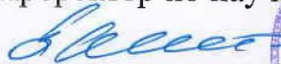


НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе



Драгунов В.К.

« 16 » июня

2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Направленность (специальность) 05.12.07 Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

специальной дисциплины

«Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ОД.2

Всего: 252 часа

Семестр 5, 144 часа, в том числе 6 часов – контактная работа,
138 часа – самостоятельная работа,

Семестр 6, 108 часов, в том числе 6 часов – контактная работа,
66 часов – самостоятельная работа,
36 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 876, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников 05.12.07 Антенны, СВЧ-устройства и их технологии, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является формирование знаний, отвечающих *формуле специальности применительно к области исследований соответствующей отрасли науки.*

Задачами дисциплины являются:

- развитие способности эффективно использовать всю совокупность полученных ранее компетенций для применения в разработках и исследованиях в своей предметной области по теме научно-исследовательской работы;
- продемонстрировать результаты образования в аспирантуре.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);

- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4);
- способность разрабатывать эффективные алгоритмы решения научных задач (ПК-1);
- способность реализовать разработанные алгоритмы решения научных задач с использованием современных языков программирования (ПК-2).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- аналитические методы электродинамики (УК-1);
- асимптотические методы электродинамики (УК-2);
- перспективные методы исследования антенн и их применение в научно-исследовательской деятельности (УК-5);
- методы создания теоретических и математических моделей антенн (УК-6);
- методы математической обработки результатов экспериментальных исследований (ОПК-1);
- принципы решения обратных задач и задач синтеза антенн (ОПК-2);

уметь:

- сформулировать постановку электродинамической задачи, возникающей при выполнении конкретной работы (ОПК-3);
- выбрать метод решения электродинамической задачи, исходя из исходных данных (ОПК-4);
- выполнять теоретические и экспериментальные исследования с использованием современных программных комплексов (ПК-1);
- формулировать перспективные задачи исследования на основе прогнозов направления развития техники антенн (ПК-2);
- проводить теоретический анализ электромагнитной совместимости радиотехнических устройств, состоящих из различных типов антенн (ОПК-3);
- сформулировать постановку обратной задачи, задачи синтеза антенн, возникающей при выполнении конкретной работы (ОПК-4)

владеть:

- применением методов электродинамики при решении конкретных прикладных задач (ПК-1);
- современными методами математического моделирования конкретных антенн и СВЧ-устройств (ПК-2);

– методами электродинамического анализа составных частей антенн и СВЧ-устройств (ПК-1);

– методами выбора экспериментально-измерительной базы при проведении научных исследований и проектных работ при создании антенн и СВЧ-устройств (ПК-2);

– применением численных методов электродинамики при решении конкретных задач синтеза антенн (ПК-2).

Формула специальности

"Антенны, СВЧ-устройства и их технология" - область науки и техники, занимающаяся излучением и приемом электромагнитных волн, их распространением по трассам, линиям передачи, СВЧ-устройствам и средам управлением полями с помощью различных физических явлений, эффектов и устройств, включая исследования, разработку и создание антенн, СВЧ-устройств, материалов и компонентов, технологий их изготовления, электромагнитную совместимость, спецоборудование и метрологическое обеспечение, отличающаяся тем, что содержит новые научные и технические решения по разработке антенн, СВЧ-устройств и их технологий для радионавигации, радиолокации, телевидения, радиоастрономии, радиоуправления, радиоэлектронной борьбы, телекоммуникаций и для другой спецтехники во всех диапазонах радиочастот. Специальность включает вопросы исследования, разработки, создания и производства новых антенн, устройств СВЧ и их технологии, радиоматериалов, элементной базы, решения задач электромагнитной совместимости, метрологического обеспечения, новых методов проектирования и новых технологических процессов.

Области исследований

1. Решение внешних и внутренних дифракционных задач электродинамики для анализа и синтеза высокоэффективных антенн и СВЧ-устройств, определения их предельно-достижимых характеристик, возможных путей построения и т. д.

2. Исследование характеристик антенн и СВЧ устройств для их оптимизации и модернизации, что позволяет осваивать новые частотные

диапазоны, обеспечивать электромагнитную совместимость, создавать высокоэффективную технологию и т. д.

3. Исследование и разработка новых антенных систем, активных и пассивных устройств СВЧ, в том числе управляющих, фазирующих, экранирующих и других, с существенно улучшенными параметрами.

4. Исследование и разработка интегрированных схем СВЧ новых поколений.

5. Изыскание рациональных путей построения антенн или антенных систем для новых областей использования радиоизлучения (технологий производства, биологии, медицины и т. д.).

6. Разработка и исследование новых технологий производства, настройки и эксплуатации антенных систем.

7. Исследование и разработка метрологического обеспечения проектирования, производства и эксплуатации антенных систем и СВЧ-устройств.

8. Исследование и разработка адаптивных и малощумящих антенных систем, больших антенн с высоким усилением, активных ФАР со сверхбольшими мощностями излучения, радиооптических антенных систем и антенн с уникальными характеристиками.

9. Разработка методов проектирования и оптимизации антенных систем и СВЧ устройств широкого применения.

10. Исследования распространения радиоволн на различных трассах в природных и искусственных средах и влияние условий распространения и вида подстилающей поверхности на характеристики антенн.

Отрасль науки

технические науки (за разработку антенн, устройств СВЧ, технологии их производства и за применение их в народном хозяйстве), физико-математические науки (за исследования теоретического характера)

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Основы электродинамики и распространения радиоволн

Уравнения Максвелла для нестационарных и монохроматических полей. Материальные уравнения и типы сред. Векторные и скалярные потенциалы электромагнитного поля. Волновые уравнения и уравнения Гельмгольца. Граничные условия. Энергия электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга.

Постановка задач электродинамики, методы их решения. Внутренние и внешние задачи электродинамики. Теорема единственности.

Свободные электромагнитные волны как решения однородных уравнений электродинамики в разных системах координат. Плоские однородные волны в изотропных средах с потерями и без потерь и в гиротропных средах (плазма и феррит при наличии подмагничивания). Вращение плоскости поляризации, резонансное поглощение. Немонохроматические волны в диспергирующих средах. Волны в активных средах; представление о волновых процессах в нелинейных средах. Падение плоской однородной волны на плоскую границу раздела однородных изотропных сред. Двойное преломление на границе раздела с гиротропной средой.

Локально-плоские волны и геометрическая оптика. Влияние неоднородности среды на распространение радиоволн. Уравнения эйконала и переноса. Уравнение луча. Сопровождающий трехгранник Френеля на луче. Изменение поляризации вдоль луча. Возникновение каустик. Рефракция в неоднородных средах.

Распространение радиоволн в природных условиях. Влияние земной поверхности, тропосферы, ионосферы, космического пространства на распространение радиоволн. Распространение радиоволн в урбанизированных зонах.

Явления и задачи дифракции. Строгая постановка дифракционных задач. Дифракция на цилиндре, шаре и клине. Интегральные уравнения в задачах дифракции и возбуждения тел сложной формы. Асимптотические методы в квазиоптической области: приближение Гюйгенса-Кирхгофа и геометрическая теория дифракции.

2. Общая теория антенн и СВЧ-устройств

Излучение электромагнитных волн. Элементарные излучатели. Ближняя и дальняя зоны. Теорема эквивалентности, эквивалентные поверхностные источники.

Электромагнитное поле заданного распределения возбуждающих токов в свободном пространстве. Принципы взаимозаменяемости полей, электрических и магнитных токов, принцип двойственности. Принцип электродинамического подобия. Сведение задачи об излучении антенн к интегральным и интегро-дифференциальным уравнениям.

Численные методы электродинамики. Постановка задачи, представление полей, алгоритмизация задач возбуждения, излучения и дифракции электромагнитных полей и волн.

Проекционные методы. Процесс Бубнова-Галеркина. Проекционное наложение граничных условий. Сведение задачи к рассмотрению граничных условий.

Дискретизационные методы. Декомпозиционный принцип. Математическое моделирование сложных структур.

3. Теория и техника СВЧ-устройств

Уравнения электродинамики для направляемых волн. Теория и классификация свободных волн в продольно-регулярных направляющих системах.

Типы направляющих систем. Полые и коаксиальные волноводы. Диэлектрические волноводы и линии поверхностных волн. Полые волноводы с частичным диэлектрическим и гиротропным заполнением. Полосковые и микрополосковые линии, щелевые и копланарные волноводы. Оптические волноводы, световоды. Замедляющие структуры. Искусственные диэлектрики. Квазиоптические направляющие системы.

Технические характеристики и особенности конструирования фидеров различных диапазонов. Конструктивно-технологические особенности микрополосковых линий.

Теория электромагнитных резонаторов. Полые резонаторы. Диэлектрические и ферритовые резонаторы. Резонаторы на основе планарных структур. Открытые квазиоптические резонаторы.

Технические характеристики и особенности конструирования резонаторов различных типов.

Теория сложных волноводных устройств. Многомодовые матрицы рассеяния, проводимости и сопротивления. Основные свойства одномодовых матриц.

Эквивалентные схемы волноводных устройств. Элементы теории цепей СВЧ. Круговые диаграммы полных сопротивлений и проводимостей.

Применение общей теории сложных волноводных устройств и теории цепей СВЧ при использовании различных направляющих систем.

Фидерные устройства и их элементы. Методы согласования. Узкополосное и широкополосное согласование. Ограничения на полосу согласования. Согласующие элементы для линий разных типов.

Элементы возбуждения волноводов и резонаторов. Соединения линий передачи, переходные элементы, вращающиеся сочленения. Разветвления, мостовые соединения. Направленные ответвители.

Устройства регулирования амплитудных, фазовых и поляризационных характеристик. Атенюаторы, фазовращатели, поляризаторы.

Устройства с применением ферритов. Волноводные, коаксиальные, полосковые и микрополосковые фазовращатели, вентили, циркуляторы и ограничители.

Коммутационные устройства, применение ферритов и полупроводниковых элементов. Антенные переключатели.

Частотные фильтры, элементы теории и классификация. Реализация фильтров в виде волноводных, коаксиальных, полосковых и микрополосковых конструкций. Перестраиваемые фильтры.

Принципы построения и методы проектирования приёмо - передающих устройств СВЧ. Особенности активных СВЧ-устройств на основе полупроводниковых и миниатюрных вакуумных приборов (генераторы, умножители частоты, малошумящие усилители). Применение биполярных и полевых транзисторов, лавинно-пролетных диодов, туннельных диодов и диодов Ганна.

Особенности мощных СВЧ-устройств (клистронные усилители, магнетронные генераторы и генераторы на ЛБВ и ЛОВ).

Пассивные нелинейные СВЧ устройства на полупроводниковых приборах. Транзисторные и диодные преобразователи частоты.

Теория и техника передачи сигналов по волоконно-оптическим линиям связи.

Применение СВЧ-устройств и систем в технологии производства, биологии и медицине.

Численный электродинамический расчёт основных типов СВЧ-устройств.

4. Теория и техника антенных устройств и систем(54 часа)

Теория антенн. Приемная и передающая антенны, их основные параметры и технические характеристики. Соотношение режимов приёма и передачи, теорема взаимности. Эффективная поверхность антенны. Обратное излучение приемной антенны. Приближение заданных токов и применение сведений об элементарных излучателях в теории антенн. Учет влияния земной поверхности и экранов.

Система одностипных излучателей. Теорема перемножения диаграмм. Эквивалентные решётки. Непрерывные распределения. Влияние амплитудно-фазового распределения поля и конфигурации апертуры на основные характеристики антенн. Статистические характеристики антенн.

Многоэлементные антенны (решётки). Взаимодействие элементов, метод наводимых э.д.с. в приближении заданных токов.

Фазированные антенные решетки (ФАР). Частотное, фазовое и фазо-частотное сканирование. Дискретный и дискретно-коммутационный методы. Приближение бесконечной решетки, теорема Флоке. Многолучевые антенные решетки.

Вопросы синтеза антенн. Сверхнаправленность. Типы антенн и их реализация в различных диапазонах волн.

Антенны длинных, средних и коротких волн. Вибраторные антенны для диапазонов КВ и УКВ. Антенны бегущей волны дискретного и непрерывного типов.

Спиральные, диэлектрические и ребристо-стержневые антенны. Частотно-независимые антенны. Рупорные, зеркальные, линзовые, щелевые и другие антенны СВЧ.

Антенные решетки с электронным сканированием. Системы управления ФАР, применение ферритов и полупроводниковых элементов. Активные

фазированные антенные решётки (АФАР). Приемо-передающие модули. Самофокусирующиеся антенные системы. Малошумящие антенные системы. Антенны с моделируемыми параметрами. Адаптивные антенны. Антенны для широкополосных сигналов. Антенные системы с регулируемыми поляризационными характеристиками. Моноимпульсные антенные системы.

Диаграммообразование ФАР с помощью оптических методов. Волоконно-оптические и гибридные диаграммообразующие схемы (ДОС) ФАР. Радиооптические антенны.

Учёт особенностей распространения радиоволн и расположения антенны. Вопросы надёжности антенно-фидерных устройств.

Измерение параметров антенно-фидерных устройств.

Применение антенных устройств и систем в технологии производства, биологии и медицине.

Численный электродинамический расчёта основных типов антенных устройств и систем.

5. Проектирование и оптимизация антенн и СВЧ-устройств, а также технология их производства

Современные компьютерные технологии проектирования, расчёта и оптимизации антенных и СВЧ - устройств широкого применения. Модели базовых элементов разных уровней. Составление модели сложного объекта.

Технология изготовления антенн и СВЧ-устройств.

Методы технологии конструирования антенных и СВЧ-устройств.

Методы технологии конструирования интегральных схем СВЧ.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 5 семестр - зачет, 6 семестр - кандидатский экзамен.

Вопросы для самоконтроля и проведения экзамена

Вопросы для самоконтроля аспирант составляет на основе изложенной выше программы при подготовке к экзамену при участии научного руководителя.

Примеры вопросов для самоконтроля

- Сведение уравнений Максвелла для нестационарных полей к уравнениям для монохроматических полей.

- Геометрическая оптика однородных и неоднородных сред

- Элементы теории цепей СВЧ. Круговые диаграммы полных сопротивлений и проводимостей

- Фазированные антенные решетки (ФАР). Частотное, фазовое и фазо-частотное сканирование

Вопросы, включенные в билеты для проведения экзамена. Билеты составляются индивидуально для каждого аспиранта с учетом направления его работы.

Пример билета для проведения экзамена

1. Теорема эквивалентности, эквивалентные поверхностные источники. Привести пример применения теоремы эквивалентности к расчету антенн
2. Методы согласования. Узкополосное и широкополосное согласование. Ограничения на полосу согласования. Согласующие элементы для линий разных типов.
3. Влияние амплитудно-фазового распределения поля и конфигурации апертуры на основные характеристики антенн.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн –М.: Горячая линия – Телеком, 2005
2. Неганов В.А., Осипов О.В., Раевский С.Б., Яровой Э.П. Электродинамика и распространение радиоволн. –М., Радиотехника, 2009.
3. Математические методы прикладной электродинамики. /Раевский С.Б. и др. –М.:, Радиотехника, 2009.
4. Пермяков В.А. Лекции по геометрической оптике неоднородных сред. М.: МЭИ. 2013.
5. Устройства СВЧ и антенны./Д.И.Воскресенский, В.Л.Гостюхин, В.М.Максимов, Л.И.Пономарев. М.: Радиотехника, 2006.
6. Устройства СВЧ и антенны: Проектирование, конструктивная реализация, примеры применения устройств СВЧ. /Неганов В.А., Ключев Д.С., Табаков Д.П. Ч.І. –М.:УРСС,2013
7. Устройства СВЧ и антенны. Теория и техника антенн. /Неганов В.А., Ключев Д.С., Табаков Д.П. Ч.ІІ, –М.: УРСС, 2014.
8. Гостюхин В.Л., Трусов В.Н., Гостюхин А.В. Активные фазированные антенные решетки. –М.: Радиотехника, 2011.
9. Фролов О.П., Вальд В.П. Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи. М., Телеком, 2008

10. Коган Б.Л. Поляризационные характеристики антенн. –М.: Издательский дом МЭИ, 2013
11. Банков С.Е. Антенные решетки с последовательным питанием. – М.:Физматлит, 2013
12. Гринев А.Ю. Численные методы решения прикладных задач электродинамики. –М: Радиотехника, 2013
13. ЭУМК «Антенны и СВЧ устройства», НИУ «МЭИ», 2005 г.
14. ЭУМК «Электродинамика и распространение радиоволн», НИУ «МЭИ», 2012 г.