

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра электрофизических установок и ускорителей

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН ФТФ

к.ф-м.н. Корель И. И.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Электродинамика сверхвысоких частот

Образовательная программа: 03.03.02 Физика, профиль: Ядерная физика и ядерные технологии

Курс: 3, семестр : 5

Физико-технический факультет,

		Семестр
№	Вид деятельности	5
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	7
2	Всего часов	252
3	Всего занятий в контактной форме, час.	107
4	Лекции, час.	54
5	Практические занятия, час.	36
6	Лабораторные занятия, час.	0
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	0
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	15
10	Самостоятельная работа, час.	145
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	
12	Вид аттестации	Э

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 03.03.02 Физика

ФГОС введен в действие приказом №937 от 07.08.2014 г. , дата утверждения: 25.08.2014 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная, по выбору студента

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 03.03.02 Физика

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ЭФУиУ, протокол заседания кафедры №4 от 20.06.2017

Утверждена на совете физико-технического факультета, протокол № 3 от 21.06.2017

Программу разработал:

старший преподаватель, Трибендис А. Г.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Бурдаков А. В.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Бурдаков А. В.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ОПК.2 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей; в части следующих результатов обучения:	
у1. уметь использовать математический аппарат для освоения теоретических основ и практического использования физических методов	
Компетенция ФГОС: ОПК.3 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач; в части следующих результатов обучения:	
з3. знать основные законы физики, являющиеся базовыми для решения задач профессиональной деятельности	
Компетенция ФГОС: ОПК.4 способность понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности; в части следующих результатов обучения:	
у1. уметь понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию	
у2. уметь использовать информационные технологии для решения физических задач	
Компетенция ФГОС: ПК.1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин; в части следующих результатов обучения:	
з9. знать о методах решения прикладных задач электродинамики СВЧ	

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
<i>Электродинамика сверхвысоких частот</i>	
ПК.1.з9 знать о методах решения прикладных задач электродинамики СВЧ	
1.Знать базовые методы решения прикладных задач в области электродинамики СВЧ	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ОПК.2.у1 уметь использовать математический аппарат для освоения теоретических основ и практического использования физических методов	
2.Иметь представление о различных типах направляющих структур, применяемых в технике СВЧ	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ОПК.3.з3 знать основные законы физики, являющиеся базовыми для решения задач профессиональной деятельности	
3.Знать уравнения Максвелла в интегральной, дифференциальной и комплексной формах; граничные условия для векторов поля; теорему Умова-Пойнтинга в интегральной, дифференциальной и комплексной формах; выражения векторов поля через электродинамические потенциалы;	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
4.Знать волновые уравнения Даламбера для потенциалов, условия калибровок Кулона и Лоренца; волновые уравнения для векторов поля; формулы для расчета критической длины волны и длины волны в направляющих структурах; формулы для расчета фазовой и групповой скорости в направляющих структурах;	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
5.Знать формулы волновых сопротивлений (Z_{PI} , Z_{PU} , Z_{UI}) прямоугольного волновода для главного типа волны; формулы для расчета резонансной частоты мод Е- и Н-типов в прямоугольном и цилиндрическом резонаторах; формулы для расчета глубины скин-слоя и поверхностного сопротивления металла;	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
6.Знать определения собственной, нагруженной и внешней добротностей резонатора; выражение собственной добротности резонатора через интегралы магнитного поля; определение коэффициента связи резонатора с линией передачи; определение коэффициента пролета	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа

ОПК.4.y1 уметь понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию	
7. Знать телеграфные уравнения для токов и напряжений в длинной линии; выражения волнового сопротивления и постоянной распространения длинной линии через погонные параметры линии; формулы для расчета погонных емкости и индуктивности, волнового сопротивления коаксиальной линии; определения коэффициентов отражения, стоячей волны; связь между ними; формулы для расчета входного сопротивления нагруженного отрезка длинной линии с потерями и без потерь;	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ОПК.4.y2 уметь использовать информационные технологии для решения физических задач	
8. Уметь рассчитывать параметры и режимы работы длинных линий передачи	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
9. Уметь рассчитывать параметры и режимы работы прямоугольных и круглых волноводов	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
10. Уметь рассчитывать параметры и режимы работы объемных резонаторов	Лекции; Самостоятельная работа
11. Иметь опыт расчета и построения картины электромагнитного поля в прямоугольных и круглых волноводах и резонаторах	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения
Семестр: 5			
Дидактическая единица: Электродинамика			
1. Вектора электромагнитного поля. Материальные уравнения. Система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной формах для неподвижных сред. Физический смысл уравнений: обобщенный закон полного тока, закон электромагнитной индукции, отсутствие в природе магнитных зарядов, теорема Гаусса.	0	2	2, 3
2. Граничные условия для векторов электромагнитного поля. Баланс энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Теорема Умова-Пойнтинга.	0	2	2, 3
2. Гармоническое переменное электромагнитное поле. Система уравнений Максвелла в комплексной форме. Комплексные электродинамические потенциалы. Волновые уравнения Даламбера для потенциалов в комплексной форме. Уравнения Гельмгольца для векторов поля. Баланс энергии гармонического электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга в комплексной форме.	0	6	2, 3, 4
3. Переменное электромагнитное поле. Электродинамические потенциалы. Волновые уравнения Даламбера для потенциалов. Калибровка Лоренца. Граничные условия для векторов поля и потенциалов.	0	4	2, 3
5. Продольно-однородные длинные линии передачи - эквивалентное представление сосредоточенными элементами. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в виде суперпозиции бегущих волн. Постоянная распространения и характеристическое сопротивление.	0	6	2, 7, 8

6. Входное сопротивление нагруженного отрезка длиной линии без потерь. Коэффициент отражения. Коэффициент стоячей волны. Векторная диаграмма токов и напряжений в различных сечениях линии. Круговая диаграмма полных сопротивлений - диаграмма Смита.	0	6	2, 7, 8
7. Расчет погонных параметров продольно-однородных длинных линий передачи. Линии передачи с малыми потерями.	0	4	1, 2, 7, 8
8. Волны в продольно-однородных направляющих структурах. Типы волн (ТЕ, ТМ, ТЕМ). Критическая частота, длина волны, волновое число. ТЕ и ТМ волны в прямоугольном волноводе. Главный тип волны. Высшие типы волн.	0	6	11, 2, 4, 5, 9
9. Скин-эффект. Граничное условие Леонтовича. Потери мощности в стенках прямоугольного волновода для главного типа волны.	0	6	11, 2, 5, 9
10. Резонатор как отрезок длиной линии. Параметры резонатора. Соотношение между собственной и нагруженной добротностями. Четвертьволновой и полуволновой резонаторы. Резонатор, укороченный емкостью.	0	6	10, 2, 6, 7
11. Волноводные резонаторы. Параметры резонатора. Резонатор, образованный закороченным отрезком прямоугольного волновода. Резонатор, образованный закороченным отрезком круглого волновода.	0	6	10, 11, 2, 5, 6

Таблица 3.2

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Электродинамика				
1. Распространение узкополосного сигнала по линии передачи со слабой дисперсией. Фазовая и групповая скорости.	0	2	2, 5, 7	Решение типовых примеров.
2. Излучение электромагнитного поля вибратором Герца. Запаздывающие потенциалы. Ближняя и дальняя зоны излучения. Сопротивление излучателя. Диаграмма направленности излучателя.	0	2	2, 3	Решение типовых примеров.
3. Излучение электромагнитного поля симметричным линейным вибратором. Сопротивление излучателя. Диаграмма направленности излучателя.	0	2	2, 3	Решение типовых примеров.
4. Трансформация входного сопротивления вдоль длиной линии для различных нагрузок.	0	2	2, 3, 7, 8	Решение типовых примеров.
5. Трансформация входного сопротивления вдоль длиной линии для различных нагрузок.	0	4	2, 3, 7, 8	Решение типовых примеров.
6. Согласование нагрузки длиной линии при помощи четвертьволнового трансформатора.	0	4	2, 3, 7, 8	Решение типовых примеров.

7. Согласование нагрузки длинной линии при помощи последовательного и параллельного шлейфов.	0	4	2, 3, 7, 8	Решение типовых примеров.
8. Согласование нагрузки длинной линии при помощи 2-х шлейфов.	0	2	2, 3, 7, 8	Решение типовых примеров.
9. Передача мощности от генератора к нагрузке по длинной линии. Режим передачи максимальной мощности.	0	2	2, 3, 7, 8	Решение типовых примеров.
10. Волновые сопротивления прямоугольного волновода для главного типа волны. Параметры эквивалентной длинной линии.	0	2	2, 4, 5	Решение типовых примеров.
11. Представление волны Н ₁₀ в прямоугольном волноводе в виде суперпозиции плоских ТЕМ волн (волны Бриллюэна).	0	2	11, 2, 4, 5, 9	Решение типовых примеров.
12. Построение картин электромагнитного поля в прямоугольном волноводе для ТЕ волн высших типов.	0	2	1, 11, 2, 4, 5, 9	Решение типовых примеров.
13. Построение картин электромагнитного поля в прямоугольном волноводе для ТМ волн высших типов.	0	2	1, 11, 2, 4, 5, 9	Решение типовых примеров.
14. ТЕ и ТМ волны в круглом волноводе. Главный тип волны. Высшие типы волн.	0	2	11, 2, 4, 5, 9	Решение типовых примеров.
15. Построение картин электромагнитного поля в круглом волноводе для ТЕ и ТМ волн высших типов.	0	2	1, 11, 2, 4, 5, 6, 9	Решение типовых примеров.

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 5				
1	Подготовка к занятиям	1, 11, 2	121	13
: Шехтман И. А. Задачи по теории электромагнитного поля : учебное пособие для физико-технического факультета / Шехтман И. А., Шемелин В. Д. ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 1999. - 17 с. : ил.. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/1999/1152/1.doc Батыгин В. В. Сборник задач по электродинамике : Учебное пособие для вузов / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин; Под ред. М. М. Бредова. - М., 1970. - 503 с.				
2	Подготовка к аттестации	1, 10, 11, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	24	2
: Шехтман И. А. Задачи по теории электромагнитного поля : учебное пособие для физико-технического факультета / Шехтман И. А., Шемелин В. Д. ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 1999. - 17 с. : ил.. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/1999/1152/1.doc Батыгин В. В. Сборник задач по электродинамике : Учебное пособие для вузов / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин; Под ред. М. М. Бредова. - М., 1970. - 503 с.				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	Портал НГТУ
Консультирование	Портал НГТУ
Контроль	Портал НГТУ
Размещение учебных материалов	Портал НГТУ

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Максимальный балл
Семестр: 5	
<i>Дополнительная учебная деятельность:</i>	
<i>Практические занятия:</i>	60
<i>Экзамен:</i>	40
Контролирующие материалы - тесты	

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля	
			Экзамен
ОПК.2	у1. уметь использовать математический аппарат для освоения теоретических основ и практического использования физических методов		+
ОПК.3	з3. знать основные законы физики, являющиеся базовыми для решения задач профессиональной деятельности		+
ОПК.4	у1. уметь понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию		+
	у2. уметь использовать информационные технологии для решения физических задач		+
ПК.1	з9. знать о методах решения прикладных задач электродинамики СВЧ		+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Кузовкин В. А. Теоретическая электротехника : учебник для вузов по направлениям "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств", "Автоматизация и управление" и специальностям "Технология машиностроения", "Металлорежущие станки и инструменты", "Автоматизация технологических процессов и производств" / В. А. Кузовкин. - М., 2006. - 479 с. : ил. - Библиогр.: с. 478-479.

Дополнительная литература

1. Говорков В. А. Электрические и магнитные поля : [учебное пособие] / В. А. Говорков. - М., 1960. - 460 с. : ил.
2. Никольский В. В. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов / В. В. Никольский. - М., 1989. - 543 с. : ил.
3. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. Т. II. Электрорадиотехнические приборы СВЧ : Учебник по спец. "Электрон. приборы" / И. В. Лебедев; Под ред. Н. Д. Девяткова. - М., 1972. - 375 с.

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Шехтман И. А. Задачи по теории электромагнитного поля : учебное пособие для физико-технического факультета / Шехтман И. А., Шемелин В. Д. ; Новосиб. гос. техн ун-т. - Новосибирск, 1999. - 17 с. : ил. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/1999/1152/1.doc>
2. Никольский В. В. Электродинамика и распространение радиоволн : [учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов] / В. В. Никольский, Т. И. Никольская. - М., 2011. - 542 с. : ил., табл.
3. Батыгин В. В. Сборник задач по электродинамике : Учебное пособие для вузов / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин; Под ред. М. М. Бредова. - М., 1970. - 503 с.

8.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Microsoft Office
- 2 Microsoft Office
- 3 Microsoft Windows

9. Материально-техническое обеспечение

Презентационное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	Для проведения лекционных занятий

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра электрофизических установок и ускорителей

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН ФТФ
к.ф.-м.н., доцент И.И. Корель
“ ” _____ Г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Электродинамика сверхвысоких частот

Образовательная программа: 03.03.02 Физика, профиль: Ядерная физика и ядерные технологии

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Электродинамика сверхвысоких частот приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ОПК.2 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей	у1. уметь использовать математический аппарат для освоения теоретических основ и практического использования физических методов	Вектора электромагнитного поля. Материальные уравнения. Система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной формах для неподвижных сред. Физический смысл уравнений: обобщенный закон полного тока, закон электромагнитной индукции, отсутствие в природе магнитных зарядов, теорема Гаусса. Волноводные резонаторы. Параметры резонатора. Резонатор, образованный закороченным отрезком прямоугольного волновода. Резонатор, образованный закороченным отрезком круглого волновода. Волны в продольно-однородных направляющих структурах. Типы волн (ТЕ, ТМ, ТЕМ). Критические частота, длина волны, волновое число. ТЕ и ТМ волны в прямоугольном волноводе. Главный тип волны. Высшие типы волн. Входное сопротивление нагруженного отрезка длинной линии без потерь. Коэффициент отражения. Коэффициент стоячей волны. Векторная диаграмма токов и напряжений в различных сечениях линии. Круговая диаграмма полных сопротивлений - диаграмма Смита. Гармоническое переменное электромагнитное поле. Система уравнений Максвелла в комплексной форме. Комплексные электродинамические потенциалы. Волновые уравнения Даламбера для потенциалов в комплексной форме. Уравнения Гельмгольца для векторов поля. Баланс энергии гармонического		Экзамен, вопросы 1-10.

		электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга в комплексной форме. Граничные условия для векторов электромагнитного поля. Баланс энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Теорема Умова-Пойнтинга. Переменное электромагнитное поле. Электродинамические потенциалы. Волновые уравнения Даламбера для потенциалов. Калибровка Лоренца. Граничные условия для векторов поля и потенциалов. Продольно-однородные длинные линии передачи - эквивалентное представление сосредоточенными элементами. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в виде суперпозиции бегущих волн. Постоянная распространения и характеристическое сопротивление. Расчет погонных параметров продольно-однородных длинных линий передачи. Линии передачи с малыми потерями. Резонатор как отрезок длинной линии. Параметры резонатора. Соотношение между собственной и нагруженной добротностями. Четвертьволновой и полуволновой резонаторы. Резонатор, укороченный емкостью. Скин-эффект. Граничное условие Леонтовича. Потери мощности в стенках прямоугольного волновода для главного типа волны.		
ОПК.3 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	з3. знать основные законы физики, являющиеся базовыми для решения задач профессиональной деятельности	Вектора электромагнитного поля. Материальные уравнения. Система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной формах для неподвижных сред. Физический смысл уравнений: обобщенный закон полного тока, закон электромагнитной индукции, отсутствие в природе магнитных зарядов, теорема Гаусса. Волноводные резонаторы. Параметры резонатора. Резонатор, образованный закороченным отрезком прямоугольного волновода. Резонатор,		Экзамен, вопросы 1-10.

		образованный закороченным отрезком круглого волновода. Волны в продольно-однородных направляющих структурах. Типы волн (ТЕ, ТМ, ТЕМ). Критические частота, длина волны, волновое число. ТЕ и ТМ волны в прямоугольном волноводе. Главный тип волны. Высшие типы волн. Гармоническое переменное электромагнитное поле. Система уравнений Максвелла в комплексной форме. Комплексные электродинамические потенциалы. Волновые уравнения Даламбера для потенциалов в комплексной форме. Уравнения Гельмгольца для векторов поля. Баланс энергии гармонического электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга в комплексной форме. Граничные условия для векторов электромагнитного поля. Баланс энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Теорема Умова-Пойнтинга. Переменное электромагнитное поле. Электродинамические потенциалы. Волновые уравнения Даламбера для потенциалов. Калибровка Лоренца. Граничные условия для векторов поля и потенциалов. Резонатор как отрезок длинной линии. Параметры резонатора. Соотношение между собственной и нагруженной добротностями. Четвертьволновой и полуволновой резонаторы. Резонатор, укороченный емкостью. Скин-эффект. Граничное условие Леонтовича. Потери мощности в стенках прямоугольного волновода для главного типа волны.		
ОПК.4 способность понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать	у1. уметь понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию	Входное сопротивление нагруженного отрезка длинной линии без потерь. Коэффициент отражения. Коэффициент стоячей волны. Векторная диаграмма токов и напряжений в различных сечениях линии. Круговая диаграмма полных сопротивлений - диаграмма Смита. Продольно-однородные длинные линии		Экзамен, вопросы 6-10.

основные требования информационной безопасности		передачи - эквивалентное представление сосредоточенными элементами. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в виде суперпозиции бегущих волн. Постоянная распространения и характеристическое сопротивление. Расчет погонных параметров продольно-однородных длинных линий передачи. Линии передачи с малыми потерями. Резонатор как отрезок длинной линии. Параметры резонатора. Соотношение между собственной и нагруженной добротностями. Четвертьволновой и полуволновой резонаторы. Резонатор, укороченный емкостью.		
ОПК.4	у2. уметь использовать информационные технологии для решения физических задач	Волноводные резонаторы. Параметры резонатора. Резонатор, образованный закороченным отрезком прямоугольного волновода. Резонатор, образованный закороченным отрезком круглого волновода. Волны в продольно-однородных направляющих структурах. Типы волн (ТЕ, ТМ, ТЕМ). Критические частота, длина волны, волновое число. ТЕ и ТМ волны в прямоугольном волноводе. Главный тип волны. Высшие типы волн. Входное сопротивление нагруженного отрезка длинной линии без потерь. Коэффициент отражения. Коэффициент стоячей волны. Векторная диаграмма токов и напряжений в различных сечениях линии. Круговая диаграмма полных сопротивлений - диаграмма Смита. Продольно-однородные длинные линии передачи - эквивалентное представление сосредоточенными элементами. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в виде суперпозиции бегущих волн. Постоянная распространения и характеристическое сопротивление. Расчет погонных параметров продольно-однородных длинных линий передачи. Линии передачи с малыми		Экзамен, вопросы 4-8.

		потерями. Резонатор как отрезок длинной линии. Параметры резонатора. Соотношение между собственной и нагруженной добротностями. Четвертьволновой и полуволновой резонаторы. Резонатор, укороченный емкостью. Скин-эффект. Граничное условие Леонтовича. Потери мощности в стенках прямоугольного волновода для главного типа волны.		
ПК.1/НИ способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	з9. знать о методах решения прикладных задач электродинамики СВЧ	Построение картин электромагнитного поля в круглом волноводе для ТЕ и ТМ волн высших типов. Построение картин электромагнитного поля в прямоугольном волноводе для ТЕ волн высших типов. Построение картин электромагнитного поля в прямоугольном волноводе для ТМ волн высших типов. Расчет погонных параметров продольно-однородных длинных линий передачи. Линии передачи с малыми потерями.		Экзамен, вопрос 10

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по **дисциплине** проводится в 5 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.2, ОПК.3, ОПК.4, ПК.1/НИ.

Экзамен проводится в письменной форме, по тестам.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ОПК.2, ОПК.3, ОПК.4, ПК.1/НИ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Паспорт экзамена

по дисциплине «Электродинамика сверхвысоких частот», 5 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в письменной форме, по тестам. Тест включает в себя 10 вопросов с вариантами ответа. Также преподаватель вправе задать студенту любой вопрос из общего перечня – П. 4.

Форма экзаменационного теста

	Вопрос	Варианты ответа	
1	Записать систему уравнений Максвелла в дифференциальной форме.	а)	$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \operatorname{div} \vec{D} = \rho$ $\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0$
		б)	$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \operatorname{div} \vec{D} = 0$ $\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0$
		в)	$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \operatorname{div} \vec{D} = \rho$ $\operatorname{rot} \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0$
2	Записать выражение для погонной емкости коаксиальной линии (радиусы проводников r_1 и r_2 , заполнение – диэлектрик с проницаемостью ε).	а)	$C_1 = 2\pi\varepsilon\varepsilon_0 \ln \frac{r_2}{r_1}$
		б)	$C_1 = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$
		в)	$C_1 = 2\pi\varepsilon\varepsilon_0 \frac{r_2}{r_1}$
3	Записать закон сохранения энергии электромагнитного поля (теорема Умова-Пойнтинга) в интегральной форме.	а)	$\oint_S \vec{H} d\vec{S} + \frac{dW}{dt} + P = 0$
		б)	$\oint_S \vec{H} d\vec{S} - \frac{dW}{dt} - P = 0$

		в)	$\oint_S \vec{H} d\vec{S} + W + P = 0$
4	Чему равна напряженность поля на полюсе металлического шара радиусом a при внесении его в однородное электростатическое поле напряженностью E_0 ?	а)	E_0 / a
		б)	$2E_0$
		в)	$3E_0$
5	Записать выражение для постоянной распространения длинной линии через ее погонные сопротивление и проводимость.	а)	$\dot{K}_z = -j\sqrt{\dot{Z}_1\dot{Y}_1}$
		б)	$\dot{K}_z = \sqrt{\dot{Z}_1\dot{Y}_1}$
		в)	$\dot{K}_z = \sqrt{\frac{\dot{Z}_1}{\dot{Y}_1}}$
6	Записать формулу, связывающую КСВН и коэффициент отражения нагрузки.	а)	$KCBH = \frac{1}{ \dot{\Gamma}_H }$
		б)	$KCBH = \frac{1 + \dot{\Gamma}_H }{1 - \dot{\Gamma}_H }$
		в)	$KCBH = 1 + \dot{\Gamma}_H ^2$
7	Записать формулу для вычисления волнового сопротивления согласующего четвертьволнового трансформатора по сопротивлению нагрузки и волновому сопротивлению линии.	а)	$Z_T = \sqrt{Z_0 R_H}$
		б)	$Z_T = \sqrt{Z_0 / R_H}$
		в)	$Z_T = \sqrt{Z_0^2 + R_H^2}$
8	Записать выражение для длины волны в волноводе через критическую длину волны и длину волны в свободном пространстве.	а)	$\Lambda = \frac{\lambda / \lambda_{кр}}{\sqrt{1 - (\lambda / \lambda_{кр})^2}}$
		б)	$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda / 2\lambda_{кр})^2}}$
		в)	$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda / \lambda_{кр})^2}}$
9	Записать формулу для расчета глубины скин-слоя в металле.	а)	$\delta = \sqrt{\frac{1}{\omega \sigma \mu \mu_0}}$
		б)	$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma \mu \mu_0}}$
		в)	$\delta = \sqrt{\frac{\sigma}{2\omega \mu \mu_0}}$
10	Записать выражение для вычисления резонансной частоты моды E_{010} цилиндрического резонатора (радиусом a и длиной L).	а)	$\omega_0 = \frac{c\nu_{01}}{a}$, где ν_{01} – первый 0 функции Бесселя 0-го порядка
		б)	$\omega_0 = \frac{c\nu_{01}}{a + L}$, где ν_{01} – первый 0 функции Бесселя 0-го порядка

		в)	$\omega_0 = \frac{c\nu_{01}}{2a + L}$, где ν_{01} – первый 0 функции Бесселя 0-го порядка
--	--	----	--

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент ответил верно на 4 и менее вопросов теста, оценка составляет *от 0 до 10 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент верно ответил на 5 – 6 вопросов теста, оценка составляет *от 11 до 20 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент верно ответил на 7 – 8 вопросов теста, оценка составляет *от 21 до 30 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент верно ответил на 9 -10 вопросов теста, оценка составляет от 31 до 40 *баллов*.

3. Шкала оценки

В ходе семестра студенты решают задачи по предмету. Сдача данных задач является допуском к экзамену.

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Электродинамика сверхвысоких частот»

	Вопрос	Варианты ответа	
1	Записать систему уравнений Максвелла в дифференциальной форме.	а)	$\text{rot}\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \text{div}\vec{D} = \rho$ $\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{div}\vec{B} = 0$
		б)	$\text{rot}\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \text{div}\vec{D} = 0$ $\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{div}\vec{B} = 0$
		в)	$\text{rot}\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \text{div}\vec{D} = \rho$ $\text{rot}\vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{div}\vec{B} = 0$
2	Записать выражение для погонной емкости коаксиальной линии (радиусы проводников r_1 и r_2 , заполнение – диэлектрик с проницаемостью ε).	а)	$C_1 = 2\pi\varepsilon\varepsilon_0 \ln \frac{r_2}{r_1}$
		б)	$C_1 = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$
		в)	$C_1 = 2\pi\varepsilon\varepsilon_0 \frac{r_2}{r_1}$

3	Записать закон сохранения энергии электромагнитного поля (теорема Умова-Пойнтинга) в интегральной форме.	а)	$\oint_S \vec{H} d\vec{S} + \frac{dW}{dt} + P = 0$
		б)	$\oint_S \vec{H} d\vec{S} - \frac{dW}{dt} - P = 0$
		в)	$\oint_S \vec{H} d\vec{S} + W + P = 0$
4	Чему равна напряженность поля на полюсе металлического шара радиусом a при внесении его в однородное электростатическое поле напряженностью E_0 ?	а)	E_0 / a
		б)	$2E_0$
		в)	$3E_0$
5	Записать выражение для постоянной распространения длинной линии через ее погонные сопротивление и проводимость.	а)	$\dot{K}_z = -j\sqrt{\dot{Z}_1 \dot{Y}_1}$
		б)	$\dot{K}_z = \sqrt{\dot{Z}_1 \dot{Y}_1}$
		в)	$\dot{K}_z = \sqrt{\frac{\dot{Z}_1}{\dot{Y}_1}}$
6	Записать формулу, связывающую КСВН и коэффициент отражения нагрузки.	а)	$KCBH = \frac{1}{ \dot{\Gamma}_H }$
		б)	$KCBH = \frac{1 + \dot{\Gamma}_H }{1 - \dot{\Gamma}_H }$
		в)	$KCBH = 1 + \dot{\Gamma}_H ^2$
7	Записать формулу для вычисления волнового сопротивления согласующего четвертьволнового трансформатора по сопротивлению нагрузки и волновому сопротивлению линии.	а)	$Z_T = \sqrt{Z_0 R_H}$
		б)	$Z_T = \sqrt{Z_0 / R_H}$
		в)	$Z_T = \sqrt{Z_0^2 + R_H^2}$
8	Записать выражение для длины волны в волноводе через критическую длину волны и длину волны в свободном пространстве.	а)	$\Lambda = \frac{\lambda / \lambda_{кр}}{\sqrt{1 - (\lambda / \lambda_{кр})^2}}$
		б)	$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda / 2\lambda_{кр})^2}}$
		в)	$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda / \lambda_{кр})^2}}$
9	Записать формулу для расчета глубины скин-слоя в металле.	а)	$\delta = \sqrt{\frac{1}{\omega \sigma \mu \mu_0}}$
		б)	$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma \mu \mu_0}}$
		в)	$\delta = \sqrt{\frac{\sigma}{2\omega \mu \mu_0}}$
10	Записать выражение для вычисления резонансной частоты моды E_{010} цилиндрического резонатора (радиусом a и	а)	$\omega_0 = \frac{c\nu_{01}}{a}$, где ν_{01} – первый 0 функции Бесселя 0-го

	длиной L).		порядка
		б)	$\omega_0 = \frac{cV_{01}}{a+L}$, где v_{01} – первый 0 функции Бесселя 0-го порядка
		в)	$\omega_0 = \frac{cV_{01}}{2a+L}$, где v_{01} – первый 0 функции Бесселя 0-го порядка
	Вопрос	Варианты ответа	
1	Записать граничные условия для напряженностей и индукций.	а)	$D_{2n} - D_{1n} = \rho_s$ $E_{2t} - E_{1t} = 0$ $B_{2n} - B_{1n} = 0$ $H_{2t} - H_{1t} = -J_s$
		б)	$D_{2n} - D_{1n} = 0$ $E_{2t} - E_{1t} = 0$ $B_{2n} - B_{1n} = 0$ $H_{2t} - H_{1t} = 0$
		в)	$D_{2n} - D_{1n} = \rho_s$ $E_{2t} - E_{1t} = 0$ $B_{2n} - B_{1n} = -\mu_0 J_s$ $H_{2t} - H_{1t} = 0$
2	Записать выражение (в Декартовой системе координат: ось z направлена вдоль проводов, провода расположены на плоскости xz симметрично относительно оси y) для электростатического потенциала двухпроводной линии (расстояние между проводами $2a$, погонный заряд проводов $\pm \tau$).	а)	$\varphi(x, y) = \frac{\tau}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{(x+a)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2}$
		б)	$\varphi(x, y) = \frac{\tau}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{(x+a)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2}$
		в)	$\varphi(x, y) = \frac{\tau}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{x+a+y}{x-a+y}$
3	Записать формулу для вычисления энергии магнитного поля постоянных токов (контуров с токами), локализованных в пространстве (в объеме V') через векторный потенциал магнитного поля и плотность тока.	а)	$W_M = \frac{1}{2} \int_{V'} \text{rot} \vec{A} \vec{J} dV$
		б)	$W_M = \frac{1}{2} \int_{V'} \vec{A} \text{div} \vec{J} dV$
		в)	$W_M = \frac{1}{2} \int_{V'} \vec{A} \vec{J} dV$
4	Чему равна напряженность поля на полюсе металлического цилиндра радиусом a при внесении его в однородное электростатическое поле напряженностью E_0 ?	а)	E_0 / a
		б)	$2E_0$
		в)	$3E_0$
5	Записать выражение для волнового сопротивления длинной линии через ее погонные сопротивление и проводимость.	а)	$\dot{Z}_0 = \sqrt{\frac{\dot{Z}_1}{\dot{Y}_1}}$
		б)	$\dot{Z}_0 = \sqrt{\dot{Z}_1 \dot{Y}_1}$
		в)	$\dot{Z}_0 = -j \sqrt{\frac{\dot{Z}_1}{\dot{Y}_1}}$
6	Записать формулу для расчета коэффициента отражения нагрузки по	а)	$\dot{\Gamma}_H = \frac{\dot{Z}_H - Z_0}{\dot{Z}_H + Z_0}$

	ее комплексному сопротивлению и волновому сопротивлению линии.	б)	$\dot{\Gamma}_H = \frac{\dot{Z}_H + Z_0}{\dot{Z}_H - Z_0}$
		в)	$\dot{\Gamma}_H = \frac{\dot{Z}_H}{Z_0}$
7	Записать формулу для вычисления волнового сопротивления коаксиальной линии (радиусы проводников r_1 и r_2 , заполнение – диэлектрик с проницаемостью ε).	а)	$Z_0 \approx \frac{50}{\sqrt{\varepsilon}} \ln \frac{r_2}{r_1}$
		б)	$Z_0 \approx \frac{60}{\sqrt{\varepsilon}} \ln \frac{r_2}{r_1}$
		в)	$Z_0 \approx \frac{377}{\sqrt{\varepsilon}} \ln \frac{r_2}{r_1}$
8	Записать уравнение связи волновых чисел (критического $k_{кр}$, в свободном пространстве k и в волноводе K_z) для волны в волноводе.	а)	$k_{кр}^2 + K_z^2 = k^2$
		б)	$k^2 + K_z^2 = k_{кр}^2$
		в)	$k_{кр}^2 + k^2 = K_z^2$
9	Записать граничное условие Леонтовича.	а)	$\dot{\vec{E}}_t \approx 0, \dot{\vec{H}}_t = 0$
		б)	$\dot{\vec{E}}_t \approx \dot{Z}_s \dot{\vec{H}}_t$
		в)	$\dot{\vec{E}}_t \approx \dot{Z}_s \left[\dot{\vec{H}}_t \times \vec{n}_0 \right]$
10	Записать выражение для вычисления резонансного волнового числа моды H_{mnp} «прямоугольного» резонатора ($a \times b \times L$).	а)	$k_0 = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{L}\right)^2}$
		б)	$k_0 = \sqrt{\left(\frac{\nu_{mn}}{a}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{L}\right)^2}$, где ν_{mn} – n -ый 0 функции Бесселя m -го порядка
		в)	$k_0 = \sqrt{\left(\frac{\nu'_{mn}}{a}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{L}\right)^2}$, где ν'_{mn} – n -ый 0 первой производной функции Бесселя m -го порядка