

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

Учебно-научный институт радиоэлектроники и информационных
технологий (ИРИТ)

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института:

_____ Мякинников А.В.

«19» марта 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.2.2 Направляющие и колебательные системы СВЧ
для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 11.03.01 Радиотехника

Направленность: Радиоэлектронные системы

Форма обучения: очная, очно-заочная, заочная

Год начала подготовки: 2024, 2025

Выпускающая кафедра: ИРС

Кафедра-разработчик: ФТОС

Объем дисциплины 108 часов/3 з.е.

Промежуточная аттестация: экзамен

Разработчики: Раевская Ю.В., к.т.н., доцент

Нижний Новгород

2025

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 11.03.01 Радиотехника, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 19 сентября 2017 г. № 931 учебных планов, принятых УМС НГТУ, протокол от 21.05.2024 г. № 16 и 12.12.2024 г. № 5.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры «ФТОС» протокол от 12 марта 2025 г. № 16.

Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор, Раевский А.С. _____

Программа рекомендована к утверждению ученым советом института ИРИТ, протокол от 22 апреля 2025 г. № 3.

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 11.03.01-Р-46.
Начальник МО _____

Заведующая отделом комплектования НТБ

(подпись) Н.И. Кабанина

Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
1.1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
1.2. ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	4
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	8
4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ	8
4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ	10
5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	15
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	18
6.1. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, ПЕЧАТНЫЕ ИЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНОГО ФОНДА	18
6.2. СПРАВОЧНО-БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА	18
6.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ	19
7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	19
7.1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕР- НЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	19
7.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИ- СТЕМ	20
8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ	20
9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	21
10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ	21
10.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИС- ЦИПЛИНЫ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	21
10.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА	23
10.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБО- ТАХ	23
10.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ	23
10.5 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ	23
11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	24
11.1. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ	24
11.2. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ	30

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Целью освоения дисциплины являются углубление знаний в области теории электромагнитного поля и формирование необходимых компетенций для овладения навыками проведения анализа физических процессов, происходящих в различных направляющих системах, устройствах СВЧ, однородных и неоднородных средах; навыками проведения экспериментальных исследований электромагнитных полей в различных направляющих структурах и резонаторах.

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- формирование у студентов знаний, навыков и умений, позволяющих выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;
- формирование у студентов знаний, навыков и умений, позволяющих привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
- формирование у студентов навыков анализа электродинамических задач;
- формирование у студентов умения проводить самостоятельный анализ физических процессов, происходящих в различных направляющих системах, устройствах сверхвысоких частот, в однородных и неоднородных средах и на естественных радиотрассах.
- ознакомление с измерительной аппаратурой и методами проведения экспериментальных исследований электромагнитных полей в различных направляющих структурах и резонаторах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина (модуль) «Направляющие и колебательные системы СВЧ» включена в перечень вариативной части дисциплин (формируемой участниками образовательных отношений) по выбору (запросу студентов), направленный на углубление уровня освоения компетенций. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Физика», «Математика», «Электродинамика и распространение радиоволн».

Дисциплина «Направляющие и колебательные системы СВЧ» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Устройства СВЧ и антенны», «Микроэлектронные устройства СВЧ», «Интегральная СВЧ-схемотехника», «Оптические устройства в радиотехнике», «Электронные СВЧ и квантовые приборы», «Оптоэлектронные и квантовые приборы СВЧ».

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование элементов следующей профессиональной компетенции в соответствии с ОПОП ВО по специальности 11.03.01 «Радиотехника»:

ПКС-1 Способен выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ, осуществлять тестирование радиоэлектронной аппаратуры с использованием современной измерительной техники.

Формирование указанных компетенций размещено в таблице 1.

Таблица 1 – Формирование компетенций дисциплинами

Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования компетенций дисциплинами							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ПКС-1								
<i>Электродинамика и распространение радиоволн. Дополнительные главы</i>								
<i>Направляющие и колебательные системы СВЧ</i>								
<i>Основы компьютерного проектирования РЭС</i>								
<i>Статистическая теория радиотехнических систем</i>								
<i>Радиоавтоматика</i>								
<i>Функциональное моделирование</i>								
<i>Оптические устройства в радиотехнике</i>								
<i>Радиотехнические системы</i>								
<i>Устройства СВЧ и антенны</i>								
<i>Лабораторный практикум по проектированию интегрированных модулей цифровой обработки сигналов</i>								
<i>Основы техники радиоприема</i>								
<i>Радиопередающие устройства</i>								
<i>Цифровая обработка сигналов</i>								
<i>Микроэлектронные устройства СВЧ</i>								
<i>Интегральная СВЧ-схемотехника</i>								
<i>Телевидение и видеотехника</i>								
<i>Цифровая аудио- и видеотехника</i>								

3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения оп

Таблица 2 – Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные материалы (ОМ)	
					Текущего контроля	Промежуточной аттестации
ПКС-1. Способен выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ, осуществлять тестирование работы радиоэлектронной аппаратуры с использованием современной измерительной техники	Освоение дисциплины причастно к ТФ В/01.5 (ПС 06.005 «Специалист по эксплуатации радиоэлектронных средств (инженер-электроник)»), решает задачи проведения моделирования объектов и процессов, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ; проведения тестирования радиоэлектронной аппаратуры с использованием современной измерительной техники; анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; участия в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработке результатов с применением современных информационных технологий и технических средств; составления обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований; организация защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок					
	ИПКС-1.1. Строит физические и математические модели узлов и блоков радио-технических устройств и систем.	Знать: – методы использования основных уравнений электромагнитного поля при расчетах простейших структур для излучения электромагнитных волн; – условия распространения радиоволн в различных средах; – основные типы резонаторов, применяемых в технике миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, их характеристики; – основные типы линий передачи, применяемых в технике миллиметрово-	Уметь: – проводить анализ физических процессов, происходящих в различных линиях передачи, резонаторах и устройствах СВЧ, в однородных и неоднородных средах.	Владеть: – навыками проведения измерений и расчетов (в том числе с помощью ЭВМ) характеристик волн различных линий передачи и резонаторов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн.	<u>Очная форма обучения:</u> Вопросы для устного собеседования по лабораторным работам; Отчеты по лабораторным работам; Графическая работа; Тесты на платформе moodle <u>Заочная форма обучения:</u> Вопросы для устного собеседования по лабораторным работам; Отчеты по лабораторным работам; контрольная работа	Вопросы для устного собеседования: билеты

		<p>го и субмиллиметрового диапазонов, их характеристики;</p> <ul style="list-style-type: none"> – основы теории дифракции электромагнитных волн; – особенности распространения электромагнитных полей в различных линиях передачи энергии и в различных средах. 				
--	--	---	--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. или 108 часов, распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Для студентов очной формы обучения

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час				
	Всего час.	В т.ч. по семестрам			
		5 сем			
Формат изучения дисциплины	очная				
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	108	108			
1. Контактная работа:	36	36			
1.1.Аудиторная работа, в том числе:	34	34			
занятия лекционного типа (Л)	17	17			
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практические. занятия и др.)	--	--			
лабораторные работы (ЛР)	17	17			
1.2.Внеаудиторная, в том числе	6	6			
текущий контроль, консультации по дисциплине	6	6			
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)					
2. Самостоятельная работа (СРС):	32	32			
контрольная работа					
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям)	32	32			
Подготовка к экзамену (контроль)	36	36			

Для студентов заочной формы обучения

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час				
	Всего час.	В т.ч. по семестрам			
		6 сем			
4. Формат изучения дисциплины	заочная				
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	108	108			
1. Контактная работа:	29	29			
1.3.Аудиторная работа, в том числе:	22	22			
занятия лекционного типа (Л)	10	10			

занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практ. занятия и др)	--	--			
лабораторные работы (ЛР)	12	12			
1.4. Внеаудиторная, в том числе	7	7			
текущий контроль, консультации по дисциплине	7	7			
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)					
2. Самостоятельная работа (СРС)	70	70			
контрольная работа	20	20			
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиум и т.д.)	50	50			
Подготовка к экзамену (контроль)	9	9			

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4.1 – Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемые) результаты освое- ния: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
5 СЕМЕСТР								
ПКС-1 ИПКС-1.1	Раздел 1. Направляемые электромагнитные волны						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые каче- ственные, расчетные, графические задания.	Конспект лекций
	Тема 1.1. Волны в прямоуголь- ном волноводе. Основная волна и волны высших типов, структу- ры полей.							
	Тема 1.2. Волны в круглом вол- новоде. Основная волна и волны высших типов, структуры полей.							
	Лабораторная работа №1. Изучение свойств прямоугольно- го и круглого волноводов.		4/4		Подготовка к лабораторной работе, написа- ние отчета [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4], [6.2.2]			
	Лабораторная работа №4. Мо- делирование волноведущих структур СВЧ-диапазона в САПР HFSS		5/-		Подготовка к лабораторной работе, написа- ние отчета [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4],			

Планируемые (контролируемые) результаты освое- ния: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
						[6.2.2]		
	Тема 1.3. Периодические замедляющие системы. Пространственные гармоники. Электромагнитные волны в гребенчатой структуре. Дисперсия в гребенчатой структуре.							
	Лабораторная работа №3. Гребенчатая замедляющая система.		4			Подготовка к лабораторной работе, написание отчета [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4], [6.2.2]		
	Самостоятельная работа по освоению 1 раздела:				8/12	Графическая работа [6.1.1], [6.1.2], [6.2.1]		
	контрольная работа				-/9			
	Итого по 1 разделу	--	13/8	--	8/21			
ПКС-1 ИПКС-1.1	Раздел 2. Резонаторы						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные, графические задания.	Конспект лекций
	Тема 2.1. Объемные резонаторы. Добротность резонаторов.							
	Лабораторная работа №2. Объемные резонаторы.		4/4			Подготовка к лабораторной работе, написание отчета [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4], [6.2.2]		
	Тема 2.2. Диэлектрические резонаторы.	2/1				Подготовка к лабораторной работе, написание отчета [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4], [6.2.2]		

Планируемые (контролируемые) результаты освое- ния: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	наторы.					лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.2.3]		
	Самостоятельная работа по освоению 2 раздела:				4/8	Графическая ра- бота [6.1.1], [6.1.2], [6.2.1]		
	контрольная работа				-/4			
	Итого по 2 разделу	2/1	4/4	--	4/12			
	Раздел 3. Квазиоптические линии и резонаторы						Диагностический безо- ценочный контроль, лучше взаимоконтроль;	Конспект лекций
Тема 3.1. Математический аппа- рат линзовой линии. Собствен- ные волны линзовой линии.	2/1				Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]			
Тема 3.2. Зеркальная линия.	1/0,5				Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]			
Тема 3.3. Основные свойства открытых резонаторов. Эlemen- ты открытых резонаторов с во- гнутыми зеркалами.	1/0,5				Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]			
Тема 3.4. Открытые резонаторы с цилиндрическими зеркалами эллиптического профиля.	1/0,5				Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]			
Тема 3.5. Открытые резонаторы с двугранными отражателями.	1/0,5				Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]			
Самостоятельная работа по					8/13			

Планируемые (контролируемые) результаты освое- ния: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	освоению 3 раздела:							
	контрольная работа							
	Итого по 3 разделу	6/3	--	--	8/13			
ПКС-1 ИПКС-1.1	Раздел 4. Анизотропные среды						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Тестирование на он- лайн-платформе	Конспект лекций
	Тема 4.1. Кристаллы и искус- ственные диэлектрики.					Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Тема 4.2. Электромагнитные явления в ферритах.	2/1				Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]		
	Тема 4.3. Распространение элек- тромагнитных волн в ионизиро- ванном газе в присутствии по- стоянного магнитного поля.	2/1				Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]		
	Самостоятельная работа по освоению 4 раздела:				4/10	Тестирование на платформе mo- dle [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	контрольная работа							
	Итого по 4 разделу	4/2	--	--	4/10			
ПКС-1 ИПКС-1.1	Раздел 5. Распространение радиоволн.						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Тестирование на онлайн-платформе 3. Разноуровневые ка-	Конспект лекций
	Тема 5.1. Классификация радио- волн по диапазону частот и спо- собу распространения.					Самостоятельная проработка темы [[6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]		
	Тема 5.2. Поле изотропного и направленного излучателей в	1				Подготовка к лекциям		

Планируемые (контролируемые) результаты освое- ния: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	свободном пространстве.					[6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	чественные, расчетные, графические задания.	
	Тема 5.3. Распространение зем-ных радиоволн.	1/1				Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]		
	Тема 5.4. Распространение ра-диоволн в тропосфере.	2/1				Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]		
	Тема 5.5. Распространение ра-диоволн в ионосфере.	1/1				Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]		
	Самостоятельная работа по освоению 6 раздела:				8/12	Тестирование на платформе mo-odle [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	контрольная работа				-/2			
	Итого по 5 разделу	5/4	--	--	8/14			
	ИТОГО ЗА 5 СЕМЕСТР	17/10	17/12	--	32/70			
	ИТОГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ	17/10	17/12	--	32/70			

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся сформулированы теоретические вопросы по темам лабораторных работ, задание для выполнения графической работы и созданы тесты на платформе Moodle.

Также сформирован перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию в форме экзамена.

Указанный комплект оценочных средств является неотъемлемой частью фонда оценочных средств и хранится на кафедре «Физика и техника оптической связи».

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) и оценка выполнения лабораторных работ приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) и оценка выполнения лабораторных работ

Шкала оценивания	Контрольная неделя	Зачет
$40 < R \leq 50$	Отлично	зачет
$30 < R \leq 40$	Хорошо	
$20 < R \leq 30$	Удовлетворительно	
$0 < R \leq 20$	Неудовлетворительно	незачет

При промежуточном контроле успеваемость студентов оценивается по четырех-балльной системе «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Таблица 6 – Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено» 0-59% от тах рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «зачтено» 60-74% от тах рейтинговой оцен- ки контроля	Оценка «хорошо» / «зачтено» 75-89% от тах рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «зачтено» 90-100% от тах рейтинговой оценки контроля
ПКС-1. Способен выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ, осуществлять тестирование работы радиоэлектронной аппаратуры с использованием современной измерительной техники	ИПКС-1.1. Строит физические и математические модели узлов и блоков радиотехнических устройств и систем.	Не знает методы использования основных уравнений электромагнитного поля при расчетах простейших структур для излучения электромагнитных волн; условия распространения радиоволн в различных средах; основные типы резонаторов, применяемых в технике миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, их характеристики; основные типы линий передачи, применяемых в технике миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, их характеристики; основы теории дифракции электромагнитных волн; особенности распространения электромагнитных полей в различных линиях передачи энергии и в различных средах. Не умеет проводить анализ физических процессов, происходящих в различ-	Может сформулировать методы использования основных уравнений электромагнитного поля при расчетах простейших структур для излучения электромагнитных волн; условия распространения радиоволн в различных средах; основные типы резонаторов, применяемых в технике миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, их характеристики; основные типы линий передачи, применяемых в технике миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, их характеристики; основы теории дифракции электромагнитных волн; особенности распространения электромагнитных полей в различных линиях передачи энергии и в различных средах, допуская ошибки. Испытывает серьезные затруднения при проведе-	Может сформулировать методы использования основных уравнений электромагнитного поля при расчетах простейших структур для излучения электромагнитных волн; условия распространения радиоволн в различных средах; основные типы резонаторов, применяемых в технике миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, их характеристики; основные типы линий передачи, применяемых в технике миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, их характеристики; основы теории дифракции электромагнитных волн; особенности распространения электромагнитных полей в различных линиях передачи энергии и в различных средах, допуская небольшие неточности. Испытывает небольшие	Знает методы использования основных уравнений электромагнитного поля при расчетах простейших структур для излучения электромагнитных волн; условия распространения радиоволн в различных средах; основные типы резонаторов, применяемых в технике миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, их характеристики; основные типы линий передачи, применяемых в технике миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, их характеристики; основы теории дифракции электромагнитных волн; особенности распространения электромагнитных полей в различных линиях передачи энергии и в различных средах. Умеет проводить анализ физических процессов, происходящих в различ-

		<p>ных линиях передачи, резонаторах и устройствах СВЧ, в однородных и неоднородных средах.</p> <p>Не владеет навыками проведения измерений и расчетов (в том числе с помощью ЭВМ) характеристик волн различных линий передачи и резонаторов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн.</p>	<p>нии анализа физических процессов, происходящих в различных линиях передачи, резонаторах и устройствах СВЧ, в однородных и неоднородных средах.</p> <p>Слабо владеет навыками проведения измерений и расчетов (в том числе с помощью ЭВМ) характеристик волн различных линий передачи и резонаторов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн.</p>	<p>затруднения при проведении анализа физических процессов, происходящих в различных линиях передачи, резонаторах и устройствах СВЧ, в однородных и неоднородных средах.</p> <p>Владеет навыками проведения измерений и расчетов (в том числе с помощью ЭВМ) характеристик волн различных линий передачи и резонаторов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн, иногда испытывает небольшие затруднения.</p>	<p>ных линиях передачи, резонаторах и устройствах СВЧ, в однородных и неоднородных средах.</p> <p>Владеет навыками проведения измерений и расчетов (в том числе с помощью ЭВМ) характеристик волн различных линий передачи и резонаторов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн.</p>
--	--	---	---	---	--

Таблица 7 – Критерии оценивания

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку « отлично » заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку « хорошо » заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку « удовлетворительно » заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку « неудовлетворительно » заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных ниже на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль).

6.1.1. Электродинамика и распространение радиоволн: учебник / В. А. Неганов [и др.] ; Под ред. В.А.Неганова, С.Б.Раевского. - 4-е изд., стер. - М.: Радиотехника, 2009. - 743 с.

6.1.2 Электродинамика и распространение радиоволн: учебник / В. А. Неганов [и др.] ; Под ред. В.А.Неганова, С.Б.Раевского. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Радиотехника, 2007. - 743 с.

6.1.3. Устройства СВЧ- и КВЧ-диапазонов. Методы расчета. Алгоритмы. Технологии изготовления / Ю. А. Иларионов [и др.]. - М.: Радиотехника, 2013. - 752 с.

6.1.4. Боков, Л.А. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Л.А. Боков, А.Е. Мандель, В.А. Замотринский – Томск: ТУСУР, 2013. – 410 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/3289>

6.1.5. Иванов, А.Е. Электродинамика: Учебник / А. Е. Иванов, С. А. Иванов. - М.: КНОРУС, 2012. - 565 с.

6.2. Справочно-библиографическая литература

6.2.1. Сборник задач по электродинамике: учеб. пособие/ Ю.Г. Белов [и др.]; Нижегород. Гос. Техн. Ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2015. – 101 с.

6.2.2. Григорьев, А.Д. Электродинамика и микроволновая техника: учебник / А. Д. Григорьев. - 2-е изд., доп. - СПб. : Лань, 2007. - 704 с.

6.2.3. Петров, Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн: учебник для вузов / Б. М. Петров. - 2-е изд., испр. - М.: Горячая линия-Телеком, 2003. - 559 с.

6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

Методические указания и рекомендации по проведению конкретных видов учебных занятий по дисциплине «Направляющие и колебательные системы СВЧ» находятся на кафедре «ФТОС».

6.3.1. Методические рекомендации по организации аудиторной работы по дисциплине «Направляющие и колебательные системы СВЧ».

6.3.2. Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы по дисциплине «Направляющие и колебательные системы СВЧ».

6.3.3. Методические рекомендации по организации лабораторных занятий и выполнению лабораторных работ по дисциплине «Направляющие и колебательные системы СВЧ».

6.3.4. Методические указания по выполнению контрольных работ по дисциплинам «Электродинамика и распространение радиоволн» и «Направляющие и колебательные системы СВЧ» (для студентов заочной формы обучения).

7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.tolgas.ru/> - Загл. с экрана.
3. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.
4. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. - Загл. с экрана.
5. Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.
6. Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.
7. Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 8 – Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС
1	Консультант студента	http://www.studentlibrary.ru/
2	Лань	https://e.lanbook.com/
3	Юрайт	https://biblio-online.ru/

В таблице 9 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Таблица 9 – Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	2	3
1	База данных стандартов и регламентов РОС-СТАНДАРТ	https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	https://cyberpedia.su/21x47c0.html

В таблице 10 указан перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства.

Таблица 10 - Перечень программного обеспечения

Программное обеспечение, используемое в университете на договорной основе	Программное обеспечение свободного распространения
1	2
Microsoft Windows XP, Prof, S/P3 (подписка DreamSpark Premium, договор №Tr113003 от 25.09.14)	
MS Office 2010. MS Open License, 60853088, Academic	Open Office 4.1.1 (лицензия Apache License 2.0)
Microsoft Windows 7. Электронная лицензия от MS после обновления.	Adobe Acrobat Reader (FreeWare)
ANSYS Academic Teaching HF (25 task) LAN, Paid-Up, 1026981	

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 11 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к лицам с ограниченными возможностями их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 11 – Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Для контактной и самостоятельной работы обучающихся выделены помещения, оснащённые компьютерной техникой с подключением к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации:

- зал электронно-информационных ресурсов (ауд. 2210 – 11 компьютеров, ауд. 6119 – 9 компьютеров);
- читальный зал открытого доступа (ауд. 6162 – 2 компьютера);
- ауд. 2303, 2202, оборудованные Wi-Fi.

Лабораторные работы №1, 2 и 3 проводятся в оснащённой необходимым оборудованием лаборатории (ауд. 1220), содержащей:

- макеты лабораторных работ;
- индикатор КСВН и ослаблений Я2Р-67 (2 шт.);
- генератор качающейся частоты 59;
- генератор сигналов высокочастотный Г4-80;
- осциллограф универсальный С1-70;
- генератор звуковой ГЗ-53;
- осциллограф С1-68.

Лабораторная работа № 4 проводится в мультимедийной аудитории № 1218 учебного корпуса № 1, оснащенной:

- Доска меловая - 1 шт.
- Мультимедийный проектор BENQ - 1 шт.
- Компьютеры PC Intel Core 2 CPU E7200 2,54 GHz / 2Gb RAM/HDD 300Gb/DVD-ROM, Benq G900 AD 19" - 5 шт.
- Компьютеры PC Intel Core i5-2320 CPU 3,4 GHz / 3Gb RAM/HDD 300Gb/DVD-ROM, Acer V198 19" - 5 шт.
- Рабочее место студента - 10.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная.

При преподавании дисциплины «Направляющие и колебательные системы СВЧ», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Для студентов создан краткий опорный электронный вариант лекционного материала курса. Электронный конспект находится на кафедре «ФТОС» и может быть получен студентом в случае пропусков занятий по уважительным причинам или вынужденного перевода занятий в дистанционную форму.

На лекциях и лабораторных занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной, подробно разбираются на лабораторных занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom.

Иницируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена с учетом текущей успеваемости.

Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Результат обучения считается несформированным, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

10.2. Методические указания для занятий лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям / лабораторным работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах

Лабораторные занятия по дисциплине «Направляющие и колебательные системы СВЧ» проводятся для студентов очной и заочной форм обучения.

Подготовку к каждой лабораторной работе студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом подлежит защите у преподавателя.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

- качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;
- качество оформления отчета по работе;
- качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

10.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в таблице 11). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре «ФТОС».

10.5. Методические указания по выполнению контрольных работ

Контрольная работа по дисциплине «Направляющие и колебательные системы СВЧ» выполняется только студентами заочной формы обучения. Содержание контрольной работы и правила ее оформления приведены в методических указаниях по выполнению контрольных работ.

Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре «ФТОС».

11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма обучения:

- тестирование по темам лекционных занятий,
- опросы по лабораторным работам и защита отчетов,
- графическая работа.

Заочная форма обучения:

- выполнение контрольной работы,
- опросы по лабораторным работам и защита отчетов.

11.1.1. Примеры тестов на платформе Moodle

Тест 1

Уравнение движения вектора намагниченности имеет вид:

- ☐ $\frac{d\vec{H}}{dt} = -\mu_0\eta \left[\vec{M} \vec{H} \right]$
- ☐ $\frac{d^2\vec{M}}{dt^2} = -\mu_0\eta \left[\vec{M} \vec{H} \right]$
- ☒ $\frac{d\vec{M}}{dt} = -\mu_0\eta \left[\vec{M} \vec{H} \right]$
- ☐ $\frac{d^2\vec{H}}{dt^2} = -\mu_0\eta \left[\vec{M} \vec{H} \right]$

Частота гиромагнитного резонанса определяется выражением:

- ☐ $\omega_H = \mu H^2$
- ☐ $\omega_H = \mu H$
- ☐ $\omega_H = \eta H^2$
- ☒ $\omega_H = \eta \mu H$
- ☐ $\omega_H = \eta H$
- ☐ $\omega_H = \eta \mu H^2$

Кубическая решетка, состоящая из металлических дисков, подобна...

- ☐ двуосному кристаллу
- ☒ одноосному кристаллу
- ☐ кубическому кристаллу
- ☐ изотропной среде

Угол поворота вектора \vec{H} линейно поляризованной волны при распространении ее в феррите (эффект Фарадея)...

- ☐ пропорционален квадрату пройденного волной расстояния
- ☐ не зависит от волновых чисел волн
- ☐ пропорционален сумме волновых чисел волн
- ☒ пропорционален пройденному волной расстоянию
- ☐ не зависит от пройденного волной расстояния
- ☒ пропорционален разности волновых чисел волн

Определите соответствие между соотношением и типом кристалла.

$\varepsilon_x \neq \varepsilon_y \neq \varepsilon_z$ двуосный кристалл

$\varepsilon_x = \varepsilon_y \neq \varepsilon_z$ одноосный кристалл

$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z$ кубический кристалл

Вращение электрона в постоянном магнитном поле называется...

Ответ: гиромагнитным резонансом

Явление резкого увеличения поглощения энергии электромагнитного поля волны в феррите называется...

Ответ: ферромагнитным резонансом

Тест 2

Волна, отразившись от ионосферы, вернется на Землю, если радиус кривизны траектории волны будет...

- ☐ равен $R_3 h$
- ☐ больше $(R_3 + h)$
- ☒ меньше $(R_3 + h)$
- ☐ больше $R_3 h$

Формула Введенского имеет вид:

- ☐ $E \simeq \frac{\sqrt{60PD_M}}{r^2} F(\theta) \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda^2} e^{-ikr}$
- ☐ $E \simeq \frac{\sqrt{60PD_M}}{r} F(\theta) \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda^2} e^{-ikr}$
- ☐ $E \simeq \frac{\sqrt{60PD_M}}{r} F(\theta) \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda} e^{-ikr}$
- ☒ $E \simeq \frac{\sqrt{60PD_M}}{r^2} F(\theta) \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda} e^{-ikr}$

Критическая частота ионосферной области пропорциональна...

- ☐ $\frac{1}{\sqrt{N_s}}$
- ☒ $\sqrt{N_s}$
- ☐ $\frac{1}{N_s}$
- ☐ N_s

В формуле для напряженности поля, создаваемого направленной антенной $E = \frac{\sqrt{60PD_M}}{r} F(\theta, \varphi) \cos(\omega t - kr)$, множитель $F(\theta, \varphi)$ это:

- ☐ коэффициент направленного действия антенны
- ☐ волновая функция
- ☐ плотность потока мощности, переносимой волной
- ☒ нормированная характеристика направленности антенны

Коэффициент преломления ионосферы...

- ☒ уменьшается с ростом частоты
- ☒ уменьшается с ростом электронной концентрации
- ☐ увеличивается с ростом частоты
- ☐ не зависит от электронной концентрации
- ☐ не зависит от частоты
- ☐ увеличивается с ростом электронной концентрации

Максимальная частота, при которой волны отражаются от ионосферы при заданной электронной концентрации N_p ...

- ☒ максимальная при нормальном падении волны
- ☒ уменьшается с увеличением угла падения волны на ионосферу
- ☐ не зависит от угла падения волны на ионосферу
- ☐ увеличивается с увеличением угла падения волны на ионосферу

Учет сферичности земной поверхности в формуле Введенского возможен...

- ☐ при замене максимального значения КНД на минимальное
- ☐ при введении дополнительного множителя - характеристики направленности
- ☒ при замене реальных высот антенн на приведенные
- ☐ при изменении зависимости поля от расстояния на логарифмическую

11.1.2. Типовые вопросы для лабораторных работ

Лабораторная работа «Изучение свойств прямоугольного и круглого волноводов»:

1. Что такое дисперсионная зависимость?
2. Дайте классификацию видов дисперсии.
3. Что такое критическая частота волны в волноводе?
4. Расскажите о резонансном методе, с помощью которого в данной работе производится экспериментальное определение дисперсионной зависимости и критических частот волн волновода.
5. Дайте классификацию волн в прямоугольном и круглом волноводах.
6. Изобразите и поясните структуру поля основной волны в прямоугольном и круглом волноводах.
7. Изобразите структуры полей волн H_{11} , H_{01} , E_{11} в прямоугольном волноводе.
8. Что такое объемный резонатор и его собственная частота?
9. Как определить критические частоты (теоретически и экспериментально)?
10. Какие типы волн могут существовать в прямоугольном и круглом волноводах?
11. Каким граничным условиям на металлических стенках удовлетворяют волны типа E , H ?
12. Каким методом решается уравнение Гельмгольца?
13. Какими функциями описываются распределения полей в прямоугольном и круглом волноводах?
14. Обозначение типов волн, физический смысл индексов.
15. Структура полей основных типов волн в круглом волноводе.
16. Что такое симметричные волны?
17. Принцип действия экспериментальной установки.
18. Покажите, что в ванне с диэлектрическими стенками силовые линии электрического поля совпадают с эквипотенциальными поверхностями.

19. Какая система электродов должна быть использована при моделировании волн типа E_{01} ; E_{11} ; E_{21} ; H_{01} ; H_{11} ; H_{21} ?

Лабораторная работа «Объемные резонаторы»:

1. Как образуется поле колебаний в резонаторах, выполненных на базе отрезков волновода?
2. Чем отличаются структуры электромагнитных полей бегущей и стоячей волн в прямоугольном волноводе?
3. Какой физический смысл имеют индексы в обозначении типов колебаний?
4. Как вычислить резонансную частоту любого типа колебание в прямоугольном резонаторе?
5. Изобразите структуры полей колебаний H_{101} , H_{102} , H_{111} , E_{111} в прямоугольном резонаторе.
6. Нарисовать эквивалентную схему коаксиального резонатора с торцевой емкостью.
7. Как определяются резонансные частоты резонатора с торцевой емкостью?
8. Дайте определение добротности.
9. Какие существуют виды добротности?
10. Какими методами измеряется добротность резонаторов в лабораторной работе?
11. Нарисуйте функциональные схемы установок для проводимых измерений.

Лабораторная работа «Гребенчатая замедляющая система»:

1. В чем заключается импедансный метод составления дисперсионного уравнения гребенчатой замедляющей системы?
2. Понятие фазовой и групповой скоростей.
3. Связь компонент поля во внешней и внутренней областях гребенчатой замедляющей системы.
4. Какие существуют виды дисперсии?
5. Фазовая и групповая скорости пространственных гармоник.
6. Чем отличаются дисперсионные задачи для экранированной и неэкранированной гребенчатых замедляющих систем?
7. Как зависит фазовая скорость волны, распространяющейся в неэкранированной «гребенке», от частоты?
8. Когда можно пренебрегать влиянием пространственных гармоник?
9. Как решается дисперсионное уравнение для экранированной «гребенки»?
10. Объясните принцип работы лабораторной установки.

Лабораторная работа «Моделирование волноведущих структур СВЧ в САПР HFSS»:

По данной лабораторной работе студенты защищают только отчет, работа выполняется в компьютерном классе (только студентами очной формы обучения).

11.1.3. Задание для выполнения графической работы

Номера вариантов для выполнения графической работы студенты получают от преподавателя на первом лабораторном занятии. В ходе выполнения работы необходимо построить структуры полей четырех волн в прямоугольном волноводе и двух колебаний в объемном резонаторе (по одному в прямоугольном и цилиндрическом).

Требования к оформлению графической работы:

1. Формат А4, белые листы
2. Три проекции для каждой структуры поля
3. Силовые линии электрического поля – красным цветом, сплошные
4. Силовые линии магнитного поля – зеленым цветом, пунктирные
5. Обязательно должно быть показано направление силовых линий
6. Обязательно наличие титульного листа

Вариант	Прямоугольный волновод	Прямоугольный объемный резонатор	Круглый объемный резонатор
1	$H_{02}, H_{31}, E_{22}, E_{13}$	H_{103}	H_{013}
2	$H_{20}, H_{22}, E_{32}, E_{23}$	H_{112}	E_{213}
3	$H_{03}, H_{33}, E_{12}, E_{33}$	H_{221}	H_{221}
4	$H_{30}, H_{13}, E_{21}, E_{32}$	E_{113}	E_{012}
5	$H_{34}, H_{23}, E_{31}, E_{12}$	E_{121}	E_{112}
6	$H_{12}, H_{33}, E_{13}, E_{34}$	H_{212}	H_{113}
7	$H_{02}, H_{22}, E_{12}, E_{32}$	H_{113}	E_{013}
8	$H_{31}, H_{03}, E_{32}, E_{33}$	E_{120}	E_{113}
9	$H_{03}, H_{13}, E_{31}, E_{23}$	E_{231}	H_{212}
10	$H_{34}, H_{32}, E_{13}, E_{32}$	H_{331}	E_{212}
11	$H_{12}, H_{22}, E_{32}, E_{23}$	H_{223}	H_{012}
12	$H_{03}, H_{13}, E_{31}, E_{34}$	E_{330}	H_{114}
13	$H_{43}, H_{32}, E_{21}, E_{23}$	E_{222}	E_{211}
14	$H_{02}, H_{23}, E_{31}, E_{33}$	H_{333}	E_{112}

Для студентов создан электронный курс «Электродинамика и распространение радиоволн. Дополнительные главы» на платформе Moodle: <https://education.nntu.ru/course/view.php?id=69>.

11.1.4. Контрольная работа

Студенты заочной формы обучения выполняют контрольную работу по дисциплине «Направляющие и колебательные системы СВЧ».

Задача 1

Из этой задачи в контрольную работу входят 8 пунктов из 15, имеющих в ней. Номера этих пунктов определяются по таблице вариантов 1. Номера, отмеченные звездочкой, выполняются для круглого волновода, а без звездочки – для прямоугольного.

Мощность, передаваемая основной волной прямоугольного (круглого) волновода на частоте $f = n f_{кр}$ ($f_{кр}$ – критическая частота основного типа волны), равна P . В прямоугольном волноводе отношение размеров широкой и узкой стенок равно 2,3. Проводимость материала стенок волновода σ , а относительная магнитная проницаемость $\mu = 1$.

Требуется определить:

1. Частотные границы одноволнового режима работы (при котором распространяется только основной тип волны).
2. Наибольшее амплитудное значение поперечной и продольной составляющих вектора плотности поверхностного тока проводимости в стенках волновода.
3. Глубину проникновения поля в стенки волновода.
4. Фазовую скорость.
5. Групповую скорость.

6. Направление и максимальное значение поперечной составляющей вектора напряженности магнитного поля в центре поперечного сечения волновода.

7. Направление и максимальное значение поперечной составляющей вектора напряженности электрического поля в центре поперечного сечения волновода.

8. Длину волны в волноводе.

9. Коэффициент затухания.

Рассчитать и построить для круглого волновода в абсолютных единицах при $\alpha = 45^\circ$ графики зависимостей от переменной r для следующих компонент электромагнитного поля:

10. E_r .

11. H_z .

12. E_α .

13. H_r .

14. H_α .

Графики должны содержать не менее 10 расчетных точек, начиная с $r = 0$. Обязательно привести в контрольной работе таблицу расчетов, содержащую результаты промежуточных арифметических действий.

15. Изобразить форму силовых линий электрического и магнитного полей основного типа волны в поперечном и продольном сечениях волновода. На этом же рисунке показать возможный вариант расположения устройства, обеспечивающего возбуждение данного типа волны. Из рисунка должно быть ясно, каким образом к возбудителю подводится энергия.

Таблица вариантов 1

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ вопросов задачи	1,2*,3,4*,6,10*,15	1*,2,5*,7,9*,11*,15	1,2*,5*,7,9*,11*,15	1*,2,3*,4,7*,13*,15	1,2*,5,6*,9,13*,15	1*,2,3*,4,6*,10*,15	1,2*,7,8*,9,14*,15*	1*,2,3*,6,8*,11*,15	1,2*,5,7*,9,12*,15*	1*,2,6*,8,9*,13*,15
f , ГГц	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
P , Вт	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
σ , См/м	$6,2 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^7$	$6,2 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^7$
Тип возбуждающего устройства	Штырь	Петля	Щель	Штырь	Петля	Щель	Штырь	Петля	Щель	Штырь

Задача 2

Полый цилиндрический резонатор имеет радиус a и длину L . Резонатор сделан из материала с относительной магнитной проницаемостью $\mu = 1$ и удельной проводимостью σ .

Требуется найти:

1. Резонансную (собственную) частоту f_0 заданного типа колебания.

2. Собственную добротность резонатора для этого типа колебания.

3. Ширину резонансной кривой Δf (на уровне 0,707 нагруженного резонатора с указанным колебанием при условии, что внешняя добротность резонатора в n раз меньше собственной). При этом нужно учесть, что связь между нагруженной добротностью резонатора и шириной резонансной кривой определяется соотношением $Q = f_0/\Delta f$.

4. Изобразить структуру электромагнитного поля.

5. Изобразить эскиз устройства связи для возбуждения заданного типа колебания и его расположение относительно силовых линий электромагнитного поля.

Тип колебания в резонаторе и параметры резонатора определяются из таблицы вариантов 2.

Таблица вариантов 2

№ вар	0	1	2	3	4
-------	---	---	---	---	---

a , м	0,07	0,06	0,07	0,11	0,1
L , м	0,06	0,05	0,1	0,09	0,13
σ	$0,2 \cdot 10^7$	$0,2 \cdot 10^7$	$0,2 \cdot 10^7$	$0,2 \cdot 10^7$	$0,2 \cdot 10^7$
n	2	2,5	3	3,5	4
Тип колебания	E_{010}	H_{011}	H_{111}	H_{012}	H_{112}
Тип устройства связи	Штырь	Петля	Щель	Штырь	Петля
№ вар	5	6	7	8	9
a , м	0,14	0,12	0,08	0,13	0,15
L , м	0,11	0,13	0,1	0,14	0,17
σ	$0,2 \cdot 10^7$	$0,2 \cdot 10^7$	$0,2 \cdot 10^7$	$0,2 \cdot 10^7$	$0,2 \cdot 10^7$
n	4,5	5	5,5	6	6,5
Тип колебания	H_{013}	E_{010}	H_{013}	H_{014}	H_{114}
Тип устройства связи	Щель	Штырь	Петля	Щель	Щель

Задача 3

Электромагнитная волна частоты f падает на слой ионосферы, с концентрацией электронов N_z , и находящийся на высоте h .

Требуется:

1. Определить минимальный угол падения, при котором амплитуда отраженной волны будет равна амплитуде падающей.
2. Проверить, возможно ли реализовать величину полученного угла с учетом сферичности Земли.

Указание. При решении задачи пренебречь потерями в ионосфере. Радиус Земли $R \cong 6370$ км.

Концентрация электронов, высота слоя и частота определяются по таблице вариантов 3.

Таблица вариантов 3

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_z , Эл/см ³	$5 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^4$	10^4	$0,2 \cdot 10^5$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	10^6	$2 \cdot 10^6$
f , МГц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h , км	60	80	90	100	110	120	200	300	350	400

11.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

11.2.1. Типовые вопросы для промежуточной аттестации (ПКС-1: ИПКС-1.1)

1. Диэлектрические резонаторы. Классификация.
2. Диэлектрические резонаторы, работающие на низших типах колебаний.
3. Диэлектрические резонаторы, работающие на азимутальных высших колебаниях.
4. Кристаллы и искусственные диэлектрики
5. Ферриты. Явление ферромагнитного резонанса в ферритах.
6. Эффект Фарадея.
7. Распространение электромагнитных волн в поперечно намагниченном феррите.
8. Эффект Коттон-Мутона.
9. Распространение электромагнитных волн в продольно намагниченном феррите.
10. Распространение электромагнитных волн в ионизированном газе в присутствии постоянного магнитного поля
11. Распространение электромагнитной волны в ионизированном газе в направлении постоянного магнитного поля

12. Распространение электромагнитных волн в ионизированном газе в направлении, перпендикулярном постоянному магнитному полю
13. Классификация радиоволн
14. Виды радиолиний
15. Поле изотропного излучателя, находящегося в свободном пространстве
16. Поле направленного излучателя, находящегося в свободном пространстве
17. Электрические свойства различных видов земной поверхности
18. Отражение радиоволн от границы раздела воздух-земля
19. Земные волны над плоской поверхностью Земли
20. Формула Введенского
21. Учет сферичности земной поверхности в интерференционных формулах
22. Коэффициент преломления и индекс преломления тропосферы
23. Рефракция радиоволн в неоднородной тропосфере
24. Эквивалентный радиус Земли
25. Виды тропосферной рефракции
26. Относительная диэлектрическая проницаемость и коэффициент преломления ионосферы
27. Траектория радиоволн в ионосфере
28. Условие отражения радиоволн от ионосферы
29. Волноводно-диэлектрические резонаторы.

11.2.2. Типовые задания для промежуточной аттестации (ПКС-1: ИПКС-1.1)

1. Изобразить структуру поля волны H_{10} прямоугольного волновода.
2. Изобразить структуру поля волны H_{11} прямоугольного волновода.
3. Изобразить структуру поля волны E_{11} прямоугольного волновода.
4. Изобразить структуру поля волны H_{01} прямоугольного волновода.
5. Изобразить структуру поля волны H_{01} круглого волновода.
6. Изобразить структуру поля волны H_{11} круглого волновода.
7. Изобразить структуру поля волны H_{21} круглого волновода.
8. Изобразить структуру поля волны E_{01} круглого волновода.
9. Изобразить структуру поля волны E_{11} круглого волновода.
10. Изобразить структуру поля волны E_{21} круглого волновода.
11. Изобразить линии поверхностного тока волны H_{10} прямоугольного волновода.
12. Изобразить линии поверхностного тока волны H_{01} круглого волновода.
13. Изобразить линии поверхностного тока волны E_{01} круглого волновода.
14. Изобразить структуру поля колебания H_{101} прямоугольного объемного резонатора.
15. Изобразить структуру поля колебания H_{102} прямоугольного объемного резонатора.
16. Изобразить структуру поля колебания H_{111} прямоугольного объемного резонатора.
17. Изобразить структуру поля колебания E_{111} прямоугольного объемного резонатора.
18. Изобразить структуру поля основной волны коаксиальной линии.
19. Изобразить структуру поля волны H_{32} прямоугольного волновода.
20. Изобразить структуру поля волны E_{23} прямоугольного волновода.

Полный фонд оценочных средств находится на кафедре «ФТОС».

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института ИРИТ

_____ Мякинников А.В.

«___» _____ 20 __ г.

Лист актуализации рабочей программы дисциплины
Б1.В.ДВ.2.2 Направляющие и колебательные системы СВЧ

для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 11.03.01 Радиотехника

Направленность: Радиоэлектронные системы

Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 202__

Курс 1, 2

Семестр 1, 2, 3, 4 ____

а) В рабочую программу не вносятся изменения. Программа актуализирована для 20__ г. начала подготовки.

б) В рабочую программу вносятся следующие изменения (указать на какой год начала подготовки):

1)

2)

3)

Разработчик (и):

«___» _____ 20 __ г.

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ФТОС

_____ протокол № _____ от «___» _____ 20 __ г.

Заведующий кафедрой _____

Лист актуализации принят на хранение:

Заведующий выпускающей кафедрой ФТОС _____ «___» _____ 20 __ г.

Методический отдел УМУ: _____ «___» _____ 20 __ г.