



СПБГЭТУ «ЛЭТИ»

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Б.А. Тупик

2022 г.

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ – ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ

Группа научных специальностей: 2.2. «Электроника, фотоника, приборостроение и связь»

2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Форма обучения: очная

Срок обучения: 4 года

Факультет: ФРТ

Выпускающая кафедра: РЭС

Санкт-Петербург

2022

СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет: ФРТ
Обеспечивающая кафедра: РЭС

Курс	4
Семестр	8

Виды занятий

Лекции
Самостоятельная работа

Вид промежуточной аттестации

Экзамен (семестр)	8
-------------------	---

Разработчик



Головков А. А.

Зав. каф. РЭС



Малышев В. Н.

Заведующий ОДА



Тумаркин А. В.

АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ **«АНТЕННЫ, СВЧ УСТРОЙСТВА И ИХ ТЕХНОЛОГИИ»**

Дисциплина представляет собой специализированный учебный курс, предназначенный для аспирантов, специализирующихся в области СВЧ и антенной техники. Рассматриваются вопросы математического описания антенн и антенных решеток, ФАР, микрополосковых антенн и ряда других, компьютерного электродинамического моделирования антенн. Аспиранты получают практические навыки проектирования микрополосковых и вибраторных антенн с помощью профессиональных пакетов прикладных программ.

SUBJECT SUMMARY

"ANTENNA, MICROWAVE DEVICES AND THEIR TECHNOLOGIES"

Discipline is a specialized training course designed for graduate students specializing in microwave and antenna technology. Questions of the mathematical description of antennas and antenna arrays, FAR, microstrip antennas and a number of other, computer electrodynamic antenna modeling are considered. PhD students receive practical skills in designing microstrip and vibrator antennas using professional software packages.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Изучение основных, закономерностей, методов расчета современных антенных систем. Знание принципов действия антенных устройств и систем, физических основ работы основных типов антенных устройств; общих принципов построения антенных систем.
2. Формирование навыков самостоятельного проектирования антенн и антенных решеток, экспериментальных исследований их характеристик.
3. Освоение умений выбора типа и структуры антенного устройства в соответствии с требованиями технического задания; выбора методик расчета отдельных узлов и антенных устройств, как с помощью приближенных инженерных методов, так и с помощью ЭВМ.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Введение

Содержание, цель и значение дисциплины в подготовке аспирантов, ее связь с другими дисциплинами и подготовкой кандидатской диссертации. Общая классификация решаемых задач.

Тема 1. Общая теория антенн и СВЧ-устройств

Уравнения Максвелла для нестационарных и монохроматических молей. 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.

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.

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 и квазиоптической области: приближение Гюйгенса-Кирхгофа и геометрическая теория дифракции.

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

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

Дискретизационные методы. Декомпозиционный принцип. Математическое моделирование сложных структур.

Тема 2. 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. Аттенюаторы, 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 приёмно-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, тунNELьных 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.

Тема 3. Теория и техника антенных устройств и систем

Теория антенн. Приёмная 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 однотипных 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 фазочастотное сканирование. Дискретный и дискретно-коммутационный методы. Приближение бесконечной решётки, теорема Флоке. Многолучевые антенные решётки.

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.

Сpirальные, диэлектрические и ребристо-стержневые антенны. Частотно-независимые антенны. Рупорные, зеркальные, линзовье, щелевые и другие антенны СВЧ.

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

Тема 4. Проектирование и оптимизации 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.

Заключение

Перспективы развития методов проектирования антенн и СВЧ-устройств.

В случае, если дисциплина реализуется в группах с малой численностью, занятия по отдельным разделам могут проходить в виде установочной лекций, выдачи и объяснения задания по теме, а текущий контроль может проходить в виде представления и защиты аспирантом выполненного задания.

Общие рекомендации по выполнению индивидуальных заданий доступны для аспиранта в печатном или электронном виде (на сайте Университета), либо аспирант может получить рекомендации у преподавателя, отвечающего за дисциплину, в часы консультаций. Задание формулируется с учетом тематики докторской диссертации аспиранта в рамках изучаемой дисциплины.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Методические рекомендации по реализации дисциплины

Методические рекомендации преподавателям:

Перед началом преподавания дисциплины преподавателю необходимо:

- знать цели и задачи преподавания дисциплины;
- представлять, какие знания, умения и навыки должен приобрести аспирант в процессе изучения данной дисциплины;
- четко понимать, в формировании каких результатов освоения программы аспирантуры участвует дисциплина.

Если учебным планом по дисциплине предусмотрен экзамен, его рекомендуется проводить в форме индивидуальной беседы с аспирантом по вопросам, сформулированным в фондах оценочных средств дисциплины, используя вопросы из различных разделов дисциплины, обеспечив тем самым более полную проверку знаний аспиранта.

В своей деятельности преподаватель должен руководствоваться локальными нормативными актами, регламентирующими образовательную деятельность по образовательным программам подготовки кадров высшей квалификации в университете.

Методические рекомендации по самостоятельной работе аспирантов:

Изучение каждой дисциплины должно сопровождаться самостоятельной работой аспиранта с рекомендованными преподавателями литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет по всем разделам дисциплины.

Ряд вопросов, подлежащих изучению в составе дисциплины, достаточно хорошо проработаны в учебной литературе, представлены в научных трудах, сборниках трудов, статьях, в сети Интернет. Эти вопросы могут быть переданы аспирантам на самостоятельное изучение. Такая работа строится на основе подготовленных преподавателем заданий с перечнем вопросов, на которые обучающийся должен найти ответы в процессе самостоятельного изучения. Самостоятельно

могут изучаться как целые темы, так и отдельные вопросы в составе обозначенных преподавателем, но не полностью раскрытых им тем. Для закрепления материала ведется конспектирование, готовятся рефераты, эссе или делаются доклады. Степень освоения самостоятельно изученных материалов обязательно проверяется контрольными мероприятиями с использованием фонда оценочных средств по дисциплине.

Особое место требуется уделить консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и аспирантами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ. (на каф.)
1	Электродинамика и распространение радиоволн, учеб. для вузов / Б.М. Петров. - М. : Горячая линия - Телеком, 2003.	97
2	Основы автоматизированного проектирования антенных решеток: учеб. пособие / С.В. Балланович, М.И. Сугак. - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2016.	76
3	Техническая электродинамика: учеб. / О. И. Фальковский. - Изд. 2-е, стер. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2009.	ЭБС «Лань» + 6
4	Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов по специальности 2011 / Г.А. Ерохин и др.; - М.: Горячая линия - Телеком, 2004.	50
5	Электродинамика и распространение радиоволн, учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов / В.В. Никольский, Т.И. Никольская. - М.: Кн. дом "ЛИБРОКОМ", 2014.	60

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№	Электронный адрес
1	http://www.free-book.info/download.php?skachat=1166
2	http://bookfi.org/book/636465

Информационные технологии (операционные системы, программное обеспечение общего и специализированного назначения, а также информационные справочные системы) и материально-техническая база, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, соответствуют федеральным государственным требованиям.

Конкретные формы и процедуры текущего контроля знаний и промежуточной аттестации, включая перечень экзаменационных вопросов (Приложение 1), а также методические указания для обучающихся по самостоятельной работе при освоении дисциплин доводятся до сведения обучающихся на первом занятии.

Приложение 1

Список экзаменационных вопросов по дисциплине «АНТЕННЫ, СВЧ УСТРОЙСТВА И ИХ ТЕХНОЛОГИИ»

1. Уравнения Максвелла для нестационарных и монохроматических полей. Теорема Умова-Пойнтинга.
2. Постановка задач электродинамики, методы их решения. Внутренние и внешние задачи электродинамики. Теорема единственности.
3. Свободные электромагнитные волны как решения однородных уравнений электродинамики в разных системах координат. Волны в активных средах; представление о волновых процессах в нелинейных средах.
4. Падение плоской однородной волны на плоскую границу раздела однородных изотропных сред. Двойное преломление на границе раздела с гиротропной средой.
5. Локально-плоские волны и геометрическая оптика. Влияние неоднородности среды на распространение радиоволн. Уравнения эйконала и переноса. Рефракция в неоднородных средах.
6. Распространение радиоволн в природных условиях. Влияние земной поверхности, тропосферы, ионосферы, космического пространства на распространение радиоволн. Распространение радиоволн в урбанизированных зонах.
7. Излучение электромагнитных волн. Элементарные излучатели. Ближняя и дальняя зоны. Теорема эквивалентности, эквивалентные поверхностные источники.
8. Электромагнитное поле заданного распределения возбуждающих токов в свободном пространстве. Принципы взаимозаменяемости полей, электрических и магнитных токов, принцип двойственности. Принцип электродинамического подобия.
9. Явления и задачи дифракции. Дифракция на цилиндре, шаре и клипе. Асимптотические методы в квазиоптической области: приближение Гюйгенса-Кирхгофа и геометрическая теория дифракции.
10. Численные методы электродинамики. Постановка задачи, представление полей, алгоритмизация задач возбуждения, излучения и дифракции электромагнитных полей и воли.

11. Проекционные методы. Процесс Бубнова-Галёркина. Проекционное наложение граничных условий. Сведение задачи к рассмотрению граничных условий.
12. Дискретизационные методы. Декомпозиционный принцип. Математическое моделирование сложных структур.
13. Уравнения электродинамики для направляемых волн. Теория и классификация свободных волн в продольно-регулярных направляющих системах.
14. 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.
15. Технические характеристики и особенности конструирования фидеров различных диапазонов. Конструктивно-технологические особенности микрополосковых линий.
16. Теория электромагнитных резонаторов. Полые резонаторы. Диэлектрические и ферритовые резонаторы. Резонаторы на основе планарных структур. Открытые квазиоптические резонаторы.
17. Технические характеристики и особенности конструирования резонаторов различных типов.
18. Теория сложных волноводных устройств. Многомодовые матрицы рассеяния, проводимости и сопротивления. Основные свойства одномодовых матриц.
19. Эквивалентные схемы волноводных устройств. Элементы теории цепей СВЧ. Круговые диаграммы полных сопротивлений и проводимостей.
20. Применение общей теории сложных волноводных устройств и теории цепей СВЧ при использовании различных направляющих систем.
21. Фидерные устройства и их элементы. Методы согласования. Узкополосное и широкополосное согласование. Ограничения на полосу согласования. Согласующие элементы для линий разных типов.
22. Элементы возбуждения волноводов и резонаторов. Соединения линий передачи,

переходные элементы, вращающиеся сочленения. Разветвления, мостовые соединения. Направленные ответвители.

23. Устройства регулирования амплитудных, фазовых и поляризационных характеристик. Аттенюаторы, фазовращатели, поляризаторы.
24. Устройства с применением ферритов. Волноводные, коаксиальные, полосковые и микрополосковые фазовращатели, вентили, циркуляторы и ограничители.
25. Коммутационные устройства, применение ферритов и полупроводниковых элементов. Антенные переключатели.
26. Частотные фильтры, элементы теории и классификация. Реализация фильтров в виде волноводных, коаксиальных, полосковых и микрополосковых конструкций. Перестраиваемые фильтры.
27. 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, тунNELьных диодов и диодов Ганна.
28. Особенности мощных СВЧ-устройств (клистронные усилители, магнетронные генераторы и генераторы на ЛЕВ и ЛОВ).
29. Пассивные нелинейные СВЧ устройства на полупроводниковых приборах. Транзисторные и диодные преобразователи частоты.
30. Теория и техника передачи сигналов по волоконно-оптическим линиям связи.
31. Применение СВЧ-устройств и систем в технологии производства, биологии и медицине.
32. Численный электродинамический расчёт основных типов СВЧ-устройств.
33. Современные компьютерные технологии проектирования, расчёта и оптимизации антенных и СВЧ-устройств широкого применения. Модели базовых элементов разных уровней. Составление модели сложного объекта.
34. Технология изготовления антенн и СВЧ-устройств,
35. Методы технологии конструирования антенных и СВЧ-устройств.
36. Методы технологии конструирования интегральных схем СВЧ.