

Компонент ОПОП 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы
Специализация Радиоэлектронные системы управления и передачи информации
наименование ОПОП

Б1.О.15

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**Дисциплины
(модуля)**

Электродинамика и распространение радиоволн

Разработчик (и):

Гомонов А.Д.,
доцент, к.т.н.

Утверждено на заседании кафедры
_____ радиотехники и связи
наименование кафедры

протокол № 8 от 06.03.2024 года _____

Заведующий кафедрой радиотехники и связи



Л.Ф. Борисова

**Мурманск
2024**

Пояснительная записка

Объем дисциплины 8 з.е.

1. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций, установленными образовательной программой

Компетенции	Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p>УК -1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий</p>	<p>УК-1 ид-1 Применяет системный подход в поисковой и аналитической деятельности для решения поставленных задач УК-1 ид-2 Осуществляет сбор, систематизацию и критический анализ информации, необходимой для выработки стратегии действий по разрешению проблемной ситуации</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные уравнения электродинамики: уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме, среды распространения, волновое уравнение, граничные условия; - излучение и распространение электромагнитных волн: вакуум, изотропные и гиротропные среды, однородные и неоднородные среды, равновесные и неравновесные среды; - электромагнитные волны в направляющих системах: виды направляющих систем, собственные волны в прямоугольных и круглых волноводах, поверхностные волны, особенности распространения волн в микрополосковых, щелевых и квазиоптических системах, связь и возбуждение направляющих систем, потери энергии; - электромагнитные колебания в объёмных резонаторах: резонаторы простой формы, собственная добротность резонаторов; - дифракционный метод Кирхгофа и излучение электромагнитных волн различными источниками; - законы распространения электромагнитных волн над поверхностью Земли, в атмосфере и ионосфере <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать уравнения Максвелла и их следствия в теоретических и практических исследованиях; - составлять и решать уравнения электродинамики при заданных начальных и граничных условиях, характерных для радиофизических задач; - пользоваться ПО для расчета задач электродинамики. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками составления и решения уравнений электродинамики при заданных начальных и граничных условиях, характерных для радиофизических задач; - навыками экспериментальной проверки решений простейших электродинамических задач; - навыками пользования ПО при решении электродинамических задач.
<p>ОПК-1 Способен использовать основные законы математики, единицы измерения, фундаментальные принципы и теоретические основы физики, теоретической механики</p>	<p>ОПК-1 ид-1 Знает основные законы математики, единицы измерения, фундаментальные принципы и теоретические основы физики, теоретической механики; ОПК-1 ид-2 Умеет использовать основные законы математики, единицы измерения, фундаментальные принципы и теоретические основы физики, теоретической механики;</p>	<p>Знает основные законы математики, единицы измерения, фундаментальные принципы и теоретические основы физики, теоретической механики;</p>
<p>ПК-1 Способен обеспечивать радиосвязь при авариях, включая частичный или полный выход из строя радиоустановок.</p>	<p>ПК-1 ид-1 Знает условия возникновения аварий и обеспечения радиосвязи при авариях, включая частичный или полный выход из строя радиоустановок. ИД-2 ПК-1 Умеет обеспечить радиосвязь при авариях, включая частичный или полный выход из строя радиоустановок.</p>	<p>Знает условия возникновения аварий и обеспечения радиосвязи при авариях, включая частичный или полный выход из строя радиоустановок.</p>

2. Содержание дисциплины (модуля)

Тема 1. Основные положения теории электромагнетизма.

Тема 2. Граничные условия для векторов электромагнитного поля.

Тема 3. Плоские электромагнитные волны.

Тема 4. Поляризация электромагнитных волн. Падение плоских электромагнитных волн на границу раздела двух сред.

Тема 5. Элементарные излучатели.

Тема 6. Направляемые электромагнитные волны.

Тема 7. Металлические волноводы. Объемные резонаторы.

Тема 8. Распространение электромагнитных волн в анизотропной среде.

3. Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины (модуля)

- мультимедийные презентационные материалы по дисциплине (модулю) представлены в электронном курсе в ЭИОС МАУ;

- методические указания к выполнению лабораторных/практических/контрольных работ представлены в электронном курсе в ЭИОС МАУ;

- методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины (модуля) представлены на официальном сайте МАУ в разделе «Информация по образовательным программам, в том числе адаптированным».

1. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн».

2. Методические указания к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн».

3. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн».

4. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Является отдельным компонентом образовательной программы, разработан в форме отдельного документа, представлен на официальном сайте МАУ в разделе «Информация по образовательным программам, в том числе адаптированным». ФОС включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины (модуля);

- задания текущего контроля;

- задания промежуточной аттестации;

- задания внутренней оценки качества образования.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы (печатные издания, электронные учебные издания и (или) ресурсы электронно-библиотечных систем)

Основная литература

1. Мандель, А.Е. Распространение радиоволн [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Мандель А.Е., Замотринский В.А.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 163 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13969.html>.— ЭБС «IPRbooks»

2. Электродинамика и распространение радиоволн [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Д.Ю. Муромцев [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012.— 200 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63924.html>.— ЭБС «IPRbooks»

3. Яковлев, О. И. Распространение радиоволн / О. И. Яковлев, В.П. Якубов. - Учебник. М.: ЛЕНИЗДАТ. 2009.

Дополнительная литература

1. Фальковский, О. И. Техническая электродинамика : учебник для вузов / О. И. Фальковский. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2009. - 429, [1] с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 423-424. - ISBN 978-5-8114-0980-8 : 389-40; 405-79.

2. Боков, Л.А. Электродинамика и распространение радиоволн [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Боков Л.А., Замотринский В.А., Мандель А.Е.— Электрон. текстовые дан-ные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013.— 410 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72050.html>.— ЭБС «IPRbooks»

6. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. <http://lib.mstu.edu>
2. <https://e.lanbook.com>
3. <http://www.iprbookshop.ru>

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

- 1) *Офисный пакет Microsoft Office 2007*
- 2) *Система оптического распознавания текста ABBYY FineReader*
- 3) *MatLab 2020*

8. Обеспечение освоения дисциплины лиц с инвалидностью и ОВЗ

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

№ п./п.	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий	Перечень оборудования и технических средств обучения
1.	512 В «Лаборатория электродинамики и распространения радиоволн» Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, практических и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации.	Количество столов - 12 Количество стульев - 24 Посадочных мест - 24 Доска аудиторная - 1 Комплект для проведения лабораторных работ по электродинамике: «Поляризация плоских волн» - 1 шт., Комплект для проведения лабораторных работ по электродинамике «Отражение плоских волн», - 1 шт., Комплект для проведения лабораторных работ по электродинамике «Электромагнитные поля в волноводах», - 1 шт., Комплект для проведения лабораторных работ по электродинамике «Излучение элементарных источников» - 1 шт., Комплект для проведения лабораторных работ по электродинамике «Электромагнитные волны в анизотропных средах» - 1 шт., Учебные макеты антенн - 4 шт., Учебный макет генератора Г4-76А, - 1 шт., Учебный макет Измерительного приемника RFT SMV 8.5 - 1 шт.

Перечень лабораторных работ по формам обучения

№ п/п	Темы лабораторных работ
1	2
	Очная форма
1.	Электромагнитное поле. Электромагнитные свойства сред. Электромагнитное поле на границе раздела двух сред
2.	Поляризация плоских волн
3.	Отражение и преломление плоских волн
4.	Излучение элементарных источников
5.	Элементарный щелевой излучатель
6.	Распространение волн у поверхности Земли. Траектория радиоволн в ионосфере
7.	Направляемые волны
8.	Волноводы. Электромагнитные поля в волноводах
9.	Возбуждение электромагнитных колебаний в направляемых системах
10.	Электромагнитные волны в анизотропных средах
	Заочная форма
1.	Электромагнитное поле. Электромагнитные свойства сред. Электромагнитное поле на границе раздела двух сред
2.	Поляризация плоских волн
3.	Отражение и преломление плоских волн
4.	Излучение элементарных источников
5.	Элементарный щелевой излучатель
6.	Распространение волн у поверхности Земли. Траектория радиоволн в ионосфере
7.	Направляемые волны
8.	Волноводы. Электромагнитные поля в волноводах
9.	Возбуждение электромагнитных колебаний в направляемых системах
10.	Электромагнитные волны в анизотропных средах

Перечень практических занятий по формам обучения

№ п/п	Темы практических занятий
1	2
	Очная форма
1.	Элементы векторного анализа. Понятие электромагнитного поля. Виды сред. Электромагнитные свойства сред. Система уравнений электродинамики в дифференциальной и интегральной формах. Закон сохранения заряда. Теорема Гаусса. Закон электромагнитной индукции.
2.	Граничные условия для векторов электромагнитного поля на границе раздела двух сред. Граничные условия для идеального проводника. Энергия электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Уравнения Максвелла для монохроматического поля сторонние токи и сторонние заряды. Волновые уравнения.
3.	Электродинамические потенциалы. Вектор Герца. Плоские волны. Распространение плоских волн в средах с потерями. Фазовая и групповая скорости, волновое число и постоянная затухания плоских волн. Волны в проводнике. Скин слой.
4.	Поляризация электромагнитных волн. Стоячие волны. Распространение волн в плазме. Волновые явления на границе раздела двух сред. Формула Френеля для плоских электромагнитных волн с вертикальной и горизонтальной поляризацией. Явление полного преломления и полного отражения.
5.	Излучение элементарных источников. Элементарный электрический. Вибратор (диполь) Герца. Поле излучения элементарного электрического вибратора. Мощность и сопротивление излучения. Принцип перестановочной двойственности. Элементарный магнитный вибратор. Диаграмма направленности излучателя. Мощность излучения. Элементарный щелевой излучатель. Принцип эквивалентности. Элемент Гюйгенса. Лемма Лоренца.

6.	Распространение волн в неоднородных средах. Уравнение эйконала. Геометрическая оптика слоисто-неоднородной среды. Распространение волн у поверхности Земли. Траектории радиоволн в ионосфере.
7.	Направляемые волны. Связь между продольными и поперечными составляющими полей в однородной направляемой системе. Критическая частота. Длина волны в направляющей системе. Поперечные ТЕМ волны. Электрические E и магнитные H типы волн в направляющих системах. Концепция парциальных волн Бриллюэна. Групповая и фазовая скорости волн в направляющих системах. Мощность, переносимая электромагнитной волной по линии передачи.
8.	Прямоугольный волновод. Структура электромагнитного поля волны H ₁₀ в прямоугольном волноводе. Вырожденные волны. Круглый волновод. Структура волны E ₀₁ в круглом волноводе. Основные типы волн в прямоугольном и круглом волноводах. Токи на стенках волноводов. Волны в коаксиальной линии.
9.	Передача электромагнитной энергии по направляемым системам. Предельная и допустимая мощности. Коэффициент затухания. Передача энергии по прямоугольному волноводу. Затухание электрических и магнитных волн. Передача энергии по круглому волноводу. Передача энергии по коаксиальной линии. Объемные резонаторы. Добротность резонаторов. Классификация колебаний в объемных резонаторах.
10.	Прямоугольный резонатор. Коаксиальный резонатор. Добротность коаксиального резонатора. Цилиндрический резонатор. Элементы линий передач. Диафрагмы. Отверстия связи. Направленные ответвители. Атенюаторы. Возбуждение электромагнитных колебаний в направляемых системах. Возбуждение штырем и рамкой с током.
11.	Поверхностные волны и замедляющие системы. Ферритовые устройства СВЧ. Распространение волн в ферритах. Эффекты Фарадея и Коттон-Мутона. Вентили. Циркуляторы, использующие эффект Фарадея.
Заочная форма	
1.	Элементы векторного анализа. Понятие электромагнитного поля. Виды сред. Электромагнитные свойства сред. Система уравнений электродинамики в дифференциальной и интегральной формах. Закон сохранения заряда. Теорема Гаусса. Закон электромагнитной индукции.
2.	Граничные условия для векторов электромагнитного поля на границе раздела двух сред. Граничные условия для идеального проводника. Энергия электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Уравнения Максвелла для монохроматического поля сторонние токи и сторонние заряды. Волновые уравнения.
3.	Электродинамические потенциалы. Вектор Герца. Плоские волны. Распространение плоских волн в средах с потерями. Фазовая и групповая скорости, волновое число и постоянная затухания плоских волн. Волны в проводнике. Скин слой.
4.	Поляризация электромагнитных волн. Стоячие волны. Распространение волн в плазме. Волновые явления на границе раздела двух сред. Формула Френеля для плоских электромагнитных волн с вертикальной и горизонтальной поляризацией. Явление полного преломления и полного отражения.
5.	Излучение элементарных источников. Элементарный электрический. Вибратор (диполь) Герца. Поле излучения элементарного электрического вибратора. Мощность и сопротивление излучения. Принцип перестановочной двойственности. Элементарный магнитный вибратор. Диаграмма направленности излучателя. Мощность излучения. Элементарный щелевой излучатель. Принцип эквивалентности. Элемент Гюйгенса. Лемма Лоренца.
6.	Распространение волн в неоднородных средах. Уравнение эйконала. Геометрическая оптика слоисто-неоднородной среды. Распространение волн у поверхности Земли. Траектории радиоволн в ионосфере.
7.	Направляемые волны. Связь между продольными и поперечными составляющими полей в однородной направляемой системе. Критическая частота. Длина волны в направляющей системе. Поперечные ТЕМ волны. Электрические E и магнитные H типы волн в направляющих системах. Концепция парциальных волн Бриллюэна. Групповая и фазовая скорости волн в направляющих системах. Мощность, переносимая электромагнитной волной по линии передачи.
8.	Прямоугольный волновод. Структура электромагнитного поля волны H ₁₀ в прямоугольном волноводе. Вырожденные волны. Круглый волновод. Структура волны E ₀₁ в круглом волноводе. Основные типы волн в прямоугольном и круглом волноводах. Токи на стенках волноводов. Волны в коаксиальной линии.
9.	Передача электромагнитной энергии по направляемым системам. Предельная и допустимая мощности. Коэффициент затухания. Передача энергии по прямоугольному волноводу. Затухание электрических и магнитных волн. Передача энергии по круглому волноводу. Передача энергии по коаксиальной линии. Объемные резонаторы. Добротность резонаторов. Классификация колебаний в объемных резонаторах.
10.	Прямоугольный резонатор. Коаксиальный резонатор. Добротность коаксиального резонатора.

	Цилиндрический резонатор. Элементы линий передач. Диафрагмы. Отверстия связи. Направленные ответвители. Аттenuаторы. Возбуждение электромагнитных колебаний в направляемых системах. Возбуждение штырем и рамкой с током.
11.	Поверхностные волны и замедляющие системы. Ферритовые устройства СВЧ. Распространение волн в ферритах. Эффекты Фарадея и Коттон-Мутона. Вентили. Циркуляторы, использующие эффект Фарадея.

Перечень примерных тем курсовой работы /курсового проекта

№ п\п	Темы курсовой работы /проекта
1	2
1.	Расчет одномодового прямоугольного волновода
2.	Расчет одномодового круглого волновода
3.	Расчет одномодового коаксиального волновода
4.	Расчет одномодового оптического волновода
5.	Расчет сферического резонатора