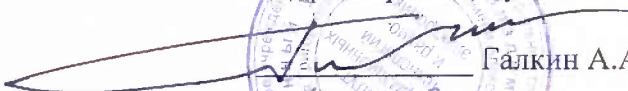



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

Институт информационных технологий и радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
  
Галкин А.А.  
» 09 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Техническая электродинамика и распространение радиоволн

**направление подготовки / специальность**

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

**направленность (профиль) подготовки**

Мобильные средства связи

г. Владимир

Год 2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины Техническая электродинамика и распространение радиоволн является 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, проектной.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Техническая электродинамика и распространение радиоволн относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	<p>УК-1.1. Знает принципы сбора и обобщения информации.</p> <p>УК-1.2. Умеет соотнести разнородные явления и систематизировать их в рамках избранных видов профессиональной деятельности.</p> <p>УК-1.3. Владеет навыками научного поиска и практической работы с информационными источниками; методами принятия решений.</p>	<p>Знает основные положения теории волноводов и колебательных систем, условия распространения электромагнитных волн в анизотропных средах, особенности работы радиолиний в непосредственной близости от земной поверхности.</p> <p>Умеет 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;</p>	<p>Опрос по пройденному теоретическому материалу.</p> <p>Тестовые вопросы.</p>

		<p>используя знания о физических параметрах земной поверхности и атмосферы, выполнять оценку условий распространения радиоволн в земных условиях.</p> <p>Владеет методами анализа волновых процессов в основных типах линий передачи и объемных резонаторах, способами описания распространения радиоволн в анизотропных средах и естественных условиях.</p>	
<p>ПК-1. Способен осуществлять подготовку типовых технических проектов и первичный контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации на различные инфокоммуникационные объекты национальным и международным стандартам и техническим регламентам.</p>	<p>ПК-1.1. Знает принципы системного подхода в проектировании систем связи (телекоммуникаций).</p> <p>ПК-1.2. Знает современные технические решения создания объектов и систем связи (телекоммуникационных систем) и ее компонентов, новейшее оборудование и программное обеспечение.</p> <p>ПК-1.3. Умеет использовать нормативно-техническую документацию при разработке проектной документации.</p> <p>ПК-1.4. Владеет навыками оформления проектной документации в соответствии со стандартами и техническими регламентами.</p>	<p>Знает современные теоретические и экспериментальные методы исследований электромагнитных волновых процессов в направляющих и колебательных системах, гирромагнитных средах, наземных радиопередачах с целью создания новых перспективных средств инфокоммуникаций, использованию и внедрению результатов исследований.</p> <p>Умеет применять современные теоретические и экспериментальные методы исследований электромагнитных волновых процессов в направляющих и колебательных системах, гирромагнитных средах, наземных радиопередачах с целью создания новых</p>	<p>Лабораторные работы с физическим и виртуальным оборудованием.</p> <p>Отчет по практической подготовке.</p>

		<p>перспективных средств инфокоммуникаций, использованию и внедрению результатов исследований.</p> <p>Владеет современными теоретическими и экспериментальными методами исследований электромагнитных волновых процессов в направляющих и колебательных системах, гиромангнитных средах, наземных радиоприемных линиях с целью создания новых перспективных средств инфокоммуникаций, использования и внедрения результатов исследований.</p>	
--	--	---	--

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия <sup>1</sup>	Лабораторные работы	в форме практической подготовки <sup>2</sup>		
1	Введение. Общие свойства направляемых волн.	4	1	1	1			4	
		4	2	1	1			4	

2	Направляющие структуры.	4	3	1	1	4	1	4	
		4	4	1	1	4	1	4	
		4	5	1	1		1	4	
3	Передача электромагнитной энергии по направляющим структурам.	4	6	1	1		1	4	Рейтинг-контроль 1
		4	7	1	1		1	4	
4	Колебательные системы	4	8	1	1	4	1	4	
5	Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах.	4	9	1	1	4	1	4	
		4	10	1	1		1	5	
6	Компьютерные методы решения задач электродинамики.	4	11	1	1		1	5	
7	Теория цепей СВЧ	4	12	1	1		1	5	Рейтинг-контроль 2
8	Линейные устройства СВЧ	4	13	1	1		1	5	
9	Распространение радиоволн в свободном пространстве	4	14	1	1	2	1	5	
10	Распространение земных радиоволн	4	15	1	1		1	5	
		4	16	1	1		1	5	
11	Электрические параметры земной атмосферы	4	17	1	1		1	5	
12	Распространение радиоволн в земной атмосфере	4	18	1	1		1	5	Рейтинг-контроль 3
Всего за 4 семестр:				18	18	18		81	Экзамен (45)
Наличие в дисциплине КП/КР					-				
Итого по дисциплине				18	18	18		81	Экзамен (45)

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Введение. 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 2. 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  $T$  в коаксиальной линии. Структура поля и свойства волн  $T$  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 3. 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  $T$ -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 4. 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 5. 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 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 6. 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 7. 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 8. 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 9. 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 10. 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 11. 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 12. 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 энергети-



ческий расчет линий ДТР.

Тема 3. Распространение КВ.

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

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 2. 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 3. 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 4. 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 5. 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 гиромагнитной среде вдоль направления намагничивания.

Раздел 9. 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 1. Введение. 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 2. 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 3. 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 2. 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 2. Направляющие структуры.

Тема 4. Волны в коаксиальной линии.

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

Раздел 3. 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 Т.

Раздел 4. 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 5. 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 6. 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 7. 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 8. 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 19. 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 10. 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 11. 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 12. 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. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

### 5.1. 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?

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

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

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

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

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

$$2) h_H'' = \frac{R_2}{L P_{\text{ср}}} \oint_L |\dot{H}_{\text{ом}}|^2 dl;$$

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

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

$$1) \lambda_p = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{b}\right)^2 - \left(\frac{\pi}{c}\right)^2}}; E_{mn0} - \text{да}, H_{mn0} - \text{нет};$$

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

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

### Вариант 2

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

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

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

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

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

$$1) h_H'' = \frac{R_2}{L P_{\text{ср}}} \oint_L |\dot{H}_{\text{ом}}|^2 dl;$$

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

$$3) (h_g'')^2 = h_g'' \left( \frac{v_g}{v_n} \right).$$

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

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

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

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

### Вариант 3

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

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

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

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

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

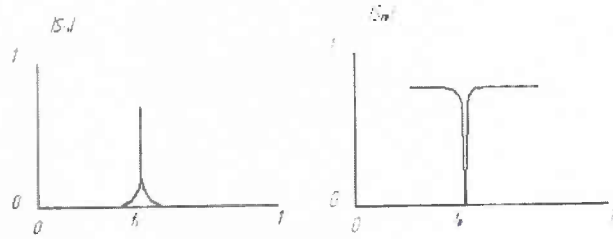
$$1) (h''_N)^{H_{10}} = \frac{R_s}{b z_c} \cdot \frac{1 + \left(\frac{2b}{c}\right) \left(\frac{\lambda}{2c}\right)^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2c}\right)^2}}, \text{ Нп/м};$$

$$2) (h''_N)^{H_{11}} = \frac{R_s}{a z_c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{3.41a}\right)^2}} \cdot [0,42 + \left(\frac{\lambda}{3.41a}\right)^2], \text{ Нп/м};$$

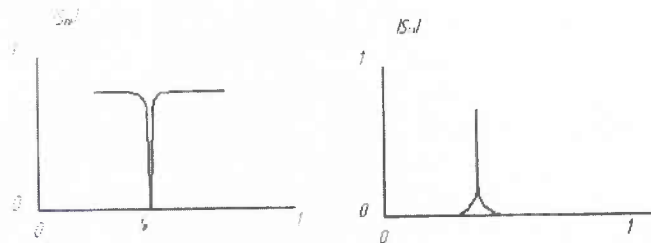
$$3) (h''_N)^{H_{10}} = \frac{R_s}{b z_c} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}}, \text{ Нп/м}.$$

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

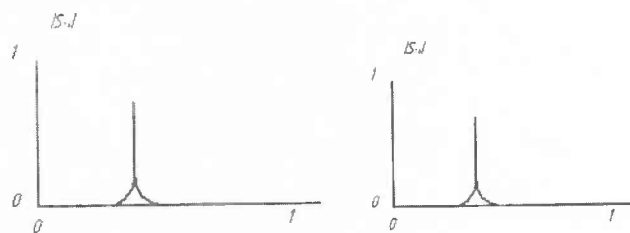
1)



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

3)  $v_{\phi}, v_{\omega}, Z_c^{E(H)} \neq f(\omega)$ .

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)  $\lambda > \lambda_{кр}^{H_{20}}, \lambda > 2a$ ;

3)  $\lambda = \lambda_{кр}^{H_{20}}, \lambda = 2a$ .

3. Как определяется добротность резонатора. Как связана добротность резонатора с его размерами и проводимостью материала стенок и величиной резонансной частоты.

1)  $Q = \omega \frac{W_{ср}}{P_{н ср}}, V \uparrow \rightarrow Q \uparrow; \sigma \uparrow \rightarrow Q \uparrow; \omega_p \uparrow \rightarrow Q \uparrow$ ;



$$2) Q = 2\pi \frac{\Delta W_{\text{ср}}}{W_{\text{ср}}}, V \uparrow \rightarrow Q \downarrow; \sigma \uparrow \rightarrow Q \downarrow; \omega_p \uparrow \rightarrow Q \downarrow;$$

$$3) Q = \omega \frac{P_{\text{н.ср}}}{W_{\text{ср}}}, V \uparrow \rightarrow Q \downarrow; \sigma \uparrow \rightarrow Q \uparrow; \omega_p \uparrow \rightarrow Q \uparrow.$$

### Вариант 2

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

$$1) \dot{E}_z = \dot{H}_z = 0; \lambda_{\text{кр}}^T = \infty; h^T = \beta; v_{\Phi}^T = v_z^T = v_0; z_c^T = z_c;$$

$$2) \dot{E}_z \neq 0; \lambda_{\text{кр}}^T = \infty; h^T = \beta; v_{\Phi}^T = v_z^T = v_0; z_c^T = z_c;$$

$$3) \dot{H}_z \neq 0; \lambda_{\text{кр}}^T = \infty; h^T = \beta; v_{\Phi}^T = v_z^T = v_0; z_c^T = z_c.$$

2. Как определить диапазон длин волн, в пределах которого в круглом волноводе диаметром  $2a$  может распространяться только основной тип волны?

$$1) \lambda_{\text{кр}}^{E_{01}} \leq \lambda \leq \lambda_{\text{кр}}^{H_{11}}, 2,61a \leq \lambda \leq 3,41a;$$

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

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

3. Какие особенности в параметрах гиромагнитной среды проявляются при распространении в них электромагнитных волн с круговой поляризацией?

$$1) \text{ЛКП: } \mu_a^+; \text{ПКП: } \mu_a^-; \mu_a^+ \neq \mu_a^-;$$

$$2) \text{ЛКП: } \|\mu_a^+\|; \text{ПКП: } \|\mu_a^-\|; \|\mu_a^+\| \neq \|\mu_a^-\|;$$

$$3) \text{ЛКП: } \mu_a; \text{ПКП: } \mu_a.$$

### Вариант 3

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

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

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

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

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

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

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

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 гиромагнитных 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.

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

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

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

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

$$3) E_z = 0; H_z \neq 0; h^H = \beta; \quad v_{\frac{H}{\Phi}}^H = v_{\frac{H}{z}}^H = v_0; \quad z_c^H = z_c$$

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

$$P_{ср} = P_{макс};$$

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

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

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

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

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

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, близких

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

2) скорость перемещения точки гармонического колебания с фиксированным

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

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

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

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

$$1) (h_g'') = h_g'' \cdot \frac{V_g}{V_a};$$

$$2) (h_g'')' = h_g'' \cdot \frac{V_1}{V_2};$$

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

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:  $\rho_{\text{макс}} = \sqrt{2\pi r}$ ;

2) сфера с радиусом  $\beta r \gg 1$ ;

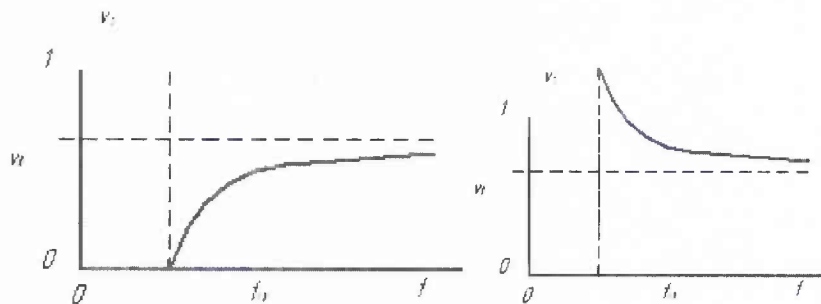
3) цилиндр радиусом и длиной  $\beta r \gg 1$ ,  $R \ll 1$ .

### Вариант 2

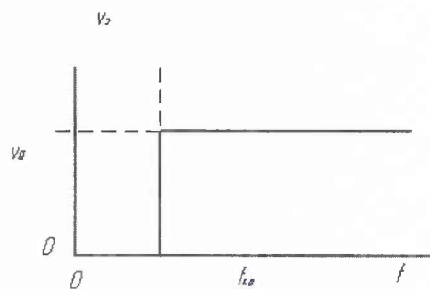
1. Каким выражением определяется скорость распространения энергии гармонических волн в линиях передачи? Постройте его частотную зависимость.

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

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



$$3) v_z = v_0, f > f_{\text{кр}}$$





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

3.

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

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

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

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

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

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

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

### 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;

$$\alpha'' = P'_{\text{н ср}} / 2P_{\text{ср}};$$

2) Потери в среде, заполняющей линию;

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

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

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

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

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

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

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

$r_{кр} = \sqrt{2Q_3(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})}$  – 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:  $r > r_{кр}$ .

## 5.2. 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 волноводe 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. Поляризациянные 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 распространения радиоволн в земной атмосфере..
68. Распространение УКВ на наземных радиоприемниках.
69. Распространение КВ.
70. Распространение СВ и ДВ.

### 5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

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. (ОТЭМПВ: 3, 4, 6, 7, 8), 2 => 3, 4, 5, 6; ОТЭМПВ – основы теории электромагнитных полей и волн. КЛ - конспект лекций.  
Литература: 6.1, [1] 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: 6.1, [1] 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: 6.1, [1] 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.  
(ОТЭМПВ: 5, 6), 2, 3, 5 => 6.  
Литература: 6.1, [2] 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.



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

Литература: 6.1, [2] 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: 6.1, [2] 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.

(ОТЭМПВ: 2, 7), 8 => 9, 10, 11;

Литература: 6.1, [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.

(ОТЭМПВ: 2, 7, 8, 10), 9 => 10, 11.

Литература: 6.1, [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.

(ОТЭМПВ: 2, 7, 10, 11), 10 => 11.

Литература: 6.1, [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

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

Литература: 6.1, [2] с.497 – 505, КЛ с. 109 - 118.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
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	<a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=367972">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=367972</a>
2. Муромцев Д.Ю., Зырянов Ю.Т., Федюнин П.А.	2014	<a href="http://www.lanbook.com/books/element.php?">http://www.lanbook.com/books/element.php?</a>



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		p/1_cid/68&p/1_id=1107
3. Гаврилов В.М. Электродинамика и распространение радиоволн: лаб. практикум/ В.М. Гаврилов, Н.Н. Корнеева; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Изд. 2-е доп. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2020. -100 с. ISBN 978-5-9984-1106-9.	2020	<a href="http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/8283">http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/8283</a>
4. Крамм М.Н. Сборник задач по основам электродинамики: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во «Лань», 2021. – 256с. ISBN 978-58114-1122-1	2021	<a href="http://e.lanbook.com/reader//book/167874/">http://e.lanbook.com/reader//book/167874/</a>
Дополнительная литература		
1. Боков Л.А. Электродинамика и 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	2012	<a href="http://www.iprbooksshop.ru/13874.html">http://www.iprbooksshop.ru/13874.html</a>
2. 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	<a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=391337">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=391337</a>

## 6.2. Периодические издания

Электродинамика, Техническая электродинамика, Радиофизика, Радиотехника и электроника.

## 6.3. Интернет-ресурсы

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=367972;>

[http://www.lanbook.com/books/element.php?p/1\\_cid/68&p/1\\_id=1107;](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://iprbooksshop.ru/13969;>

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

## 7. 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 (4 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 (1 виртуальная работа).

Рабочую программу составил Гаврилов В.М., доцент кафедры РТ и РС  
Рецензент

«Владимирское КБ Радиосвязи», Генеральный директор Богданов А.Е.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТ и РС

Протокол № 1 от 30.08.21 года

Заведующий кафедрой Никитин О.Р.

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

Протокол № 1 от 1.09.21 года

Председатель комиссии Никитин О.Р., заведующий кафедрой

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

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: Мобильные средства связи (бакалавр)

