


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный  
университет им. Х.М. Бербекова» (КБГУ)

Институт электроники, робототехники и искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОПОП

 Р.Ш. Тешев

« 12 » февраля 2025 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
Б1.О.21 «ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ  
РАДИОВОЛН»**

Специальность

**11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы**

Специализация

**Радиоэлектронные системы передачи информации**

Квалификация (степень) выпускника

**Инженер**

Форма обучения

**Очная**

Нальчик 2025

**1.Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине  
(модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

**Таблица 1**

Код и формулировка компетенции	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВ)
<p><b>ОПК-3.</b> Способен к логическому мышлению, обобщению, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения, освоению работы на современном измерительном, диагностическом и технологическом оборудовании, используемом для решения различных научно-технических задач в области радиоэлектронной техники и информационно-коммуникационных технологий</p>	<p><b>ОПК-3.1.</b> Способен понимать методы решения задач анализа и расчета характеристик радиоэлектронных систем и устройств с применением современных средств измерения и проектирования.</p>	<p><b>Знать</b> методы решения задач анализа и расчета характеристик радиоэлектронных систем и устройств, с применением современных средств измерения и проектирования.</p>
	<p><b>ОПК-3.2.</b> Способен анализировать, моделировать и прогнозировать поведение радиоэлектронных систем и комплексов.</p>	<p><b>Уметь</b> подготавливать научные публикации на основе результатов исследований.</p>
	<p><b>ОПК-3.3</b> Способен работать на современном измерительном и диагностическом оборудовании.</p>	<p><b>Владеть</b> навыками использования методов решения задач анализа и расчета характеристик радиоэлектронных систем и устройств.</p>
<p><b>ПК-2.</b> Способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных.</p>	<p><b>ПК-1.</b> Способен применять современные методы, средства и оборудование для проведения экспериментальных исследований.</p>	<p><b>Знать</b> способы работы с конструкторской, технической, эксплуатационной документацией по обслуживанию радиоэлектронных систем.</p>
	<p><b>ПК-2.2.</b> Способен анализировать и обобщать данные, получаемые в результате экспериментов.</p>	<p><b>Уметь</b> использовать возможности контрольно-измерительной аппаратуры и методы обработки результатов измерений.</p>
	<p><b>ПК-2.3.</b> Способен объективно оценивать полученные результаты экспериментальных исследований и погрешности результатов измерений.</p>	<p><b>Владеть</b> способами применения современных пакетов прикладных программ для обработки результатов.</p>

## 2 Шкала оценивания планируемых результатов обучения

### 2.1 Текущий контроль

Оценка результатов текущей успеваемости в рамках контрольных точек осуществляется посредством 70-балльной системы, при этом за добросовестное посещение занятий обучающийся может набрать до 10 баллов, за качественное прохождение оценочных мероприятий – до 60 баллов.

Таблица 2

#### Карта распределения рейтинговых баллов в рамках текущего контроля в 5 семестре

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
1	Лабораторная работа № 1 «Визуализация статических и стационарных полей».	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
2	Лабораторная работа № 2 «Решение волнового уравнения. Исследование плоской волны».	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
3	Лабораторная работа № 3 «Коэффициенты Френеля и поляризация».	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
4	Лабораторная работа № 4 «Распространение в средах с потерями».	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий

	Скин-эффект».		студентами на компьютере.		выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
5	Лабораторная работа № 5 «Моделирование длинной линии. Стоячие волны».	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
6	Лабораторная работа № 6 «Диаграмма Смита. Компьютерное согласование».	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
7	Лабораторная работа № 7 «Моды в прямоугольном волноводе».	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
8	Лабораторная работа № 8 «Поле элементарного электрического диполя».	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
9	Лабораторная работа № 9 «Моделирование симметричного вибратора».	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки.

					0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
10	Лабораторная работа №10 «Линейная антенная решетка».	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
11	Лабораторная работа № 11 «Параметры антенны: моделирование в САПР»	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
	Лабораторная работа № 12 «Распространение над реальной землей»	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
	Лабораторная работа № 13 «Ионосферное распространение. Модель плазмы»	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
	Лабораторная работа № 14 «Многолучевое распространение в городе»	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно

					неверно
	Лабораторная работа № 15 «Дифракция на препятствии. Метод Кирхгофа и зоны Френеля»	Компьютерная	Работа включает в себя задания, которые выполняются студентами на компьютере.	2	2 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
11	Тесты 1	с применением ДТ	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС.	8	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
12	Тесты 2	с применением ДТ	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС.	8	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
13	Коллоквиум 1	письменная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	7	7-6– ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 5-4 – ответы в основном правильные, но содержат незначительные ошибки; 3- ответы недостаточно полные; 2 – ответы частичные, содержат ошибки или требуют наводящих вопросов; 1-ответы не на все вопросы, частичные. 0 – ответы отсутствуют или полностью неверные.
14	Коллоквиум 2	письменная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	7	7-6– ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 5-4 – ответы в основном правильные, но содержат

					<p>незначительные ошибки;</p> <p>3- ответы недостаточно полные;</p> <p>2 – ответы частичные, содержат ошибки</p> <p>или требуют наводящих вопросов;</p> <p>1-ответы не на все вопросы, частичные.</p> <p>0 – ответы отсутствуют или полностью неверные.</p>
	<b>Итого:</b>			<b>60</b>	

### Карта распределения баллов в рамках промежуточной аттестации

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
1	Экзаменационный билет	Устный опрос	Билет содержит 2 теоретических вопроса. На теоретические вопросы студент должен ответить устно.	Теоретические вопросы – 30 баллов.	<p><b><u>Критерии оценивания теоретических вопросов:</u></b></p> <p>От 25 до 30 баллов: Глубокий уровень владения материалом, точное знание ключевых концепций, способность анализировать и интерпретировать факты, грамотно строить высказывания, привести примеры, свободно оперировать терминологией.</p> <p>От 19 до 24 баллов: Базовое владение предметом, умение последовательно раскрыть основную мысль вопроса, грамотное применение терминов, наличие существенных элементов анализа и обобщений, но недостаточное развертывание или отдельные неточности.</p> <p>От 13 до 18 баллов: Частичное освоение материала, попытка объяснить основной смысл вопроса, использование некоторых базовых терминов, но отсутствие глубокого понимания сложных моментов, логические недостатки изложения, отсутствие выводов.</p> <p>От 7 до 12 баллов: Ошибочные представления, слабо выраженное владение основными понятиями, значительные затруднения в интерпретации вопросов, существенные фактологические ошибки, отсутствие обоснованных выводов и примеров.</p> <p>От 0 до 6 баллов: Полное непонимание темы, неспособность сформулировать адекватный ответ, грубые ошибки, несоответствие требованиям задания.</p>

### 3. Оценочные материалы для текущего и промежуточного контроля успеваемости

#### 3.1. Оценочные материалы для текущего контроля

#### Лабораторные работы

Модуль 1: Основы и аналитика (4 работы)

Лабораторная работа № 1 «**Визуализация статических и стационарных полей**».

Моделирование полей точечного заряда, диполя, бесконечной заряженной нити и плоскости. Расчет и отрисовка силовых линий электрического (**E**) и магнитного (**H**) полей прямого и кругового токов. Проверка выполнения граничных условий на поверхности проводника.

*Инструменты: MATLAB (quiver, contour), Python.*

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

Лабораторная работа № 2 «**Решение волнового уравнения. Исследование плоской волны**».

Численное решение одномерного волнового уравнения методом конечных разностей (FDTD 1D). Наблюдение за распространением гауссова импульса в свободном пространстве и при отражении от границы сред с разными  $\epsilon$ ,  $\mu$ . Визуализация полей **E** и **H** во времени.

*Инструменты: Python (собственный скрипт FDTD).*

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

Лабораторная работа № 3 «**Коэффициенты Френеля и поляризация**».

Программный расчет коэффициентов отражения (**R**) и прохождения (**T**) для параллельной и перпендикулярной поляризации в зависимости от угла падения. Построение графиков  $R(\theta)$ . Моделирование и анимация эллиптически и циркулярно поляризованных волн. Демонстрация эффекта Брюстера.

*Инструменты: MATLAB, Python (расчеты и анимация).*

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

Лабораторная работа № 4 «**Распространение в средах с потерями. Скин-эффект**».

Расчет и построение графиков глубины скин-слоя  $\delta$  от частоты для разных металлов (Cu, Al, Fe). Моделирование затухания плоской волны в проводящей среде ( $\epsilon''$ ,  $\sigma$ ). Визуализация экспоненциального спада амплитуды поля **E(z)**.

*Инструменты: MATLAB, Python.*

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

Модуль 2: Линии передачи и волноводы (3 работы)

Лабораторная работа № 5 «**Моделирование длинной линии. Стоячие волны**».

Использование модели линии передачи с распределенными параметрами (телеграфные уравнения) в Simulink или Qucs-S. Исследование режимов: согласованная нагрузка, холостой ход, короткое замыкание, произвольная нагрузка. Построение распределения напряжения и тока вдоль линии, определение КСВ.

*Инструменты: Simulink (Simscape Electrical), Qucs-S.*

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

Лабораторная работа № 6 «**Диаграмма Смита. Компьютерное согласование**».

Разработка скрипта для отображения траектории комплексного коэффициента отражения  $\Gamma$  на диаграмме Смита при изменении длины линии или нагрузки. Решение задачи

согласования с помощью одного и двух шлейфов: нахождение длин шлейфов и точек подключения.

*Инструменты: MATLAB (RF Toolbox), Python (скрипт).*

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

Лабораторная работа № 7 «**Моды в прямоугольном волноводе**».

Решение уравнения Гельмгольца для полости/волновода. Численное определение критических частот мод  $H_{10}$ ,  $H_{01}$ ,  $E_{10}$ . Визуализация структуры силовых линий полей  $E$  и  $H$  для основной моды  $H_{10}$ . Исследование зависимости фазовой и групповой скоростей от частоты.

*Инструменты: MATLAB (PDE Toolbox), Python (визуализация).*

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

Модуль 3: Антенны и излучение (4 работы)

Лабораторная работа № 8 «**Поле элементарного электрического диполя**».

Расчет и 3D-визуализация полей в ближней (реактивной), промежуточной и дальней (волновой) зонах. Построение трехмерной и двумерных диаграмм направленности. Расчет сопротивления излучения.

*Инструменты: MATLAB (Antenna Toolbox), Python (расчет и Mayavi/Plotly для 3D).*

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

Лабораторная работа № 9 «**Моделирование симметричного вибратора**».

Расчет распределения тока по длине вибратора для разных соотношений  $L/\lambda$ . Построение диаграммы направленности в зависимости от длины вибратора ( $\lambda/2$ ,  $\lambda$ ,  $3\lambda/2$ ). Исследование входного сопротивления, определение резонансных длин.

*Инструменты: MATLAB Antenna Toolbox, численный метод моментов (NEC-скрипт).*

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

Лабораторная работа № 10 «**Линейная антенная решетка**».

Скрипт для расчета ДН линейной эквидистантной решетки из изотропных излучателей и вибраторов. Исследование влияния на ДН: числа элементов, расстояния между ними, амплитудного и фазового распределения. Моделирование сканирования луча изменением фазы.

*Инструменты: MATLAB (Phased Array System Toolbox), Python.*

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

Лабораторная работа № 11 «**Параметры антенны: моделирование в САПР**».

Создание простой модели антенны (патч-антенна, спираль) в CST Studio Suite или аналоги. Проведение частотного анализа: расчет КСВ, коэффициента усиления, диаграммы направленности в 3D. Связь симуляции с теорией (эффективная площадь, КНД).

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

Модуль 4: Распространение волн (4 работы)

Лабораторная работа № 12 «**Распространение над реальной землей**».

Моделирование поля вертикального диполя над землей с конечной проводимостью по формулам В.А. Фока. Сравнение структуры поля для идеальной и реальной земли. Оценка влияния диэлектрической проницаемости и проводимости грунта на ослабление поверхностной волны.

*Инструменты: MATLAB (расчет по аналитическим формулам).*

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

Лабораторная работа № 13 «**Ионосферное распространение. Модель плазмы**».  
 Расчет критической частоты и МПЧ для заданного профиля электронной концентрации ионосферы. Моделирование траектории луча в плазме с линейным или параболическим профилем. Анализ поляризационных эффектов (вращение Фарадея).

Лабораторная работа № 14 «**Многолучевое распространение в городе**».  
 Моделирование канала с замираниями на основе модели 2-х лучей (прямой + отраженный от земли). Построение графиков интерференционной картины (зависимость уровня сигнала от расстояния или частоты). Оценка влияния разности хода лучей. Генерация реализаций замираний по закону Рэля и Райса.  
*Инструменты: MATLAB (Comm Toolbox), Python.*

Лабораторная работа № 15 «**Дифракция на препятствии. Метод Кирхгофа и зоны Френеля**».  
 Расчет ослабления из-за дифракции на идеально поглощающем полуплоскости (формулы). Построение профиля распространения для трассы с препятствием. Численный расчет поля за экраном с помощью упрощенного интеграла Кирхгофа (2D). Визуализация зон Френеля.  
*Инструменты: MATLAB, Python (численное интегрирование).*

### Практические (семинарские) занятия

№ п/п	Наименование практического занятия
Блок 1: Основы теории поля и плоские волны (5 занятий)	
1	<p><b>Операции с векторными полями и граничные условия.</b>  <b>Задачи:</b> Вычисление градиента, дивергенции, ротора для заданных функций. Применение теоремы Стокса и Гаусса. Запись граничных условий для конкретных конфигураций полей на границе раздела диэлектрик-диэлектрик, диэлектрик-идеальный проводник.  <b>Цель:</b> Закрепление математического аппарата и физического смысла операций.</p>
2	<p><b>Решение уравнений Максвелла для простых случаев.</b>  <b>Задачи:</b> Расчет электрического поля от заданного распределения зарядов (сфера, цилиндр) с использованием теоремы Гаусса. Расчет магнитного поля от заданных контуров с током (прямой провод, кольцо) с использованием закона Био-Савара.  <b>Цель:</b> Прямое применение уравнений Максвелла в интегральной форме.</p>
3	<p><b>Параметры плоской волны и вектор Пойнтинга.</b>  <b>Задачи:</b> Расчет фазовой скорости, длины волны, волнового сопротивления, глубины скин-слоя в различных средах (воздух, диэлектрик, проводник). Вычисление среднего значения вектора Пойнтинга и мощности, переносимой волной через заданную площадку. Определение плотности энергии поля.  <b>Цель:</b> Освоение базовых формул и связей между параметрами волны.</p>
4	<p><b>Падение плоской волны на границу раздела. Законы Френеля.</b>  <b>Задачи:</b> Расчет углов отражения и преломления по закону Снеллиуса. Определение коэффициентов отражения (R) и прохождения (T) для обеих поляризаций. Расчет коэффициента стоячей волны (КСВ). Задачи на угол Брюстера и условие полного внутреннего отражения.  <b>Цель:</b> Навык анализа отражения и преломления на границах.</p>

5	<p><b>Поляризация электромагнитных волн.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Задачи:</b> Анализ состояния поляризации по заданным компонентам <math>E_x</math> и <math>E_y</math> (определение типа – линейная, круговая, эллиптическая; направления вращения). Расчет параметров поляризационного эллипса. Задачи на разложение произвольной поляризации на ортогональные составляющие.</li> </ul> <p><b>Цель:</b> Уверенная работа с понятием поляризации и ее параметрами.</p>
Блок 2: Линии передачи и волноводы (4 занятия)	
6	<p><b>Расчет параметров длинных линий.</b></p> <p><b>Задачи:</b> Определение первичных параметров (R, L, G, C) коаксиальной и двухпроводной линии по геометрическим размерам. Расчет вторичных параметров: волнового сопротивления <math>Z_w</math>, постоянной распространения <math>\gamma</math>, фазовой скорости. Расчет затухания в линии на заданной частоте.</p> <p><b>Цель:</b> Переход от геометрии линии к ее эквивалентным электрическим параметрам.</p>
7	<p><b>Режимы работы линии передачи. Стоячие волны.</b></p> <p><b>Задачи:</b> Расчет распределения напряжения и тока вдоль неоднородной линии. Определение КСВ и входного сопротивления линии при различных нагрузках (КЗ, ХХ, активная, комплексная). Расчет длины линии для получения требуемого входного сопротивления (режимы четвертьволнового трансформатора, полуволнового повторителя).</p> <p><b>Цель:</b> Освоение методов анализа линий со стоячими волнами.</p>
8	<p><b>Работа с диаграммой Смита.</b></p> <p><b>Задачи:</b> Графическое решение задач на согласование нагрузки с линией с помощью одного и двух шлейфов. Определение положения и длины шлейфа. Преобразование комплексного импеданса в коэффициент отражения и обратно. Нахождение входного импеданса по заданному КСВ и положению минимума.</p> <p><b>Цель:</b> Развитие практического навыка использования диаграммы Смита.</p>
9	<p><b>Критические параметры и моды волноводов.</b></p> <p><b>Задачи:</b> Расчет критической длины волны (частоты) для различных типов волн (<math>H_{mn}</math>, <math>H_{mn}</math>, <math>E_{mn}</math>) в прямоугольном волноводе. Определение рабочих диапазонов волновода. Расчет фазовой и групповой скоростей для заданной моды на рабочей частоте.</p> <p><b>Цель:</b> Освоение методики расчета и выбора режима работы волновода.</p>
Блок 3: Антенны (4 занятия)	
10	<p><b>Поле элементарного излучателя и вибратора Герца.</b></p> <p><b>Задачи:</b> Расчет напряженности поля в дальней зоне для заданной мощности и расстояния. Определение сопротивления излучения и КНД элементарного диполя. Сравнение диаграмм направленности в экваториальной и меридиональной плоскостях.</p> <p><b>Цель:</b> Закрепление основ теории излучения.</p>
11	<p><b>Расчет параметров симметричного вибратора.</b></p> <p><b>Задачи:</b> Построение диаграммы направленности вибратора для разных отношений <math>L/\lambda</math>. Расчет входного сопротивления в точке питания. Определение резонансной длины вибратора и полосы пропускания по уровню КСВ.</p> <p><b>Цель:</b> Переход от теории к расчету реальной антенны.</p>
12	<p><b>Антенные решетки (АР).</b></p> <p><b>Задачи:</b> Расчет множителя решетки и общей ДН для линейной АР с равными амплитудами. Определение ширины главного лепестка и уровня боковых лепестков. Расчет угла сканирования луча при заданном фазовом сдвиге между элементами.</p> <p><b>Цель:</b> Освоение принципа перемножения диаграмм и основ синтеза АР.</p>

13	<p><b>13: Основные параметры антенн.</b>  <b>Задачи:</b> Комплексный расчет по заданным или измеренным данным: определение КНД, коэффициента усиления (G) с учетом КПД, эффективной площади (<math>A_{eff}</math>). Установление связи между коэффициентом усиления и шириной диаграммы направленности. Расчет уровня бокового излучения.  <b>Цель:</b> Систематизация знаний по параметрам и их взаимосвязи.</p>
Блок 4: Распространение радиоволн (4 занятия)	
14	<p><b>14: Тропосферное распространение. Рефракция.</b>  <b>Задачи:</b> Расчет радиуса Земли с учетом рефракции (эффективного радиуса). Построение профиля трассы с учетом кривизны Земли и стандартной рефракции. Оценка необходимости учета рефракции для заданной дальности связи. Расчет просвета над препятствием.  <b>Цель:</b> Применение моделей рефракции для анализа условий прямой видимости.</p>
15	<p><b>Ионосферное распространение.</b>  <b>Задачи:</b> Расчет критической частоты <math>f_0</math> и максимальной применимой частоты (МПЧ) для заданного слоя ионосферы и угла падения. Определение угла места, при котором возможна связь на заданной частоте. Оценка времени задержки сигнала при ионосферном отражении.  <b>Цель:</b> Освоение методов расчета ионосферных трасс.</p>
16	<p><b>Дифракция радиоволн. Зоны Френеля.</b>  <b>Задачи:</b> Расчет радиусов зон Френеля для заданной трассы. Определение потерь на дифракцию для препятствий в виде одиночного ножа, сферического препятствия. Оценка требуемого просвета на трассе для обеспечения заданного уровня потерь.  <b>Цель:</b> Навык учета влияния препятствий на распространение.</p>
17	<p><b>Расчет бюджета радиолинии.</b>  <b>Задачи:</b> Комплексная задача. Расчет мощности на входе приемника (уровня сигнала) с учетом: мощности передатчика, потерь в фидерах, коэффициентов усиления передающей и приемной антенн, потерь на трассе (свободное пространство, дифракция, атмосферные ослабления). Определение запаса на замирания и соотношения сигнал/шум.  <b>Цель:</b> Интеграция всех изученных разделов для решения типовой инженерной задачи.</p>

### **Вопросы для тестирования**

I:

S: Основными силовыми характеристиками электромагнитного поля являются:

+: Напряженность электрического поля  $E$  и магнитная индукция  $B$

-: Электрическое смещение  $D$  и магнитная индукция  $B$

-: Напряженность электрического поля  $E$  и напряженность магнитного поля  $H$

-: Электрическое смещение  $D$  и напряженность магнитного поля  $H$

I:

S: В уравнении Максвелла, выражающем закон электромагнитной индукции Фарадея, ротор вектора  $E$  равен:

-: Плотности тока смещения

+: Взятый со знаком минус скорости изменения магнитной индукции

-: Плотности свободных зарядов

-: Магнитной индукции

I:

S: В уравнении Максвелла, обобщающем закон полного тока, ротор вектора  $\mathbf{H}$  равен:

- +: Сумме плотности тока проводимости и скорости изменения электрического смещения
- : Скорости изменения магнитной индукции
- : Плотности свободных зарядов
- : Взятый со знаком минус скорости изменения электрического смещения

I:

S: Термин "ток смещения" ввел:

- : Фарадей
- : Ампер
- +: Максвелл
- : Герц

I:

S: Уравнение непрерывности (закон сохранения заряда) является следствием:

- +: Уравнений Максвелла
- : Принципа суперпозиции
- : Закона Кулона
- : Закона Ома

I:

S: На границе раздела двух идеальных диэлектриков непрерывны тангенциальные составляющие векторов:

- +:  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$
- :  $\mathbf{D}$  и  $\mathbf{B}$
- :  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{B}$
- :  $\mathbf{D}$  и  $\mathbf{H}$

I:

S: На поверхности идеального проводника тангенциальная составляющая вектора  $\mathbf{E}$  равна:

- +: Нулю
- : Бесконечности
- : Производной от тангенциальной составляющей  $\mathbf{H}$
- : Поверхностной плотности заряда

I:

S: Вектор Пойнтинга характеризует:

- : Энергию электрического поля
- : Энергию магнитного поля
- +: Плотность потока мощности электромагнитного поля
- : Плотность электрического заряда

I:

S: В однородной и изотропной среде без потерь из уравнений Максвелла можно получить волновое уравнение для вектора  $\mathbf{E}$ . Оно имеет вид:

- +:  $\nabla^2 \mathbf{E} - (\epsilon\mu/c^2) \partial^2 \mathbf{E} / \partial t^2 = 0$  (или аналогичный с  $\epsilon\mu$ )
- :  $\nabla \mathbf{E} = \rho / \epsilon$
- :  $\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$

-:  $\nabla^2 E + k^2 E = 0$  (только для монохроматических волн)

I:

S: Плоская электромагнитная волна в вакууме распространяется со скоростью:

+:  $c = 1/\sqrt{\epsilon \mu}$

-:  $c = \sqrt{\epsilon \mu}$

-:  $c = \epsilon / \mu$

-:  $c = \lambda f$

I:

S: В плоской однородной волне векторы E, H и направление распространения:

-: Все параллельны друг другу

+: Образуют правую тройку ортогональных векторов

-: Образуют левую тройку ортогональных векторов

-: Векторы E и H параллельны, а направление распространения им перпендикулярно

I:

S: Волновое сопротивление свободного пространства Z приблизительно равно:

+:  $120\pi \approx 377$  Ом

-: 75 Ом

-: 50 Ом

-: 0 Ом

I:

S: Волновое сопротивление среды для плоской волны определяется как отношение:

+: Амплитуды электрического поля к амплитуде магнитного поля

-: Амплитуды магнитного поля к амплитуде электрического поля

-: Фазовой скорости к скорости света

-: Длины волны в среде к длине волны в вакууме

I:

S: Глубина скин-слоя в проводящей среде - это расстояние, на котором амплитуда поля уменьшается в:

+: e раз ( $\approx 2.718$ )

-: 2 раза

-: 10 раз

-:  $\pi$  раз

I:

S: Глубина скин-слоя  $\delta$  обратно пропорциональна:

+: Корню квадратному из проводимости среды и частоты

-: Проводимости среды

-: Частоте

-: Корню квадратному из магнитной проницаемости

I:

S: При падении плоской волны из среды 1 в среду 2 угол преломления определяется:

+: Законом Снеллиуса:  $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

-: Углом Брюстера

-: Углом полного внутреннего отражения

-: Произвольно

I:

S: Если при падении волны из оптически более плотной среды в менее плотную угол падения превышает критический угол, наблюдается:

- + : Полное внутреннее отражение
- : Полное прохождение
- : Угол Брюстера
- : Увеличение коэффициента отражения, но не до 1

I:

S: Угол Брюстера - это угол падения, при котором:

- + : Отраженная волна имеет только составляющую, перпендикулярную плоскости падения (s-поляризация)
- : Отраженная волна отсутствует полностью
- : Преломленная волна идет вдоль границы
- : Коэффициент отражения для волны с параллельной поляризацией (p) равен нулю

I:

S: Коэффициент стоячей волны (КСВ) определяется как отношение:

- + : Максимального значения амплитуды напряжения к минимальному вдоль линии
- : Минимального значения амплитуды напряжения к максимальному
- : Амплитуды падающей волны к амплитуде отраженной
- : Амплитуды отраженной волны к амплитуде падающей

I:

S: Волновое сопротивление коаксиальной линии зависит от:

- + : Отношения внешнего радиуса к внутреннему
- : Длины линии
- : Материала проводников
- : Частоты сигнала (в общем случае)

I:

S: В прямоугольном волноводе тип волны, имеющий наименьшую критическую частоту, называется:

- + : Основной модой (для прямоугольного - H<sub>10</sub> или TE<sub>10</sub> )
- : Высшей модой
- : TEM-волной
- : E-волной (TM)

I:

S: В волноводе фазовая скорость:

- + : Больше скорости света в среде, заполняющей волновод
- : Меньше скорости света в среде, заполняющей волновод
- : Всегда равна скорости света
- : Не определена

I:

S: Для волны типа TEM (поперечная электромагнитная) в линии передачи справедливо:

- + : Оба вектора, E и H, лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения
- : Имеется продольная составляющая электрического поля
- : Имеется продольная составляющая магнитного поля
- : Она не может существовать в коаксиальной линии

I:

S: Элементарный электрический диполь (вибратор Герца) - это:

- + : Короткий отрезок провода с током, постоянным по длине
- : Два точечных заряда
- : Круговой виток с током
- : Точечный источник излучения без определенной структуры

I:

S: В дальней зоне (зоне Фраунгофера) поля излучателя зависят от расстояния  $R$  как:

- + :  $1/R$
- :  $1/R^2$
- : const
- :  $R$

I:

S: Диаграмма направленности элементарного электрического диполя в плоскости, проходящей через его ось, имеет форму:

- + : Восьмерки (два лепестка)
- : Круга
- : Кардиоиды
- : Очень узкого лепестка

I:

S: Сопротивление излучения характеризует:

- : Потери в проводе антенны
- + : Способность антенны излучать энергию; связывает мощность излучения с током в антенне
- : Входное сопротивление антенны на резонансе
- : Потери в земле

I:

S: Коэффициент направленного действия (КНД) антенны определяется как отношение:

- + : Плотности потока мощности, создаваемой антенной в данном направлении, к средней плотности мощности по всем направлениям
- : Мощности, подводимой к антенне, к мощности излучения
- : Излучаемой мощности к мощности, подводимой к антенне
- : Максимальной плотности потока мощности к минимальной

I:

S: Коэффициент усиления антенны  $G$  связан с КНД  $D$  через:

- + : Коэффициент полезного действия антенны:  $G = \eta D$
- : Волновое сопротивление:  $G = D/Z$
- : Длину волны:  $G = D/\lambda$
- : Это одно и то же:  $G = D$

I:

S: Для идеальной (без потерь) изотропной антенны коэффициент усиления равен:

- + : 1 (0 дБ)
- : 1.64 (2.15 дБ, как у полуволнового диполя)
- : 0 ( $-\infty$  дБ)
- : Зависит от частоты

I:

S: Эффективная площадь (раскрыв) приемной антенны  $A_{eff}$  связана с коэффициентом усиления  $G$  формулой:

+:  $A_{eff} = (\lambda^2 / (4\pi)) * G$

-:  $A_{eff} = (4\pi / \lambda^2) * G$

-:  $A_{eff} = G / Z$

-:  $A_{eff} = G * \lambda$

I:

S: Теорема взаимности для антенн утверждает, что:

+: Диаграмма направленности и входное сопротивление антенны одинаковы в режимах передачи и приема

-: Антенна излучает только на резонансной частоте

-: КНД антенны не зависит от частоты

-: Все антенны имеют одинаковое сопротивление излучения

I:

S: Диаграмма направленности антенной решетки определяется как произведение:

+: Диаграммы направленности одиночного излучателя (множителя элемента) на множитель решетки

-: Сопротивлений излучения каждого элемента

-: Коэффициентов усиления каждого элемента

-: Амплитуд токов в каждом элементе

I:

S: Линейная антенная решетка - это:

+: Система идентичных излучателей, расположенных вдоль прямой линии

-: Одна длинная антенна

-: Система антенн, расположенных по кругу

-: Параболический рефлектор

I:

S: Для формирования остронаправленного луча в антенной решетке необходимо:

+: Создать синфазное сложение полей в нужном направлении

-: Подать на элементы противофазные сигналы

-: Сделать расстояния между элементами больше длины волны

-: Использовать элементы с круговой диаграммой направленности

I:

S: Потери в свободном пространстве (Free Space Path Loss, FSPL) между двумя изотропными антеннами пропорциональны:

+: Квадрату расстояния и квадрату частоты (или отношению  $(4\pi R / \lambda)^2$ )

-: Расстоянию и частоте

-: Квадрату расстояния и не зависят от частоты

-: Частоте и не зависят от расстояния

I:

S: При распространении радиоволн над реальной землей появляется волна, называемая:

+: Поверхностной (земной)

-: Объемной

-: Ионосферной

-: Тропосферной

I:

S: Причина искривления траектории радиоволн в тропосфере (рефракция) - это:

- + : Уменьшение коэффициента преломления воздуха с высотой
- : Отражение от слоев ионосферы
- : Дифракция на неровностях земной поверхности
- : Поляризационные эффекты

I:

S: Эффективный радиус Земли используется в расчетах трасс для учета:

- + : Стандартной атмосферной рефракции
- : Кривизны Земли
- : Влияния ионосферы
- : Дифракционных потерь

I:

S: Ионосфера - это слой атмосферы, способный отражать радиоволны, благодаря наличию:

- + : Свободных электронов и ионов (плазмы)
- : Водяного пара
- : Озона
- : Инверсионных температурных слоев

I:

S: Максимальная частота, на которой возможен ионосферный отскок при вертикальном падении, называется:

- + : Критической частотой
- : Максимальной применимой частотой (МПЧ)
- : Частотой среза
- : Плазменной частотой

I:

S: Максимальная применимая частота (МПЧ) для заданного расстояния ионосферной связи:

- + : Всегда выше критической частоты
- : Всегда равна критической частоте
- : Всегда ниже критической частоты
- : Не связана с критической частотой

I:

S: Дифракция - это явление:

- + : Огибания волнами препятствий
- : Отражения от гладких поверхностей
- : Преломления в неоднородных средах
- : Изменения поляризации

I:

S: Зоны Френеля используются для оценки:

- + : Влияния препятствий на прямую видимость и потерь на дифракцию
- : Мощности сигнала в свободном пространстве
- : Угла места при ионосферном распространении

-: Критической частоты ионосферы

I:

S: Если трасса радиолинии имеет просвет, больший радиуса первой зоны Френеля, то влияние земли считается:

- + : Незначительным, потери близки к потерям в свободном пространстве
- : Определяющим, потери очень велики
- : Учитываемым только для отраженной волны
- : Неопределенным

I:

S: Многолучевое распространение в городе часто приводит к:

- + : Замираниям сигнала (федингу)
- : Увеличению уровня сигнала в 2 раза
- : Стабильному увеличению дальности
- : Исчезновению отражений

I:

S: Замирания, описываемые распределением Рэлея, характерны для ситуации, когда:

- + : Прямой луч отсутствует, есть много переотраженных лучей сравнимой амплитуды
- : Имеется устойчивый прямой луч, намного превосходящий отраженные
- : Сигнал распространяется только в свободном пространстве
- : Есть один сильный отраженный луч

I:

S: Замирания, описываемые распределением Райса, характерны для ситуации, когда:

- + : Имеется устойчивый прямой луч и множество более слабых отраженных
- : Прямой луч отсутствует
- : Есть только два луча
- : Все лучи имеют одинаковую амплитуду

I:

S: Поляризацией электромагнитной волны называется:

- + : Закон изменения во времени направления и величины вектора напряженности электрического поля в фиксированной точке пространства
- : Направление вектора Пойнтинга
- : Отношение амплитуд  $E$  и  $H$
- : Частота вращения вектора  $H$

I:

S: Если вектор  $E$  изменяется так, что его конец описывает эллипс, поляризация называется:

- + : Эллиптической
- : Линейной
- : Круговой
- : Ортогональной

I:

S: Если вектор  $E$  всегда сохраняет одно направление в пространстве, поляризация называется:

- + : Линейной
- : Круговой

- : Эллиптической
- : Вращающейся

I:

S: Явление, при котором волна с линейной поляризацией, проходя через анизотропную среду (например, ионосферу), поворачивает плоскость поляризации, называется:

- +: Вращением плоскости поляризации (эффект Фарадея)
- : Деполяризацией
- : Дифракцией
- : Рефракцией

I:

S: Волны с ортогональными поляризациями (например, вертикальной и горизонтальной):

- +: Практически не взаимодействуют между собой в линейной среде
- : Всегда складываются в волну круговой поляризации
- : Имеют разную скорость распространения в вакууме
- : Не могут существовать одновременно

I:

S: Вектор магнитной индукции  $B$  и вектор напряженности магнитного поля  $H$  связаны соотношением:

- +:  $B = \mu \quad \mu_r H$  (где  $\mu_r$  - относительная магнитная проницаемость)
- :  $H = \varepsilon \quad \varepsilon_r B$
- :  $B = \mu \quad H$  (всегда)
- :  $B = \varepsilon \quad H$

I:

S: Электрическое смещение  $D$  и напряженность электрического поля  $E$  связаны соотношением:

- +:  $D = \varepsilon \quad \varepsilon_r E$  (где  $\varepsilon_r$  - относительная диэлектрическая проницаемость)
- :  $E = \varepsilon \quad \varepsilon_r D$
- :  $D = \varepsilon \quad E$  (всегда)
- :  $D = \mu \quad E$

I:

S: В идеальном диэлектрике без потерь проводимость  $\sigma$  равна:

- +: 0
- :  $\infty$
- : 1
- : Величине, зависящей от частоты

I:

S: Комплексная диэлектрическая проницаемость  $\hat{\varepsilon} = \varepsilon' - j\varepsilon''$  учитывает:

- +: Поляризационные потери в среде ( $\varepsilon''$ ) и накопление энергии ( $\varepsilon'$ )
- : Только проводимость среды
- : Только магнитные потери
- : Тензорный характер параметров

I:

S: Тангенс угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  определяется как отношение:

- +: Мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости к действительной ( $\varepsilon''/\varepsilon'$ )
- : Действительной части к мнимой ( $\varepsilon'/\varepsilon''$ )

- : Проводимости к частоте
- : Волнового сопротивления к сопротивлению потерь

I:

S: Фазовая скорость плоской волны в среде связана с длиной волны  $\lambda$  и частотой  $f$  соотношением:

- +:  $v_{\phi} = \lambda f$
- :  $v_{\phi} = \lambda / f$
- :  $v_{\phi} = f / \lambda$
- :  $v_{\phi} = c / \sqrt{(\epsilon_r \mu_r)}$  (это определение через параметры среды)

I:

S: Длина волны в среде  $\lambda$  связана с длиной волны в вакууме  $\lambda_0$  и показателем преломления  $n$  соотношением:

- +:  $\lambda = \lambda_0 / n$
- :  $\lambda = \lambda_0 * n$
- :  $\lambda = \lambda_0 / n^2$
- :  $\lambda = \lambda_0 * \sqrt{n}$

I:

S: Для монохроматической волны круговая частота  $\omega$  и волновое число  $k$  связаны с фазовой скоростью  $v_{\phi}$  соотношением:

- +:  $v_{\phi} = \omega / k$
- :  $v_{\phi} = \omega * k$
- :  $v_{\phi} = k / \omega$
- :  $v_{\phi} = \sqrt{(\omega k)}$

I:

S: Групповая скорость  $v_{гр}$  - это скорость переноса:

- +: Энергии и огибающей узкополосного сигнала
- : Фазы синусоидальной волны
- : Заряда
- : Импульса без искажения формы

I:

S: В среде без дисперсии групповая и фазовая скорости:

- +: Равны
- : Групповая всегда больше фазовой
- : Групповая всегда меньше фазовой
- : Не связаны

I:

S: Если фазовая скорость уменьшается с ростом частоты, такая дисперсия называется:

- +: Нормальной
- : Аномальной
- : Отсутствующей
- : Обратной

I:

S: Линии передачи используются для:

- +: Направленной передачи электромагнитной энергии от источника к нагрузке
- : Генерации электромагнитных волн

- : Только для передачи постоянного тока
- : Только на сверхвысоких частотах

I:

S: В режиме бегущей волны в линии передачи:

- +: Амплитуда напряжения (тока) постоянна вдоль линии
- : Имеются максимумы и минимумы амплитуды, не перемещающиеся вдоль линии
- : Коэффициент отражения по напряжению равен 1
- : Нагрузка чисто реактивная

I:

S: В режиме стоячей волны в линии передачи:

- +: Амплитуда напряжения (тока) имеет четко выраженные неподвижные максимумы и нули
- : Амплитуда напряжения постоянна вдоль линии
- : Коэффициент отражения по напряжению равен 0
- : Линия согласована

I:

S: Коэффициент отражения по напряжению  $\Gamma$  определяется как отношение комплексных амплитуд:

- +: Отраженной волны к падающей
- : Падающей волны к отраженной
- : Напряжения в нагрузке к напряжению генератора
- : Тока в нагрузке к току генератора

I:

S: Коэффициент отражения  $\Gamma$  связан с коэффициентом стоячей волны КСВ (SWR) соотношением:

- +:  $\text{КСВ} = (1+|\Gamma|) / (1-|\Gamma|)$
- :  $\text{КСВ} = |\Gamma|$
- :  $\text{КСВ} = 1 / |\Gamma|$
- :  $\text{КСВ} = (1-|\Gamma|) / (1+|\Gamma|)$

I:

S: При согласованной нагрузке ( $Z_{\text{н}} = Z_{\text{в}}$ ) коэффициент отражения  $\Gamma$  равен:

- +: 0
- : 1
- : -1
- :  $\infty$

I:

S: Четвертьволновый ( $\lambda/4$ ) отрезок линии с волновым сопротивлением  $Z_{\text{в}}$  преобразует сопротивление нагрузки  $Z_{\text{н}}$  во входное сопротивление  $Z_{\text{вх}}$  по формуле:

- +:  $Z_{\text{вх}} = Z_{\text{в}}^2 / Z_{\text{н}}$
- :  $Z_{\text{вх}} = Z_{\text{в}} * Z_{\text{н}}$
- :  $Z_{\text{вх}} = Z_{\text{н}}$
- :  $Z_{\text{вх}} = \sqrt{Z_{\text{в}} * Z_{\text{н}}}$

I:

S: Полуволновый ( $\lambda/2$ ) отрезок линии:

- +: Повторяет сопротивление нагрузки на входе:  $Z_{\text{вх}} = Z_{\text{н}}$

- : Инвертирует сопротивление нагрузки
- : Всегда имеет КСВ=1
- : Не пропускает сигнал

I:

- S: Диаграмма Смита - это графическое представление в полярных координатах:
- +: Комплексного коэффициента отражения  $\Gamma$  и связанного с ним нормированного импеданса
  - : Амплитуды и фазы падающей волны
  - : Коэффициента усиления антенны
  - : Распределения поля в волноводе

I:

- S: Для согласования комплексной нагрузки с линией передачи часто используются:
- +: Шлейфы (короткозамкнутые или разомкнутые отрезки линии)
  - : Только четвертьволновые трансформаторы
  - : Увеличение длины линии
  - : Изменение частоты

I:

- S: Основная мода в прямоугольном волноводе ( $H_{10}$ ) имеет:
- +: Составляющие поля:  $H_z$ ,  $H_x$ ,  $E_y$  (или аналогичные по обозначениям)
  - : Только поперечные составляющие (ТЕМ)
  - : Составляющие:  $E_z$ ,  $H_x$ ,  $H_y$
  - : Все шесть составляющих полей

I:

- S: Критическая длина волны  $\lambda_{кр}$  для моды  $H_{10}$  в прямоугольном волноводе шириной  $a$  равна:
- +:  $2a$
  - :  $a$
  - :  $a/2$
  - :  $1.5a$

I:

- S: Волновод работает в одноволновом (одномодовом) режиме, если:
- +: Длина волны в свободном пространстве  $\lambda$  меньше  $\lambda_{кр}$  основной моды, но больше  $\lambda_{кр}$  следующей высшей моды
  - :  $\lambda > \lambda_{кр}$  основной моды
  - :  $\lambda < \lambda_{кр}$  всех мод
  - : Используется только ТЕМ-мода

I:

- S: Метод поперечных сечений (кросс-секций) в волноводе используется для:
- +: Измерения КСВ и определения параметров нагрузки
  - : Измерения мощности
  - : Согласования антенн
  - : Генерации волн

I:

- S: Антенна типа "волновой канал" (Yagi-Uda) является примером:

- + : Направленной антенны, использующей пассивные директорные и рефлекторный элементы
- : Широкополосной симметричной антенны
- : Апертурной антенны
- : Антенны бегущей волны

I:

S: Параболическая антенна формирует остронаправленный луч благодаря:

- + : Отражению волн от зеркала в форме параболоида и их синфазному сложению в раскрыве
- : Излучению от множества вибраторов в решетке
- : Излучению вдоль поверхности спирали
- : Дифракции на краях раскрыва

I:

S: Ширина диаграммы направленности антенны по уровню половинной мощности (3 дБ) - это:

- + : Угол между направлениями, в которых мощность излучения уменьшается вдвое (а напряженность поля - в  $\sqrt{2}$  раз) по сравнению с максимумом
- : Угол между первыми нулями диаграммы
- : Угол сканирования луча
- : Полный телесный угол излучения

I:

S: Телесный угол, в котором излучалась бы вся мощность антенны при неизменной максимальной плотности потока мощности, называется:

- + : Телесным углом раскрыва
- : Углом места
- : Азимутальным углом
- : Углом половинной мощности

I:

S: Эллипс поляризации характеризуется параметрами:

- + : Соотношением осей (коэффициент эллиптичности) и углом наклона большой оси
- : Только направлением вращения (правое/левое)
- : Только амплитудой вектора E
- : Фазовой скоростью

I:

S: При отражении от идеального проводника фаза тангенциальной составляющей вектора E изменяется на:

- + :  $\pi$  ( $180^\circ$ )
- : 0
- :  $\pi/2$  ( $90^\circ$ )
- :  $-\pi/2$  ( $-90^\circ$ )

I:

S: При отражении от идеального проводника фаза тангенциальной составляющей вектора H изменяется на:

- + : 0
- :  $\pi$  ( $180^\circ$ )
- :  $\pi/2$  ( $90^\circ$ )

-:  $-\pi/2$  ( $-90^\circ$ )

I:

S: Плазменная частота  $\omega_p$  в ионосфере зависит от:

- +: Концентрации свободных электронов  $N_e$
- : Концентрации нейтральных молекул
- : Температуры плазмы
- : Напряженности магнитного поля Земли

I:

S: При распространении в ионосфере фазовая скорость радиоволны:

- +: Больше скорости света в вакууме
- : Меньше скорости света в вакууме
- : Всегда равна скорости света в вакууме
- : Может быть как больше, так и меньше в зависимости от частоты

I:

S: Задержка группового времени распространения сигнала в ионосфере пропорциональна:

- +:  $1/f^2$  (обратно пропорциональна квадрату частоты)
- :  $f^2$  (пропорциональна квадрату частоты)
- :  $f$  (пропорциональна частоте)
- :  $1/f$  (обратно пропорциональна частоте)

I:

S: Понятие "магнито-ионное расщепление" в ионосфере связано с:

- +: Разделением падающей волны на обыкновенную и необыкновенную компоненты под действием магнитного поля Земли
- : Расщеплением по поляризации при отражении от земли
- : Дифракцией на неоднородностях
- : Рефракцией в тропосфере

I:

S: Тропосферный волновод может возникать при:

- +: Наличии инверсионных слоев, когда коэффициент преломления резко уменьшается с высотой
- : Высокой солнечной активности
- : Ночном охлаждении земной поверхности
- : Всегда

I:

S: Распространение УКВ (Ультракоротких Волн) за горизонт возможно в основном за счет:

- +: Тропосферного рассеяния и рефракции, реже - дифракции
- : Регулярного отражения от ионосферы
- : Поверхностной волны
- : Только за счет мощного передатчика

I:

S: Ослабление сигнала из-за атмосферных осадков (дождь, снег) наиболее значительно на частотах:

- +: Выше 10 ГГц (сантиметрового и миллиметрового диапазонов)
- : Ниже 1 МГц (длинные волны)

- : Около 1 МГц (средние волны)
- : На всех частотах одинаково

I:

S: Векторный потенциал  $A$  вводится для удобства расчета:

- +: Магнитного поля ( $B = \nabla \times A$ )
- : Электрического поля
- : Вектора Пойнтинга
- : Плотности заряда

I:

S: Скалярный потенциал  $\varphi$  и векторный потенциал  $A$  связаны условием калибровки Лоренца, которое имеет вид:

- +:  $\nabla \cdot A + (1/c^2) \partial\varphi/\partial t = 0$  (в вакууме)
- :  $\nabla \cdot A = 0$
- :  $\nabla \times A = 0$
- :  $\varphi = 0$

I:

S: Решение уравнений Даламбера для потенциалов приводят к понятию:

- +: Запаздывающих потенциалов
- : Опережающих потенциалов
- : Статических потенциалов
- : Квазистационарных потенциалов

I:

S: Принцип Гюйгенса-Френеля лежит в основе теории:

- +: Дифракции
- : Отражения
- : Преломления
- : Поляризации

I:

S: Зона Фраунгофера (дальняя зона) для антенны размером  $D$  начинается с расстояния  $R >$

- :
- +:  $2D^2/\lambda$
- :  $D^2/\lambda$
- :  $D/\lambda$
- :  $\lambda/D$

I:

S: В ближней зоне (зоне индукции и зоне Френеля) антенны структура поля:

- +: Сложная, имеет значительные продольные составляющие, зависит от расстояния иначе, чем  $1/R$
- : Идентична структуре плоской волны, затухает как  $1/R$
- : Отсутствует
- : Имеет только поперечные составляющие

## Вопросы, выносимые на коллоквиум

### Коллоквиум 1

Основы электродинамики. Плоские волны. Линии передачи.

**1. Физический смысл уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной форме.**

Формулировка каждого из четырех уравнений. Физический смысл каждого слагаемого, включая ток смещения. Закон сохранения заряда (уравнение непрерывности). Применение интегральной формы для вывода граничных условий.

**2. Теорема Пойнтинга и закон сохранения энергии в электромагнитном поле.**

Теорема Пойнтинга из уравнений Максвелла. Физическая интерпретация каждому члену в уравнении. Перенос энергии плоской волной. Мощность, проходящая через заданную поверхность.

**3. Волновые уравнения и анализ плоской волны в однородной среде.**

Волновое уравнение для вектора  $\mathbf{E}$  (или  $\mathbf{H}$ ) из уравнений Максвелла для однородной, изотропной, непроводящей среды. Определения и физический смысл фазовой скорости, волнового числа, волнового сопротивления. Почему векторы  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$  и  $\mathbf{k}$  образуют правую ортогональную тройку?

**4. Распространение плоской волны в среде с потерями.**

Уравнения Максвелла и волновое уравнение для проводящей среды. Комплексная диэлектрическая проницаемость и комплексное волновое число. Глубина скин-слоя, зависимость от частоты и проводимости. Фазовая скорость и волновое сопротивление в такой среде.

**5. Отражение и преломление плоской волны на границе раздела двух диэлектриков.**

Законы Снеллиуса из условия равенства фаз на границе. Суть формул Френеля. Зависимость коэффициентов отражения от угла падения для двух поляризаций. Физическая природа угла Брюстера и условия полного внутреннего отражения.

**6. Телеграфные уравнения и теория длинных линий.**

Физическая интерпретация первичных ( $R, L, G, C$ ) и вторичных ( $Z_w, \gamma$ ) параметров линии. Фазовая скорость и затухание в линии.

**7. Режимы работы линии передачи. Стоячие волны и согласование.**

Выражение для напряжения и тока в линии с произвольной нагрузкой. Определения коэффициента отражения, КСВ. Частные случаи: согласованная нагрузка, холостой ход, короткое замыкание. Почему при рассогласовании возникают стоячие волны и как это связано с потерей мощности.

**8. Волноводы. Особенности распространения волн в направляющих системах.**

Принципиальное отличие волновода от двухпроводной линии. Почему в волноводе невозможна ТЕМ-волна? Критическая частота (длина волны). На примере основной моды  $H_{10}$  прямоугольного волновода объясните, почему фазовая скорость превышает скорость света, а групповая - меньше.

### Коллоквиум 2

Теория излучения. Антенны. Распространение радиоволн.

**1. Запаздывающие потенциалы и излучение элементарного электрического диполя (вибратора Герца).**

Выражения для векторного и скалярного потенциалов заданного распределения токов и зарядов. Запаздывание и его физическая причина. Переход от потенциалов к полям элементарного диполя. Структура поля в ближней, промежуточной и дальней зонах.

**2. Характеристики и параметры антенн как излучателей.**

Определения и физический смысл: диаграмма направленности (ДН), коэффициент направленного действия (КНД), коэффициент усиления (G), эффективная площадь ( $A_{эфф}$ ), поляризация, входное сопротивление, полоса пропускания. Фундаментальная связь между эффективной площадью и коэффициентом усиления.

### 3. Теорема взаимности и ее следствия для антенн.

Теорема взаимности в общей форме и применительно к антеннам. Практические выводы из нее. (Постоянство ДН и входного сопротивления в режимах приема/передачи, метод взаимности при измерениях). Почему приемные свойства антенны однозначно связаны с ее передаточными свойствами.

### 4. Принцип перемножения диаграмм и линейные антенные решетки (АР).

Выражение для множителя решетки (МР) для линейной АР с идентичными излучателями. Как амплитудное, фазовое распределение и расстояние между элементами влияют на ДН решетки? Понятия: главный и боковые лепестки, ширина луча, сканирование. Преимущества и недостатки ФАР.

### 5. Распространение радиоволн в свободном пространстве и вблизи земли.

Формула потерь в свободном пространстве (Friis formula). Влияние реальной земли. Двухлучевая модель (прямой + отраженный луч) и ее следствия (интерференционная картина, зависимость уровня поля от расстояния и высот антенн).

### 6. Тропосферное распространение. Рефракция и ее учет.

Физическая причина тропосферной рефракции. Градиент коэффициента преломления. Понятие эффективного радиуса Земли. Виды рефракции: нормальная, критическая, сверхрефракция. Как рефракция влияет на дальность прямой видимости?

### 7. Распространение радиоволн в ионосфере.

Ионосфера как плазменная среда. Выражение для показателя преломления ионосферы (без учета магнитного поля Земли). Определение критической частоты, максимальной применимой частоты (МПЧ) и их связь. Механизм отражения волн от ионосферы и зависимость от частоты.

### 8. Дифракция радиоволн. Метод геометрической теории дифракции (ГТД).

Возникновение дифракционных явлений. Метод ГТД (введение дифрагированных лучей). Зоны Френеля и использование для оценки просвета на трассе. Потери на дифракцию для простейшего случая (препятствие в виде "ножа").

## Оценочные материалы для промежуточной аттестации

Экзамен проводится по билетам. В каждом билете 2 теоретических вопроса.

### Экзаменационные вопросы

1. Система уравнений Максвелла в дифференциальной форме. Физическая интерпретация каждого уравнения.
2. Ток смещения. В каком уравнении Максвелла он появляется и какова его физическая роль?
3. Закон сохранения электрического заряда (уравнение непрерывности) из уравнений Максвелла.
4. Материальные уравнения и физический смысл параметров  $\epsilon$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$ .
5. Граничные условия для векторов  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{D}$ ,  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{V}$  на границе раздела двух идеальных диэлектриков.
6. Граничные условия на поверхности идеального проводника.
7. Определение и физическая интерпретация вектора Пойнтинга. Теорема Пойнтинга.
8. Мощность, переносимая электромагнитным полем через заданную поверхность.

9. Волновое уравнение для вектора напряженности электрического поля  $\mathbf{E}$  в однородной, изотропной, непроводящей среде.
10. Общее решение волнового уравнения в виде плоской однородной волны. Определения фазовой скорости, волнового числа, длины волны.
11. Покажите, что в плоской волне векторы  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$  и направление распространения образуют правую ортогональную тройку.
12. Определение волнового сопротивления среды. Чему оно равно для вакуума?
13. Уравнения Максвелла и параметры плоской волны в среде с потерями ( $\sigma \neq 0$ ).
14. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Как связаны ее действительная и мнимая части с поляризацией и потерями в среде?
15. Определение глубины скин-слоя. От каких параметров она зависит и как?
16. Фазовая и групповая скорости. Как они связаны в среде без дисперсии и с дисперсией?
17. Классификация видов поляризации плоской волны (линейная, круговая, эллиптическая). Тип поляризации по комплексным амплитудам ортогональных составляющих.
18. Законы Снеллиуса (отражения и преломления). Вывод их из условия равенства фаз на границе раздела.
19. Сущность формул Френеля. Как коэффициенты отражения зависят от угла падения для параллельной (p) и перпендикулярной (s) поляризаций?
20. Угол Брюстера. Условие его существования. Физическая причина его возникновения.
21. Полное внутреннее отражение. Условие его возникновения. Поле во второй среде при полном отражении.
22. Отражение плоской волны от идеально проводящей плоскости. Коэффициенты отражения. Фаза отраженной волны.
23. Поверхностный импеданс реального металла. Связь с проводимостью и глубиной скин-слоя.
24. Телеграфные уравнения для линии передачи. Физическая интерпретация первичных ( $R, L, G, C$ ) и вторичных ( $Z_w, \gamma$ ) параметров.
25. Волновое сопротивление линии. Как оно выражается через первичные параметры?
26. Определения постоянной распространения, коэффициента затухания и фазовой постоянной.
27. Выражение для комплексного коэффициента отражения от нагрузки в линии передачи. Как он связан с согласованием?
28. Определение коэффициента стоячей волны (КСВ). Связь с модулем коэффициента отражения.
29. Режимы работы линии: бегущая волна, чисто стоячая волна, смешанная волна. Распределения напряжения и тока вдоль линии в каждом случае.
30. Входное сопротивление линии конечной длины, нагруженной на: а) согласованную нагрузку, б) короткое замыкание, в) холостой ход.
31. Свойства четвертьволнового ( $\lambda/4$ ) и полуволнового ( $\lambda/2$ ) отрезков линии передачи.
32. Принцип согласования нагрузки с линией с помощью шлейфа. Какие существуют методы (один или два шлейфа)?
33. Почему в односвязном волноводе (например, прямоугольном) невозможен режим ТЕМ-волны?
34. Критические частота и длина волны для волновода. Как они определяются для прямоугольного волновода?
35. Структура поля основной моды  $H_{10}$  в прямоугольном волноводе. Какие компоненты поля присутствуют?
36. Почему фазовая скорость волны в волноводе превышает скорость света в среде, а групповая скорость – меньше?
37. Затухание в волноводе. Основные причины потерь.

38. Отличие круглого волновода от прямоугольного. Какие типы волн являются основными?
39. Определение добротности (Q-фактора) объемного резонатора. От каких факторов она зависит?
40. Понятие запаздывающих потенциалов. Какой физический принцип они отражают?
41. Выражения для полей элементарного электрического диполя (вибратора Герца). Структура поля в ближней, промежуточной и дальней зонах.
42. Определение диаграммы направленности (ДН) антенны. Главный лепесток, боковые лепестки, ширина ДН по уровню половинной мощности.
43. Определения и физический смысл: коэффициента направленного действия (КНД), коэффициента усиления (G), эффективной длины (площади) антенны.
44. Фундаментальное соотношение между эффективной площадью  $A_{\text{eff}}$  и коэффициентом усиления G антенны.
45. Теорема взаимности для антенн. Важные практические следствия из нее.
46. Диаграмма направленности симметричного полуволнового вибратора. Отличие от ДН элементарного диполя.
47. Принцип перемножения диаграмм. Расчет ДН антенной решетки
48. Линейная эквидистантная решетка. Как амплитудное и фазовое распределение влияют на ее ДН?
49. Фазированная антенная решетка (ФАР). Принцип электронного сканирования луча.
50. Принцип действия и основные характеристики апертурных антенн (параболической, рупорной).
51. Формула потерь в свободном пространстве (Фрииса). Какие предположения лежат в ее основе?
52. Влияние реальной земли на распространение волн. Двухлучевая модель для вертикального и горизонтального диполя.
53. Тропосферная рефракция. Ее физическая причина. Эффективный радиус Земли.
54. Классификация видов тропосферной рефракции (нормальная, критическая, сверхрефракция).
55. Ионосфера. Ее плазменная модель. Выражение для показателя преломления ионосферы (без учета магнитного поля).
56. Определения критической частоты ( $f_{\text{кр}}$ ) и максимальной применимой частоты (МПЧ,  $f_{\text{макс}}$ ). Их связь.
57. Механизм отражения радиоволн от ионосферы. Почему волны ниже  $f_{\text{кр}}$  отражаются, а выше – проходят?
58. Ионосферное поглощение. В каких слоях и на каких частотах оно наиболее значительно?
59. Явление дифракции радиоволн. Зоны Френеля и их использование для оценки просвета на трассе.
60. Многолучевое распространение и замирания (фединг). Модели замираний Рэлея и Райса. Условиях ил применимости.