

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»



“УТВЕРЖДАЮ”
Зав. ОПКВК
В.П. Драгунов
2022 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальности

2.2.14 Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Новосибирск 2022

Дополнительная программа разработана д.т.н., доцентом Горбачевым А.П.,
д.т.н., профессором Девятковым Г.Н., д.т.н., профессором Разинкиным В. П.

(Горбачев А.П.)

(Девятков Г.Н.)

(Разинкин В. П.)

Программа утверждена на заседании Ученого Совета факультета «Радиотехника и
электроника» « 23 » « 11 » 2022 года, протокол № 10.

Председатель Совета
к.т.н., доцент

С.А. Стрельцов

Ученый секретарь
к.т.н., доцент

А.В. Удовиченко

ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по специальности
2.2.14 - Антенны, СВЧ – устройства и их технологии
по техническим и физико-математическим наукам

Настоящая программа базируется на кратком паспорте специальности 05.12.07 и на вузовских дисциплинах, соответствующих государственному образовательному стандарту по направлению «Радиотехника». : «Электродинамика и распространение радиоволн», «Устройства СВЧ и антенны», «Радиотехнические цепи и сигналы», «Устройства генерирования и формирования сигналов», «Устройства приема и преобразования сигналов», «Электроника», «Схемотехника аналоговых электронных устройств», «Вычислительные устройства и системы», «Радиотехнические системы».

Программа разработана Московским авиационным институтом (государственным техническим университетом) согласована с Московским государственным университетом им. Н.Э. Баумана, Московским энергетическим институтом (техническим университетом), Институтом радиоэлектроники РАН, УМС по направлению 654200 «Радиотехника» и одобрена экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по электронике, измерительной технике, радиотехнике и связи.

1. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ АНТЕНН И СВЧ-УСТРОЙСТВ.

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.

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.

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 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.

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 антennы. 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 Флока. 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. 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 антенн. 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.

4. 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.

Литература.

1. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика. Под ред. Пименова Ю.В. М.: Радио и связь, 2000.
2. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Радио и связь, 2000.
3. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Высшая школа, 1992.
4. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: «Наука», 1989.
5. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ. М.: Высшая школа, 1990.
6. Черенкова Е.Л., Чернышов О.В. Распространение радиоволн. М.: Радио и связь, 1988.
7. Яковлев О.И. Космическая радиофизика. М.: РFFИ, 1998.
8. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решёток. Под ред. Воскресенского Д.И. М.: Радио и связь, 1994.
9. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для вузов. Под ред. Воскресенского Д.И. М: МАИ, 1999..
10. Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1994.
11. Баскаков С.И., Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000.
12. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991.
13. Крылов К.И., Прокопенко В.Т., Тарлыков В.А. Основы лазерной техники. Л.: Машиностроение, 1990.
14. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991.
15. Кутушев А.М., Голубева Н.С., Митрохин В.И. Основы электроники. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебное пособие для вузов. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по специальности
2.2.14 - Антенны, СВЧ – устройства и их технологии

1. Математические модели диодов и транзисторов

Математическая модель $p-i-n$ диода. Эквивалентная схема. Пределы применимости.

Математическая зарядовая модель варакторного диода. Эквивалентная схема. Учет основных потерь при отпирании $p-n$ перехода. Матричное представление диода. Условия преобразования максимальной мощности. Режимы работы модели: анализ синтез. Пределы применимости.

Математические зарядовые модели биполярного и полевого транзисторов в режиме малого и большого сигналов. Эквивалентные схемы. Учет совокупности нелинейных эффектов в режиме большого сигнала. Режимы работы моделей: синтез и анализ. Пределы применимости.

2. Методы автоматизированного проектирования ВЧ и СВЧ устройств

Синтез оптимальных режимов работы активных элементов. Входные и выходные параметры моделей. Основные критерии оптимальности и ограничения.

Синтез согласующе-корректирующе-фильтрующих цепей ВЧ и СВЧ устройств. Основные критерии оптимальности и ограничения. Синтез эквивалентных схем по входам и выходам активных элементов. Оценка предельной широкополосности. Синтез согласующих четырехполюсников при произвольных имmittансах генераторов и нагрузок. Синтез фильтрующих и корректирующих цепей. Особенности синтеза согласующе-фильтрующих цепей преобразователей частоты на диодах.

Реализация согласующе-корректирующе-фильтрующих цепей в сосредоточенно-распределенном и распределенном элементном базисах. Реактивные преобразования частоты. Эквивалентные преобразования цепей. Учет неоднородностей СВЧ тракта.

Анализ конструкций СВЧ устройств в геометрическом и смешанном базисах входных параметров. Расчет коэффициентов чувствительности и статистический анализ. Оптимизация рабочих характеристик. Автоматическое размещение проектируемого устройства на плоскости и формирование описания топологии.

3. Современные тенденции в конструировании и технологиях устройств СВЧ

Построение СВЧ фильтров с дополнительными связями между резонаторами. Полосковые фильтры на многомодовых резонаторах. Оптимизация параметров СВЧ фильтров, выполненных на основе связанных линий передачи.

Особенности проектирования и конструирования СВЧ усилителей для активных фазированных антенных решеток. Методы повышения КПД усилителей мощности. Согласующие цепи для транзисторных усилителей мощности.

Методы анализа многомодовых полосковых полосковых структур, используемых для построения широкополосных управляемых СВЧ устройств. Математические модели многомодовых полосковых структур, использующие декомпозиционный подход и конформные преобразования.

Методы анализа управляемых СВЧ аттенюаторов и коммутаторов, выполненных в сосредоточенном и распределенном базисе.

Методы анализа и синтеза управляемых полупроводниковых и ферритовых СВЧ фазовращателей.

Методы расчета и проектирования приемо-передающих усилительных модулей СВЧ диапазона в интегральном исполнении.

Малошумящие СВЧ приемные усилительные модули. Усилители мощности для активных фазированных антенных решеток.

Принципы построения и особенности конструктивно-технологической реализации нового поколения печатных дипольных излучателей с симметрирующими устройствами типа «ласточкин хвост». Порядок построения эквивалентных схем излучателей, позволяющих определить начальные значения электрических параметров и соответствующих геометрических параметров стартового облика излучателей. Оптимизация электрических и геометрических параметров методом сопряженных градиентов и с использованием систем автоматизированного проектирования “WIPL-D”, “CST Microwave Studio”, “CST Studio Suite”. Выбор целевой функции, критериев оптимизации и ключевых параметров, подлежащих оптимизации.

Принципы построения и особенности конструктивно-технологической реализации новых типов двухчастотных уединенных дипольных и отдельно стоящих одно- и двухчастотных директорных антенн, как с монопольным, так и с дипольным возбудителями. Построение стартового облика, выбор ключевых параметров оптимизации, целевой функции и критериев оптимизации. Использование САПР “WIPL-D”, “CST Microwave Studio”, “CST Studio Suite”.

Одно – и многолучевые фазированные антенные решетки с использованием новых типов одночастотных дипольных и директорных антенн. Принципы построения, особенности формирования диаграммообразующих устройств на новой элементной базе – полосковых и микрополосковых мостах (матрицы Батлера) и направленных ответвителях (матрицы Бласса и Нолена). Характеристика новых типов дифференциальных фазовращателей в полосковом и микрополосковом исполнениях на многослойных метало-диэлектрических структурах. Применение технологии толстопленочных микросхем с совместно спекаемыми проводящими и диэлектрическими пастами и материалами (технология “Co-fired ceramic”). Особенности использования последовательного соединения многополюсников при «вертикальной» декомпозиции фазовращателей, применение матриц сопротивлений фрагментов. Анализ устройств сверхвысокочастотного диапазона со смежным расположением источника сигнала и нагрузки. Проектирование СВЧ устройств с полностью экранированными внутренними фрагментами, имеющими различные значения относительной диэлектрической проницаемости среды распространения сигнала. Специфика конструктивно-технологической реализации в волноводном, полосковом и микрополосковом исполнениях, а также на кристаллах полупроводников диапазона СВЧ. Выбор стартового облика антенной решетки для последующей оптимизации в САПР “WIPL-D”, “CST Microwave Studio”, “CST Studio Suite”. Роль классических расчетных процедур устройств СВЧ и антенн в формировании стартового облика проектируемого изделия.

- Пономарев Л.И., Скородумов А.И., Ганицев А.Ю. Антенные системы сотовой связи. – М.: Вузовская книга, 2015. -160 с. :ил.
- Гринев А.Ю., Гиголо А.И. Математические основы и методы решения задач электродинамики. – М.: Радиотехника, 2015. -230 с. :ил.
- Воскресенский Д.И., Овчинникова Е.В., Шмачилин П.А., Бортовые цифровые антенные решетки и их элементы. – М.: Радиотехника, 2013. – 208 с.: ил.
- Разинкин В.П., Хрусталев В.А., Матвеев С.Ю. Широкополосные управляемые устройства высокого уровня мощности. – Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2014. – 315 с.: ил
- Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток: Учеб. пособие для вузов / Д.И. Воскресенский, В.И.Степаненко, и др. // Под ред. Д.И. Воскресенского. 4 – е издание. – М.: Радиотехника, 2012. – 742 с.:ил.
- Гостюхин В.Л., Трусов В.Н., Гостюхин А.В., Активные фазированные антенные решетки. – М.: Радиотехника, 2011. – 304 с.: ил.
- Девятков Г.Н. Моделирование и автоматизированное проектирование широкополосных преобразователей частоты: Учеб. пособие / Г.Н. Девятков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 68 с.: ил.
- Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн/ Под ред. Г.А. Ерохина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 491 с.: ил
- Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 558 с.: ил.
- Горбачев А.П. Синтез микроволновых устройств на связанных линиях передачи: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 414 с.: ил.
- Уфимцев Д.В., Шебалкова Л.В., Сюткин К.Ю. Проектирование, моделирование и оптимизация устройств СВЧ диапазона – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 162 с.: ил.
- Горбачев А.П., Тарасенко Н.В. Двухдиапазонные директорные антенны. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 231 с.: ил.

Критерии оценки	Уровень компетенций	Баллы
Ответы на вопросы комиссии сформулированы четко, с достаточной аргументацией и полнотой, свидетельствующей о полном владении материалом.	Продвинутый. Отлично.	87-100
Ответы на вопросы комиссии сформулированы четко, но с недостаточной аргументацией и полнотой.	Базовый. Хорошо.	73-86
Ответы на вопросы комиссии свидетельствуют о недостаточно полном владении материалом.	Пороговый. Удовлетворительно.	50-72
Ответы на вопросы комиссии свидетельствуют о весьма слабом владении материалом.	Ниже порогового. Неудовлетворительно.	0-49