

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«АНТЕННЫ, СВЧ УСТРОЙСТВА И ИХ ТЕХНОЛОГИИ»
для подготовки аспирантов по направлению
11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи
по направленности
«Антенны, СВЧ устройства и их технологии»

Санкт-Петербург

2016

СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

№№ учебных планов:	5911070, 7911070
Обеспечивающий факультет:	Радиотехники и телекоммуникаций
Обеспечивающая кафедра:	Радиоэлектронных средств

Общая трудоемкость (ЗЕТ)	3
Курс	4
Семестр	8

Виды занятий

Лекции (академ. часов)	2
------------------------	---

Все аудиторные (контактные) занятия (академ. часов)	2
Самостоятельная работа (академ. часов)	106
Всего (академ. часов)	108

Вид промежуточной аттестации

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

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Радиоэлектронных средств 15.06.16, протокол № 9.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией факультета радиотехники и телекоммуникаций 30.06.16, протокол №2.

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 требования технического задания; выбора методик расчета отдельных узлов и антенных устройств, как с помощью приближенных инженерных методов, так и с помощью ЭВМ.

Перечень компетенций, в формировании которых участвует дисциплина, приведен в матрице компетенций, прилагаемой к ООП.

Настоящая программа составлена на основе «Программы кандидатских экзаменов по истории и философии науки, иностранному языку и специальным дисциплинам», утвержденной приказом Минобрнауки России от 8 октября 2007 г. № 274 (зарегистрирован Минюстом России 19 октября 2007 г., регистрационный № 10363).

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина «Антенны, СВЧ устройства и их технологии» относится к вариативной части ООП. Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Измерения на СВЧ»;

2. «Прототипирование радиотехнических систем в среде LabView»;

и обеспечивает подготовку выпускной научной квалификационной работы (диссертации).

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Введение (1 академ. час)

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 (30 академ. часов)

Уравнения Максвелла для нестационарных и монохроматических полей. Материальные уравнения и типы сред. Векторные и скалярные потенциалы электромагнитного поля. Волновые уравнения и уравнения Гельмгольца. Границные 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 в 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 (25 академ. часов)

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 рассения, 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, врачающиеся 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.

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, 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. Транзistorные 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 (26 академ. часов)

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 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.

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. Мноимпульсные 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 оптимизация антенн и СВЧ-устройств, а также технология их производства (25 академ. часов)

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 (1 академ. час)

Перспективы развития методов проектирования антенн и СВЧ-устройств.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№	Название, библиографическое описание	Семестр	К-во экз. в библ. (на каф.)
Основная литература			
1	Электродинамика и распространение радиоволн, учеб. для вузов / Б.М. Петров. - М. : Горячая линия-Телеком, 2003.	8	97
2	Основы автоматизированного проектирования антенных решеток: учеб. пособие / С. В. Балландович, М. И. Сугак ; - СПб. : Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2016. - 89 с. : + 1 эл. опт. диск	8	76
3	Техническая электродинамика : учеб. / О. И. Фальковский. - Изд. 2-е, стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2009.	8	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 г..	8	50
Дополнительная литература			
1	Электродинамика и распространение радиоволн, учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов / В. В. Никольский, Т. И. Никольская. - М. : Кн. дом "ЛИБРОКОМ", 2014.	8	60
2	Распространение радиоволн, учеб. пособие / О. И. Яковлев [и др.] ; - Изд. стер. - М. : ЛЕНАНД, 2016.	8	4

Зав. отделом учебной литературы

Т.В. Киселева

Зав. отделом учебной литературы Т.В. Киселева
Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети

«Интернет», используемых при освоении дисциплины

№	Электронный адрес
1	Дмитриев Е.Е. Основы моделирования в Microwave Office 2009. http://www.free-book.info/download.php?skachat=1166
2	Банков С.Е., Курушин А.А. Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. 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 требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Описание информационных технологий и материально-технической базы приведено в УМКД дисциплины.

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 (содержащиеся в ООП) доводятся до сведения обучающихся на первом занятии.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчик

д.т.н., проф.



Головков А.А.

Рецензент

к.т.н., доцент



Сугак М.И.

Зав. каф. радиоэлектронных средств

д.т.н., проф.



Малышев В.Н.

Декан факультета

радиотехники и телекоммуникаций

д.т.н., проф.



Малышев В.Н.

Согласовано:

Председатель УМК факультета

радиотехники и телекоммуникаций

к.т.н., доцент



Кузнецов И.Р.

Начальник МО

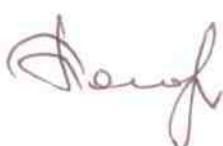
д.т.н., проф.



Грязнов А.Ю.

Заведующий ОДА

к.т.н., доц.



Погодин А.А.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№	Дата	Изменение	Дата заседания УМК, № прот-ла	Автор	Нач. МО
1					

ПЕРЕЧЕНЬ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ

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 клине. 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 волн.
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, туннельных диодов и диодов Ганна.
28. Особенности мощных СВЧ-устройств (клистронные усилители, магнетронные генераторы и генераторы на ЛБВ 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.