


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Кафедра интеллектуальных информационных радиофизических систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета


(подпись)

И.С. Огнев

«23» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Электродинамика антенных устройств»

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
по научной специальности
1.3.4 «Радиофизика»

Форма обучения очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью преподавания дисциплины является подготовка специалистов в области создания и обеспечения функционирования устройств СВЧ и антенн, основанных на использовании электромагнитных колебаний и волн, и предназначенных для передачи, приема и обработки информации.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- получение необходимых знаний по физическим и теоретическим основам построения и функционирования устройств СВЧ и антенн;
- получение необходимых знаний по методам расчета основных параметров и характеристик устройств СВЧ и антенн.

2. Место дисциплины в структуре ОП аспирантуры

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору.

Дисциплина имеет логические и содержательно-методические взаимосвязи с другими дисциплинами ОП.

Для изучения дисциплины необходимы «входные» знания, умения, полученные в процессе обучения по программам специалитета, бакалавриата, магистратуры в области электродинамики и распространения радиоволн.

3. Планируемые результаты освоения дисциплины:

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- основы аппарата синтеза антенн и устройств СВЧ;
- условия и области применимости электродинамических численных и аналитических моделей, описывающих антенные устройства.

Уметь:

- проводить численный электродинамический расчёт характеристик антенных устройств;
- обоснованно выбирать строгие аналитические методы расчёта электродинамических характеристик антенных устройств.
- интерпретировать основные результаты, полученные при решении задач анализа и синтеза устройств СВЧ.

Владеть:

- навыками составления математических моделей электродинамических систем и СВЧ устройств.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего кон- троля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоя- тельная работа	
1	Основы теории антенн и устройств СВЧ	2	1				10	собеседование (по вопросам к зачёту)
2	Параметры антенн в пе- редающем и приемном режимах	2	1				10	собеседование (по вопросам к зачёту)
3	Антенные системы	2	2				10	собеседование (по вопросам к зачёту)
4	Устройства СВЧ	2	2				5	собеседование (по вопросам к зачёту)
5	Антенны различных диа- пазонов волн и геометрий	2	2				10	собеседование (по вопросам к зачёту)
6	Аналитические методы электродинамического анализа устройств СВЧ и антенн	2	2				15	собеседование (по вопросам к зачёту)
7	Численные методы элек- тродинамического анали- за устройств СВЧ и ан- тенн	2	2			2	20	собеседование (по вопросам к зачёту)
		2					14	зачет
	Всего		12			2	94	

Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Основы теории антенн и устройств СВЧ.

Структурная схема антенны. Простейшие излучатели линейной и круговой поляризации (вибраторы, рамки, турникеты, элементы Гюйгенса, микрополосковые элементы).

Тема 2. Параметры антенн в передающем и приемном режимах.

Комплексная характеристика направленности. Поляризационные и фазовые свойства. Коэффициент направленного действия (КНД), коэффициент усиления, ширина луча, уровень бокового излучения и другие параметры. Взаимосвязь между параметрами. Методы экспериментального исследования антенных устройств. Антенные полигоны, безэховые камеры, коллиматоры. Автоматизация антенных измерений и антенные эталоны. Поляризационные соотношения при радиоприеме. Эффективная поверхность и шумовая температура приемной антенны.

Тема 3. Антенные системы.

Требования, предъявляемые к антенным системам в современных технологиях беспроводной связи. Понятие антенной решётки (АР) Математическая модель антенных решёток изотропных излучателей: физика работы, типы антенных решеток и их классификация,

множитель комбинирования. Применение в различных областях техники. Характеристики направленности АР. Расчёт диаграмм направленности АР. Фазированные антенные решетки (ФАР). Активная ФАР (АФАР). Цифровая ФАР (ЦАР). Интеллектуальные антенные системы (SMART-антенны).

Тема 4. Устройства СВЧ.

Основные параметры линии передачи (дисперсионная характеристика, затухание, электропрочность и др.). Классификация линий и краткий обзор по диапазонам волн. Единая математическая модель для отрезка линии передачи. Трансформация сопротивлений. Круговая номограмма. Фильтры СВЧ. Виды матриц - рассеяния, сопротивлений, проводимостей, передачи. Соотношения между матрицами. Способы измерений элементов матриц (включая автоматизированные). Ограничения на элементы матриц, налагаемые условиями взаимности, симметрии и отсутствия потерь. Составление матриц на примерах тройников, балансных устройств (двойной Т-мост, щелевой мост) и циркуляторов.

Тема 5. Антенны различных диапазонов волн и геометрий.

Характерные особенности антенн в зависимости от применяемого диапазона волн. Общие свойства антенн малых электрических размеров. Антенны длинных, средних, коротких волн. УКВ-антенны. Способы увеличения рабочей полосы частот. Логопериодические и логоспиральные антенны.

Тема 6. Аналитические методы электродинамического анализа устройств СВЧ и антенн.

Строгие методы решения электродинамической задачи применительно к синтезу и анализу антенн и устройств СВЧ. Области применимости строгих аналитических методов, ограничения моделей. Метод перестановочной двойственности. Метод зеркальных изображений. Метод электродинамических потенциалов. Метод разделения переменных Фурье. Интегральные уравнения в задачах синтеза и анализа антенных устройств (уравнения Халлена, Поклингтона). Приближённые аналитические методы решения электродинамической задачи. Квазистатическое и квазиоптическое приближения. Метод физической оптики. Метод геометрической оптики. Универсальная теория дифракции.

Тема 7. Численные методы электродинамического анализа устройств СВЧ и антенн.

Численные методы решения электродинамической задачи применительно к синтезу и анализу антенн и устройств СВЧ. Области применимости строгих аналитических методов, ограничения моделей. Обобщённый метод взвешенных невязок. Метод Бубнова-Галёркина. Метод моментов. Метод колокаций. Метод подобластей. Метод конечных разностей во временной области. Метод конечных элементов. Метод граничных элементов. Метод конечных интегралов. Метод эквивалентных участков линий передач. Обзор коммерческих и открытых программных продуктов для моделирования и расчёта характеристик антенных устройств/систем. Знакомство с открытыми программными продуктами. Примеры моделирования и расчёта антенных устройств различного назначения.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения проводятся лекции, практические занятия, в ходе которых используются следующие типы занятий и образовательные технологии.

Вводная лекция - ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история разви-

тия науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков, а также получению кратких теоретических сведений. Задействованы: решение задач; коллективная мыслительная деятельность, в т.ч. мозговой штурм; анализ конкретных ситуаций; выступления с презентацией доклада.

Консультация – занятие, посвящённое консультациям по организации самостоятельной работы, ответам на вопросы студентов или разбору трудных тем.

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ: Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

Учебно-методическое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав:

а) Профессиональные базы данных:

1. Портал научной электронной библиотеки - <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Федеральная университетская компьютерная сеть России - <http://www.runnet.ru/>

б) Информационные справочные правовые системы:

1. СПС «Консультант-плюс» - <http://www.consultant.ru/>
2. СПС «Гарант» - <http://www.garant.ru/>

6. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов. / Г. А. Ерохин, О. В. Чернов, Н. Д. Козырев, В. Г. Кочержевский; под ред. Г. А. Ерохина; М-во связи РФ - 3-е изд. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 491 с.
http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1059825&cat_cd=YARSU
2. Артемова Т. К. Антенны: учеб. пособие для вузов. / Т. К. Артемова, Н. И. Фомичев; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та - [2-е изд., испр. и доп.]. - Ярославль: ЯрГУ, 2010. - 107 с.
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20100701.pdf>
3. Нефедов Е. И. Устройство СВЧ и антенны: учеб. пособие для вузов. / Е. И. Нефедов; Гос. образовательное учреждение высшего проф. образования Моск. техн. ун-т связи и информатики - М.: Академия, 2009. - 376 с.
http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=606764&cat_cd=YARSU

б) дополнительная литература:

1. Марков Г. Т. Антенны: учебник для вузов. / Г. Т. Марков, Д. М. Сазонов; М-во высш. и сред. спец. образования СССР - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1975. - 528 с.
http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=692921&cat_cd=YARSU
2. Лавров А.С., Резников Г.Б. Антенно-фидерные устройства: учеб. пособие для вузов, М., Советское радио, 1974, 367с
http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=742436&cat_cd=YARSU

3. Кочержевский Г. Н., Антенно-фидерные устройства : учебник для вузов, М., Радио и связь, 1989, 350с
http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=786228&cat_cd=YARSU
4. Артемова Т. К. Антенны: учеб. пособие для вузов. / Т. К. Артемова, Н. И. Фомичев; Науч.-метод. совет ун-та ; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова - Ярославль: ЯрГУ, 2007. - 126 с.
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20070702.pdf>

в) ресурсы сети Интернет:

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).
2. Электронная библиотека elibrary.ru.

7. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Автор:

Доцент кафедры ИИРС, к.ф.-м.н., доц.

Т. К. Артёмова

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Электродинамика антенных устройств»**

**Оценочные материалы
для проведения текущей и/или промежуточной аттестации аспирантов
по дисциплине**

**1. Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

Список вопросов к собеседованию

Собеседование проводится по вопросам к зачёту.

2. Контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе промежуточной аттестации

Вопросы к зачету

1. Классификация линий передачи. Основные параметры ЛП.
2. Математическая модель ЛП.
3. Многополюсники СВЧ
4. Матричный подход к описанию многополюсников
5. Классификация антенных устройств.
6. Характеристики антенных систем.
7. Радиотехнические характеристики и параметры передающих антенн.
8. Радиотехнические характеристики и параметры антенн в режиме приема
9. Симметричные вибраторные антенны
10. Спиральные антенны
11. Характеристики излучения открытого конца волновода.
12. Апертурные антенны.
13. Оптимальные рупорные антенны
14. Диэлектрические антенны
15. Линзовые антенны
16. Поле системы одинаковых и одинаково ориентированных в пространстве излучателей
17. Линейная равномерная антенная решетка
18. Анализ множителя направленности.
19. Методы экспериментального исследования антенных устройств в дальней зоне
20. Методы экспериментального исследования антенных устройств в ближней зоне
21. Коллинеарные и апертурные антенны. Особенности и физические принципы функционирования.
22. Типы антенных решеток и их классификация. Области применения и предъявляемые требования. Технические характеристики.
23. Фазированные антенные решетки. Типы излучателей. Расчёт диаграммы направленности.
24. Антенны электронного сканирования. Коммутационное сканирование. Скачки луча коммутационной решетки.
25. Численные методы исследования характеристик ФАР. Математическая модель ФАР. Обзор программного обеспечения и его возможностей.
26. Методы пространственной селекции сигналов с подавлением помех. Пример расчёта с обеспечением требуемых защитных соотношений.

27. Алгоритмы диаграммообразования. Адаптивное диаграммообразование. Критерии оптимизации.
28. Принципы построения и обработка сигналов в ММО системах.
29. Алгоритмы сверхразрешения. Пространственно-временное кодирование.
30. Антенны с обработкой сигналов.
31. Гибридные антенны. Многолучевые антенные решетки.

3. Критерии выставления оценки

По окончании освоения дисциплины аспиранту выставляется одна из оценок: «зачтено», «незачтено».

Оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если ответ на вопрос в ходе зачёта соответствует как минимум пороговому уровню (см. таблицу критериев оценивания ответов на вопросы).

Если же ответы на вопросы имеют уровень ниже порогового, выставляется оценка «незачтено».

Критерии оценивания ответов на вопросы к зачету

Критерий	Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (на «хорошо»)	Высокий уровень (на «отлично»)
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (<i>не относящееся к вопросу не подлежит проверке</i>)	Полное	Полное
Полнота ответа	Вопрос билета раскрыт на 50 и более %	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Ответ полный и без ошибок
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Рисунки (если требуются)	Имеются	Корректные	Корректные
Владение методологией	Упомянуты наименования методов	Дается краткое описание методов	Приводится сравнительный анализ различных методов
Критический анализ существующих методов	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов. Приводятся целевые показатели и их перспективное значение.	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов. Приводятся целевые показатели и их перспективное значение. Указываются пути развития методологической базы.