раздел №1.4 Многополюсники СВЧ.

1.4.1 Основные определения.

Многополюсник СВЧ. $2N$ -полюсник СВЧ. Плоскость отсчета фаз. Свойство пассивности. Свойство линейности. Внешние характеристики многополюсника. Матрицы многополюсника. Классический и волновой подходы к анализу многополюсников СВЧ. Матрицы воздействия и матрицы реакции. Матрица T многополюсника.

1.4.2 Матрица рассеяния.

Падающие и отраженные волны. Взаимосвязь воздействия и реакции. Простейшие испытательные режимы для определения матрицы рассеяния. Физический смысл элементов матрицы рассеяния. Матрица рассеяния коаксиального разветвления.

1.4.3 Матрицы сопротивлений и проводимостей.

Принцип описания СВЧ многополюсника на основе матрицы сопротивлений. Физический смысл элементов матрицы сопротивлений. Принцип описания СВЧ многополюсника на основе матрицы проводимостей. Физический смысл элементов матрицы проводимостей. Взаимная обратимость матриц сопротивлений и проводимостей.

1.4.4 Соотношения между матрицами многополюсника.

Основные соотношения между матрицами S , Z , Y . Зависимость матриц многополюсника от нумерации входов. Сдвиг плоскостей отсчета фаз на входах многополюсника. Нормированные и ненормированные матрицы многополюсника.

1.4.5 Идеальные и реальные матрицы многополюсника СВЧ.

Формирование технических требований к устройству с помощью идеальных матриц. Пример. Параметры реальной матрицы устройства СВЧ. Пример.

1.4.6 Взаимные многополюсники.

Определение взаимного многополюсника СВЧ. Необходимое условие взаимности многополюсника СВЧ.

1.4.7 Недиссипативные многополюсники.

Определение недиссипативного многополюсника СВЧ. Реактивные многополюсники. Свойства матрицы рассеяния недиссипативного многополюсника. Матрица сопротивлений недиссипативного 4-полюсника. Условие унитарности матрицы рассеяния недиссипативного 4-полюсника. Идеальный циркулятор как согласованный по всем входам недиссипативный 6-полюсник. Теорема о невзаимном недиссипативном 6-полюснике. Лемма о взаимном недиссипативном 6-полюснике. Идеальный направленный ответвитель как согласованный по всем входам реактивный 8-полюсник. Блочные матрицы рассеяния. Блок передачи в матрице многополюсника. Теорема о реактивном 8-полюснике.

1.4.8 Симметричные многополюсники.

Электрическая симметрия многополюсника. Геометрическая симметрия многополюсника. Симметричное Y-разветвление коаксиальных волноводов. Последовательное разветвление двухпроводной линии передачи. Двойной волноводный T-мост.

Раздел № 1.5 Составные многополюсные устройства СВЧ.

1.5.1 Принцип декомпозиции в анализе многополюсных устройств СВЧ.

Основные принципы декомпозиции. Базовые элементы. Схема замещения. Уровни декомпозиции.

1.5.2 Анализ 4-поллюсников и 2-полюсников каскадной структуры с помощью матриц передачи.

Матрица передачи. Классическая матрица передачи. Волновая матрица передачи. Связь матрицы A с матрицей рассеяния четырехполюсника. Элементарные взаимные 4-полюсники (отрезок регулярной линии передачи заданной длины, стык двух линий передачи, сосредоточенное сопротивление, сосредоточенная проводимость). Условия реактивности 4-полюсника. Условия симметрии и антисимметрии 4-полюсника. Одноступенчатый трансформатор.

1.5.3 Метод декомпозиции симметричных 8-полюсников (метод синфазного и противофазного возбуждения)

Основной принцип декомпозиции. Декомпозиция 8-полюсника при синфазном возбуждении. Декомпозиция 8-полюсника при противофазном возбуждении. Волноводный щелевой мост.

1.5.4 Типы направленности ответвителей.

Основные положения. Направленность типа I. Направленность типа II. Направленный ответвитель на связанных линиях передачи с Т-волнами. Направленный ответвитель Ланге.

1.5.5 Кольцевые направленные ответвители.

Шлейфный ответвитель. Гибридное кольцо. Декомпозиция шлейфного ответвителя.

1.5.6 Согласованные 6-полюсные делители мощности.

Согласованные 6-полюсные делители мощности на равные части. Согласованные 6-полюсные делители мощности с различными волновыми сопротивлениями. Согласованные 6-полюсные делители мощности с согласующими трансформаторами в выходных линиях.

1.5.7 Матрица рассеяния каскадно соединенных многополюсников.

Основные положения. Матрица S для случая когда один из многополюсников согласован и развязан по всем соединяемым входам. Преобразование матрицы рассеяния при подключении к одному из входов заданной нагрузки.

1.5.8 Составные 8-полюсники и 4-полюсники.

Каскадное соединение направленных ответвителей. Направленный ответвитель с регулируемой связью. Устройство с независимой регулировкой модуля и фазы коэффициента отражения.

Раздел № 1.6 Фильтры и согласующие цепи СВЧ.

1.6.1 Основные определения.

Фильтры СВЧ. Частотная характеристика фильтра. Вносимое ослабление. Фильтры нижних частот (ФНЧ). Фильтры верхних частот (ФВЧ). Полосно-пропускающие фильтры (ППФ). Полосно-заграждающие фильтры (ПЗФ). Широкополосно-согласующие цепи.

1.6.2 Прототипы фильтров с оптимальными частотными характеристиками.

Выбор прототипа. Функция ослабления. Максимально-плоская частотная характеристика. Чебышевская частотная характеристика. Реализация фильтров в виде лестничной цепи.

1.6.3 Замены частотной переменной при расчетах фильтров.

Нормализованная частота. Переход к другим значениям частоты. Переход от НЧ прототипа к другим типам фильтров. Расчет значений элементов фильтра с сосредоточенными параметрами. Фильтры на элементах с распределенными параметрами. Преобразование Ричардса.

1.6.4 Применение отрезков линий передачи в фильтрах СВЧ.

Замена сосредоточенных L и C элементов отрезками ЛП. Замена последовательных и параллельных колебательных контуров резонансными отрезками ЛП. Внешние собственные и полные добротности резонансных цепей.

1.6.5 Резонаторы на отражающих препятствиях в линии передачи.

Принцип построения резонаторов на отражающих препятствиях. Матрица передачи проходного резонатора с отражающими препятствиями. Условие резонанса в резонаторе с отражающими препятствиями. Внешняя добротность резонатора с отражающими препятствиями.

1.6.6 Фильтры СВЧ с четвертьволновыми и непосредственными связями соседних резонаторов.

Принцип построения. Четвертьволновые связи резонаторов. Четырехполюсники — инверторы. Фильтры с непосредственными связями. Классическая матрица передачи реактивного нерезонансного 4-полюсника. Фильтры на диэлектрических резонаторах.

1.6.7 Ступенчатые переходы для широкополосного согласования активных нагрузок.

Определения перехода между ЛП. Плавные и ступенчатые переходы. Переходы с чебышевской частотной характеристикой коэффициента отражения. Переходы с максимально-плоской частотной характеристикой коэффициента отражения.

Чебышевский трехступенчатый переход. Ступенчатый переход максимально-плоской частотной характеристикой согласования (биномиальный переход).

1.6.8 Плавные переходы для широкополосного согласования активных нагрузок.

Схема плавного согласующего перехода. Функция местных отражений. Экспоненциальный трансформатор. Анализ и синтез оптимальных плавных переходов. Сравнение ступенчатых и плавных переходов.

1.6.9 Широкополосное согласование комплексных нагрузок.

Основные цели широкополосного согласования. Теорема Фано. Общая схема широкополосного согласования комплексной нагрузки. Простейшие запирающие 4-полосники. Оптимальная частотная характеристика КБВ при широкополосном согласовании. Задача синтеза широкополосных согласующих цепей.

Раздел № 1.7 Управляющие и ферритовые устройства СВЧ.

1.7.1 Классификация управляющих устройств СВЧ.

Механические управляющие устройства СВЧ. Электрические управляющие устройства СВЧ. Выключатели СВЧ. Коммутаторы СВЧ. Отражательные фазовращатели СВЧ. Проходные фазовращатели СВЧ. Атенюаторы СВЧ. Ограничители мощности СВЧ.

1.7.2 Механические коммутаторы, фазовращатели и аттенюаторы.

Механические волноводные коммутаторы. Механический фазовращатель проходного типа. Коаксиальный трамбонный фазовращатель. Волноводный механический фазовращатель. Коаксиальные аттенюаторы на запердельных волноводах.

1.7.3 Антенные переключатели на газовых разрядниках.

Назначение антенных переключателей. Конструкция газового разрядника СВЧ. Принцип работы газового разрядника СВЧ. Ответвительный переключатель. Балансный антенный переключатель. Балансный переключатель на двух щелевых мостах.

1.7.4 Коммутационные диоды СВЧ.

Применение коммутационных диодов. Диод типа $p-i-n$, его схемы замещения и параметры. Трансформация сопротивлений коммутационных диодов. Лемма для коммутационного двухполосника.

1.7.5 Выключатели СВЧ на коммутационных диодах.

Схемы простейших диодных выключателей СВЧ. Параметры выключателей СВЧ.

1.7.6 Дискретные фазовращатели на коммутационных диодах.

Отражательные фазовращатели. Оптимизация фазовращателя по потерям. Многопозиционные отражательные фазовращатели. Проходные фазовращатели. Проходной диодный фазовращатель на переключаемых отрезках линии передачи. Проходные фазовращатели мостового типа. Проходной фазовращатель в виде нагруженной линии передачи. Многоступенчатые проходные фазовращатели. Многопозиционный проходной бинарный фазовращатель.

1.7.7 Ферритовые устройства СВЧ.

Свойства ферритов на СВЧ. Зависимость параметров феррита от поля подмагничивания. Невзаимные ферритовые устройства СВЧ. Вентиль СВЧ. Гиратор СВЧ. 6-полосный циркулятор. 8-полосный циркулятор. Управляющие ферритовые устройства СВЧ - фазовращатели, выключатели, коммутаторы, перестраиваемые фильтры.

1.7.8 Невзаимные и управляющие устройства с ферритами.

Устройства на эффекте Фарадея. Вентиль на эффекте Фарадея в круглом волноводе. Устройства с поперечно-подмагниченными ферритами. Вентиль с резонансным поглощением на прямоугольном волноводе. Полосковый резонансный вентиль. Вентиль со смещением поля на прямоугольном волноводе. Фазовые циркуляторы. Невзаимный фазовый сдвиг. Y-циркуляторы.

1.7.9 Ферритовые фазовращатели.

Фазовращатель на прямоугольном волноводе с продольно-намагниченным ферритом (фазовращатель Реджиа – Спенсера). Невзаимные фазовращатели с поперечным полем

подмагничивания. Дискретные фазовращатели на феррите с прямоугольной петлей гистерезиса. Тороидальный фазовращатель.

1.7.10 Перестраиваемые ферритовые фильтры.

Принцип действия. Конструкции ферритовых перестраиваемых фильтров. Характеристики.

УЭМ 2. Антенны

Раздел № 2.1 Электромагнитное поле и характеристики антенн.

2.1.1 Назначение и классификация антенн.

Назначение антенн. Классификация по способу формирования излучаемого поля. Теоретические и экспериментальные методы разработки и исследования антенн.

2.1.2 Структурная схема антенны.

Вход. Согласующее устройство. Распределитель. Излучающая система. Внутренняя и внешняя задача расчета антенн. Анализ и синтез антенн.

2.1.3 Расчет электромагнитных полей излучающих систем в дальней, промежуточной и ближней областях.

Векторные потенциалы электромагнитного поля. Разбиение пространства на дальнюю, промежуточную и ближнюю области. Выражения для векторов E и H электромагнитного поля в дальней, промежуточной и ближней областях. Нормированная диаграмма направленности по полю. Нормированная диаграмма направленности по мощности.

2.1.4 Векторная комплексная диаграмма направленности антенны.

Комплексная векторная нормированная диаграмма направленности. Амплитудная диаграмма направленности по полю. Виды диаграмм направленности. Способы изображения двумерных диаграмм направленности. Поляризационные свойства. Главная и паразитная составляющие поляризации. Поляризационный эллипс. Коэффициент эллиптичности. Построение поляризационного базиса. Фазовая характеристика антенны. Фазовый центр антенны. Центр излучения антенн.

2.1.5 Вторичные параметры, характеризующие направленность антенн.

Коэффициент направленного действия (КНД). Ширина луча и уровень боковых лепестков. Зависимость КНД от ширины луча и уровня боковых лепестков. КНД антенны по главному лепестку диаграммы направленности. Коэффициент рассеяния антенны. Эффективность главного луча. Выражения для КНД через ширину главного лепестка.

2.1.6 Передающая антенна как четырехполюсник.

Мощность излучения. Сопротивление излучения. Действующая длина. Вектор интенсивности излучения. Коэффициент полезного действия. Коэффициент усиления. Измерение коэффициента усиления методом сравнения. Нормированное входное сопротивление. Нормированная входная проводимость. Различные представления поля излучения антенны.

2.1.7 Рабочая полоса частот и предельная мощность антенны.

Определение рабочей полосы частот антенны. Узкополосные и широкополосные антенны. Предельная рабочая мощность антенны.

Раздел № 2.2 Антенны в режиме радиоприема.

2.2.1 Эквивалентная схема приемной антенны.

Передача мощности между двумя антеннами. Диполь Герца как приемная антенна. Использование передающей антенны в качестве приемной.

2.2.2 Поляризационные соотношения при радиоприеме.

Поляризационный коэффициент передачи по полю. Реакция приемной антенны на падающую электромагнитную волну с поляризацией, ортогональной ее собственной

поляризации в режиме передачи. Реакция антенны на падающую электромагнитную волну с поляризацией, совпадающей с собственной поляризацией антенны в режиме передачи. Поляризационные соотношения для антенн с круговой поляризацией. Особенности применения антенн с круговой поляризацией для связи с летательными аппаратами и в задачах радиолокации.

2.2.3 Мощность в нагрузке приемной антенны. Эффективная поверхность.

Выражение для мощности в приемной антенне. Эффективная поверхность антенны. Условия для достижения максимума принимаемой мощности в нагрузке. Соотношение между КНД и эффективной поверхностью антенны.

2.2.4 Шумовая температура приемной антенны

Внешние шумы. Внутренние шумы. Мощность шумов антенны. Отношение сигнал / шум. Чувствительность приемной антенной системы. Полная шумовая температура антенны. Нормированная шумовая ЭДС на входе антенны. Яркостная температура. Сведения о шумовых источниках. Яркостная температура небосвода на различных частотах. Объяснение возможности приема сигналов в диапазоне длинных и средних волн на антенны с малым КПД.

2.2.5 Взаимное сопротивление разнесенных антенн.

Определение взаимного сопротивления антенн.

2.2.6 Передача мощности между двумя антеннами.

Формулы идеальной радиопередачи. Теорема о поляризации излучения антенны с амплитудной диаграммой направленности, не имеющей нулей. Расчет вероятности связи.

Раздел № 2.3 Вибраторные и щелевые антенны.

2.3.1 Электрический вибратор. Распределение тока и заряда.

Определение электрического вибратора. Внутренняя и внешняя задачи при исследовании вибраторных антенн. Интегральные уравнения для распределения тока на вибраторе. Интегро-дифференциальное уравнение Поклингтона. Интегральное уравнение Халлена. Методы решения интегральных уравнений вибраторных антенн. Распределения тока и заряда в симметричных вибраторах. Полуволновый вибратор.

2.3.2 Диаграмма направленности, сопротивление излучения и КНД вибратора.

Поле вибратора в дальней зоне и его особенности. Полуволновый вибратор и его диаграмма направленности. Сопротивление излучения вибратора. КНД симметричного вибратора. Действующая длина вибратора.

2.3.3 Методы расчета входного сопротивления симметричной вибраторной антенны.

Расчет входного сопротивления вибратора методом эквивалентных схем. Расчет входного сопротивления вибратора методом численного решения интегральных уравнений эквивалентных схем.

2.3.4 Симметричный магнитный вибратор. Щелевые антенны в плоском бесконечном экране.

Симметричный магнитный вибратор. Принцип перестановочной двойственности.

Распределение магнитного тока по длине магнитного вибратора. Поле симметричного магнитного вибратора в дальней зоне. Щелевые антенны. Электродинамическая модель односторонней щелевой антенны. Полуволновые резонансные щели. Двухсторонние щелевые излучатели и их характеристики.

2.3.5 Связанные вибраторы. Метод наводимых ЭДС.

Системы вибраторов. Активные и пассивные вибраторы. Собственные сопротивления. Взаимные сопротивления. Метод наводимых ЭДС (назначение, основные положения и результаты применения метода). Метод наводимых магнитодвижущих сил.

2.3.6 Теорема перемножения при анализе ДН системы одинаковых параллельных вибраторов.

Антенная решетка как система одинаковых источников излучения. Векторная диаграмма направленности одного элемента. Множитель системы. Система из двух параллельных вибраторов. Множитель направленности двух изотропных источников с равными амплитудами. Активный рефлектор. Режимы настройки пассивного вибратора: режим рефлектора, режим директора. Многовибраторные антенны («волновой канал», антенна Уда – Яги).

Раздел № 2.4 Слабонаправленные и частотно-независимые антенны.

2.4.1 Конструкции вибраторных антенн.

Полуволновый вибратор (конструкция, основные характеристики). Вибратор с шунтовым питанием. Петлеобразный вибратор (вибратор Пистолькорса). Способы питания вибраторов коаксиальным фидером. Симметрирующие устройства для питания вибраторов. Способы питания вибраторов жесткой коаксиальной линией. Несимметричные вибраторы. Несимметричные вибраторы с расширенной полосой частот. Дисконусная антенна.

2.4.2 Турникетные антенны.

Конструкция турникетной антенны. Режим всенаправленного излучения. Амплитудная и фазовая ДН. Режим регулируемой поляризации поля. Поляризационная избирательность. Применение плоскостного шунтового вибратора в турникетной телевизионной передающей антенне.

2.4.3 Щелевые антенны.

Особенности конструкции и способы возбуждения. Щелевая антенна с резонатором. ДН щелевой антенны на конечном экране в плоскости Е и Н. Входное сопротивление щелевой антенны. Кольцевые щелевые антенны на цилиндрической поверхности.

2.4.4 Полосковые и микрополосковые антенны.

Конструкции и способы питания полосковой и микрополосковой антенн. Модель излучающей системы микрополосковой антенны. ДН микрополосковой антенны. КНД и КПД микрополосковой антенны. Добротность излучения микрополосковой антенны. Способы получения круговой поляризации поля в микрополосковых антеннах.

2.4.5 Принципы построения частотно-независимых антенн.

Определение частотно-независимой антенны. Принцип электродинамического подобия. Бесконечные структуры, определяемые угловыми размерами. Автоматическая отсечка излучающих токов. Активная область спиральных структур. Принцип дополненности. Принципы создания частотно-независимых антенн.

2.4.6 Частотно-независимые спиральные антенны.

Эквиугольная спиральная антенна. Плоская двухзаходная спиральная антенна (спираль Архимеда). Противофазное и синфазное возбуждение архимедовских спиральных антенн. Характеристики направленности архимедовских спиральных антенн.

2.4.7 Логопериодические антенны.

Реализация логарифмической периодичности параметров антенны в зависимости от частоты. Параметры геометрических структур антенн. Плоская логопериодическая антенна (конструкция и основные характеристики). Формы логопериодических структур. Однонаправленные логопериодические вибраторные антенны.

Раздел № 2.5 Линейные антенны и решетки.

2.5.1 Линейные излучающие системы. Идеальный линейный излучатель.

Определение линейной излучающей системы. Элемент излучающей системы. Амплитудно-фазовое распределение возбуждения. Определение линейного излучателя. Множитель направленности линейного излучателя. Пространственная частота. Представление множителя направленности в виде интегрального преобразования Фурье (назначение). Идеальный линейный излучатель. Коэффициент замедления фазовой скорости возбуждения.

2.5.2 Анализ множителя направленности идеального линейного излучателя.

Особенности множителя направленности. Главный и боковые лепестки. Область реальных углов наблюдения (область видимости). Область мнимых углов наблюдения. Режимы излучения линейной антенны: поперечного излучения, наклонного излучения, осевого излучения). Сканирование. Ширина луча идеальной линейной антенны. Условие оптимальности линейной антенны с замедленной фазовой скоростью возбуждения (условие Хансена – Вудворда).

2.5.3 КНД идеального линейного излучателя.

Общая и упрощенная формула для КНД. Зависимость КНД от коэффициента замедления. КНД линейного излучателя по главному лепестку ДН. Связь полного КНД антенны и КНД по главному лепестку. КНД в области осевого излучения. Оптимальное значение коэффициента замедления.

2.5.4 Влияние формы амплитудного распределения на параметры линейной антенны.

Неравномерное амплитудное распределение возбуждения как способ снижения уровня боковых лепестков (УБЛ). Метод парциальных ДН в задачах синтеза антенн. Коэффициент расширения луча (КРЛ). Коэффициент использования поверхности (КИП). Основные параметры линейной антенны для распределений «косинус на пьедестале» и «парабола на пьедестале».

2.5.5 Влияние фазовых искажений на параметры линейной антенны.

Детерминированные и случайные фазовые искажения. Линейные фазовые искажения. Поведение множителя направленности при линейных фазовых искажениях в равноамплитудной антенне. Квадратичные фазовые искажения. Искажения направленности линейной антенны при квадратичных фазовых ошибках. Кубические фазовые искажения. Искажения множителя направленности линейной антенны при кубических фазовых ошибках. Снижение КИП линейной равноамплитудной антенны при наличии квадратичных и кубических фазовых ошибок. Случайные фазовые искажения. Радиус корреляции. Поведение бокового фона. Возрастание УБЛ как следствие случайных фазовых искажений. Вероятностная оценка уровня боковых лепестков.

2.5.6 Анализ множителя направленности равномерной линейной антенной решетки. Способы подавления побочных главных максимумов.

Определение равномерной или эквидистантной антенной решетки. Побочные главные максимумы. Способы подавления побочных главных максимумов: ограничение шага решетки, применение направленных элементов, неэквидистантное расположение излучателей.

2.5.7 КНД линейной антенной решетки.

КНД антенных решеток в режиме поперечного и наклонного излучения. КНД антенных решеток в режиме осевого излучения. КНД антенных решеток в режиме осевого излучения с оптимально замедленной фазовой скоростью возбуждения. Влияние шага решетки на КНД. Влияние на КНД взаимной связи излучателей. Проявления взаимосвязи излучателей в различных участках антенной решетки.

2.5.8 Входная мощность и коэффициент усиления антенной решетки.

Полная входная мощность антенной решетки. Интенсивность излучения антенной решетки. Коэффициент усиления антенной решетки.

2.5.9 Антенны бегущей волны.

Основные определения. Способы реализации. Примеры.

2.5.10 Антенны бегущей волны. Диэлектрические стержневые антенны.

Конструкции. Коэффициент замедления волны HE₁₁. Диаграмма направленности. Ширина главного лепестка. Оптимальная длина. Возбуждение диэлектрических антенн. Применение диэлектрических антенн в антенных решетках.

2.5.11 Антенны бегущей волны. Спиральные антенны.

Конструкция спиральной антенны и ее схема замещения. Распределение тока в спиральной антенне. Режимы излучения спиральной антенны для различных отношений диаметра и длины волны. Параметры и характеристики спиральной антенны в режим осевого излучения. Конические спиральные антенны.

2.5.12 Антенны бегущей волны. Импедансные антенны.

Отличительные особенности импедансных антенн. Конструкции импедансных антенн. Диаграмма направленности. Оптимальный коэффициент замедления. Полоса пропускания. Возбуждение импедансных антенн.

2.5.13 Антенны бегущей волны. Директорные антенны. Ребристо-стержневые антенны.

Конструкции директорной антенны для различных диапазонов длин волн. Основные расчетные соотношения для длин излучателей. Влияние числа элементов на КНД директорной антенны. Полоса пропускания директорной антенны. Ребристо-стержневая антенна. Конструкция. Принцип действия.

2.5.14 Волноводно-щелевые антенные решетки.

Разновидности излучающих щелей. Распределение токов на стенках волновода. Схемы замещения поперечной и продольной щели в прямоугольном волноводе. Резонансные волноводно-щелевые антенные решетки. Нерезонансные волноводно-щелевые антенные решетки.

Раздел № 2.6 Излучающие раскрывы и решетки.

2.6.1 Исходные соотношения.

Понятие излучающего раскрыва антенны. Характеристики излучающего раскрыва: комплексная диаграмма направленности элемента раскрыва, способ размещения элементов, амплитудно-фазовое распределение комплексных амплитуд возбуждения элементов, комплексный множитель направленности системы изотропных излучателей. Представление множителя направленности для дискретной и непрерывной системы излучателей.

2.6.2 КНД и эффективная поверхность плоского синфазного раскрыва.

Модель синфазного раскрыва в виде отверстия в плоском экране. Поле раскрыва в дальней зоне. Полная мощность излучения раскрыва. КНД раскрыва. Апертурный коэффициент использования поверхности раскрыва.

2.6.3 Множитель направленности плоского раскрыва.

Параметры плоского прямоугольного раскрыва. Разделяющееся по координатам амплитудно-фазовое распределение. Представление множителя направленности. Рельеф множителя направленности идеального прямоугольного раскрыва. Ширина луча и КНД идеального прямоугольного раскрыва. Коэффициент рассеяния прямоугольного раскрыва. Множитель направленности круглого раскрыва. Ширина луча и КИП круглого раскрыва при равномерном и спадающем к краям возбуждении.

2.6.4 Метод эквивалентного линейного излучателя в анализе плоского раскрыва.

Понятие эквивалентной линейной антенны. Множитель направленности эквивалентной линейной антенны. Представление круглого раскрыва с равномерным синфазным возбуждением в виде линейной антенны с эквивалентным амплитудно-фазовым распределением. Представление диагональной плоскости квадратного раскрыва с равномерным синфазным возбуждением в виде линейной антенны с эквивалентным амплитудно-фазовым распределением.

2.6.5 Влияние случайных ошибок возбуждения на параметры плоского раскрыва.

Амплитудно-фазовое распределение при наличии ошибок. Средняя характеристика направленности по мощности для плоского прямоугольного раскрыва. КНД плоского раскрыва со случайными ошибками возбуждения.

2.6.6 Сканирование луча в плоском раскрыве.

Нормированный множитель направленности. Формулы фазирования. Область видимости. Закон изменения КНД при сканировании. Изменение формы главного лепестка множителя направленности прямоугольного раскрыва при сканировании. Изменение эффективной площади раскрыва при сканировании. Изменение ширины луча при сканировании.

2.7.7 Плоские фазированные антенные решетки. Размещение излучателей по раскрыву. Условия отсутствия побочных главных максимумов.

Определение фазированной антенной решетки (ФАР). Правила расположения излучателей ФАР. Прямоугольная сетка. Треугольная сетка. Выбор шага решеток при использовании направленных излучателей. Нерегулярное размещение излучателей в плоской ФАР.

2.6.8 Связь ДН излучателя решетки и рассогласование входов элементов ФАР при сканировании.

«Поэлементный подход» к учету взаимного влияния элементов при небольшом числе излучателей. Приближенный подход к учету взаимного влияния при большом числе элементов. Режим работы ФАР при равноамплитудном возбуждении элементов и идеальной фазировке. Выражение для коэффициента усиления излучателя ФАР. Установление взаимосвязи режимов работы ФАР. Электродинамические модели при проектировании больших регулярных плоских ФАР. Эффект «ослепления» ФАР

2.6.9 Электромагнитное поле раскрыва в промежуточной области. Сфокусированные раскрывы.

Границы промежуточной области. Расчет электромагнитных полей на основе приближения Френеля. Приближение Френеля для малых углов. Изменение ДН при переходе из дальней области в промежуточную область. Поведение модуля вектора Пойнтинга синфазного раскрыва. Зоны Френеля. Построение зон Френеля. Возможные вклады отдельных зон в полное поле промежуточной области. Сфокусированный раскрыв. Введение добавочного квадратичного фазового сдвига с опережением на краю. Определение фокуса раскрыва. Техническое применение фокусировки раскрыва. Электродинамическая модель сфокусированного раскрыва с виде большого отверстия в плоском экране. Граница основного потока мощности. Диаграммы основного потока мощности

Раздел № 2.7 Основные положения синтеза линейных антенных систем.

2.7.1 Постановка задачи синтеза излучающей системы.

Определение задачи синтеза излучающей системы. Получение требуемой формы ДН. Синтез антенн с максимальным КНД. Оптимизация формы ДН. Особенности решения задачи синтеза линейной излучающей системы. Интегральное уравнение для тока в линейной излучающей системе и его особенности. Некорректно поставленные задачи и метод регуляризации по А. Н. Тихонову.

2.7.2 Диаграмма направленности как целая функция конечной степени.

Интегральное выражение полной мощности антенны. Активная мощность. Реактивная мощность. Коэффициент реактивности. Целые функции. ДН как целая функция конечной степени.

2.7.3 Синтез линейного излучателя методом интеграла Фурье.

Подход к решению задачи синтеза линейного излучателя с помощью обратного преобразования Фурье. Способы определения функции возбуждения. Построение аналитического продолжения функции возбуждения из области видимости на всю вещественную ось. Метод интеграла Фурье. Пример.

2.7.4 Синтез разностных диаграмм направленности.

Определение разностной ДН. Применение разностных ДН. Требования к разностным ДН. Амплитудно - фазовое распределение возбуждения и ДН излучателя. Параметры разностных ДН.

2.7.5 Синтез линейного излучателя методом парциальных диаграмм направленности.

Сущность метода парциальных ДН. Реализация метода парциальных диаграмм при среднеквадратическом приближении. Система парциальных диаграмм направленности, являющихся членами ряда Котельникова. Синтез косекансной ДН.

2.7.6 Синтез линейных антенных решеток.

Множитель направленности линейной антенной решетки. Представление множителя решетки в виде суперпозиции парциальных ДН. Построение системы ортонормированных парциальных ДН. Решение задачи синтеза антенной решетки в ортонормированном базисе. Пример синтеза ДН, наиболее близкую дельта - функции. Выбор шага эквидистантной антенной решетки.

2.7.7 Явление сверхнаправленности антенн.

Определение сверхнаправленности. Особенности перехода линейной антенны к сверхнаправленности. Граница перехода к сверхнаправленности. Устойчивость к ошибкам в распределении возбуждения у несверхнаправленных антенн.

Раздел № 2.8 Апертурные антенны.

2.8.1 Общие свойства апертурных антенн.

Определение апертурных антенн. КНД. Ширина луча. Коэффициент использования поверхности.

Построение распределителей апертурных антенн.

2.8.2 Рупорные антенны.

Волноводный излучатель. Н - секторальный рупор и структура поля в нем. Геометрические параметры рупора. КНД Н - секторального рупора. Оптимальный Н - секторальный рупор. КИП Н - секторального рупора. Е - секторальный рупор. Оптимальный Е - секторальный рупор. Конический рупор. Достоинства рупорных антенн. Применение рупорных антенн.

2.8.3 Линзовые антенны.

Конструкция линзовой антенны, геометрические параметры. Принцип действия линзовой антенны. Облучатели линзовых антенн. Ускоряющие и замедляющие линзы. Определение профиля диэлектрической линзы. Металлопластинчатые линзы. Линзы с принудительным направлением распространения. Зонированные линзы. Формирование амплитудных распределений в линзах. Выравнивание амплитудного распределения при использовании облучателя со специальной формой ДН. Линзовые антенны Люнеберга.

2.8.4 Зеркальные параболические антенны.

Конструкция зеркальной параболической антенны. Принцип действия. Применение зеркальных антенн. Виды параболических зеркальных антенн. Профиль параболической антенны и геометрические параметры. Длиннофокусные и короткофокусные параболические зеркальные антенны. Расчет излучения параболических антенн с использованием метода эквивалентных поверхностных электрических и магнитных токов с различным способом записи интегралов излучения (апертурный метод, токовый метод). Применение метода геометрической теории дифракции для расчета ДН. Распределение поверхностных токов в раскрыте параболоида вращения. Кроссполаризация. Выбор параметров параболической антенны. КИП, ширина луча и уровень боковых лепестков. Факторы, влияющие на КИП параболической зеркальной антенны. Точность выполнения зеркала параболической антенны. Влияние точности выполнения зеркала на КНД. Частотная зависимость КНД зеркальной параболической антенны.

2.8.5 Облучатели зеркальных антенн.

Требования к облучателям. Вибраторные облучатели. Щелевые облучатели. Волноводные и рупорные облучатели. Линейные облучатели. Управление положением луча антенны путем выноса облучателя из фокуса. Моноимпульсные облучатели.

2.8.6 Разновидности зеркальных антенн.

Двухзеркальная антенна Кассегрена. Двухзеркальная антенна Грегори. Квазипараболические двухзеркальные антенны. Несимметричные и гибридные зеркальные антенны. Рупорно - параболическая антенна. Перископическая антенна. Антенна переменного профиля. Сферические зеркальные антенны. Антенны с зеркалом специальной формы.

Раздел № 2.9 Антенные решетки.

2.9.1 Способы сканирования. Задачи, решаемые с помощью антенных решеток.

Сканирование пространства. Механическое сканирование. Электромеханическое сканирование. Электрическое сканирование. Осуществление электрического сканирования: фазовое, амплитудное, частотное. Задачи, решаемые с помощью многоэлементных антенных решеток.

2.9.2 Фазированные антенные решетки (ФАР).

Определение ФАР. Активные ФАР (АФАР), принцип построения. Пассивные ФАР, принцип построения. Распределители в виде закрытого тракта. Последовательная схема питания излучателей ФАР. Параллельная схема питания излучателей ФАР. Двоично - этажная схема питания излучателей ФАР. Распределители оптического типа. Проходная схема оптического питания излучателей ФАР. Отражательная схема оптического питания излучателей ФАР. Достоинства и недостатки оптических схем питания излучателей ФАР.

2.9.3 Управление фазированием сканирующих антенных решеток.

Требование к фазовым сдвигам излучателей ФАР. Система управления по рядам и колонкам. Особенности дискретного фазирования элементов. Бинарный принцип управления фазы.

2.9.4 Многолучевые антенные решетки.

Диаграммообразующие схемы. Последовательная диаграммообразующая схема (матрица Бласса). Параллельная диаграммообразующая схема (матрица Батлера).

2.9.5 Антенные решетки с частотным сканированием.

Построение тракта питания линейной антенной решетки с частотным сканированием. Формирование фазовых сдвигов в излучателях. Углочастотная чувствительность антенной решетки. Особенности проектирования антенных решеток с частотным сканированием. Пример конструкции антенны в виде параболического зеркала с возбуждением линейным источником с частотным сканированием.

4.3. Трудоемкость разделов учебного модуля и контактной работы

Таблица 3. Трудоемкость освоения разделов учебного модуля и контактной работы

№	Наименование разделов учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КР/КР	Контактная работа (в АЧ)			Внеауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля	
		Аудиторная					В т.ч. СРС
		ЛЕК	ПЗ	ЛР			
УЭМ 1. Устройства СВЧ							
1.	1.1 Введение				0.5	5	Контрольный опрос
2.	1.2 Линии передачи в радиосистемах и устройствах	2	2	2	0.5	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
3.	1.3 Элементы трактов для различных диапазонов длин волн	2	1	1	0.5	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
4.	1.4 Многополюсники СВЧ	2	1	1	1	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
5.	1.5 Составные многополюсные устройства СВЧ	2	1	1	0.5	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
6.	1.6 Фильтры и согласующие цепи СВЧ	1	1	2	1	7	Контрольный опрос

							Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
7.	1.7 Управляющие и ферритовые устройства СВЧ	2	2	1	0.5	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
УЭМ 2. Антенны							
8.	2.1 Электромагнитное поле и характеристики антенн.	2	2	2	1	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
9.	2.2 Антенны в режиме радиоприема.	2	1	1	0.5	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
10.	2.3 Вибраторные и щелевые антенны	1	1	2	0.5	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
11.	2.4 Слабонаправленные и частотно-независимые антенны	2	2	1	0.5	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
12.	2.5 Линейные антенны и решетки	2	1	1	0.5	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
13.	2.6 Излучающие раскрывы и решетки	2	1	1	0.5	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
14.	2.7 Основные положения синтеза линейных антенных систем	2	2	1	0.5	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
15.	2.8 Апертурные антенны	2	1	2	0.5	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
16.	2.9 Антенные решетки	2	2	2	1	7	Контрольный опрос Отчет по ЛР, Отчет по ПЗ
17.	Промежуточная аттестация						ДЗ
	ИТОГО	28	21	21	10	110	

4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

4.4.1 Перечень тем лабораторных работ:

1. Исследование симметричного вибратора с рефлектором или директором
2. Исследование волноводного излучателя
3. Исследование волноводно – щелевой антенны
4. Исследование рупорной антенны
5. Моделирование линейных антенн в программе MMANA

4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов: Курсовая работа/ проект не предусмотрен.

5 Методические рекомендации по организации освоения учебного модуля

Таблица 4. Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоем- кость в АЧ
1.	1.1 Введение (информационная лекция)	
2.	1.2 Линии передачи в радиосистемах и устройствах (информационная лекция)	2
3.	1.3 Элементы трактов для различных диапазонов длин волн (информационная лекция)	2
4.	1.4 Многополюсники СВЧ (информационная лекция)	2
5.	1.5 Составные многополюсные устройства СВЧ (информационная лекция)	2
6.	1.6 Фильтры и согласующие цепи СВЧ (информационная лекция)	1
7.	1.7 Управляющие и ферритовые устройства СВЧ (информационная лекция)	2
8.	2.1 Электромагнитное поле и характеристики антенн (информационная лекция)	2
9.	2.2 Антенны в режиме радиоприема (информационная лекция)	2

10.	2.3 Вибраторные и шелевые антенны (информационная лекция)	1
11.	2.4 Слабонаправленные и частотно-независимые антенны (информационная лекция)	2
12.	2.5 Линейные антенны и решетки (информационная лекция)	2
13.	2.6 Излучающие раскрывы и решетки (информационная лекция)	2
14.	2.7 Основные положения синтеза линейных антенных систем (информационная лекция)	2
15.	2.8 Апертурные антенны (информационная лекция)	2
16.	2.9 Антенные решетки (информационная лекция)	2
	ИТОГО	28

Таблица 5. Темы практических заданий (используемое оборудование)

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1.	Линии передачи (моделирование СВЧ устройств в программе NI Multisim 12)	4
2.	Измерение импеданса цепей с сосредоточенными параметрами (моделирование СВЧ устройств в программе NI Multisim 12)	3
3.	Устройства согласования (моделирование СВЧ устройств в программе NI Multisim 12)	4
4.	Устройства деления и сложения мощности (моделирование СВЧ устройств в программе NI Multisim 12)	3
5.	Частотно избирательные цепи на элементах с распределенными параметрами (моделирование СВЧ устройств в программе NI Multisim 12)	3
6.	Измерение S – параметров четырехполюсников (моделирование СВЧ устройств в программе NI Multisim 12)	4
	ИТОГО	21

Лабораторные работы проводятся в компьютерном классе и в специализированной лаборатории «Лаборатория технической электродинамики». Работы проходят по бригадам. До начала работы студенты получают инструктаж о соблюдении правил техники безопасности и охраны труда, согласно инструкциям №1ИОТ, №15ИОТ, №18ИОТ о знании которых студенты расписываются в журнале регистрации инструктажа студентов по охране труда. В лаборатории 2707 оборудованы рабочие места для лабораторных работ имеется необходимое методическое обеспечение, лабораторные макеты, приборы.

6 Фонд оценочных средств учебного модуля

Фонд оценочных средств представлен в Приложении А.

7 Условия освоения учебного модуля

7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методическое обеспечение учебного модуля представлено в Приложении Б.

7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 6 – Материально-техническое обеспечение учебного модуля

№	Требование к материально-техническому обеспечению	Наличие материально-технического оборудования и программного обеспечения
1.	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	Учебная мебель: столы, стулья, доска Компьютерный класс Мультимедийная система: ПК Intel Celeron G530 CPU 2,4 GHz, Класс: ПК Intel Celeron G530 CPU 2,4 GHz, Монитор ViewSonic VA1932wa, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет – 9 шт Перечень приборов: Индикатор КСВН и Ослабления Я2Р-67; Измеритель КСВН панорамный Р2-67; Измеритель КСВН панорамный Р2-47; Измеритель Я40-0830; Преобразователь Я4С-60 Генератор ГКЧ-60; Генератор ГКЧ-53; Генератор сигналов ВЧ Г4-126; Генератор сигналов ВЧ Г4-129; Генератор сигналов ВЧ Г4-109; Генератор сигналов ВЧ Г4-122; Измерительная линия Р1-29; Измерительная линия Р1-4; Измеритель добротности Е4-11; Вольтметр В3-38; Вольтметр В3-38А -5шт; Антенна измерительная. Макеты: Директорная антенна; Волноводно-щелевая антенна; Рупорные антенны; Волноводный излучатель
2.	Мультимедийное оборудование	Проектор Epson Projector EB-X04, компьютер, экран
3	Программное обеспечение	Программы «MS Windows», «NI Multisim 12», «MMANAGAL-Basic»

Учебного модуля «Устройства сверхвысокой частоты и антенны»

б) закрытая часть - фонд вопросов и заданий, которая не может быть заранее доступна для обучающихся (экзаменационные билеты, вопросы к контрольной работе и пр.) и которая хранится на кафедре.

<i>№</i>	<i>Оценочные средства для текущего контроля</i>	<i>Разделы учебной дисциплины</i>	<i>Баллы</i>	<i>Проверяемые компетенции</i>
1.	Контрольный опрос	1.1 Введение 1.2 Линии передачи в радиосистемах и устройствах 1.3 Элементы трактов для различных диапазонов длин волн 1.4 Многополюсники СВЧ 1.5 Составные многополюсные устройства СВЧ 1.6 Фильтры и согласующие цепи СВЧ 1.7 Управляющие и ферритовые устройства СВЧ 2.1 Электромагнитное поле и характеристики антенн 2.2 Антенны в режиме радиоприема 2.3 Вибраторные и щелевые антенны 2.4 Слабонаправленные и частотно-независимые антенны 2.5 Линейные антенны и решетки 2.6 Излучающие раскрыты и решетки 2.7 Основные положения синтеза линейных антенных систем 2.8 Апертурные антенны 2.9 Антенные решетки Всего	6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 (96)	ПК-1
2.	Решение задач	1.2 Линии передачи в радиосистемах и устройствах 2.5 Линейные антенны и решетки Линии передачи в радиосистемах и устройствах 1.3 Элементы трактов для различных диапазонов длин волн 1.4 Многополюсники СВЧ 1.5 Составные многополюсные устройства СВЧ 1.6 Фильтры и согласующие цепи СВЧ 1.7 Управляющие и ферритовые устройства СВЧ 2.1 Электромагнитное поле и характеристики антенн. 2.2 Антенны в режиме радиоприема. 2.3 Вибраторные и щелевые антенны 2.4 Слабонаправленные и частотно-независимые антенны 2.6 Излучающие раскрыты и решетки 2.7 Основные положения синтеза линейных антенных систем	4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	ПК-1 ПК-3

		2.8 Апертурные антенны	4	
		2.9 Антенные решетки	4	
		Всего	60	
3.	Отчеты по ЛР	1.2 Линии передачи в радиосистемах и устройствах	6	ПК-2
		1.3 Элементы трактов для различных диапазонов длин волн	8	ПК-4
		1.4 Многополюсники СВЧ	6	
		1.5 Составные многополюсные устройства СВЧ	6	
		1.6 Фильтры и согласующие цепи СВЧ	6	
		1.7 Управляющие и ферритовые устройства СВЧ	6	
		2.1 Электромагнитное поле и характеристики антенн.	6	
		2.2 Антенны в режиме радиоприема.	6	
		2.3 Вибраторные и щелевые антенны	6	
		2.4 Слабонаправленные и частотно-независимые антенны	6	
		2.5 Линейные антенны и решетки	6	
		2.6 Излучающие раскрыты и решетки	8	
		2.7 Основные положения синтеза линейных антенных систем	6	
		2.8 Апертурные антенны	6	
		2.9 Антенные решетки	6	
		Всего	94	
<i>Промежуточная аттестации</i>				
	Дифференцированный зачет		-	
	ИТОГО		250	

3. Рекомендации к использованию оценочных средств

1) Контрольный опрос

Таблица А.2 - Контрольный опрос

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество вопросов</i>
даны исчерпывающие ответы на все вопросы	По числу студентов	3
один из трех вопросов вызвал затруднение, ответ дан, но не полностью		
два из трех вопросов вызвали затруднения, ответы даны, но не полностью		
вопросы вызвали затруднение, ответы не даны		

Примерные вопросы:

1. Устройства СВЧ. Основные определения. Роль антенно-фидерных трактов в радиотехнических системах СВЧ. Краткая история становления техники СВЧ и антенн.
2. Основные параметры линий передачи.
3. Трансформация сопротивлений в линиях передачи.
4. Назначение и классификация антенн.
5. Структурная схема антенны.
6. Расчет электромагнитных полей излучающих систем в дальней, промежуточной и ближней областях.

2) Решение задач

Таблица А.3 - Решение задач

Критерии оценки	Количество вариантов заданий	Количество вопросов
представлены правильные решения не менее трех предложенных задач из каждого раздела	По числу студентов	3
представлены правильные решения 2-х предложенных задач из каждого раздела		
представлено правильное решение 1 предложенной задачи из каждого раздела		
нет решений 1-й задачи из каждого раздела		

Примерные задачи:

1. Даны первичные параметры длинной линии : L_0 , R_0 , C_0 , G_0 . Рассчитать постоянную распространения электромагнитной волны в линии на частоте f . Укажите название и размерности для действительной и мнимой части полученного значения.
2. Линия передачи имеет характеристическое сопротивление Z_c . Сопротивление нагрузки Z_n . Согласовать линию, с помощью короткозамкнутого шлейфа с характеристическим сопротивлением равным Z_c . Исходные данные приведены в таблице 15. В ходе расчета определить расстояние от нагрузки в длинах волны, где необходимо включить шлейф, а также длину шлейфа.
3. Рассчитать характеристические сопротивления отрезков линий передачи W_2 , W_3 , W_4 , W_5 и номинальное значение сопротивления R_1 делителя мощности ВЧ диапазона с неравным коэффициентом деления (рисунок 11). Номинальные значения элементов указаны для примера. Исходные данные приведены в таблицах 21 и 22. На выходе мощность распределяется в соотношении: $P_{R2} / P_{R3} = 1/K^2$. Сопротивления нагрузки равны значению Z_c .
4. Идеализированная антенна имеет ширину лепестка $\varphi \times \theta$ градуса. Определить геометрическую площадь антенны, считая КИП равным q на рабочей частоте f .
5. Антенна имеет КНД - D , КИП равен q , раскрыв $a \times b$ метра. Определить рабочую частоту.
6. Линзовая антенна диаметром d работает на частоте f и имеет коэффициент использования поверхности q . Определить КНД.

3) Выполнение лабораторных работ

Таблица А.4 - Выполнение лабораторных работ

Критерии оценки	Количество вариантов заданий	Количество вопросов
выполнены и представлены отчеты по всем ЛР. Оформление	1	Минимум

отчетов правильное. Даны исчерпывающие ответы на вопросы.		3
выполнены и представлены отчеты по всем ЛР. Отчеты оформлены с замечаниями. Даны не совсем полные ответы на вопросы.		
выполнены и представлены отчеты по всем ЛР. Отчеты оформлены с существенными замечаниями. Даны не полные ответы на вопросы.		
выполнены и представлены отчеты не по всем ЛР. Отчеты оформлены с существенными замечаниями, требующими переделки. Ответы на вопросы не даны.		

Примерные вопросы для защиты ЛР:

1. В чем заключается принцип работы пассивных вибраторов в режиме рефлектора и директора?
2. В чем заключается принцип работы директорной антенны?
3. Чем определяется и какой вид имеет диаграмма направленности директорной антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях?
4. От чего зависит характер сопротивления пассивного вибратора?
5. В чем отличие и преимущество шлейф-вибратора Пистолькорса от обычного полуволнового вибратора?
6. Объяснить возможные погрешности измерений.
7. На каком принципе основывается работа волноводно-щелевой антенны?
8. От чего зависит проводимость наклонной щели в узкой стенке прямоугольного волновода?
9. Почему щели в узкой стенке прямоугольного волновода наклонены в разные стороны?
10. Чем определяются диаграммы направленности в плоскости, проходящей через ось волновода и в плоскости, перпендикулярной оси волновода?
11. Что такое поляризационный эллипс?
12. Чем определяется уровень излучения паразитной поляризации?

Полное описание ЛР и контрольные вопросы приведены в пособиях

Антенны и устройства СВЧ : метод. указания к лаб. работам для спец. 23.01 / сост. Е. В. Петров ; Новгород. политехн. ин-т, Каф. "Теорет. основы радиотехники". - Новгород, 1990. - 54с. : ил. Ф1-1

Устройства СВЧ : метод. указания к лаб. работам для студентов спец. 23.01 по курсу "Антенны и устройства СВЧ" / сост. Е. В. Петров ; Новгород. политехн. ин-т, Каф. "Теорет. основы радиотехники". - Новгород, 1990. – 64 с. : ил. Ф1-3

Устройства сверхвысокой частоты и антенны. Часть 2. Антенны
Сборник заданий для компьютерного практикума по исследованию характеристик антенн с помощью программы mmana-gal basic

Задание 1. Функциональные возможности программы MMANA-GAL Basic.

1. Установить программу MMANA-GAL на компьютер. Запустить программу.
2. Изучить назначение и способ ввода исходных данных в разделах:

«Геометрия»

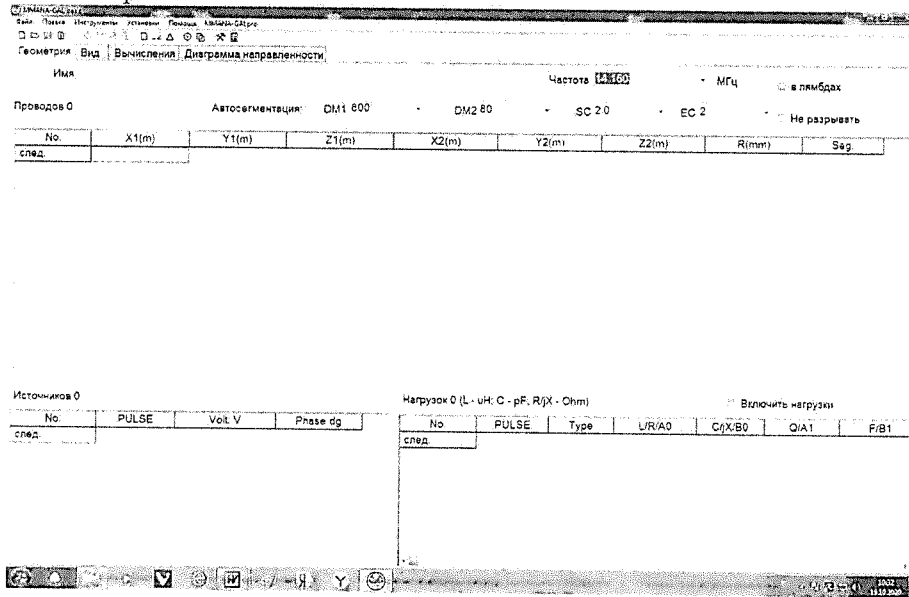


Рисунок 1. Раздел «Геометрия»

«Вид»

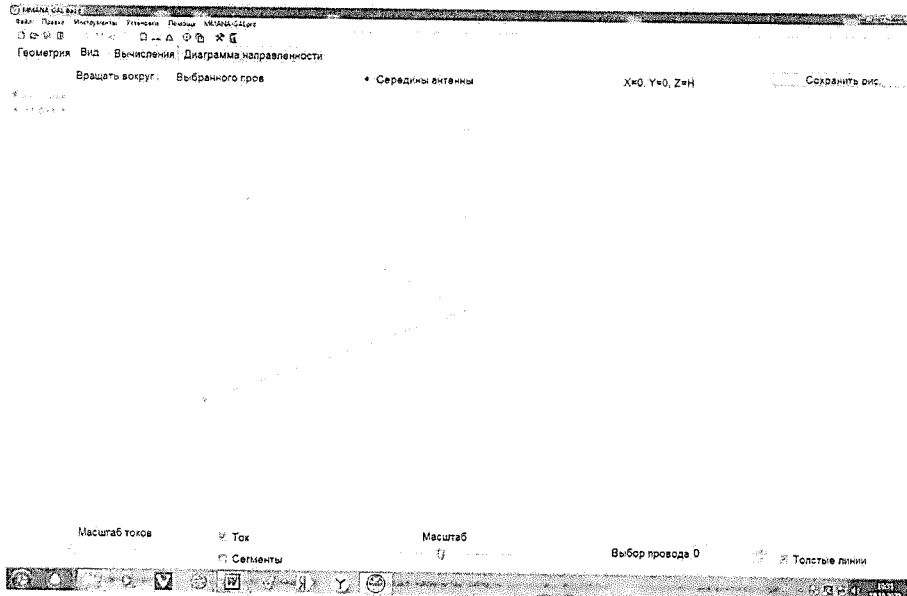


Рисунок 2. Раздел «Вид»

«Вычисления»

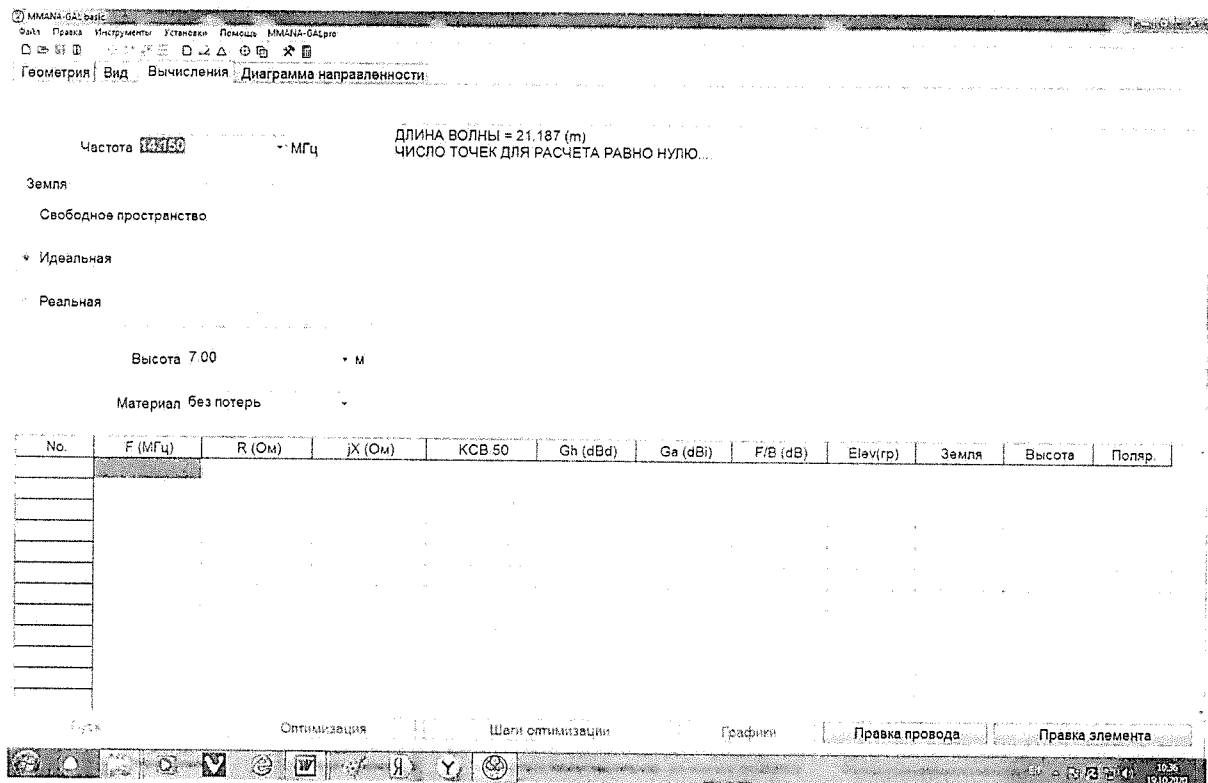


Рисунок 3. Раздел «Вычисления»

«Диаграмма направленности»

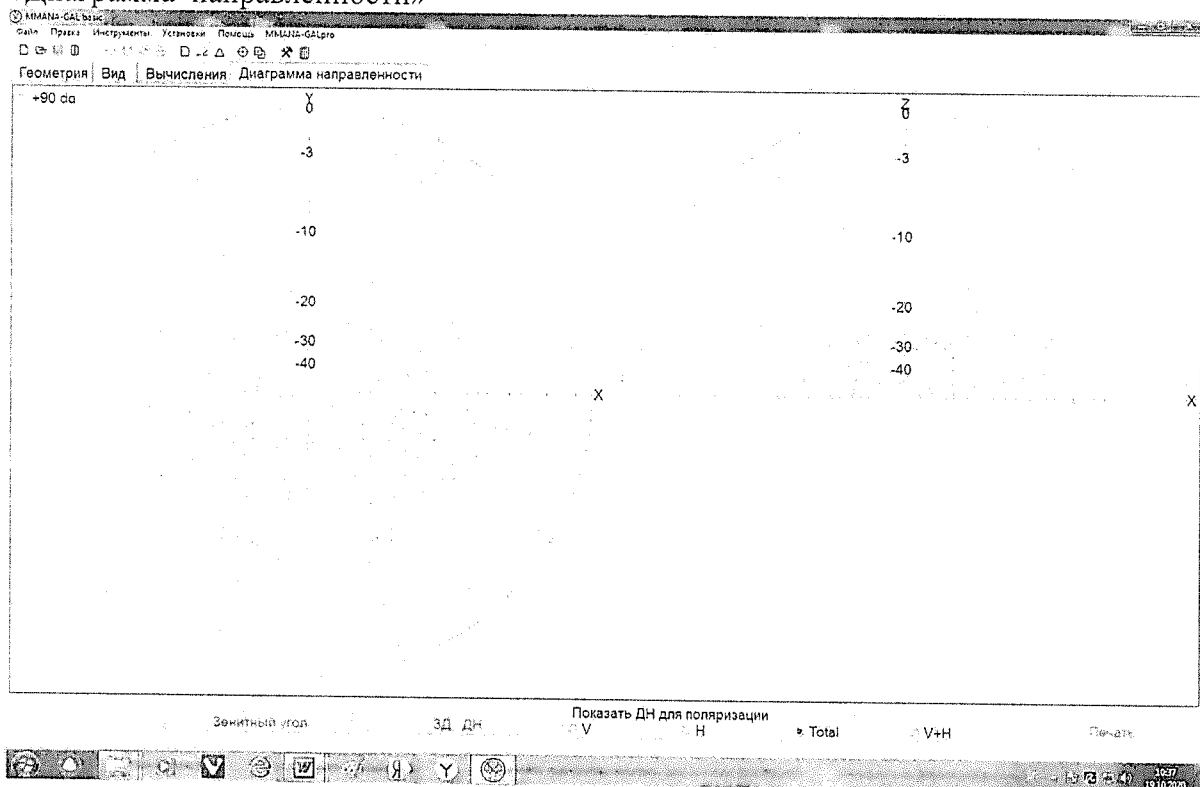


Рисунок 4. Раздел «Диаграмма направленности»

- Загрузить из архива любой файл с расширением *.maa.

4. В разделе «Вычисления» нажать «Пуск». Будут вычислены характеристики, в том числе 3D диаграмма направленности (рисунок 5.). Изучить данные, появившиеся в различных разделах.

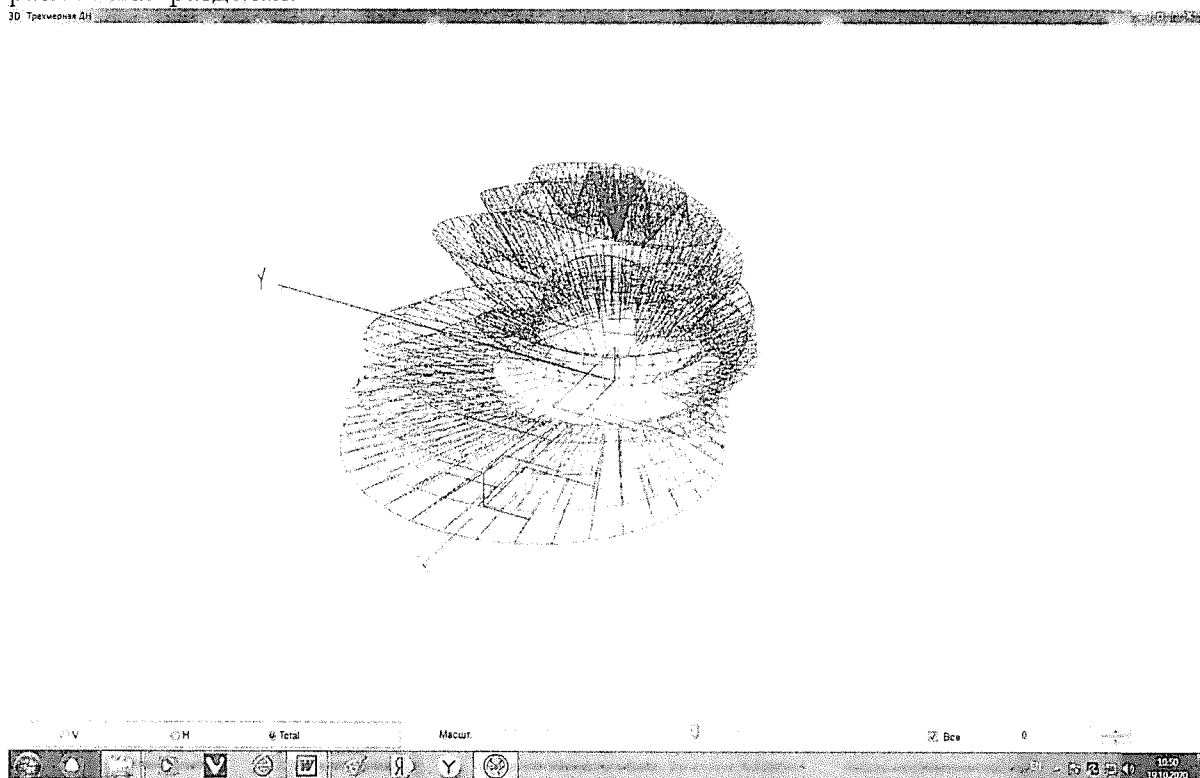


Рисунок 5. Пример 3D диаграммы направленности

Задание 2. Исследование характеристик симметричных вибраторных антенн в свободном пространстве

1. Исследовать диаграммы направленности вибраторных антенн в зависимости от их длины $2L = 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ длины волны. Радиус проводника задайте как $R = 0.001 \cdot N$ длины волны, где N – номер варианта.
2. Исследовать зависимости входного сопротивления антенн указанных в п.1 длин в полосе 20% от центральной частоты, которая задается формулой $50 \cdot N$ МГц, где N – номер варианта.
3. Исследовать зависимость коэффициента стоячей волны напряжения (SWR) в фидере 50 Ом для длин антенн указанных в п.1 в полосе 20% от центральной частоты, которая задается формулой $50 \cdot N$ МГц, где N – номер варианта. **В этом задании необходимо найти резонанс.**
4. Исследовать зависимость коэффициента усиления антенн с длинами указанными в п.1 в полосе 20% от центральной частоты, которая задается формулой $50 \cdot N$ МГц, где N – номер варианта.
5. Исследовать зависимость отношения вперед-назад излучения антенн с длинами указанными в п.1 в полосе 20% от центральной частоты, которая задается формулой $50 \cdot N$ МГц, где N – номер варианта.
6. Показать распределение тока по длине вибратора для всех указанных длин антенны.

Контрольные вопросы:

- Какая антенна называется симметричным вибратором?
- Перечислите геометрические параметры симметричной вибраторной антенны.
- Перечислите основные электрические характеристики симметричной вибраторной антенны.

- Какие известны методы расчета электрические характеристики симметричной вибраторной антенны.
- Объясните термин «Входное сопротивление» симметричной вибраторной антенны.
- Объясните термин «Диаграмма направленности антенны».
- Объясните термин «Поляризация антенны».

Задание 3. Исследование характеристик горизонтальных симметричных вибраторных антенн вблизи идеально проводящей поверхности земли

1. Исследовать диаграммы направленности полуволновой вибраторной антенны в зависимости от расстояния до идеальной земли. Длина $2L=0.5$ длины волны. Радиус проводника задайте как $R=0.001 \cdot N$ длины волны, где N – номер варианта.
2. Исследовать зависимости входного сопротивления антенны указанной в п.1 длин в зависимости от высоты подвеса.
3. Исследовать зависимость коэффициента стоячей волны напряжения (SWR) в фидере 50 Ом для антенны указанной в п.1 от высоты подвеса
4. Показать распределение тока по длине вибратора для одного случая расположения антенны.

Контрольные вопросы:

- Какая антенна называется горизонтальным симметричным вибратором?
- Перечислите геометрические параметры симметричной вибраторной антенны расположенной вблизи земли, расположенной горизонтально.
- Как меняется диаграмма направленности от высоты подвеса антенны.
- Объясните выражение «антенна с горизонтальной поляризацией».

Задание 4. Исследование характеристик вертикальных симметричных вибраторных антенн вблизи идеально проводящей поверхности земли

1. Исследовать диаграммы направленности полуволновой вибраторной антенны, расположенной вертикально, в зависимости от расстояния до идеальной земли. Длина $2L=0.5$ длины волны. Радиус проводника задайте как $R=0.001 \cdot N$ длины волны, где N – номер варианта.
2. Исследовать зависимости входного сопротивления антенны указанной в п.1 длин в зависимости от высоты подвеса.
3. Исследовать зависимость коэффициента стоячей волны напряжения (SWR) в фидере 50 Ом для антенны указанной в п.1 от высоты подвеса.
4. Показать распределение тока по длине вибратора для трех случаев расположения антенны.

Контрольные вопросы:

- Какая антенна называется вертикальным симметричным вибратором?
- Перечислите геометрические параметры симметричной вибраторной антенны расположенной вертикально вблизи земли.
- Как меняется диаграмма направленности от высоты подвеса антенны.
- Объясните выражение «антенна с вертикальной поляризацией».

Задание 5. Исследование антенны Бевереджа диапазона 350 м

1. Изучить принцип работы антенны Бевереджа.
2. Загрузить файл «Beverage 0.1 m.maa» из папки «Receive».
3. Изучить геометрию антенны и подключение источника и нагрузки.
4. Исследовать диаграммы направленности антенны Бевереджа на центральной частоте, заданной в файле и в двухкратной полосе частот. Радиус проводника задайте как $R=N / 2$ мм, где N – номер варианта.

5. Исследовать зависимости входного сопротивления антенны указанной в двухкратной полосе частот.
6. Исследовать зависимость коэффициента стоячей волны напряжения (SWR) в фидере 50 Ом в двухкратной полосе частот.
7. Показать распределение тока по длине вибратора для трех частот.

Контрольные вопросы:

- Кратко поясните принцип работы антенны Бевереджа
- Перечислите геометрические параметры антенны Бевереджа.
- Перечислите электрические параметры антенны Бевереджа.
- Какой параметр почвы необходим для работы антенны Бевереджа.
- Как меняется диаграмма направленности от частоты.
- С какой поляризацией работает антенны Бевереджа.

Задание 6. Исследование характеристик 2-х элементной вибраторной антенны в свободном пространстве

1. Рассчитать по приближенным формулам размеры антенны.

$$la = 14518 / f,$$

$$ld = 13725 / f,$$

$$a = 3660 / f,$$

где la – длина активного вибратора, ld – длина директора, a – расстояние между излучателями, f – частота. Линейные размеры рассчитываются в сантиметрах, частота в мегагерцах. Радиус проводника задайте как $R = 0.001 \cdot N$ длины волны, где N – номер варианта. Частота указана в таблице 1.

Таблица 1. Центральная частота

№ Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f , МГц	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
№ Вар.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
f , МГц	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100

Исследовать диаграмму направленности рассчитанной антенны.

2. Исследовать зависимости входного сопротивления антенны в пределах 20% полосы частот.
3. Исследовать зависимость коэффициента стоячей волны напряжения (SWR) в фидере 50 Ом в пределах 20% полосы частот.
4. Показать распределение тока по длине вибраторов на центральной частоте.
5. Переместите источник возбуждения в другой вибратор и повторите серию исследований.

Контрольные вопросы:

- Какой элемент антенны называют активным вибратором?
- Какие элементы антенны называют пассивными вибраторами?
- Как называются пассивные вибраторы?
- Какую длину, по отношению к активному вибратору, имеют рефлектор и директор?
- Объясните особенности формирования диаграммы направленности 2-х элементной антенны, состоящей из активного вибратора и директора.
- Объясните особенности формирования диаграммы направленности 2-х элементной антенны, состоящей из активного вибратора и рефлектора.

Задание 7. Исследование характеристик 3-х элементной вибраторной антенны в свободном пространстве

1. Рассчитать по приближенным формулам размеры антенны.

$$la = 14426.5 / f,$$

$$ld = 13572.5 / f,$$

$$lr = 15280.5 / f,$$

$$a = 7137 / f,$$

где la – длина активного вибратора, ld – длина директора, lr – длина рефлектора, a – расстояние между излучателями, f – частота. Линейные размеры рассчитываются в сантиметрах, частота в мегагерцах.

Радиус проводника задайте как $R = 0.001 \cdot N$ длины волны, где N – номер варианта. Частота указана в таблице 1.

Таблица 1. Центральная частота

№ Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f , МГц	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
№ Вар.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
f , МГц	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100

2. Исследовать диаграмму направленности рассчитанной антенны.
3. Исследовать зависимости входного сопротивления антенны в пределах 20% полосы частот.
4. Исследовать зависимость коэффициента стоячей волны напряжения (SWR) в фидере 50 Ом в пределах 20% полосы частот.
5. Показать распределение тока по длине вибраторов на центральной частоте.

Контрольные вопросы:

- Какой элемент антенны называют активным вибратором?
- Какие элементы антенны называют пассивными вибраторами?
- Как называются пассивные вибраторы?
- Какую длину, по отношению к активному вибратору, имеют рефлектор и директор?
- Объясните особенности формирования диаграммы направленности 3-х элементной антенны, состоящей из активного вибратора и директора и рефлектора.
- Как можно повысить коэффициент направленного действия директорной антенны?

Приложение Б
(обязательное)

**Карта учебно-методического обеспечения
Учебной модуля Устройства сверхвысокой частоты и антенны**

1. Основная литература*

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Нефедов Е. И. Устройства СВЧ и антенны: учебное пособие для вузов / Е. И. Нефёдов. - Москва: Академия, 2009. - 375, [2] с.: ил. - (Высшее профессиональное образование. Радиоэлектроника). - Библиогр.: с. 363-367. - Указ.: с. 368-371. - ISBN 978-5-7695-4710-2 : (в пер.) : 442.86. - 475.20. - 654.50. 3000 экз.	16	
2 Антенны и устройства (СВЧ): расчет и измерение характеристик: учебное пособие для вузов / авт.: Ю. Е. Мительман [и др.]; под общ. ред. Ю. Е. Мительмана ; Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. - Москва: Юрайт ; Екатеринбург : Издательство Урал. ун-та, 2018. - 138, [1] с. : ил. - (Университеты России). - Библиогр.: с. 138. - Кн. доступна в ЭБС biblio-online.ru. - ISBN 978-5-534-03401-1. - ISBN 978-5-7996-1821-6 : (в пер.) : 404.56. 100 экз.	10	
Электронные ресурсы		
1		
2		

2. Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
Гончаренко И. В. Антенны КВ и УКВ. Ч. 3: Простые КВ антенны. - Москва: РадиоСофт : Журнал "Радио", 2006. - 285, [2] с.: ил. - ISBN 5-93037-149-0 : 167.00.	1	
2. Радциг Ю. Ю. Теория и методы решения интегральных уравнений вибраторных антенн : учебное пособие для вузов / Ю. Ю. Радциг, А. В. Сочилин, С. И. Эминов ; Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2007. - 54, [1] с.: ил. - Библиогр.: с. 52-54. - 13.15. 150 экз.	11	
3 Петров Б. М. Логопериодические вибраторные антенны: учебное пособие для вузов. - Москва: Горячая линия-Телеком, 2005. - 239 с.: ил. - (Учебное пособие для вузов). - Библиогр.: с. 234-236. - ISBN 5-93517-191-0 : 230.80. - 180.00.	2	
Электронные ресурсы		
1		
2		

Зав. кафедрой

« 26 »

подпись

И. Н. Жукова

И. О. Фамилия

20 20 г.

Рабочая программа актуализирована на 2021/2022 учебный год.

Протокол № 156 заседания кафедры от «26» ноября 2020 г.Протокол № 156 заседания кафедры от «26» ноября 2020 г.

Разработчик: доцент А.В.Сочилин

Зав. кафедрой РС И.Н.Жукова

Рабочая программа актуализирована на 20__ / 20__ учебный год.

Протокол № _____ заседания кафедры от « _____ » _____ 20__ г.

Разработчик: _____

Зав. кафедрой _____

Рабочая программа актуализирована на 20__ / 20__ учебный год.

Протокол № _____ заседания кафедры от « _____ » _____ 20__ г.

Разработчик: _____

Зав. кафедрой _____

[illegible]