

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

2023 год

Институт физики

Направление 03.04.03 «Радиофизика»

Магистерская программа «Моделирование колебательных и волновых процессов в нелинейных системах и средах», «Радиоэлектроника», «Физика микроволн»

Вопросы для собеседования

Теоретические основы радиотехники

1. Сигналы и их математические модели. Регулярные и случайные сигналы. Периодические, непериодические, импульсные сигналы. Аналоговые, дискретные, квантованные и цифровые сигналы.
2. Метод комплексных амплитуд. Формы представления гармонических колебаний. Основные свойства комплексных амплитуд.
3. Спектральное представление сигналов. Спектры периодических сигналов. Спектр последовательности прямоугольных импульсов. Спектры непериодических сигналов. Основные свойства спектров и теоремы о спектрах.
4. Сигналы с ограниченным спектром и их математические модели. Комплексное представление узкополосных сигналов. Аналитический сигнал. Преобразование Гильберта.
5. Модулированные сигналы. Амплитудная модуляция. Сигналы с угловой модуляцией. Принципы угловой модуляции. Частотная и фазовая модуляция.
6. Классификация радиоэлектронных цепей и систем. Сосредоточенные и распределенные системы. Свойства линейных и нелинейных систем.

Основы теории колебаний

1. Динамические системы. Динамическая система и ее математическая модель. Классификация динамических систем.
2. Устойчивость и бифуркации динамических систем. Устойчивость состояний равновесия. Основы классификации состояний равновесия (центр, узел, фокус, седло).

3. Линейный осциллятор. Консервативный линейный осциллятор. Воздействие внешней гармонической силы на линейный осциллятор. Явление резонанса.
4. Нелинейный осциллятор. Примеры нелинейных осцилляторов. Качественный анализ типов движения. Воздействие периодической силы на нелинейный осциллятор. Нелинейный резонанс и гистерезис.
5. Параметрический резонанс. Параметрические колебания и параметрический резонанс. Уравнение Матье.
6. Автоколебания. Определение автоколебаний. Мягкий и жесткий режим возбуждения колебаний. Внешнее воздействие на генератор Ван дер Поля периодическим сигналом. Эффект синхронизации (захват частоты и фазы колебаний).
7. Детерминированный хаос. Примеры систем с хаотической динамикой. Основные характеристики хаотических аттракторов.

Статистическая радиофизика

1. Статистические характеристики случайных процессов. Моментные функции. Стационарные случайные процессы. Вероятностная сходимость. Эргодические случайные процессы. Спектральное представление случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина.
2. Модели случайных процессов и шумы в радиоустройствах. Нормальный случайный процесс. Белый шум и узкополосный случайный процесс. Естественные и технические источники шума в радиоустройствах, их природа и статистические характеристики.
3. Марковские процессы и стохастические дифференциальные уравнения. Уравнение Чепмена- Колмогорова. Марковские цепи и их свойства. Диффузионные процессы, уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова. Винеровский процесс. Стохастические дифференциальные уравнения.
4. Флуктуации в автогенераторе. Роль флуктуаций в автоколебательных системах. Корреляционная функция и спектр автоколебаний в присутствии шума.

Основы теории волн

1. Колебания распределенных систем. Переход к сплошной среде. Дисперсия. Эволюционные и дисперсионные уравнения.
2. Акустические и электромагнитные волны в диспергирующих и диссипативных средах. Скорость распространения волн. Фазовая и групповая скорости.
3. Волны в анизотропных и неоднородных средах. Распространение плоских гармонических волн в плавно-неоднородных средах. ВКБ-приближение
4. Нелинейные волны. Волна в среде с квадратичной нелинейностью. Резонанс гармоник в простой волне. опрокидывание волн. Акустические и электромагнитные нелинейные волны.
5. Стационарные уединенные волны. Уравнение Кортевега-де-Вриза. Уравнение Бюргера.

6. Волны в активных средах. Нелинейные бегущие волны. Автоволны.
7. Турбулентность. Пространственно-временной хаос. Картина турбулентности по Ландау. Сценарий Рюэля-Такенса.

Электромагнитные СВЧ поля и волны

1. Формулировка внутренних и внешних краевых задач электродинамики СВЧ; точные и приближенные граничные условия.
2. Объемные резонаторы как колебательные системы СВЧ: классификация типов колебаний; колебания Е- и Н-типов; резонаторы прямоугольного и круглого сечений; элементы теории возмущения резонаторов; вынужденные колебания в резонаторе.
3. Регулярные волноведущие системы: особенности волнового процесса в регулярных линиях; дисперсия волн в волноводе; свойства ортогональности собственных мод в волноводе; простейшие волноведущие структуры; типичные нерегулярности в волноведущих системах; волноводная дифракция; многомодовая матрица рассеяния; возбуждение волноводов.
4. Периодические нерегулярные волноводы (замедляющие системы): пространственные гармоники; дисперсия волн; сопротивление связи; методы расчета замедляющих систем.

Квантовая радиофизика

1. Квантование свободного электромагнитного поля.
2. Чистые и смешанные состояния. Матрица плотности в квантовой теории и ее свойства.
3. Оптические пучки в однородных и линзоподобных средах.
4. Оптический резонатор. Устойчивость мод в оптическом резонаторе.
5. Механизмы уширения спектральных линий. Спектральный контур линии.
6. Методы создания инверсной разности населенностей.
7. Внешние и внутренние параметры мазерных и лазерных систем.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

1. Основные виды детерминированных и случайных сигналов. Динамическое и спектральное представление сигналов. Методы модуляции сигналов. Узкополосные сигналы.
2. Линейные радиоэлектронные цепи и системы. Одноконтурные и многоконтурные системы. Четырехполюсники. Анализ цепей переменного тока во временной и частотной области. Частотные характеристики и системные функции цепей. Усиление электрических сигналов. Ламповые, транзисторные и операционные усилители. Обратная связь и ее влияние на параметры и характеристики устройств.
3. Нелинейные радиоэлектронные цепи и системы. Принципы действия основных типов активных элементов, их модели и способы количественного описания. Модуляция и детектирование сигналов. Преобразование и умножение частоты. Генерирование сигналов различной формы.

4. Принципы функционирования устройств, обеспечивающие аналоговую обработку сигналов. Сумматоры, дифференциаторы, интеграторы, логарифматоры, аналоговые перемножители, активные RCL - фильтры; преобразователи сопротивления; компараторы; дискретно-аналоговые преобразователи.
5. Логические элементы; триггеры, счетчики, регистры, преобразователи кодов, запоминающие устройства.

ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ

1. Динамические системы, виды движений и фазовые траектории, аттракторы. Грубые динамические системы. Нелинейность и ее фундаментальные проявления.
2. Состояния равновесия в системах второго и третьего порядка. Устойчивость состояний равновесия.
3. Отображения Пуанкаре. Неподвижные точки одномерных и двумерных точечных отображений.
4. Линейный и нелинейный осцилляторы. Фазовые портреты на плоскости. Осциллятор Дуффинга. Вынужденные колебания нелинейного осциллятора и нелинейный резонанс.
5. Параметрические колебания. Уравнение Матье и уравнение Хилла. Параметрический резонанс. Области параметрической неустойчивости на плоскости параметров. Влияние диссипации и нелинейности на параметрический резонанс.
6. Автоколебания. Мягкий и жесткий режим возбуждения автоколебаний. Уравнение Ван дер Поля. Предельный цикл. Уравнение генератора с жестким возбуждением. Суперкритическая и субкритическая бифуркации Андронова—Хопфа. Анализ стационарных колебаний методом медленно меняющихся амплитуд. Характерные фазовые портреты и бассейны притяжения.
7. Синхронизация автоколебаний. Вынужденная синхронизация квазигармонического автогенератора. Укороченные уравнения для амплитуды и фазы неавтономного генератора. Синхронизация захватыванием и гашением собственных колебаний. Область синхронизации.
8. Динамические системы с размерностью фазового пространства $N > 2$. Хаос в динамических системах. Странные аттракторы.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

1. Уравнения Максвелла, материальные уравнения, граничные условия для электрического и магнитного полей.
2. Электродинамические потенциалы. Волновое уравнение и его решения.
3. Уравнение непрерывности и закон сохранения электрического заряда.

4. Теорема Пойнтинга (закон баланса энергии), уравнение непрерывности (закон сохранения заряда), лемма Лоренца.
5. Электромагнитные волны в однородных изотропных средах. Однородные и неоднородные волны. Дисперсионное уравнение. Поляризация.
6. Постулаты Эйнштейна и преобразования Лоренца. Основы кинематики специальной теории относительности.
7. Тензор электромагнитного поля. Формулы преобразования полей. Инварианты поля.
8. Движение заряженных частиц в постоянных электрическом и магнитном полях.
9. Продольный и поперечный эффекты Доплера.

ФИЗИКА ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

1. Линейные волны (фазовая и групповая скорость, дисперсия). Типичные дисперсионные характеристики волновых процессов. Связь эволюционных и дисперсионных уравнений.
2. Волны с положительной и отрицательной энергией. Абсолютная, конвективная и глобальная неустойчивости.
3. Упругие волны в жидкостях и газах. Гравитационные и капиллярные волны на поверхности идеальной несжимаемой жидкости. Круговые волны на воде. Волны за движущимся источником.
4. Волны в плазме.
5. Электромагнитные волны. Волны в линиях передачи.
6. Волны в нелинейных средах. Эталонные уравнения теории нелинейных волн (уравнения простой волны, Бюргерса, Кортевега – де Вриза) и основные нелинейные волновые феномены.
7. Турбулентность.
8. Автоволновые процессы и системы. Самоорганизация.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВЧ ПОЛЯ И ВОЛНЫ

1. Формулировка внутренних и внешних краевых задач электродинамики СВЧ; точные и приближенные граничные условия.
2. Объемные резонаторы как колебательные системы СВЧ: классификация типов колебаний; колебания E- и H-типов; резонаторы прямоугольного и круглого сечений; элементы теории возмущения резонаторов; вынужденные колебания в резонаторе.
3. Регулярные волноведущие системы: особенности волнового процесса в регулярных линиях; дисперсия волн в волноводе; свойства ортогональности собственных мод в волноводе; простейшие волноведущие структуры; типичные нерегулярности в волноведущих системах; волноводная дифракция; многомодовая матрица рассеяния; возбуждение волноводов.
4. Периодические нерегулярные волноводы (замедляющие системы): пространственные гармоники; дисперсия волн; сопротивление связи; методы расчета замедляющих систем.

5. Электромагнитное поле диполя Герца. Ближняя и дальняя зоны. Сопротивление излучения. Диаграмма направленности

СТАТИСТИЧЕСКАЯ РАДИОФИЗИКА

1. Случайные процессы и их вероятностное описание. Многомерная плотность вероятности, функция распределения, характеристическая функция. Моментные и кумулянтные функции случайного процесса. Стационарные и эргодические случайные процессы. Нормальные (гауссовские) случайные процессы и их свойства.
2. Спектральное представление случайных процессов. Спектральная плотность мощности стационарного случайного процесса. Теорема Винера - Хинчина. Ширина энергетического спектра. Белый шум и узкополосный случайный процесс.
3. Нелинейные функциональные преобразования случайных процессов.
4. Преобразование случайных процессов линейными инерционными системами. Линейная фильтрация шума. Обнаружение регулярного сигнала на фоне шума. Согласованный фильтр. Выделение случайного сигнала из шума. Уравнение Винера - Хопфа. Идеальный винеровский фильтр.
5. Марковские процессы. Основные понятия теории марковских процессов. Уравнение Чепмена - Колмогорова. Марковские цепи и их свойства. Дискретные марковские процессы. Процессы рождения - гибели и случайные блуждания с непрерывным временем. Пуассоновский процесс.
6. Диффузионные марковские процессы. Уравнение Фоккера - Планка - Колмогорова и его стационарное решение. Винеровский процесс.
7. Стохастические дифференциальные уравнения. Стохастические интегралы Ито и Стратоновича. Обобщённый стохастический интеграл. Связь коэффициентов уравнения Фоккера - Планка с правыми частями уравнений.
8. Флуктуации в автогенераторе. Стохастические уравнения простейшего автогенератора. Стационарное распределение амплитуды колебаний. Распределение полной и приведённой фазы колебаний. Корреляционная функция и спектр автоколебаний в присутствии шума. Естественная ширина спектральной линии.
9. Источники шума в радиоприборах. Естественные и технические шумы. Тепловой шум активного сопротивления. Теорема Найквиста. Дробовой шум. Формула Шоттки. Влияние пространственного заряда на характеристики дробового шума.

КВАНТОВАЯ РАДИОФИЗИКА

1. Спектральная плотность энергии равновесного теплового излучения. Непрерывные значения энергии электромагнитного поля и формула Рэлея-Джинса. Квантование энергии свободного электромагнитного поля в зеркальном «ящике» и формула Планка.

2. Двухуровневая система. Гипотеза Эйнштейна о спонтанных и вынужденных переходах, коэффициенты Эйнштейна. Инверсия населенностей уровней энергии и эффект квантового усиления излучения веществом.
3. Ширина и форма линии излучения и поглощения. Однородное и неоднородное уширение линии. Естественная ширина линии излучения, уширение линии за счет столкновений, за счет конечности времени взаимодействия излучения с веществом, за счет эффекта Доплера.
4. Полуклассическая теория взаимодействия электромагнитного поля с веществом. Гамильтониан частицы в электромагнитном поле в электродипольном приближении. Взаимодействие двухуровневой среды с резонансным электромагнитным полем.
5. Методы создания инверсной разности населенностей уровней в двухуровневых системах пучковых генераторов, в трехуровневых и многоуровневых системах радиодиапазона, в газовых лазерах, в лазерах на твердом теле, в полупроводниковом лазере.
6. Требования к рабочему веществу лазеров. Лазер на рубине. Газовый лазер на смеси гелий-неон. Полупроводниковый лазер.
7. Примеры явлений нелинейной оптики. Параметры и уравнения для описаний явлений нелинейной оптики. Модель ангармонического осциллятора. Описание явления генерации второй гармоники (ГВГ). Использование явления двойного лучепреломления в методе согласования фаз в явлении ГВГ.

ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

1. Основы квантовой теории твердого тела. Постановка задачи. Адиабатическое приближение. Сведение задачи к одноэлектронной (метод Хартри-Фока). Волновая функция (функция Блоха) для электрона в кристалле. Решение задачи о спектре энергии электрона в кристалле. Уравнение Кронига–Пенни. Понятие о зонах Бриллюэна. Понятие эффективной массы носителей.
2. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Распределение Ферми. Уровни Ферми. Фазовый объем. Число состояний. Равновесная концентрация носителей в невырожденном полупроводнике. Уровень Ферми для невырожденного случая. Температурная зависимость положения уровня Ферми в собственном и примесных полупроводниках.
3. Гальваномагнитные и термомагнитные явления в полупроводниках. Эффект Холла. Температурная зависимость коэффициента Холла. Изменение сопротивления в магнитном поле.
4. Контактные явления в полупроводниках. Контакт полупроводника с металлом. Энергетическая диаграмма контакта. Условие образования запирающих и антизапирающих слоев на контактах. Р—п-переход в полупроводниках. Теория выпрямления.

5. Туннельный диод. Туннельный перенос носителей заряда в р–n-переходе на основе вырожденных полупроводников. Вольтамперная характеристика туннельного диода. Отрицательное дифференциальное сопротивление диода.
6. Диод Ганна. Модель междолинного переноса электронов – модель Ридли-Уоткинса-Хилсума. Эффект Ганна. Вольтамперная характеристика диода Ганна.
7. Биполярные транзисторы. Структура. Энергетическая схема. Физика работы биполярного транзистора. Статические характеристики БТ.
8. Полевые транзисторы с барьером Шоттки. Структура. Принцип действия. Вольтамперные характеристики. Полевые транзисторы на гетероструктурах – транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ).
9. Оптические свойства полупроводников и оптоэлектронные устройства. Собственное и примесное поглощение в полупроводниках. Фотодиоды: принцип действия, характеристики. Полупроводниковые лазеры.

ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

1. Основные виды эмиссии из твердого тела (термоэмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, автоэмиссия, взрывная эмиссия). Типы катодов, автокатоды, катод Спиндта.
2. Движение заряженных частиц в статических полях. Уравнение параксиальной траектории луча. Электронные линзы.
3. Электронно-лучевая трубка. Фокусирующая система, отклоняющая система.
4. Влияние объемного заряда на движение заряженных частиц, способы ограничения поперечных размеров пучка.
5. Электрический ток в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Плазма, ее общие свойства, применение.
6. Вакуумный диод и триод. Физическая картина управления анодным током. Закон степени $3/2$. Параметры и характеристики диода и триода.
7. Физические процессы в рn-переходе. ВАХ идеального и реального полупроводникового диода.

ЭЛЕКТРОНИКА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

1. Механизм группировки и индуцированное излучение. Линейная и квадратичная группировка. Фазовая фокусировка и излучение при линейной группировке.
2. Возбуждение резонаторов и волноведущих систем заданными токами.
3. Кинематическая теория группировки электронов в пролетном и отражательном клистронах. Волны пространственного заряда в электронных потоках.
4. Группировка электронов в скрещенных полях (взаимодействие М-типа). Многорезонаторный магнетрон.

5. Группировка электронов в поле бегущей волны. Условие синхронизма. Линейная и нелинейная теория лампы бегущей волны. Механизмы ограничения мощности в ЛБВ. ЛБВ с цепочкой связанных резонаторов.
6. Карсинотрон. Теория пускового режима ЛОВ в приближении заданного поля. Результаты нелинейной нестационарной теории.
7. Мазеры на циклотронном резонансе. Гиротроны. Взаимодействие винтовых электронных пучков с незамедленными электромагнитными волнами в волноводе (гирос-ЛВВ и гирос-ЛБВ).

Председатель предметной комиссии

С.Б. Вениг