

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.
Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО
президиумом
Ученого совета ННГУ
протокол от
«14» декабря 2021 г. № 4

Рабочая программа дисциплины

«Прикладная электродинамика»

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.03 «Радиофизика»

Направленность образовательной программы
«Радиофизика и электроника»

Квалификация (степень)
бакалавр

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2022

1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Прикладная электродинамика» относится к базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению подготовки «Радиофизика» и направленности «Радиофизика и электроника» на радиофизическом факультете ННГУ, изучается на третьем году обучения в шестом семестре.

Целями освоения дисциплины «Прикладная электродинамика» являются:

- а) развитие и углубление основ знаний студентов в области электромагнетизма, закладываемых при изучении курсов общей физики и электродинамики;
- б) получение студентами кафедры электродинамики научно обоснованных представлений о широком круге нелинейных явлений;
- в) обучение студентов-радиофизиков современным методам отыскания базисных (точных) решений нелинейных уравнений в частных производных, с помощью которых описываются разнообразные физические процессы.

Содержание дисциплины направлено на усвоение студентами совокупности основных физических принципов, закономерностей и методов исследования, составляющих фундамент современной физики. Изучение дисциплины базируется на знаниях и умениях, которые должны иметь студенты радиофизического факультета, получившие хорошую аттестацию на экзаменах по общим курсам физики, математического анализа, дифференциальных уравнений, аналитической геометрии и высшей алгебры, векторного и тензорного анализа. Данная дисциплина опирается на компетенции, приобретенные студентами в результате освоения дисциплины «Электродинамика» базовой части профессионального цикла по тому же направлению подготовки.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-1 способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности (этап освоения – базовый)	Знать: фундаментальные понятия, принципы и положения электродинамики, основные законы теории поля
	Уметь: анализировать полученные знания и возможности их использования в профессиональной деятельности
	Владеть: навыками решения профессиональных задач в области электродинамики
ОПК-2 способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии (этап освоения – базовый)	Знать: закономерности распространения электромагнитных волн в неоднородном пространстве, а также методы расчета полей электромагнитных волн и колебаний в линиях передачи и резонаторах
	Уметь: самостоятельно приобретать новые знания в области электродинамики, используя современные образовательные и информационные технологии
	Владеть: опытом самостоятельного приобретения новых знаний в области электродинамики с использованием современных образовательных и информационных технологий

3. Структура и содержание дисциплины «Прикладная электродинамика»

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, всего 144 часов, из которых 66 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа – занятия лекционного типа, 32 часа – практические занятия, в том числе 2 часа - мероприятия текущего контроля успеваемости, и 2 часа – мероприятия промежуточной аттестации), 78 часов составляет самостоятельная работа обучающегося (в том числе 45 часов – подготовка к экзамену).

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)			В том числе														
				Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них												Самостоятельная работа обучающегося, часы		
	Занятия лекционного типа			Занятия семинарского типа			Занятия лабораторного типа			Всего								
Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	
Введение	10			2			2						4			2		
Электромагнитные волны, в направляющих системах (линиях передачи)	58			14			14						28			14		
Описание волн в линиях передачи в терминах тока и напряжения	26			6			6						12			6		
Собственные колебания в полых резонаторах	18			4			4						8			4		
Возбуждение волноводов и резонаторов заданными источниками	18			4			4						8			4		
Элементы теории дифракции электромагнитных волн на металлических и диэлектрических телах	12			2			2						4			3		
В т.ч.текущий контроль	2			-			2						2			-		
Промежуточная аттестация - Экзамен																		

Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Введение.

1.1. Общая характеристика и практическое значение теории электромагнитных волновых процессов в сплошных средах. Краевые задачи электродинамики при наличии проводников и диэлектриков. Общий план построения курса.

Раздел 2. Электромагнитные волны в направляющих системах (линиях передачи).

2.1. Общее решение уравнений Максвелла для монохроматических направляемых волн. Выражение векторов поля нормальных волн в линии передачи через скалярные функции поперечных координат. Классификация направляемых волн и линий передачи; волны типов ТЕ, ТМ и ТЕМ; гибридные волны; быстрые и медленные волны; открытые и закрытые линии передачи. Двумерное уравнение Гельмгольца. Поперечное и продольное волновые числа.

2.2. Общие свойства волн в линиях передачи с идеально проводящими границами. Граничные условия для поперечных волновых функций. Формулировка и общая характеристика решений краевых задач для волн различных типов. Действительность спектра поперечных волновых чисел. Дисперсионные уравнения. Режимы распространения и запираания. Критические частоты. Длина волны, фазовая и групповая скорости. Характеристический импеданс. Мощность, переносимая волной. Соотношения ортогональности и аддитивность потоков энергии парциальных волн. Условия существования главных (ТЕМ) волн.

2.3. Линии передачи конкретного вида; прямоугольный и круглый волноводы, коаксиальный кабель, двухпроводная и полосковая линии. Спектры поперечных волновых чисел; критические частоты и длины волн. Структура поля волн низших типов. Представление полей волновых мод в виде суперпозиции плоских волн в свободном пространстве (концепция Бриллюена).

2.4. Затухание волн в неидеальной линии передачи. Потери энергии в среде, заполняющей волновод. Потери энергии в стенках волновода; скин-эффект; граничное условие Леонтовича; поверхностный импеданс стенки.

2.5. Описание главных (ТЕМ) волн в линии передачи в терминах тока и напряжения. Эквивалентные погонные параметры и волновое сопротивление линии. Телеграфные уравнения. Отражение волны от нагрузки; преобразование импедансов; согласование линии с нагрузкой.

2.6. Линии передачи, направляющие медленные (поверхностные) волны. Классификация замедляющих систем. Волны в диэлектрическом слое и в круглом диэлектрическом стержне; волоконный световод. Поверхностная волна над ребристой металлической структурой.

2.7. Поля, создаваемые в линиях передачи сторонними монохроматическими токами. Расчет амплитуд возбуждаемых волн с помощью леммы Лоренца. Поля внутри и вне области источников. Способы возбуждения волноводов.

Раздел 3. Электромагнитные колебания в полых резонаторах.

3.1. Общая постановка задачи о собственных колебаниях в резонаторах с идеально проводящими стенками. Основные свойства полей нормальных (собственных) колебаний; действительность спектра собственных частот; равенство средних значений электрической и магнитной энергии; соотношения ортогональности.

3.2. Резонаторы, представляющие собой отрезки линий передачи. Структура поля и спектры собственных частот колебаний в прямоугольном, цилиндрическом и коаксиальном резонаторах. Квазистационарные резонаторы. Поля и собственные частоты тороидального и магнетронного резонаторов.

3.3. Затухание собственных колебаний в резонаторах. Расчет декрементов затухания, обусловленного потерями энергии в заполняющей среде и в стенках резонатора. Добротность колебаний.

Раздел 4. Возбуждение волноводов и резонаторов заданными источниками.

4.1. Лемма Лоренца и теорема взаимности для монохроматического электромагнитного поля, создаваемого произвольными системами электрических и магнитных токов.

4.2. Поля, создаваемые в линиях передачи сторонними монохроматическими токами. Представлений полей в виде суперпозиции собственных мод. Расчет амплитуд возбуждаемых волн с помощью леммы Лоренца. Поля внутри и вне области источников. Способы возбуждения волноводов.

4.3. Вынужденные электромагнитные колебания, возбуждаемые сторонними монохроматическими токами в полых резонаторах. Вихревые и потенциальные поля. Разложение вихревых полей по собственным модам резонатора. Резонансные спектры идеального и неидеального резонаторов. Способы возбуждения резонаторов.

Раздел 5. Элементы теории дифракции электромагнитных волн.

5.1. Общая постановка задачи дифракции. Классификация и краткий обзор точных и приближенных методов решения дифракционных задач. Длинноволновые и коротковолновые приближения. Понятия полного и дифференциального сечения рассеяния.

5.2. Приближение геометрической оптики. Понятие о лучах и лучевых трубках. Расчет амплитуды и фазы рассеянных волн на основании лучевых представлений. Ограничения метода геометрической оптики.

5.3. Принцип Гюйгенса-Френеля и основанные на нем приближенные методы решения дифракционных задач. Представление скалярного волнового поля в виде интеграла по поверхности (формула Кирхгофа). Приближение Кирхгофа в скалярных задачах дифракции.

5.4. Обобщение принципа Гюйгенса-Френеля на случай векторных полей. Поверхностные электрические и магнитные токи, эквивалентные тангенциальным компонентам полей на поверхности. Теорема единственности для монохроматических полей. Приближение Кирхгофа для векторного электромагнитного поля. Дифракция плоской волны на отверстии в экране и на дополнительном экране. Метод физической оптики (метод зеркальных токов) в задачах дифракции на проводящих телах больших размеров.

Лабораторный практикум, проводимый в рамках занятий дисциплины «Радиофизический практикум»:

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы
1.	2	Измерение импедансов нагрузок при помощи измерительной линии
2.	2	Ферритовые устройства СВЧ диапазона
3.	2,3	Измерение параметров шестиполосников
4.	3,4	Исследование отражательного клистрона
5.	5	Замедляющие системы типа гребенки

4. Образовательные технологии

Для реализации компетентного подхода и стимулирования самостоятельной работы обучающихся предусмотрено проведение интерактивных форм занятий в виде семинаров по современным проблемам радиофизики в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

1. Виды самостоятельной работы:

- еженедельно к каждому практическому занятию студентам предлагается выполнить домашнее задание в виде практических задач.
- еженедельно текст каждой прочитанной лекции предлагается студентам для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы.

2. Порядок контроля выполнения самостоятельной работы:

- контроль выполнения домашнего задания проводится в рамках каждого практического занятия.
- в рамках каждого аудиторного занятия проводится контроль посещаемости.
- список вопросов для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Гармонические волны в линиях передачи. Выражение для векторного потенциала. Дифференциальное уравнение для поперечной волновой функции $\psi(\vec{r}_\perp)$. Понятия продольного и поперечного волнового числа. Выражения для полей ТЕ, ТМ и ТЕМ волн. Импедансная связь между поперечными компонентами электрического и

- магнитного поля и понятие поперечного волнового сопротивления в бегущей волне.
2. Граничные условия для поперечных волновых функций волн ТЕ, ТМ и ТЕМ типов в идеальной линии передачи. Математическая формулировка задачи описания волн ТЕ, ТМ и ТЕМ типов.
 3. Дисперсионное уравнение для волн в идеальной линии передачи. Критические частоты и длины волн. Зависимости длины волны, фазовой и групповой скорости от частоты. Распространяющиеся и нераспространяющиеся волны.
 4. Медленные волны, направляемые плоским диэлектрическим слоем. Дифференциальное уравнение для поперечной волновой функции и его решения для областей внутри и вне слоя. Выражения для полей, граничные условия и дисперсионные (характеристические) уравнения для симметричных и несимметричных волн типа ТМ.
 5. Волны в прямоугольном металлическом волноводе. Спектр собственных функций и поперечных волновых чисел волн ТЕ и ТМ типов. Структура поля низших типов волн.
 6. Волны в круглом металлическом волноводе. Спектр собственных функций и поперечных волновых чисел волн ТЕ и ТМ типов.
 7. Главные (ТЕМ) волны в линиях передачи. Условие существования ТЕМ волны. ТЕМ волна в коаксиальной линии (картина силовых линий, зависимость полей от координат).
 8. Телеграфные уравнения для идеальной линии. Погонные параметры линии. Волновое уравнение, общий вид его решения. Понятие волнового сопротивления линии в терминах тока и напряжения.
 9. Отражение волны от нагрузки на конце линии передачи (в терминах тока и напряжения). Формула пересчета импеданса. Понятие согласования линии с нагрузкой.
 10. Решение дисперсионного уравнения для симметричных и несимметричных волн, направляемых плоским диэлектрическим слоем, графическим методом; критические частоты; область существования единственной (низшей) моды.
 11. Затухание волн в линии передачи, обусловленное потерями энергии в заполняющей среде.
 12. Затухание волн в линии передачи, обусловленное потерями энергии в металлической стенке.
 13. Собственные колебания в полном резонаторе, представляющем собой закороченный на концах отрезок линий передачи. Спектр собственных частот и низшая мода для полости прямоугольной формы.
 14. Общая постановка задачи о собственных электромагнитных колебаниях в полых резонаторах с идеально проводящими стенками. Действительность собственных частот идеального резонатора.
 15. Затухание собственных колебаний в полном металлическом резонаторе, обусловленное конечной проводимостью стенок.
 16. Затухание собственных колебаний в полном резонаторе, обусловленное потерями энергии в заполняющей среде.
 17. Лемма Лоренца и теорема взаимности для двух систем монохроматических источников.
 18. Вывод соотношений ортогональности для волновых мод в линии передачи с помощью леммы Лоренца.
 19. Представление полей в волноводе, созданных сторонними переменными токами, в виде разложений по собственным модам. Формулы для коэффициентов возбуждения.
 20. Метод решения задачи о возбуждении идеального полого резонатора сторонними переменными токами. Потенциальные и вихревые поля. Ортогональность полей собственных мод.
 21. Представление полей, создаваемых в резонаторе сторонними переменными токами в виде разложения по собственным модам резонатора. Формулы для коэффициентов возбуждения. Резонансные свойства.
 22. Возбуждение резонатора с помощью штыря и петли.
 23. Теорема об эквивалентности задания на границе области тангенциальных компонент

полей E_τ , H_τ и поверхностных токов $\vec{j}_{\text{пов}}^{(e)}$, $\vec{j}_{\text{пов}}^{(m)}$.

24. Понятия дифференциального и полного сечений рассеяния тела.
25. Кирхгофовское приближение (метод физической оптики) в задачах дифракции на идеально проводящих телах.
26. Метод геометрической оптики в задачах дифракции волн на рассеивающих объектах.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ОПК-1: способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности (этап освоения – базовый)

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
Знание фундаментальных понятий, принципов и положений электродинамики, основных законов теории поля	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
Умение анализировать полученные знания и возможности их использования в профессиональной деятельности	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания,	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены

ти	вследствие отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки.	все задания но не в полном объеме.	Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	в полном объеме, но некоторые с недочетами.	несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	ы все задания, в полном объеме без недочетов
Навыки решения профессиональных задач в области электроиники	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ОПК-2: способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии (этап освоения – базовый)

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
Знание закономерностей распространения электромагнитных волн в неоднородном	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозмож	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программ	Уровень знаний в объеме, превышаю

пространстве, а также методов расчета полей электромагнитных волн и колебаний в линиях передачи и резонаторах	ность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки.	негрубых ошибки.	Допущено несколько негрубых ошибок	Допущено несколько несущественных ошибок	подготовки, без ошибок.	щем программы подготовки.
Умение самостоятельно приобретать новые знания в области электродинамики, используя современные образовательные и информационные технологии	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Навыки самостоятельного приобретения новых знаний в области электродинамики с использованием современных образовательных и информационных технологий	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

6.2. Описание шкал оценивания.

Для оценки результатов обучения студентов применяется семибалльная шкала оценивания.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний и умений используется индивидуальное собеседование по двум теоретическим вопросам билета, в которых обучающемуся предлагается изложить часть из двух разделов содержания дисциплины.

Для оценивания итогов обучения в виде владений в течение семестра проводится контрольная работа, состоящая из тестовых практических заданий, результаты которой учитываются при выставлении окончательной оценки на экзамене.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Пример экзаменационного билета:

Вопрос 1. Дисперсионное уравнение для волн в идеальной линии передачи. Критические частоты и длины волн. Зависимости длины волны, фазовой и групповой скорости от частоты. Распространяющиеся и нераспространяющиеся волны.

Вопрос 2. Затухание волн в линии передачи, обусловленное потерями энергии в заполняющей среде.

Пример контрольной работы:

<p>1. Дисперсионное уравнение для низшей моды в пустом ($\varepsilon = \mu = 1$) прямоугольном волноводе с размерами поперечного сечения a и b ($a > b$) можно записать в виде</p> <p>1) $\lambda_g = \frac{2\pi}{\sqrt{(\omega/c)^2 - (\pi/a)^2}}$</p> <p>2) $h = \sqrt{(\omega/c)^2 - (\pi/b)^2}$</p> <p>3) $\lambda_g = 2\pi/h$</p>	<p>2. Что верно для главной (ТЕМ) волны в идеальной линии передачи без заполнения ($\varepsilon = \mu = 1$) ?</p> <p>1) Длина волны не зависит от частоты</p> <p>2) Продольное волновое число равно нулю</p> <p>3) Электрическое поле всюду параллельно магнитному</p> <p>4) Критическая частота равна нулю</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>4) $k = \omega / c$</p> <p>Обозначения: λ_g – длина волны в волноводе, h – продольное волновое число, k – волновое число плоской волны в вакууме</p>	
<p>3. Собственные колебания в прямоугольном резонаторе с внутренними размерами ребер a, b, d ($a > b > d$) могут происходить только на частотах</p> <p>1. $\omega_{mnp} = c\pi\sqrt{(m/a)^2 + (n/b)^2}$</p> <p>2. $\omega_{mnp} = c\pi\sqrt{(m/b)^2 + (n/d)^2}$</p> <p>3. $\omega_{mnp} = c\pi\sqrt{(m/a)^2 + (n/d)^2}$</p> <p>4. $\omega_{mnp} = c\pi\sqrt{(m/a)^2 + (n/b)^2 + (p/d)^2}$,</p> <p>Здесь m, n, p – целые числа, одно из которых может быть равно нулю</p>	<p>4. Силовые линии электрического поля низшей моды прямоугольного резонатора с внутренними размерами a, b, d при условии $a > b > d$ представляют собой</p> <p>1) прямые, параллельные ребру a,</p> <p>2) замкнутые кривые, лежащие в плоскостях, перпендикулярных ребру d</p> <p>3) прямые, параллельные ребру d</p> <p>4) замкнутые кривые, лежащие в плоскостях, перпендикулярных ребру a</p>
<p>5. Волновое сопротивление линии передачи в терминах тока и напряжения равно отношению амплитуды напряжения в падающей волне к амплитуде тока</p> <p>1) в отраженной волне</p> <p>2) в падающей волне</p> <p>3) на входе линии</p> <p>4) через нагрузку</p>	<p>6. Коэффициент отражения от нагрузки на конце линии равен нулю, если импеданс нагрузки равен</p> <p>1) нулю</p> <p>2) бесконечности</p> <p>3) волновому сопротивлению</p> <p>4) половине волнового сопротивления</p>

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

1. Болховская О.В., Горбунов А.А., Грибова Е.З., Грязнова И.Ю., Калинин А.В., Канаков О.И., Корчагин А.Б., Мануилов В.Н., Миловский Н.Д., Павлов И.С., Савикин А.П. Методические материалы по определению процедур оценивания сформированности компетенций: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2022. – 26 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.unn.ru/books/met_files/met_mat_Mil.pdf.

2. Петрова И.Э., Орлов А.В. Оценка сформированности компетенций. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2016. 48 с.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Прикладная электродинамика»

а) основная литература:

1. Никольский В. В., Никольская Т. И. - Электродинамика и распространение радиоволн: [учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов]. - М.: Наука, 1989. - 543 с.
2. Вайнштейн Л. А. - Электромагнитные волны. - М.: Радио и связь, 1988. - 440 с.
3. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.8 Электродинамика сплошных сред. [Электронный ресурс] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2005. — 656 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2234> — Загл. с экрана.
4. Гольдштейн Л. Д., Зернов Н. В. - Электромагнитные поля и волны. - М.: Советское радио, 1971. - 662 с.
5. Гильденбург, В.Б. Сборник задач по электродинамике. [Электронный ресурс] / В.Б. Гильденбург, М.А. Миллер. — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2001. — 163 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/48209> — Загл. с экрана.

б) дополнительная литература:

1. Джексон Д. - Классическая электродинамика. - М.: Мир, 1965. - 702 с.
2. Пановский В., Филипс М - Классическая электродинамика. - М.: Физматгиз, 1963. - 432 с.
3. Батыгин, В.В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности. [Электронный ресурс] / В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2010. — 480 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/544> — Загл. с экрана.
4. Терлецкий Я. П., Рыбаков Ю. П. - Электродинамика: [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов]. - М.: Высшая школа, 1990. - 351, [1] с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);
2. Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):
<http://e.lanbook.com/>;
<http://www.biblioclub.ru>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

Программа составлена в соответствии с Федеральным Государственным Образовательным Стандартом Высшего Профессионального Образования с учетом рекомендаций ОПОП ВПО по направлению подготовки 03.03.03 - «Радиофизика», квалификация - бакалавр.

Автор программы _____ Гильденбург В.Б.

Рецензент _____ Гавриленко В.Г.

Заведующий кафедрой, проф. _____ Кудрин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «09» декабря 2021 года, протокол № 07/21.