

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор
по образовательной деятельности


А.А.Панфилов

«27» 06 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Направление подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы
связи

Профиль/программа подготовки Связь, информационные и коммуникационные
технологии

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
4	5/180	18	18	18	81	Экзамен (45)
Итого	5/180	18	18	18	81	Экзамен (45)

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: формирование навыков применения основных положений теории электромагнитного поля для решения базовых задач технической электродинамики, обеспечение фундаментальной подготовки специалиста, необходимой для создания и эксплуатации устройств и систем, основанных на использовании электромагнитных волновых процессов.

Задачи: подготовка в области технической электродинамики для профессиональной деятельности специалиста: научно-исследовательской.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина Техническая электродинамика и распространение радиоволн относится к вариативной части.

Пререквизиты дисциплины: высшая математика, физики, основы теории электромагнитных полей и волн, векторный и матричный анализ в радиоэлектронике, основы теории цепей, теоретические основы радиотехники.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП.

Код формируемых компетенций.	Уровень освоения компетенций..	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	Частичное освоение.	Знать: основные положения теории волноводов и колебательных систем, условия распространения электромагнитных волн в анизотропных средах, особенности работы радиолиний в непосредственной близости от земной поверхности.
	Неполное освоение.	Знать: основные положения теории волноводов и колебательных систем, условия распространения электромагнитных волн в анизотропных средах, особенности работы радиолиний в непосредственной близости от земной поверхности. Уметь: применять основные положения теории направляющих и колебательных систем для

	<p>Полное освоение.</p>	<p>анализа волновых процессов в основных линиях передачи и объемных резонаторах, анализировать особенности распространения электромагнитных волн в анизотропных средах; используя знания о физических параметрах земной поверхности и атмосферы, выполнять оценку условий распространения радиоволн в земных условиях.</p> <p>Знать: основные положения теории волноводов и колебательных систем, условия распространения электромагнитных волн в анизотропных средах, особенности работы радиолиний в непосредственной близости от земной поверхности. Уметь: применять основные положения теории направляющих и колебательных систем для анализа волновых процессов в основных линиях передачи и объемных резонаторах, анализировать особенности распространения электромагнитных волн в анизотропных средах; используя знания о физических параметрах земной поверхности и атмосферы, выполнять оценку условий распространения радиоволн в земных условиях. Владеть: методами анализа волновых процессов в основных типах линий передачи и объемных резонаторах, способами описания распространения радиоволн в анизотропных средах и естественных условиях.</p>
<p>ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач в инженерной деятельности.</p>	<p>Частичное освоение.</p> <p>Неполное освоение.</p>	<p>Знать: электродинамические и математические методы для расчета электромагнитных направляющих и колебательных систем, характеристик волновых процессов в прикладных задачах, связанных с практическим использованием гиромангнитных сред, основные алгоритмы электродинамического расчета радиолиний в непосредственной близости от земной поверхности.</p> <p>Знать: электродинамические и математические методы для расчета электромагнитных направляющих и колебательных систем, характеристик волновых процессов в прикладных задачах, связанных с практическим использовани-</p>

	<p>Полное освоение.</p>	<p>ем гиромагнитных сред, основные алгоритмы электро - динамического расчета радиолиний в непосредственной близости от земной поверхности. Уметь: применять электродинамические и математические методы для расчета основных линий передачи и объемных резонаторов, вычислять характеристики электромагнитных волн в гиромагнитных средах и естественных условиях в непосредственной близости от земной поверхности.</p> <p>Знать: электродинамические и математические методы для расчета электромагнитных направляющих и колебательных систем, характеристик волновых процессов в прикладных задачах, связанных с практическим использованием гиромагнитных сред, основные алгоритмы электро - динамического расчета радиолиний в непосредственной близости от земной поверхности. Уметь: применять электродинамические и математические методы для расчета основных линий передачи и объемных резонаторов, вычислять характеристики электромагнитных волн в гиромагнитных средах и естественных условиях в непосредственной близости от земной поверхности.</p> <p>Владеть: математическими методами решения прикладных электродинамических задач, связанных с расчетом направляющих и колебательных систем, практическим использованием гиромагнитных сред и определением характеристик земных радиолиний, в том числе с помощью современных вычислительных средств.</p>
<p>ОПК-2 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и</p>	<p>Частичное освоение.</p> <p>Неполное освоение.</p>	<p>Знать: методы наблюдения и измерения, приемы обработки и представления результатов при экспериментальных исследованиях электромагнитных волновых процессов в направляющих и колебательных системах, при изучении в лабораторных условиях характеристик гиромагнитных сред и параметров наземных радиолиний.</p> <p>Знать: методы наблюдения и измерения, приемы обработки и представления результатов при экспериментальных исследованиях электромагнитных волновых процессов в направляющих и колебательных системах, при изучении в лабораторных условиях характеристик гиромагнитных сред и параметров наземных радиолиний.</p>

<p>представления полученных данных при выполнении лабораторного практикума по дисциплине.</p>	<p>Полное освоение.</p>	<p>тальных исследованиях электромагнитных волновых процессов в направляющих и колебательных системах, при изучении в лабораторных условиях характеристик гиромагнитных сред и параметров наземных радиолиний. Уметь: самостоятельно выполнять наблюдения и измерения при экспериментальных исследованиях в лабораторных условиях характеристик линий передачи и объемных резонаторов, макетов, функционально иллюстрирующих возможности гиромагнитных сред и свойства наземных радиолиний.</p> <p>Знать: методы наблюдения и измерения, приемы обработки и представления результатов при экспериментальных исследованиях электромагнитных волновых процессов в направляющих и колебательных системах, при изучении в лабораторных условиях характеристик гиромагнитных сред и параметров наземных радиолиний. Уметь: самостоятельно выполнять наблюдения и измерения при экспериментальных исследованиях в лабораторных условиях характеристик линий передачи и объемных резонаторов, макетов, функционально иллюстрирующих возможности гиромагнитных сред и свойства наземных радиолиний. Владеть: методами наблюдения и измерения параметров электромагнитных волновых процессов в направляющих и колебательных системах, в макетах, использующих свойства гиромагнитных анизотропных сред, при лабораторных исследованиях на масштабной экспериментальной модели наземной радиолинии.</p>
---	-------------------------	--

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Наименование разделов дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Введение	4	1	0,25					
2	Общие свойства направляемых волн	4	1	0,75	1		4,5	1/57	
		4	2	1	1		4,5	1/50	
3	Направляющие структуры	4	3	1	1	4	4,5	2/33,3	
		4	4	1	1	4	4,5	2/33,3	
		4	5	1	1		4,5	1/50	
4	Передача электромагнитной энергии по направляющим структурам	4	6	1	1		4,5	1/50	Рейтинг-контроль 1
		4	7	1	1		4,5	1/50	
5	Колебательные системы	4	8	1	1	4	4,5	2/33,3	
6	Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах	4	9	1	1	4	4,5	2/33,3	
		4	10	1	1		4,5	1/50	
7	Компьютерные методы решения задач электродинамики	4	11	1	1		4,5	1/50	
8	Теория цепей СВЧ	4	12	1	1		4,5	1/50	Рейтинг-контроль 2
9	Линейные устройства СВЧ	4	13	1	1		4,5	1/50	
11	Распространение радиоволн в свободном пространстве	4	14	1	1	2	4,5	2/50	
12	Распространение земных радиоволн	4	15	1	1		4,5	1/50	
		4	16	1	1		4,5	1/50	
13	Электрические параметры земной атмосферы	4	17	1	1		4,5	1/50	
14	Распространение радиоволн в земной атмосфере	4	18	1	1		4,5	1/50	Рейтинг-контроль 3
Всего за 4 семестр:				18	18	18	81	23/49,4	Экзамен
Наличие в дисциплине КР/КР					-				
Итого по дисциплине				18	18	18	81	23/49,4	Экзамен

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Введение.

Раздел 2. Общие свойства направляемых волн.

Тема 1. Направляющие структуры и направляемые волны.

Классификация направляющих структур. Классификация направляемых волн. Связь между продольными и поперечными составляющими полей в регулярной направляющей структуре. Критическая частота.

Тема 2. Общие свойства волн Т, Е, Н типов в направляющей структуре.

Поперечные электромагнитные волны. Электрические волны. Магнитные волны.

Тема 3. Скорость распространения энергии. Групповая скорость. Мощность, переносимая электромагнитной волной по линии передачи.

Характеристика перемещения негармонических сигналов. Групповая скорость в направляющих структурах. Скорость распространения энергии гармонических волн в линиях передачи. Полная мощность переносимая через поперечное сечение линии передачи.

Раздел 3. Направляющие структуры.

Тема 1. Прямоугольный волновод.

Решение граничной задачи для прямоугольных волноводов. Структура и свойства полей. Типы волн, дисперсия, фазовая скорость и скорость распространения энергии волн в волноводе. Основной тип волны.

Тема 2. Круглый волновод.

Решение граничной задачи для круглых волноводов. Структура и свойства полей. Типы волн, дисперсия, фазовая скорость и скорость распространения энергии волн в волноводе. Основной тип волны.

Тема 3. Токи на стенках прямоугольного и круглого волноводов.

Токи в прямоугольном волноводе с волной H_{10} . Токи в круглом волноводе с волной H_{11} . Токи в круглом волноводе при распространении волны H_{01} .

Тема 4. Волны в коаксиальной линии.

Решение граничной задачи для волн Т в коаксиальной линии. Структура поля и свойства волн Т в коаксиальной линии. Волновое сопротивление. Волны высших типов в коаксиальной линии.

Тема 5. Планарные линии передачи.

Структура и свойства волн в микрополосковой, щелевой и копланарной линиях передачи.

Тема 6. Линии поверхностных волн.

Замедляющие структуры. Поверхностные волны над слоем диэлектрика и ребристой поверхностью.

Раздел 4. Передача энергии по направляющим структурам.

Тема 1. Требования, предъявляемые к линиям передачи.

Одноволновый и многоволновый режимы работы линии передачи. Электрическая прочность. Тепловой пробой. Предельная и допустимая мощность.

Тема 2. Затухания в линиях передачи.

Коэффициент затухания. Затухание, вызываемое потерями в среде, заполняющей линию передачи. Затухание, вызываемое потерями в металлических проводниках линии передачи.

Тема 3. Концепция парциальных волн.

Трактовка направляемых волн в линиях передачи на основе парциальных Т-волн, распространяющихся по ломаным траекториям. Расчет характеристического сопротивления и фазовой скорости в соответствии с концепцией.

Тема 4. Передача энергии по прямоугольному волноводу.

Мощность, переносимая по волноводу. Затухание электрических волн. Затухание магнитных волн.

Тема 5. Передача энергии по круглому волноводу.

Мощность, переносимая по круглому волноводу. Затухание электрических волн. Затухание магнитных волн. Особенность затухания волн H_{01} .

Тема 6. Передача энергии по коаксиальной линии.

Мощность, переносимая по коаксиальной линии. Оптимизация линии для передачи максимальной мощности и для минимальных потерь. Линия с частичным диэлектрическим заполнением.

Раздел 5. Колебательные системы.

Тема 1. Эволюция электромагнитных колебательных систем при повышении частоты.

Колебательные системы на сосредоточенных элементах. Объемные резонаторы. Колебательные системы на элементах с распределенными параметрами.

Тема 2. Объемный резонатор из отрезка прямоугольного волновода с волной H_{10} .

Решение граничной задачи для резонатора из отрезка прямоугольного волновода. Резонансная длина волны и тип колебаний. Структура поля и структура поверхностных токов на стенках резонатора.

Тема 3. Общая задача о колебаниях в прямоугольном резонаторе.

Типы колебаний. Совокупность резонансных частот колебаний в прямоугольном резонаторе.

Классификация типов колебаний.

Тема 4. Общая задача о колебаниях в цилиндрическом резонаторе.

Типы колебаний. Совокупность резонансных частот колебаний в цилиндрическом резонаторе.

Простейшие типы колебаний (E_{010} , H_{011} , H_{111}).

Тема 5. Способы возбуждения и включения объемных резонаторов.

Возбуждение резонаторов с помощью электрического и магнитного излучателей.

Адсорбционный и проходной способ включения резонаторов.

Тема 6. Добротность объемных резонаторов.

Собственная добротность резонаторов. Интегральное выражение для добротности. Зависимость добротности от геометрических размеров и электродинамических параметров среды, заполняющей резонатор. Нагруженная добротность. Другие типы резонаторов.

Раздел 6. Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах.

Тема 1. Распространение линейно поляризованных электромагнитных волн в намагниченной ферритовой среде.

Ферриты и их свойства. Взаимодействие электрона с постоянным магнитным полем. Прецессия электрона. Распространение линейно поляризованных волн в гиромангнитной среде. Тензор магнитной проницаемости феррита.

Тема 2. Распространение волн с круговой поляризацией в намагниченной ферритовой среде.

Магнитная проницаемость намагниченной ферритовой среды при распространении волн с круговой поляризацией. Ферромагнитный резонанс.

Тема 3. Эффект Фарадея в продольно намагниченной ферритовой среде.

Распространение в продольно намагниченной ферритовой среде линейно поляризованной волны. Поворот плоскости поляризации линейно поляризованной волны при распространении в продольно намагниченном феррите.

Тема 4. Эффект смещения поля в прямоугольном волноводe с поперечно намагниченным ферритом.

Структура и распределение амплитуды поля в прямоугольном волноводе с волной H_{10} при наличии поперечно намагниченного феррита. Вентили на эффекте смещения поля и ферромагнитном резонансе.

Раздел 7. Компьютерные методы решения задач электродинамики.

Тема 1. Постановка задач, представление полей, алгоритмизация.

Математические модели электродинамики адекватные физической реальности. Электродинамические задачи. Вычислительная электродинамика.

Тема 2. Проекционные методы.

Основная проекционная схема. Метод Бубнова-Галеркина для решения внутренних задач электродинамики.

Тема 3. Дискретизационные методы.

Коллокация. Разностные схемы. Конечные элементы.

Раздел 8. Теория цепей СВЧ.

Тема 1. Линии передачи конечной длины.

Цепь СВЧ. Линии передачи конечной длины. Полное эквивалентное сопротивление линии передачи. Круговая диаграмма полных сопротивлений.

Тема 2. Согласование линий передачи.

Методы согласования. Узкополосное согласование с помощью реактивных элементов. Согласование с помощью четвертьволнового трансформатора. Широкополосное согласование.

Тема 3. Матричное описание цепей СВЧ.

Метод декомпозиции и матричное описание цепей СВЧ. Эквивалентные схемы цепей СВЧ. Структурный и параметрический синтез устройств СВЧ.

Раздел 9. Линейные устройства СВЧ.

Тема 1. Элементы линий передачи.

Нерегулярности в линиях передачи. Сочленения отрезков. Трансформаторы типов волн. Возбуждение волн в линиях передачи. Атенюаторы.

Тема 2. Пассивные устройства СВЧ.

Направленные ответвители и мостовые схемы. Фильтры СВЧ.

Раздел 10. Распространение радиоволн в свободном пространстве.

Тема 1. Энергетические соотношения в условиях свободного пространства.

Напряженность поля в точке приема. Формула идеальной радиосвязи. Классификация радиоволн по диапазонам частот.

Тема 2. Область пространства, существенно участвующая в формировании поля на заданной линии.

Зоны Френеля на плоскости. Существенный эллипсоид вращения и зависимость его размеров от длины волны.

Раздел 11. Распространение земных радиоволн.

Тема 1. Физические процессы при распространении земной волны.

Классификация методов расчета поля земной волны. Предельное расстояние прямой видимости.

Тема 2. Поле высоко поднятого излучателя в освещенной области.

Отражательная трактовка влияния Земли. Поле излучателя в освещенной области в приближении плоской Земли. Интерференционный множитель с учетом сферичности Земли.

Тема 3. Поле низко расположенного излучателя в области приближения плоской Земли.

Концепция скользящей земной волны. Формула Шулейкина-Ван-дер-Поля. Ошибка вычисления поля в приближении плоской Земли.

Тема 4. Поле в зонах полутени и тени.

Поле для высоко поднятого излучателя. Поле низко расположенного излучателя.

Раздел 12. Электрические параметры земной атмосферы.

Тема 1. Строение атмосферы.

Области атмосферы, химический состав, распределение температуры и количества нейтральных частиц по высоте, распределение заряженных частиц в ионосфере.

Тема 2. Электрические свойства тропосферы и стратосферы.

Диэлектрическая проницаемость тропосферы и стратосферы. Локальные неоднородности тропосферы.

Тема 3. Электрические свойства ионосферы

Диэлектрическая проницаемость и проводимость ионосферы. Локальные неоднородности и возмущения ионосферы.

Раздел 13. Распространение радиоволн в земной атмосфере.

Тема 1. Общие вопросы.

Преломление радиоволн в атмосфере. Рассеяние радиоволн неоднородностями атмосферы. Ослабление волн в атмосфере.

Тема 2. Распространение УКВ на наземных радиоприемниках.

Распространение УКВ земной волной. Дальнее тропосферное распространение УКВ и энергетический расчет линий ДТР.

Тема 3. Распространение КВ.

Механизм распространения. Рабочие частоты. Влияние ионосферных возмущений. Расчет КВ радиоприемников.

Тема 4. Распространение СВ и ДВ.

Механизм распространения. Область применения. Случайные флуктуации поля. Перекрестная модуляция в ионосфере. Расчет напряженности поля.

Содержание лабораторных занятий по дисциплине.

Раздел 3. Направляющие структуры.

Тема 1. Прямоугольный волновод.

Исследование электромагнитного поля волны H_{10} в прямоугольном волноводе.

Тема 3. Токи на стенках прямоугольного и круглого волноводов.

Токи в прямоугольном волноводе с волной H_{10} .

Тема 6. Линии поверхностных волн.

Изучение замедляющих свойств гребенчатой структуры.

Раздел 4. Передача энергии по направляющим структурам.

Тема 4. Передача энергии по прямоугольному волноводу.

Мощность, переносимая по прямоугольному волноводу волной H_{10} . Затухание волны H_{10} в прямоугольном волноводе.

Раздел 5. Колебательные системы.

Тема 2. Объемный резонатор из отрезка прямоугольного волновода с волной H_{10} .

Исследование электромагнитного поля в прямоугольном резонаторе с колебаниями H_{10p} .

Тема 3. Общая задача о колебаниях в прямоугольном резонаторе.

Совокупность резонансных частот колебаний H_{10p} в прямоугольном резонаторе.

Тема 5. Способы возбуждения и включения объемных резонаторов.

Возбуждение прямоугольных резонаторов с помощью электрического и магнитного излучателей.

Тема 6. Добротность объемных резонаторов.

Собственная и нагруженная добротность прямоугольных резонаторов с колебаниями H_{10p} .
Зависимость добротности от геометрических размеров и электродинамических параметров среды, заполняющей резонатор.

Раздел 6. Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах.

Тема 3. Эффект Фарадея в продольно намагниченной ферритовой среде.

Изучение явления поворота плоскости поляризации электромагнитных волн ("эффект Фарадея") при распространении в гиромангнитной среде вдоль направления намагничивания.

Раздел 10. Распространение радиоволн в свободном пространстве.

Тема 1. Энергетические соотношения в условиях свободного пространства.

Изучение закономерностей распространения радиоволн в свободном пространстве.

Тема 2. Область пространства, существенно участвующая в формировании поля на заданной линии.

Изучение распространения радиоволн и определение области пространства, в которой преимущественно происходит передача энергии радиоволны.

Содержание практических занятий по дисциплине

Раздел 2. Общие свойства направляемых волн.

Тема 1. Направляющие структуры и направляемые волны.

Классификация направляющих структур. Классификация направляемых волн. Связь между продольными и поперечными составляющими полей в регулярной направляющей структуре. Критическая частота.

Тема 2. Общие свойства волн Т, Е, Н типов в направляющей структуре.

Поперечные электромагнитные волны. Электрические волны. Магнитные волны.

Тема 3. Скорость распространения энергии. Групповая скорость. Мощность, переносимая электромагнитной волной по линии передачи.

Характеристика перемещения негармонических сигналов. Групповая скорость в направляющих структурах. Скорость распространения энергии гармонических волн в линиях передачи. Полная мощность переносимая через поперечное сечение линии передачи.

Раздел 3. Направляющие структуры.

Тема 1. Прямоугольный волновод.

Волны E_{mn} , H_{mn} в прямоугольном волноводе. Структура и свойства полей. Электрические характеристики волн в волноводе. Применение прямоугольных волноводов.

Тема 2. Круглый волновод.

Волны E_{mn} , H_{mn} в круглом волноводе. Структура и свойства полей. Электрические характеристики волн в волноводе. Применение круглых волноводов.

Тема 3. Токи на стенках прямоугольного и круглого волноводов.

Токи в прямоугольном волноводе с волнами E_{mn} , H_{mn} . Токи в круглом волноводе с волнами E_{mn} , H_{mn} .

Раздел 4. Передача энергии по направляющим структурам.

Тема 3. Передача энергии по прямоугольному волноводу.

Затухание волн E_{mn} , H_{mn} в прямоугольном волноводе за счет потерь в металле и диэлектрике.

Тема 4. Передача энергии по круглому волноводу.

Затухание волн E_{mn} , H_{mn} в круглом волноводе за счет потерь в металле и диэлектрике.

Раздел 3. Направляющие структуры.

Тема 6. Линии поверхностных волн.

Структура поля и электрические характеристики поверхностных волн в диэлектрической пластине на металлической подложке, в гребенчатой структуре, металлической спирали.

Раздел 3. Направляющие структуры.

Тема 4. Волны в коаксиальной линии.

Структура поля и электрические характеристики волн T в коаксиальной и других линиях передачи.

Раздел 4. Передача энергии по направляющим структурам.

Тема 5. Передача энергии по коаксиальной линии.

Мощность, переносимая по коаксиальной линии. Затухание волн в линии за счет потерь в металле и диэлектрике. Линия с частичным диэлектрическим заполнением. Передача энергии в других линиях передачи с волной T .

Раздел 5. Колебательные системы.

Тема 3. Общая задача о колебаниях в прямоугольном резонаторе.

Совокупность резонансных частот колебаний в прямоугольном резонаторе. Классификация типов колебаний.

Тема 4. Общая задача о колебаниях в цилиндрическом резонаторе.

Совокупность резонансных частот колебаний в цилиндрическом резонаторе. Простейшие типы колебаний (E_{010} , H_{011} , H_{111}).

Тема 5. Способы возбуждения и включения объемных резонаторов.

Возбуждение резонаторов с помощью электрического и магнитного излучателей. Адсорбционный и проходной способ включения резонаторов.

Тема 6. Добротность объемных резонаторов.

Собственная добротность резонаторов. Интегральное выражение для добротности. Зависимость добротности от геометрических размеров и электродинамических параметров среды, заполняющей резонатор. Нагруженная добротность. Другие типы резонаторов.

Раздел 6. Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах.

Тема 1. Распространение линейно поляризованных электромагнитных волн в намагниченной ферритовой среде.

Взаимодействие электрона с постоянным магнитным полем. Распространение линейно поляризованных волн в гиромангнитной среде. Тензор магнитной проницаемости феррита.

Тема 2. Распространение волн с круговой поляризацией в намагниченной ферритовой среде.

Магнитная проницаемость намагниченной ферритовой среды при распространении волн с круговой поляризацией. Ферромагнитный резонанс.

Тема 3. Эффект Фарадея в продольно намагниченной ферритовой среде.

Распространение в продольно намагниченной ферритовой среде линейно поляризованной волны. Поворот плоскости поляризации линейно поляризованной волны при распространении в продольно намагниченном феррите.

Тема 4. Эффект смещения поля в прямоугольном волноводе с поперечно намагниченным ферритом.

Структура и распределение амплитуды поля в прямоугольном волноводе с волной H_{10} при наличии поперечно намагниченного феррита. Вентили на эффекте смещения поля и ферромагнитном резонансе.

Раздел 7. Компьютерные методы решения задач электродинамики.

Тема 1. Постановка задач, представление полей, алгоритмизация.

Математические модели электродинамики адекватные физической реальности. Электродина-

мические задачи. Вычислительная электродинамика.

Тема 2. Проекционные методы.

Основная проекционная схема. Метод Бубнова-Галеркина для решения внутренних задач электродинамики.

Тема 3. Дискретизационные методы.

Коллокация. Разностные схемы. Конечные элементы.

Раздел 8. Теория цепей СВЧ.

Тема 1. Линии передачи конечной длины.

Цепь СВЧ. Линии передачи конечной длины. Полное эквивалентное сопротивление линии передачи. Круговая диаграмма полных сопротивлений.

Тема 2. Согласование линий передачи.

Методы согласования. Узкополосное согласование с помощью реактивных элементов. Согласование с помощью четвертьволнового трансформатора. Широкополосное согласование.

Тема 3. Матричное описание цепей СВЧ.

Метод декомпозиции и матричное описание цепей СВЧ. Эквивалентные схемы цепей СВЧ. Структурный и параметрический синтез устройств СВЧ.

Раздел 9. Линейные устройства СВЧ.

Тема 1. Элементы линий передачи.

Нерегулярности в линиях передачи. Сочленения отрезков. Трансформаторы типов волн. Возбуждение волн в линиях передачи. Атенуаторы.

Тема 2. Пассивные устройства СВЧ.

Направленные ответвители и мостовые схемы. Фильтры СВЧ.

Раздел 10. Распространение радиоволн в свободном пространстве.

Тема 1. Энергетические соотношения в условиях свободного пространства.

Напряженность поля в точке приема. Формула идеальной радиосвязи. Классификация радиоволн по диапазонам частот.

Тема 2. Область пространства, существенно участвующая в формировании поля на заданной линии.

Зоны Френеля на плоскости. Существенный эллипсоид вращения и зависимость его размеров от длины волны.

Раздел 11. Распространение земных радиоволн.

Тема 1. Физические процессы при распространении земной волны.

Классификация методов расчета поля земной волны. Предельное расстояние прямой видимости.

Тема 2. Поле высоко поднятого излучателя в освещенной области.

Отражательная трактовка влияния Земли. Поле излучателя в освещенной области в приближении плоской Земли. Интерференционный множитель с учетом сферичности Земли.

Тема 3. Поле низко расположенного излучателя в области приближения плоской Земли.

Концепция скользящей земной волны. Формула Шулейкина-Ван-дер-Поля. Ошибка вычисления поля в приближении плоской Земли.

Тема 4. Поле в зонах полутени и тени.

Поле для высоко поднятого излучателя. Поле низко расположенного излучателя.

Раздел 12. Электрические параметры земной атмосферы.

Тема 1. Строение атмосферы.

Области атмосферы, химический состав, распределение температуры и количества нейтральных частиц по высоте, распределение заряженных частиц в ионосфере.

Тема 2. Электрические свойства тропосферы и стратосферы.

Диэлектрическая проницаемость тропосферы и стратосферы. Локальные неоднородности тропосферы.

Тема 3. Электрические свойства ионосферы

Диэлектрическая проницаемость и проводимость ионосферы. Локальные неоднородности и возмущения ионосферы.

Раздел 13. Распространение радиоволн в земной атмосфере.

Тема 1. Общие вопросы.

Преломление радиоволн в атмосфере. Рассеяние радиоволн неоднородностями атмосферы.

Ослабление волн в атмосфере.

Тема 2. Распространение УКВ на наземных радиоприемниках.

Распространение УКВ земной волной. Дальнее тропосферное распространение УКВ и энергетический расчет линий ДТР.

Тема 3. Распространение КВ.

Механизм распространения. Рабочие частоты. Влияние ионосферных возмущений. Расчет КВ радиоприемников.

Тема 4. Распространение СВ и ДВ.

Механизм распространения. Область применения. Случайные флуктуации поля. Перекрестная модуляция в ионосфере. Расчет напряженности поля.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Техническая электродинамика и распространение радиоволн» используются разнообразные образовательные технологии, как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивных методы обучения:

- Интерактивные лекции (раздел № 2, темы № 2, 3; раздел № 3, темы № 1, 2, 3, 4, 5, 6; раздел № 4, темы № 2, 3, 4, 5, 6; раздел № 5, темы № 2, 3, 4, 5, 6; раздел № 6, темы № 1, 2, 3, 4; раздел № 7, темы № 1, 2, 3; раздел № 8, темы № 1, 2, 3; раздел № 9, темы № 1,2; раздел №10, темы № 1, 2; раздел №11, темы № 1, 2, 3, 4); раздел №12, темы № 1, 2, 3, 4); раздел №13, темы № 1, 2, 3, 4);
- Интерактивные лабораторные работы (раздел №3, темы № 1, 3, 6; раздел № 4, тема № 4; раздел №5, тема № 2, 3, 5, 6; раздел №6, тема №3; раздел №10, темы № 1, 2);
- Интерактивные практические занятия (раздел № 2, темы № 2, 3; раздел № 3, темы № 1, 2, 3, 4, 5, 6; раздел № 4, темы № 2, 3, 4, 5, 6; раздел № 5, темы № 2, 3, 4, 5, 6; раздел № 6, темы № 1, 2, 3, 4; раздел № 7, темы № 1, 2, 3; раздел № 8, темы № 1, 2, 3; раздел № 9, темы № 1,2; раздел №10, темы № 1, 2; раздел №11, темы № 1, 2, 3, 4); раздел №12, темы № 1, 2, 3, 4); раздел №13, темы № 1, 2, 3, 4);
- Интерактивная СРС (раздел № 2, темы № 2, 3; раздел № 3, темы № 1, 2, 3, 4, 5, 6; раздел № 4, темы № 2, 3, 4, 5, 6; раздел № 5, темы № 2, 3, 4, 5, 6; раздел № 6, темы № 1, 2, 3, 4;

раздел № 7, темы № 1, 2, 3; раздел № 8, темы № 1, 2, 3; раздел № 9, темы № 1,2; раздел №10, темы № 1, 2; раздел №11, темы № 1, 2, 3, 4); раздел №12, темы № 1, 2, 3, 4); раздел №13, темы № 1, 2, 3, 4).

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Текущий контроль успеваемости.

Рейтинг-контроль №1

Вариант 1

1. Как выглядят уравнения, связывающие между собой продольные и поперечные составляющие поля любых волн в произвольной регулярной направляющей структуре? Зачем нужны эти уравнения?

$$1) -g^2 \vec{E} = jh \text{grad} \dot{E}_z - jw\mu_a [\vec{1}_z \text{grad} \dot{H}_z]; \quad -g^2 \vec{H} = jh \text{grad} \dot{H}_z - jw\varepsilon_a [\vec{1}_z \text{grad} \dot{E}_z];$$

$$2) \nabla^2 \vec{H} + w^2 \mu_a \varepsilon_a \vec{H} = -\text{rot} \vec{j}^{\text{э ст}}; \quad \nabla^2 \vec{E} + w^2 \mu_a \varepsilon_a \vec{E} = jw\mu_a \vec{j}^{\text{э ст}} + \frac{1}{\varepsilon_a} \text{grad} \rho^{\text{э ст}};$$

$$3) \vec{H} = \frac{1}{\mu_a} \text{rot} \vec{A}^{\text{э}}; \quad \vec{E} = -\frac{j}{w\mu_a \varepsilon_a} \text{grad} \text{div} \vec{A}^{\text{э}} - jw\vec{f}^{\text{э}}$$

2. Как выглядит выражение составляющей постоянной затухания, вызываемой потерями в среде, заполняющей линию передачи?

$$1) h_g'' \sqrt{2} = \sqrt{-h_0^2 + \sqrt{h_0^4 + w^4 \mu_a^2 \varepsilon_a'^2}}, \quad h_0 = \sqrt{w^2 \mu_a \varepsilon_a' - (2\pi/1_{\text{кр}})^2};$$

$$2) h_H'' = \frac{R_S}{L P_{\text{ср}}} \oint_L |\vec{H}_{0m}|^2 dl;$$

$$3) h_H'' = \frac{R_S}{2Z_c R_2} \cdot \frac{1+R_2/R_1}{\ln(R_2/R_1)}.$$

3. Каким выражением определяются частоты возможных колебаний в прямоугольном резонаторе (а·в·с)? Возможно ли существование колебаний с третьим нулевым индексом?

$$1) \lambda_p = \frac{2}{\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2 + (\frac{p}{c})^2}}; \quad E_{mn0} - \text{да}, \quad H_{mn0} - \text{нет};$$

$$2) \lambda_{\text{кр}} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}; E_{mn0} - \text{нет}, H_{mn0} - \text{да};$$

$$3) \lambda_{\text{в}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2}}; E_{mn0}, H_{mn0} - \text{да};$$

Вариант 2

1. Из каких соображений устанавливают понятие критической частоты, критической длины волны?

$$1) e^{-jhz}, h = \sqrt{w^2 \mu_a \varepsilon_a - g^2}, f_{\text{кр}} = g / (2\pi \sqrt{\mu_a \varepsilon_n}), \lambda_{\text{кр}} = v_0 / f_{\text{кр}} = 2\pi / g;$$

$$2) e^{-jhz}, h = 2\pi / \lambda_{\text{кр}}, f_{\text{кр}} = v_0 / \lambda_{\text{кр}};$$

$$3) e^{-jhz}, f_{\text{кр}} = h / (2\pi \sqrt{\mu_a \varepsilon_n}), \lambda_{\text{кр}} = v_0 / f_{\text{кр}}.$$

2. Приведите выражение для постоянной затухания, вызываемой потерями в металлических проводниках линии передачи.

$$1) h_H'' = \frac{R_S}{L P_{\text{ср}}} \oint_L |\vec{H}_{0m}|^2 dl;$$

$$2) h_g'' \sqrt{2} = \sqrt{-h_0^2 + \sqrt{h_0^4 + w^4 \mu_a^2 \varepsilon_a'^2}}, h_0 = \sqrt{w^2 \mu_a \varepsilon_a' - (2\pi / \lambda_{\text{кр}})^2};$$

$$3) (h_g'')' = h_g'' \left(\frac{V_g}{V_n} \right).$$

3. Каким выражением определяются частоты возможных колебаний в цилиндрическом объемном резонаторе? Возможно ли существование колебаний с третьим нулевым индексом?

$$1) \lambda_p = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{p}{c}\right)^2 + \left(\frac{v_{mn}}{\pi a}\right)^2}}, \begin{cases} v_{mn}^E, & E_{mnp} \\ v_{mn}^H, & H_{mnp} \end{cases}; E_{mn0} - \text{да}, H_{mn0} - \text{нет};$$

$$2) \lambda_p = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}}; E_{mn0} - \text{нет}, H_{mn0} - \text{да};$$

$$3) \lambda_{\text{в}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2}}; E_{mn0} - \text{нет}, H_{mn0} - \text{да}.$$

Вариант 3

1. Как выглядят условия распространения волн в линиях передачи? Как эти условия связаны с критической длиной волны, критической частотой?

$$1) \lambda \leq \lambda_{\text{кр}}, f \geq f_{\text{кр}};$$

$$2) \lambda \leq \lambda_{\text{кр}}, f \leq f_{\text{кр}};$$

$$3) \lambda \geq \lambda_{кр}, f \leq f_{кр}.$$

2. Каким выражением определяется постоянная затухания h''_M для волны H_{10} в прямоугольном волноводе?

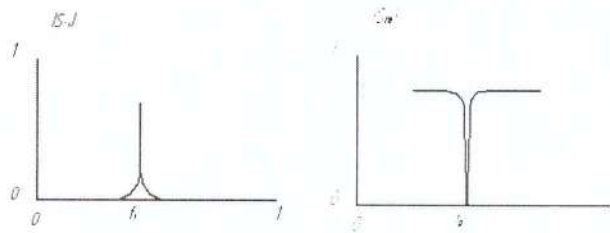
$$1) (h''_H)^{H_{10}} = \frac{R_S}{bz_c} \cdot \frac{1 + \left(\frac{2b}{a}\right) \cdot \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}}, \text{ Нп/м};$$

$$2) (h''_H)^{H_{11}} = \frac{R_S}{az_c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{3,41a}\right)^2}} \cdot [0,42 + \left(\frac{\lambda}{3,41a}\right)^2], \text{ Нп/м};$$

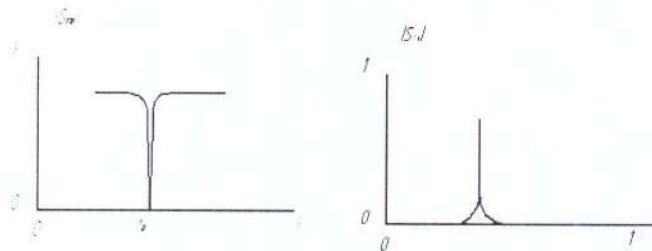
$$3) (h''_H)^{H_{10}} = \frac{R_S}{bz_c} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}}, \text{ Нп/м}.$$

3. Приведите основные способы включения объемных резонаторов и их частотные характеристики.

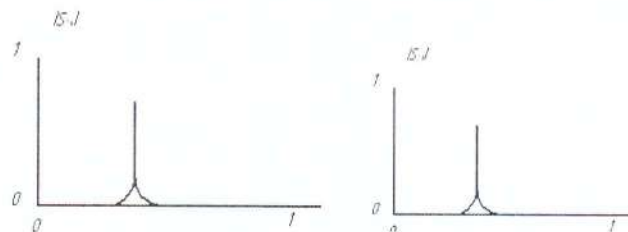
1)



2)



3)



Рейтинг-контроль №2

Вариант 1

1. Что подразумевают под дисперсией в линиях передачи

$$1) v_{\phi}, v_{\omega}, Z_c^{E(H)} \sim f(\omega);$$

$$2) v_{\phi}, v_{\sigma}, Z_c^{E(H)} \sim f(\sigma);$$

- 3) $v_\phi, v_z, z_c^{E(H)} \neq f(\omega)$.
2. Сформулируйте условие одноволновости для основного типа волны в прямоугольном волноводе.
- 1) $\lambda_{кр}^{H_{20}} \leq \lambda \leq \lambda_{кр}^{H_{10}}, a \leq \lambda \leq 2a$;
 - 2) $\lambda > \lambda_{кр}^{H_{10}}, \lambda > 2a$;
 - 3) $\lambda = \lambda_{кр}^{H_{10}}, \lambda = 2a$.
3. Как определяется добротность резонатора. Как связана добротность резонатора с его размерами и проводимостью материала стенок и величиной резонансной частоты.
- 1) $Q = \omega \frac{W_{ср}}{P_{н\ ср}}, V \uparrow \rightarrow Q \uparrow; \sigma \uparrow \rightarrow Q \uparrow; \omega_p \uparrow \rightarrow Q \uparrow$;
 - 2) $Q = 2\pi \frac{\Delta W_{ср}}{W_{ср}}, V \uparrow \rightarrow Q \downarrow; \sigma \uparrow \rightarrow Q \downarrow; \omega_p \uparrow \rightarrow Q \downarrow$;
 - 3) $Q = \omega \frac{P_{н\ ср}}{W_{ср}}, V \uparrow \rightarrow Q \downarrow; \sigma \uparrow \rightarrow Q \uparrow; \omega_p \uparrow \rightarrow Q \uparrow$.

Вариант 2

1. Сформулируйте общие свойства волн типа Т в линиях передачи.
- 1) $\dot{E}_z = \dot{H}_z = 0; \lambda_{кр}^T = \infty; h^T = \beta; v_\phi^T = v_z^T = v_0; z_c^T = z_c$;
 - 2) $\dot{E}_z \neq 0; \lambda_{кр}^T = \infty; h^T = \beta; v_\phi^T = v_z^T = v_0; z_c^T = z_c$;
 - 3) $\dot{H}_z \neq 0; \lambda_{кр}^T = \infty; h^T = \beta; v_\phi^T = v_z^T = v_0; z_c^T = z_c$.
2. Как определить диапазон длин волн, в пределах которого в круглом волноводе диаметром $2a$ может распространяться только основной тип волны?
- 1) $\lambda_{кр}^{E_{01}} \leq \lambda \leq \lambda_{кр}^{H_{11}}, 2,61a \leq \lambda \leq 3,41a$;
 - 2) $\lambda > \lambda_{кр}^{H_{11}}, \lambda > 3,41a$;
 - 3) $\lambda = \lambda_{кр}^{H_{11}}, \lambda = 3,41a$.
3. Какие особенности в параметрах гиромангнитной среды проявляются при распространении в них электромагнитных волн с круговой поляризацией?
- 1) ЛКП: μ_a^+ ; ПКП: $\mu_a^-; \mu_a^+ \neq \mu_a^-$;
 - 2) ЛКП: $\|\mu_a^+\|$; ПКП: $\|\mu_a^-\|; \|\mu_a^+\| \neq \|\mu_a^-\|$;
 - 3) ЛКП: μ_a ; ПКП: μ_a .

Вариант 3

1. Какими соотношениями определяются общие свойства волн типа Е в линиях передачи?

$$1) E_z \neq 0, H_z = 0, h^E = \beta \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; v_{\phi}^E = v_0/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2};$$

$$v_{\xi}^E = v_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; z_c^E = z_c \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}$$

$$2) E_z \neq 0, H_z = 0, h^E = \beta \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; v_{\phi}^E = v_0/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2};$$

$$v_{\xi}^E = v_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; z_c^E = z_c/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2};$$

$$3) E_z = 0, H_z \neq 0, h^E = \beta \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; v_{\phi}^E = v_0/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2};$$

$$v_{\xi}^E = v_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; z_c^E = z_c \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}$$

2. Какой характерной особенностью, обладает частотная зависимость постоянной затухания для волны H_{01} в круглом волноводе?

$$1) f > f_{кр}, f \uparrow \rightarrow (h_H'')^{H_{01}} \downarrow;$$

$$2) f > f_{кр}, f \uparrow \rightarrow (h_H'')^{H_{01}} \uparrow;$$

$$3) f > f_{кр}, f \uparrow \rightarrow (h_H'')^{H_{01}} = const.$$

3. Что подразумевается под эффектом Фарадея в гирромагнитных средах?

1) Поворот плоскости поляризации линейно-поляризованных волн.

2) Поворот плоскости поляризации волн с круговой поляризацией.

3) Изменение направления вращения плоскости поляризации волн с круговой поляризацией.

Вариант 4

1. Сформулируйте общие свойства волн типа Н в линиях передачи.

$$1) E_z = 0, H_z \neq 0, h^H = \beta \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; v_{\phi}^H = v_0/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2};$$

$$v_{\xi}^H = v_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; z_c^H = z_c/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2};$$

$$2) E_z \neq 0, H_z = 0, h^H = \beta \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; v_{\phi}^H = v_0/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2};$$

$$v_{\xi}^H = v_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; z_c^E = z_c \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}$$

$$3) E_z = 0; H_z \neq 0; h^H = \beta; v_{\phi}^H = v_{\xi}^H = v_0; z_c^H = z_c$$

2. Каким образом в коаксиальной линии с волной типа Т достигается максимальное значение допустимой мощности? Какому волновому сопротивлению она соответствует?

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{макс}}:$$

$$1) \ln(R_2/R_1) = 0,5; z_{\text{в}} = 30 \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \text{ Ом};$$

$$\ln(R_2/R_1) = 1; z_{\text{в}} = 60 \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \text{ Ом};$$

$$2) R_2/R_1 \cong 3,6; z_{\text{в}} = 77 \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \text{ Ом};$$

$$\lg(R_2/R_1) = 0,5; z_{\text{в}} = 50 \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \text{ Ом};$$

$$3) \lg(R_2/R_1) = 1; z_{\text{в}} = 100 \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \text{ Ом}.$$

3. Каким соотношением описывается передача энергии в «идеальной радиолнии»?

$$1) P_{\text{кр}} = P_{\Sigma} D_{\Sigma} D_{\text{кр}} \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2;$$

$$2) P_{\text{кр}} = P_{\Sigma} D_{\Sigma} D_{\text{кр}} e^{-2\alpha r};$$

$$3) P_{\text{кр}} = P_{\Sigma} D_{\Sigma} D_{\text{кр}} e^{-\alpha r}.$$

Рейтинг-контроль №3

Вариант 1

1. Что подразумевается под групповой скоростью? Каким выражением она определяется в направляющих структурах?

1) скорость перемещения максимума огибающей группы гармонических волн,

$$\text{близких по частоте: } v_{\text{кр}} = v_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2};$$

2) скорость перемещения точки гармонического колебания с фиксированным

$$\text{значением фазы: } v_{\text{кр}} = v_0 / \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2};$$

3) скорость распространения энергии гармонического волнового процесса: $v_{\text{кр}} = v_0$

2. Каким образом можно определить постоянную затухания в коаксиальной линии, связанную с потерями в диэлектрике, при частичном диэлектрическом заполнении линии?

$$h_g'' \sqrt{2} = \sqrt{-h_0^2 + \sqrt{h_0^4 + \omega^4 \mu_a^2 \varepsilon_a'^4}}, h_0 = \sqrt{\omega^2 \mu_a \varepsilon_a' - (2\pi/\lambda_{\text{кр}})^2};$$

$$1) (h_g'')' = h_g'' \cdot \frac{v_g}{v_n};$$

$$2) (h_g'')' = h_g'' \cdot \frac{V_n}{V_g};$$

$$3) (h_g'')' = h_g''/10;$$

3. Что представляет собой область пространства, существенно участвующая в формировании поля на заданной линии? Каким существенным параметром она характеризуется?

1) эллипсоид вращения; максимальный радиус существенного эллипсоида может быть ограничен восьмью зонами Френеля: $\rho_{\rho \text{ макс}} = \sqrt{2\pi r}$;

2) сфера с радиусом $\beta r \gg 1$;

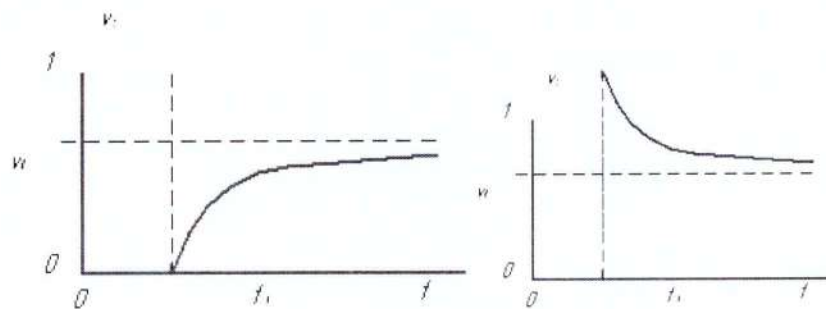
3) цилиндр радиусом и длиной $\beta r \gg 1$, $R \ll 1$.

Вариант 2

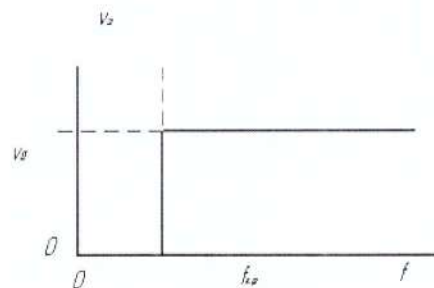
1. Каким выражением определяется скорость распространения энергии гармонических волн в линиях передачи? Постройте его частотную зависимость.

$$1) v_3 = v_0 \cdot \sqrt{1 - (f_{\text{кр}}/f)^2};$$

$$2) v_3 = v_0 / \sqrt{1 - (f_{\text{кр}}/f)^2};$$



$$3) v_3 = v_0, f > f_{\text{кр}}$$



2. При каком волновом сопротивлении коаксиальной линии достигается минимальное затухание в металлических проводниках?

3.

$$1) z_{\text{в}} = 77 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \text{ Ом};$$

$$2) z_B = 30 \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \text{ Ом};$$

$$3) z_B = 60 \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \text{ Ом}.$$

4. Как размеры существенного для распространения радиоволн эллипсоида зависят от длины волны?

1) Максимальный радиус эллипсоида, соответствующий середине трассы $\rho_{n \text{ макс}} = \sqrt{\pi \lambda r} / 2$;

2) Максимальный радиус существенного эллипсоида $\rho_n = \sqrt{n \lambda r' r'' / (r' + r'')}, r' + r'' = r$;

3) Максимальный радиус существенного эллипсоида $\rho_n = \sqrt{\pi \lambda r / 2}$.

Вариант 3

1. Какими факторами обусловлены потери в линиях передачи? Как выглядит общее выражение для постоянной затухания?

1) Потери в среде, заполняющей линию, потери в металлических проводниках линии;

$$h'' = P'_{n \text{ ср}} / 2P_{\text{ср}};$$

2) Потери в среде, заполняющей линию;

$$h_g'' \sqrt{2} = \sqrt{-h_0^2 + \sqrt{h_0^4 + w^4 \mu_a^2 \varepsilon_a'^2}}, h_0 = \sqrt{w^2 \mu_a \varepsilon_a' - (2\pi / 1_{\text{кр}})^2};$$

3) Потери в металлических проводниках линии; $h_H'' = \frac{R_S}{L P_{\text{ср}}} \oint_L |\vec{H}_{0m}|^2 dl$.

2. Какой тип волны в коаксиальной линии с волной Т является высшим и как определяется его критическая длина волны?

$$1) H_{11}, \lambda_{\text{кр}}^{H_{11}} = \pi(R_1 + R_2);$$

$$2) H_{11}, \lambda_{\text{кр}}^{H_{11}} = 3,41a;$$

$$3) H_{10}, \lambda_{\text{кр}}^{H_{10}} = 2a.$$

3. Из каких соображений осуществляется деление пути распространения земной волны на освещенную зону, зону полутени, зону тени?

$$r_{кр} = \sqrt{2Q_3(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})} - \text{расстояние прямой...}$$

1) ОЗ: $r < r_{кр}$; ЗПТ: $r \approx r_{кр}$; ЗТ: $r > r_{кр}$;

2) ОЗ: $r > r_{кр}$; ЗПТ: $r \approx r_{кр}$; ЗТ: $r < r_{кр}$;

3) ОЗ: $r \approx r_{кр}$; ЗПТ: $r < r_{кр}$; ЗТ: $r > r_{кр}$.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины.

Вопросы к экзамену.

1. Связь между продольными и поперечными составляющими полей в регулярной направляющей структуре .
2. Критическая частота, критическая длина волны .
3. Поперечные электромагнитные волны (Т) .
4. Электрические волны (Е) .
5. Магнитные волны (Н) .
6. Концепция парциальных волн .
7. Групповая скорость. Скорость распространения энергии .
8. Мощность, переносимая электромагнитной волной по линии передачи .
9. Прямоугольный волновод (волна Е) .
10. Прямоугольный волновод (волна Н) .
11. Прямоугольный волновод (волна H_{10}) .
12. Круглый волновод (волна Е) .
13. Круглый волновод (волна Н) .
14. Токи на стенках прямоугольного и круглого волноводов .
15. Коаксиальные линии (волна Т) .
16. Коаксиальные линии (волны Е и Н) .
17. Линия поверхностной волны (металлическая плоскость, покрытая слоем диэлектрика) .
18. Линия поверхностной волны (диэлектрический волновод) .
19. Планарные линии передачи .
20. Волоконно-оптические линии передачи .
21. Затухание в линии передачи. Коэффициент затухания .
22. Затухание, вызываемое потерями в среде, заполняющие линии передачи .
23. Затухание, вызываемое потерями в металлических проводниках линии передачи .
24. Передача энергии по прямоугольному волноводу .
25. Передача энергии по круглому волноводу .
- 26.** Передача энергии по коаксиальной линии .
27. Эволюция электромагнитных колебательных систем .
28. Объемный резонатор из отрезка прямоугольного волновода .
29. Общая задача о колебаниях в прямоугольном резонаторе .
30. Цилиндрический объемный резонатор .
31. Способы возбуждения объемных резонаторов .
32. Добротность объемных резонаторов .
33. Распространение электромагнитных линейно поляризованных волн в намагниченной ферритовой среде .

34. Распространение электромагнитных волн с круговой поляризацией в намагниченной ферритовой среде .
35. Эффект Фарадея .
36. Эффект смещения поля в прямоугольном волноводе с поперечно подмагниченным ферритом .
37. Эквивалентная линия.
38. Линия передачи конечной длины.
39. Полное эквивалентное сопротивление линии.
40. Круговая диаграмма полных сопротивлений.
41. Методы согласования линии передачи с нагрузкой.
42. Узкополосное согласование с помощью реактивных элементов.
43. Согласование с помощью четвертьволнового трансформатора.
44. Широкополосное согласование нагрузки с линией.
45. Матрицы рассеяния, сопротивлений и проводимостей многополюсников СВЧ.
46. Метод декомпозиции и матричное описание цепей СВЧ.
47. Эквивалентные схемы цепей СВЧ.
48. Структурный и параметрический синтез устройств СВЧ.
49. Сочленение отрезков линий передачи.
50. Возбуждение электромагнитных волн в линиях передачи.
51. Трансформаторы типов волн.
52. Атенюаторы.
53. Делители.
54. Фазовращатели.
55. Поляризационные устройства.
56. Направленные ответвители и мостовые схемы.
57. Фильтры СВЧ.
58. Энергетические соотношения в условиях свободного пространства.
59. Область пространства, существенно участвующая в формировании поля на заданной линии.
60. Физические процессы при распространении земной волны.
61. Поле высоко поднятого излучателя в освещенной области.
62. Поле низко расположенного излучателя в области приближения плоской Земли.
63. Поле в зонах полутени и тени.
64. Строение атмосферы.
65. Электрические свойства тропосферы и стратосферы.
66. Электрические свойства ионосферы.
67. Общие вопросы распространение радиоволн в земной атмосфере..
68. Распространение УКВ на наземных радиополосах.
69. Распространение КВ.
70. Распространение СВ и ДВ.

Самостоятельная работа студентов (СРС).

СРС с лекционными материалами.

Вопросы структурированные к СРС.

1. Направляющие структуры и направляемые электромагнитные волны. Направляющие структуры. Классификация направляемых волн. Связь между продольными и поперечными составляющими полей в регулярной направляющей структуре. Критическая частота. Критическая длина волны. Поперечные электромагнитные волны. Электрические волны. Магнитные волны. Концепция парциальных волн. Скорость распространения энергии. Групповая скорость. Мощность, переносимая электромагнитной волной по линии передачи.

(ОТЭМП: 3, 4, 6, 7, 8), 2 => 3, 4, 5, 6; ОТЭМП – основы теории электромагнитных полей и волн. КЛ - конспект лекций.

Литература: 7б, [4] с. 239 – 256, КЛ с. 3 - 14.

2. Прямоугольный волновод. Круглый волновод. Токи на системах прямоугольного и круглого волноводов. Волны и коаксиальные линии. Линии поверхностной волны. Планарные линии передачи.

2, 3 => 4, 5, 6.

Литература: 7б, [4] с. 257 – 291, КЛ с. 15 - 36.

3. Требования к линиям передачи. Одноволновый и многоволновый режим. Электрическая прочность линии передачи. Тепловой пробой. Предельная и допустимая мощность. Затухание в линиях передачи. Передача энергии по прямоугольному волноводу. Передача энергии по круглому волноводу. Передача энергии по коаксиальной линии.

3, 4 => 5, 6.

Литература: 7б, [4] с. 292 – 312, КЛ с. 37 – 44

4. Объемные резонаторы . Эволюция электромагнитных колебательных систем при повышении рабочей частоты. Прямоугольный объемный резонатор. Общая задача о колебаниях в прямоугольном объемном резонаторе. Цилиндрический объемный резонатор. Способы возбуждения и включения объемных резонаторов. Добротность объемных резонаторов. Другие типы объемных резонаторов.

(ОТЭМП: 5, 6), 2, 3, 5 => 6.

Литература: 7а, [1] с. 231 – 255, КЛ с. 45 - 56.

5. Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах. Физический механизм анизотропии ферритов. Уравнение движения намагниченности. Тензор магнитной проницаемости намагниченного феррита. Уравнение Максвелла в анизотропной среде. Поперечное распространение электромагнитных волн в намагниченном феррите. Продольное распространение электромагнитных волн в намагниченном феррите.

(ОТЭМП: 2, 7, 8), 2, 3, 4, 6 => 9, 10, 11.

Литература: 7а, [1] с. 327 – 346, КЛ с. 57 - 64.

6. Компьютерные методы решения задач электродинамики. Прямоугольный волновод с неоднородным заполнением. Метод сеток. Метод Бубнова – Галеркина. Метод интегральных уравнений.

3, 7 => 3.

Литература: 7а, [1] с. 387 – 405, КЛ с. 65 - 83.

7. Механизм распространения радиоволн в свободном пространстве. Энергетические соотношения в условиях свободного пространства. Область пространства, существенно участвующая в формировании поля на заданной линии.

(ОТЭМП: 2, 7), 8 => 9, 10, 11;

Литература: 7а, [2] с.467 – 478, КЛ с. 84 - 90.

8. Распространение земных радиоволн. Физические процессы при распространении земной волны. Классификация методов расчета поля земной волны. Поле высоко поднятого излучателя в освещенной зоне. Поле низко расположенного излучателя в зоне приближения плоской Земли. Поле в зонах полутени и тени при высоко поднятых и низко расположенных излучателях.

(ОТЭМП: 2, 7, 8, 10), 9 => 10, 11.

Литература: 7а, [2] с.478 – 484, КЛ с. 91 - 101.

9. Атмосфера и ее влияние на распространение радиоволн. Строение атмосферы.

Электрические свойства тропосферы и стратосферы. Электрические свойства ионосферы.

(ОТЭМП: 2, 7, 10, 11), 10 => 11.

Литература: 7а, [2] с. 485 – 496, КЛ с. 102 - 108.

10. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов. Распространение УКВ на наземных радиоприемниках. Распространение УКВ на космических радиоприемниках. Распространение КВ. Распространение средних и длинных волн. Особенности распространения волн оптического диапазона

(ОТЭМП: 2, 7, 10, 11), 8, 9, 10 => 11;

Литература: 7а, [2] с.497 – 505, КЛ с. 109 - 118.

Контрольные работы для СРС.

Контрольная работа № 1

Вариант 1

1. Каким образом можно установить связь между продольными и поперечными составляющими волн в регулярной направляющей структуре? Зачем это нужно?
2. Рассмотрите свойства волн типа Е в прямоугольном волноводе. Проанализируйте их основные параметры.
3. [3], п.7.а: 7.12, 8.39, 9.15.

Вариант 2

1. Из каких соображений устанавливаются понятия критической частоты, критической длины волны в линии передачи?
2. Рассмотрите свойства волн типа Н в прямоугольном волноводе. Проанализируйте их основные параметры.
3. [3], п.7.а: 7.12, 8.39, 9.15.

Вариант 3

1. Объясните физический смысл условий распространения волн в линиях передачи. Как эти условия связаны с критической длиной волны, критической частотой?
2. Какими характерными особенностями обладает волна H_{10} в прямоугольном волноводе? При каких условиях для нее реализуется режим одноволновости?
3. [3], п.7.а: 7.16, 8.40, 9.16.

Вариант 4

1. Что подразумевают под дисперсией в линиях передачи? Как это понятие можно проиллюстрировать графически?
2. Проанализируйте свойства и параметры волн типа Е в круглом волноводе.
3. [3], п.7.а: 7.17, 8.38, 9.17.

Вариант 5

1. Сформулируйте общие свойства волн типа Т в линиях передачи.

2. Проанализируйте свойства и параметры волн типа Н в круглом волноводе. Какую волну называют основной для круглого волновода?
3. [3], п.7.а: 7.20, 8.37, 9.18.

Вариант 6

1. Сформулируйте общие свойства волн типа Е в линиях передачи.
2. Постройте и проанализируйте структуру поверхностных токов на стенках прямоугольного волновода с волной H_{10} .
3. [3], п.7.а: 7.29, 8.35, 9.19.

Вариант 7

1. Сформулируйте общие свойства волн типа Н в линиях передачи.
2. Постройте и проанализируйте структуру поверхностных токов на стенках круглого волновода с волной H_{11} , волной H_{01} .
3. [3], п.7.а: 7.43, 8.34, 9.20.

Вариант 8

1. Поясните физический смысл концепции парциальных волн. Как на ее основе определяются параметры волн Е и Н в линиях передачи?
2. Проанализируйте выражения для составляющих поля и основные параметры волн типа Т в коаксиальной линии. При каком условии в коаксиале реализуется одноволновый режим волны Т?
3. [3], п.7.а: 7.46, 8.24, 9.6.

Вариант 9

1. Что подразумевается под групповой скоростью? При каких ограничениях справедливо это понятие?
2. Рассмотрите условия существования волн типа Е, типа Н в линии поверхностной волны (металлическая плоскость покрытая слоем диэлектрика).
3. [3], п.7.а: 7.39, 8.19, 9.7.

Вариант 10

1. Каким образом определяется скорость распространения энергии гармонических волн в линиях передачи? Постройте и проанализируйте ее частотную зависимость.
2. Сформулируйте условия существования поверхностных волн в металлической гребенчатой структуре.
3. [3], п.7.а: 7.40, 8.18, 9.8.

Контрольная работа № 2

Вариант 1

1. Какими факторами обусловлены потери в линиях передачи? Получите общее выражение для постоянной затухания.
2. С чем связан переход в колебательных системах к структурам с распределенными параметрами?
3. [3], п.7.а: 7.55, 10.8, 13.8.

Вариант 2

1. Получите выражение для постоянной затухания в линии передачи, обусловленной потерями в среде, заполняющей линию. Проанализируйте полученное соотношение.

2. Поясните возможность реализации объемного резонатора из отрезка регулярного прямоугольного волновода. Какими свойствами он будет обладать?
3. [3], п.7.а: 7.54, 10.9, 13.9.

Вариант 3

1. Получите выражение для постоянной затухания в линии передачи, обусловленной потерями в металлических проводниках. Проанализируйте полученное соотношение.
2. Рассмотрите общую задачу о колебаниях в прямоугольном объемном резонаторе. Возможно ли в нем существование колебания с третьим нулевым индексом?
3. [3], п.7.а: 7.53, 10.10, 13.10.

Вариант 4

1. Постройте график зависимости постоянной затухания в прямоугольном волноводе от частоты. Проанализируйте и объясните характерные особенности на примере волновода с волной H_{10} .
2. Рассмотрите общую задачу о колебаниях в цилиндрическом резонаторе. Приведите структуру поля низших типов колебаний.
3. [3], п.7.а: 7.52, 10.11, 13.26.

Вариант 5

1. Объясните связь постоянной затухания в прямоугольном волноводе с волной H_{10} с размерами поперечного сечения и величиной удельной объемной проводимости стенок.
2. Приведите основные способы возбуждения и включения объемных резонаторов.
3. [3], п.7.а: 7.51, 10.12, 13.25.

Вариант 6

1. Объясните процедуру получения выражения для предельной мощности в прямоугольном волноводе с волной H_{10} . Как она связана с длиной волны? Сравните с предельной мощностью для коаксиальной линии с волной типа Т.
2. Что подразумевается под добротностью объемных резонаторов? Как она связана с резонансной частотой и размерами резонатора?
3. [3], п.7.а: 7.50, 10.13.

Вариант 7

1. Постройте и объясните зависимость постоянной затухания в круглом волноводе от частоты. Проведите сравнительную оценку величины затухания для основного типа и высших типов волн.
2. Поясните эффект смещения поля в прямоугольном волноводе с поперечно подмагниченным ферритом.
3. [3], п.7.а: 7.49, 10.14, 13.24.

Вариант 8

1. Объясните характерную особенность присущую зависимости постоянной затухания от частоты для волны H_{01} в круглом волноводе. При каких размерах поперечного сечения она становится наиболее выраженной?
2. Поясните особенности распространения линейно поляризованных волн в намагниченной ферритовой среде.
3. [3], п.7.а: 7.38, 10.15, 13.23.

Вариант 9

1. Какими соображениями обусловлен стандарт на волновое сопротивление коаксиальной линии 50 Ом?
2. Объясните особенности распространения в намагниченной ферритовой среде волн с круговой поляризацией.
3. [3], п.7.а: 7.37, 10.16, 13.22.

Вариант 10

1. Какими соображениями обусловлен стандарт на волновое сопротивление коаксиальной линии 75 Ом?
2. Объясните возникновение эффекта Фарадея в гиромагнитных средах.
3. [3], п.7.а: 7.36, 10.17, 13.21.

Контрольная работа №3

Вариант 1

1. Что подразумевают под механизмом распространения радиоволн? Приведите примеры радиолиний использующих земную волну, рассеянную волну, ионосферную волну, прямую волну.
2. Почему диэлектрическая проницаемость тропосферы испытывает пространственные и временные изменения? В каких случаях свойства тропосферы близки к идеальному диэлектрику?
3. Что такое эффективная длина трассы при расчете ослабления поля в осадках?
4. Что называют зоной уверенного приема СВ и какими способами увеличивают протяженность этой зоны?
5. Определить значение частоты, при которой в сухой почве с параметрами $\epsilon=5$, $\sigma=10^{-3}$ см/м действительная и мнимая части комплексной диэлектрической проницаемости становятся одинаковыми.

Вариант 2

1. Поясните физическую сущность процесса ослабления поля в условиях свободного пространства (УСП).
2. Поясните закономерности распределения электронной концентрации во внутренней и внешней ионосфере.
3. Поясните термины «отклоняющее» и «неотклоняющее» поглощение в ионосфере.
4. От каких параметров трассы и оборудования зависит напряженность поля пространственной волны в диапазоне СВ?
5. Известно, что на уровне земной поверхности значение индекса преломления $N_0=300$. Найти относительную диэлектрическую проницаемость воздуха ϵ на земле и на высоте $h=3$ км.

Вариант 3

1. От каких параметров линии в УСП зависит мощность на входе приемника радиолиний первого типа, радиолиний второго типа?
2. Каковы причины образования и количественные характеристики локальных неоднородностей в тропосфере?
3. Какие параметры трассы и оборудования определяют интерференционную формулу применяемую для расчета напряженности поля в освещенной области?
4. Какие характерные черты распределения поля на ДВ?

5. Оценить эффект атмосферной рефракции для условий: $\varepsilon(h=0) = 1,006$,
1. $\varepsilon(h=3\text{км}) = 1,00036$. Реальный неоднородный слой заменить двумя однородными с диэлектрическими проницаемостями $\varepsilon_1=1,0006$ и $\varepsilon_2=1,00036$. Положить угол падения $\varphi=70^\circ$.

Вариант 4

1. Что такое множитель ослабления поля свободного пространства? Что называется потерями и основными потерями передачи в УСП?
2. Почему ионосфера является средой с дисперсией? Почему диэлектрическая проницаемость ионосферы меньше, чем свободного пространства?
3. Назовите виды шероховатых поверхностей для дециметровых волн. Что такое эффект «усиления» препятствием?
4. Почему радиус действия СВ передатчика изменяется в течение суток?
5. Плоская волна падает на слой E ионосферы с электронной концентрацией $N_e=10^{11}$ м⁻³ под углом $\varphi=60^\circ$. Определить наибольшее значение частоты $f_{\text{макс}}$, при которой еще наблюдается полное отражение от слоя.

Вариант 5

1. Как построить зоны Френеля на плоскости? Что такое существенный эллипсоид для распространения и почему его размеры зависят от длины волны?
2. Каковы основные характеристики неоднородностей диэлектрической проницаемости ионосферы?
3. Назовите физические процессы, являющиеся причиной замираний на открытых трассах. Какие процессы обуславливают «потерю усиления» антенн?
4. Почему понятие "мертвой зоны» для приема характерно для КВ диапазона?
5. Ионосферный слой F с концентрацией электронов $N_e=10^{12}$ м⁻³ располагается на высоте $h=400$ км от поверхности Земли. Найти наивысшее значение частоты поля $f_{\text{макс}}$, которое еще обеспечивает полное отражение электромагнитной волны от слоя.

Вариант 6

1. Какие физические процессы сопровождают распространение радиоволн вдоль земной поверхности? Поясните принцип отражательной трактовки влияния Земли, какие ограничения при этом появляются в связи с наличием существенной области для отражения?
2. От чего зависит угол наклона и радиус кривизны траектории волны на некоторой высоте в атмосфере?
3. От каких параметров трассы и оборудования зависит месячное медианное значение множителя ослабления при ДТР?
4. Как влияет условие распространения на КВ-радиолиниях на требования к ДН антенн в вертикальной и горизонтальной плоскостях?
5. Космическая радиолиния связи имеет протяженность 400 км. Мощность передатчика 80 Вт, длина волны 3 см. Антенны передатчика и приемника идентичны и представляют собой однозеркальные параболические антенны (коэффициент эффективности $\eta=0,55$) диаметром 1 м. определить мощность, поступающую на вход приемника.

Вариант 7

1. От каких параметров трассы зависит интерференционная структура поля земной волны? Что такое приведенная высота антенны?

2. При каких метеоусловиях наблюдается положительная или отрицательная рефракция в тропосфере?
3. Опишите явления в тракте распространения, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации систем спутниковой связи.
4. Чем ограничена скорость передачи дискретной информации на КВ радиолиниях?
5. Космическая радиолиния снабжена антеннами с коэффициентом направленного действия $D=5900$. Мощность передатчика 80 Вт. Используется приемник с шумовой температурой 150 К. Линия предназначена для передачи телевизионного изображения среднего качества и имеет полосу пропускания 4 МГц. Вычислить длину трассы r , при которой мощность принятого сигнала в 10 раз превышает мощность шума ($q = P_{\text{пр}}/P_{\text{ш}}=10$).

Вариант 8

1. Каков принцип деления трассы распространения земной волны на три зоны при высоко поднятых и низко расположенных системах относительно поверхности земли?
2. Что такое эквивалентный радиус Земли и когда это понятие справедливо?
3. Почему на космических линиях передача и прием ведутся при углах возвышения траектории волн более 5° ?
4. Каковы основные положения метода расчета напряженности поля на КВ радиолиниях?
5. Найдите предельную длину трассы с прямой видимостью между антенной Останкинского телецентра ($h=500\text{м}$) и антенной коллективного приема телевидения, расположенной на крыше жилого дома ($h=40\text{м}$).

Вариант 9

1. Поясните закономерность поля земной волны в зоне тени при низко расположенных антеннах? Почему УКВ сильнее ослабляются при распространении за линию горизонта, чем средние и длинные волны?
2. Что такое критическая частота ионосферного слоя и как определить эквивалентную частоту при наклонном падении? Чем ограничен верхний предел частоты волн, отражающихся от ионосферы?
3. От каких характеристик тракта распространения зависит необходимая мощность земного и бортового передатчиков?
4. Каковы причины замираний на КВ радиолиниях и какие меры позволяют повысить устойчивость приема?
5. Спроектируйте линию КВ-связи длиной 1200 км, работающую за счет отражения от слоя F ионосферы с концентрацией электронов $N_e=1,5 \times 10^{12} \text{ м}^{-3}$. Высота слоя 260 км.

Вариант 10

1. По каким признакам разделяют атмосферу на тропосферу, стратосферу и ионосферу?
2. Чем объясняется частотная зависимость ослабления поля в газах?

3. Какие особенности возникают при связи с ИСЗ перемещающимися относительно наземного пункта связи?
4. В чем различие максимальной применимой частоты и максимальной частоты?
5. Передающая часть космической радиолинии снабжена однозеркальной параболической антенной (кип – 0,55) площадью 1000 м². Однозеркальная параболическая приемная антенна (кип – 0,55) имеет площадь 30 м². Рабочая длина волны 7,5 см. Приемник с полосой пропускания 15 кГц имеет шумовую температуру 120К. Определить предельную длину радиолинии, при которой отношение сигнал/шум на входе приемника будет не ниже 3 дБ. На сколько сократится длина линии, если полосу пропускания приемника расширить до 1 МГц?

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Книгообеспеченность.

№ п/п	Название и выходные данные (автор, вид издания, издательство, издания, количество страниц)	Год издания	Количество экземпляров в библиотеке университета	Наличие в электронной библиотеки ВлГУ
1	2	3	4	5
7а	Основная литература			
1	Кураев А.А., Попкова Т.Л., Сеницын А.К. Электродинамика и распространение радиоволн: учебное пособие / А.А. Кураев, Т.Л. Попкова, А.К. Сеницын. – М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2013. – 424 с. ISBN 978-5-16-006211-2	2013		http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=367972
2	Муромцев Д.Ю., Зырянов Ю.Т., Федюнин П.А. Электродинамика и распространение радиоволн: учебное пособие / Д.Ю. Муромцев, Ю.Т. Зырянов, П.А. Федюнин. – М.: Изд. 2-ое. М.: «Лань», 2014. – 443 с. ISBN 979-5-8114-1637-0	2014		http://www.lanbook.com/books/element.php?p/1_cid/68&p/1_id=1107
3	Сборник задач по курсу «Электродинамика и распространение радиоволн»: учебное пособие / Под. ред. С.И. Баскакова. Изд. 2-ое. М.: Лепанд, 2015. – 210 с. ISBN 978-5-9710-2517-7.	2015	36	
4	Гаврилов В.М. Электродинамика и распространение радиоволн: Лаб. Практикум/ ВлГУ. Владимир, 2018.-70с. (УЭИ)	2018		http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/6608
7б	Дополнительная литература			
1	Боков Л.А. Электродинамика и	2012		

	распространение радиоволн (электронный ресурс): учебное пособие / Л.А. Боков, В.А. Замотринский, А.Е. Мандель. – Электронные текстовые данные. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 301 с. ISSN 2227-8397			http://www.iprbooksshop.ru/13874.html
2	Мандель А.Е. Распространение радиоволн (электронный ресурс): учебное пособие / А.Е. Мандель, В.А. Замотринский. - Электронные текстовые данные. – Электронные текстовые данные. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 163 с.	2012		http://iprbooksshop.ru/13969
3	Электродинамика: Учебное пособие / И.Ф. Будагян, В.Ф. Дубровин, А.С. Сигов. - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 304 с. ISBN 978-5-98281-329-9	2013		http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=391337

7.2. Периодические издания - .

7.3. Интернет-ресурсы:

[http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=367972;](http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=367972)

http://www.lanbook.com/books/element.php?p/1_cid/68&p/1_id=1107;

<http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/6608;>

[http://www.iprbooksshop.ru/13874.html;](http://www.iprbooksshop.ru/13874.html)

[http://iprbooksshop.ru/13969;](http://iprbooksshop.ru/13969)

[http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=391337.](http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=391337)

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации дисциплины имеется специальное помещение для проведения занятий лекционного, практического и лабораторного типов, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, для самостоятельной работы. Лекционные и практические занятия, лабораторные работы проводятся в лаборатории «Техническая электродинамика и распространение радиоволн», (510 -3). Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

- лабораторные макеты и измерительное оборудование специализированной лаборатории (510-3) по дисциплине ТЭД и РРВ (5 физических лабораторных работ): Г4-80 – 2 шт., Г4-32А, Г4-111Б, Г4-83, В3-38 – 3 шт., У2-8 – 3 шт., П6-23А; Р2-53 – 1 шт.;

- компьютеры со специализированным программным обеспечением LabVIEW в лаборатории (510-3) для выполнения виртуальных лабораторных работ по дисциплине ТЭД и РРВ (4 виртуальные работы).

Рабочую программу составил профессор кафедры РТ и РС _____ В.М. Гаврилов

Рецензент Генеральный директор ОАО

“Владимирское КБ Радиосвязи” _____ А.Е.Богданов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТ и РС

Протокол № 18 от 26.06.19 года.

Заведующий кафедрой РТ и РС _____ О.Р. Никитин

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Протокол № 4 от 27.06.19 года.

Председатель комиссии _____ О.Р.Никитин

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Рабочая программа одобрена на _____ учебный год

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на _____ учебный год

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на _____ учебный год

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочую программу дисциплины

Техническая электродинамика и распространение радиоволн
образовательной программы направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные
технологии и системы связи, направленность: бакалавриат.

Номер изменения	Внесены изменения в части/ разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1	2	3	4

Зав. кафедрой