

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор ФГБОУ ВО «НИУ
«МЭИ» по научной работе
Драгунов В.К.

подпись

«__» _____ 2018 г.

**ПРОГРАММЫ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ В
АСПИРАНТУРУ**

Направление – **11.06.01, Электроника, радиотехника и системы
связи**

код, название

Москва, 2018

1. СТАТИСТИЧЕСКАЯ РАДИОТЕХНИКА

1.1. Математическое описание и методы анализа сигналов и помех

Пространство сигналов. Метрические и линейные пространства сигналов.

Гармонический анализ сигналов. Спектры периодических и непериодических сигналов. Теорема отсчетов Котельникова во временной и частотной области.

Дискретные сигналы и их анализ. Дискретное преобразование Фурье. Z-преобразование.

Сообщения, сигналы и помехи. Передача и извлечение информации. Радиосигналы. Радиосигналы с амплитудной и угловой (частотной и фазовой) модуляцией и их спектры. Огибающая, фаза и частота узкополосного сигнала. Аналитические сигналы.

Шумы и помехи как случайные процессы. Плотности распределения вероятностей, характеристические функции и функции распределения случайных процессов. Энергетические характеристики случайных процессов. Моментные и корреляционные функции. Спектральная плотность мощности. Свойства корреляционных функций. Автокорреляционные и взаимные корреляционные функции. Гауссовский случайный процесс и его характеристики. Узкополосные случайные процессы. Статистические характеристики огибающей, фазы и частоты для суммы сигнала и узкополосного шума.

1.2. Модели радиотехнических цепей и устройств

Линейные и нелинейные цепи и устройства. Методы анализа стационарных и переходных режимов в радиотехнических цепях, устройствах и динамических системах. Частотные и временные характеристики линейных систем.

Частотные и временные характеристики усилителей, пассивных и активных фильтров. Устойчивость линейных устройств. Воздействие случайных процессов на линейные устройства.

Нелинейные цепи и устройства. Методы анализа нелинейных цепей. Умножители частоты. Амплитудные ограничители. Детекторы.

Преобразователи частоты колебаний. Генераторы колебаний. Автоколебательные системы. Модуляторы колебаний.

Воздействие случайных процессов на нелинейные устройства. Статистические характеристики процессов на выходе нелинейных устройств и методы их нахождения.

Дискретные линейные системы. Методы анализа и синтеза дискретных радиотехнических устройств. Цифровые фильтры. Рекурсивные и нерекурсивные цифровые фильтры. Устойчивость цифровых фильтров. Импульсные характеристики цифровых фильтров. Спектральный анализ с помощью дискретного преобразования Фурье. Быстрое преобразование Фурье.

Следящие радиотехнические системы. Статистическая динамика радиотехнических следящих систем. Структурные схемы следящих систем: автоматической регулировки (усиления, автоматической подстройки частоты, фазовой автоподстройки и др.). Статистические характеристики дискриминаторов.

2. СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

2.1. Радиосистемы и устройства передачи информации

Области применения и задачи передачи информации. Канал связи и его характеристики. Пропускная способность канала связи. Формула Шеннона. Основная теорема кодирования. Понятие о кодировании информации: код, алфавит, основание и значность кода. Принципы построения кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки. Теория потенциальной помехоустойчивости В.А. Котельникова. Критерии помехоустойчивости приема непрерывных сообщений.

Виды цифровой модуляции при передаче дискретных сообщений. Сравнение М-ЧМ, М-ФМ и М-КАМ сигналов по энергетической и спектральной эффективности. Особенности построения оптимальных демодуляторов этих сигналов.

Эффективность использования кодирования в радиосистемах передачи данных.

Частотное, временное и фазовое разделение сигналов. Разделение сигналов по форме. Применение шумоподобных сигналов в РСПИ.

Радиолинии. Диапазоны радиоволн в системах передачи информации.

Виды радиосистем передачи информации (РСПИ): связные, телевизионные, телеметрические и командные. Особенности спутниковых систем связи. Энергетические и частотные соотношения в

многостанционной линии связи с общим ретранслятором. Основные уравнения, описывающие затухание сигнала в линии связи. Влияние нелинейности ретранслятора на пропускную способность канала связи. Оптимизация полосы частот при ретрансляции. Модели замираний в узкополосных и широкополосных каналах. Методы, используемые для ослабления замираний. Модуляция на нескольких несущих.

Синхронизация в РСПИ: фазовая, тактовая, цикловая, кадровая.

2.2. Радиотелевизионные системы

Физические принципы, используемые для формирования, передачи, приема и хранения изображений. Диапазон радиоволн, используемый в телевидении. Методы разложения изображений на элементы. Принцип последовательной передачи элементов изображения. Кадр, строки и элементы изображения. Слитность изображения. Синхронизация смены кадров и начала развертки строк. Формат телевизионного сигнала. Стандарты телевизионных сигналов.

Особенности построения телевизионных передатчиков. Передача радиосигнала изображения. Передача звукового сопровождения. Формирование и передача сигналов синхронизации и кода цветности сигнала.

Особенности телевизионных приемников.

Цифровое телевидение. Эволюция цифровых телевизионных систем. Цифровое представление изображений. Видеокомпрессия. Цифровые телевизионные системы. Методы запоминания, сжатия и хранения изображений. Спутниковые телевизионные системы.

2.3. Системы и устройства радиоуправления

Области применения и задачи управления объектами.

Элементы теории автоматического управления. Объекты управления. Контур следящего управления и его основные звенья.

Командное следящее радиоуправление, автономное радиоуправление, радиоуправление при наведении по лучу, управление космическими аппаратами. Особенности радиолиний управления объектами. Командно-измерительные комплексы. Радиоуправление приборами и агрегатами. Синтез и анализ систем радиоуправления.

2.4. Методы проектирования и конструирования радиоэлектронных средств

Общая характеристика процедур выбора и принятия решений при проектировании РЭС. Задачи выбора комплектующих компонентов из электронных справочников и задачи выбора из вновь сгенерированных проектных вариантов. Метрические и неметрические критерии сравнения вариантов. Безусловные критерии Парето и Слейтера. Условные критерии предпочтения. L и Δ - критерии.

Автоматизация выбора вариантов в ассоциативных моделях данных (АМД). Алгоритмы выбора допустимых, π , L - оптимальных вариантов в АМД, примеры выбора компонентов конструкций РЭС.

Зависимость технических требований к РЭС от их назначения и условий эксплуатации. Технологичность конструкции. Методы стандартизации в конструировании. Компоновка и комплексная микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Интегральная микросхемотехника, большие (БИС) и сверхбольшие (СБИС) интегральные схемы.

Печатный монтаж. Ремонтопригодность РЭА. Способы защиты РЭА от воздействия окружающей среды, динамических перегрузок и электромагнитного излучения. Тепловой режим РЭА. Надежность РЭА.

3. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

3.1. Антенны: излучение и прием радиоволн, распространение электромагнитных волн

Уравнения Максвелла. Граничные условия. Энергия электромагнитного поля.

Электромагнитные волны и решение однородных уравнений электродинамики. Плоские волны на границе раздела однородных сред. Рефракция радиоволн в неоднородных средах. Распространение радиоволн в природных условиях. Явления дифракции и интерференции.

Распространение оптического излучения в изотропных средах. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Геометрическая оптика. Математические модели неоднородных сред в оптических системах обработки и передачи информации.

Канализация радиоволн. Волноводы и фидеры. Теория цепей СВЧ. Электромагнитные резонаторы. Взаимные и невзаимные устройства СВЧ.

Элементы теории антенн. Типы направляющих систем. Элементарные излучатели. Ближняя и дальняя зоны. Приемная и передающая антенны, их параметры и характеристики. Влияние вида распределения электромагнитного поля в раскрыве антенны на основные параметры антенн. Техническая реализация антенн различных диапазонов радиоволн для целей радиосвязи и телевидения.

3.2. Устройства генерирования и формирования сигналов

Структурные схемы передатчиков различного назначения. Основные параметры и требования к ним. Классификация передатчиков.

Генераторы с внешним возбуждением (ГВВ) ВЧ диапазона. Электрические схемы. Усилители мощности и умножители частоты. Рабочие и нагрузочные характеристики. Энергетические характеристики. Спектральные характеристики выходных колебаний и требования к ним. Расчёт режимов и параметров схем.

Автогенераторы (АГ). Основные виды электрических схем одноконтурных АГ. Условия самовозбуждения. Расчёт стационарных режимов и методы обеспечения их устойчивости. Регулировочные характеристики АГ. Оптимизация режима АГ по энергетическим характеристикам. Методы электрической перестройки частоты автоколебаний.

Проектирование источников колебаний с повышенными требованиями к стабильности частоты. Кварцевые АГ. Основные виды электрических схем таких АГ. Квантовые генераторы. Синтезаторы стабильных частот. Примеры структурных схем синтезаторов.

Управление колебаниями (модуляция). Основы теории формирования сигналов с амплитудной, фазовой и частотной модуляцией (манипуляцией). Примеры схем формирования таких сигналов.

Генерирование и усиление СВЧ колебаний. Основные типы генераторов и усилителей СВЧ. Виды СВЧ сигналов, используемых в радиотехнических системах, и устройств их формирования. Примеры структурных схем устройств формирования СВЧ сигналов.

3.3. Устройства приема и преобразования сигналов

Типы радиоприемных устройств. Основные параметры радиоприемных устройств. Узлы радиоприемников, их схемные решения и расчет. Преобразователи частоты сигналов, смесители и гетеродины. Детекторы сигналов: амплитудные, частотные и фазовые. Усилители различных частотных диапазонов. Автоматические регулировки в радиоприемниках. Особенности телевизионных и связных радиоприемников. Элементная база радиоприемных устройств. Методы проектирования радиоприемников.

Основная литература

1. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн. – М, URSS, 2012

2. Штыков В.В. Квантовая радиофизика. – М, Изд. Цент Академия, 2009.
3. Оптические устройства в радиотехнике: Учебн. пособие для вузов/ Под ред. В.Н.Ушакова. – М.: Радиотехника. 2009.
4. Киселев Г.Л. Квантовая и оптическая электроника: учеб. пособ. – С-Пб, Из-во: «Лань», 2012.
5. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов: учеб. пособие / В. Н. Кулешов, Н. Н. Удалов, В. М. Богачев и др.; под ред. В. Н. Кулешова и Н. Н. Удалова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
6. Электронные устройства СВЧ. Книги 1, 2. Под ред. И.В.Лебедева. М.: Радиотехника, 2008.
7. Мамаев Н.С. Мамаев Ю.Н. Системы цифрового телевидения и радиовещания. / М.: Горячая линия, 2007.
8. Быков Р.Е. Основы телевидения и видеотехники. Уч. пособ. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008.
9. Кандырин Ю.В. Методы и модели многокритериального выбора в САПР. Учебное пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ. 2004.
10. Гребенко Ю.А. Методы цифровой обработки сигналов в радиоприемных устройствах. Учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006.
11. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие.– М.: Горячая линия – Телеком, 2011.
12. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. – М.: Радиотехника, 2003.
13. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2000.
14. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для вузов / Под ред. Д.И. Воскресенского. – М: Изд-во МАИ, 1999.
15. Неганов В.А., Клюев Д.С., Табаков Д.П. Устройства СВЧ и антенны. Ч. 1, Проектирование, конструктивная реализация, примеры применения устройств СВЧ. – М.: Либроком, 2013.
16. Белов Л.А. Устройства формирования СВЧ-сигналов и их компоненты. – М., ИД ”МЭИ”, 2010.
17. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб, Питер, 2011.
18. Белов Л.А. Формирование стабильных частот и сигналов. – М.: ИД “Академия”, 2005.

Дополнительная литература

1. Ипатов В.В. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. – М.: Техносфера, 2007.
2. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации. Пер. с англ. – М.: ЗАО "РИЦ "Техносфера", 2011.
3. Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1994.

РАЗДЕЛ 1 «ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН»

1.1. Уравнения Максвелла

Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме. Граничные условия. Уравнения Максвелла в комплексной форме. Электродинамические потенциалы. Волновые уравнения и уравнения Гельмгольца.

Геометрическая оптика. Уравнение эйконала. Уравнения лучей. Принцип Ферма.

1.2. Основные принципы теории электромагнитного поля

Теорема Пойнтинга. Условия излучения на бесконечности. Единственность решений граничных задач для уравнений Максвелла. Лемма Лоренца. Принцип эквивалентности. Теорема взаимности. Принцип двойственности.

1.3. Направляемые волны

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.

1.4. Элементарные источники

Поле элементарных источников (электрических и магнитных вибраторов, рамок) в свободном пространстве. Сопротивление и проводимость излучения элементарных излучателей. Щели в экране как магнитные излучатели. Проводимость излучения односторонней и двусторонней щелей в экране. Элемент Гюйгенса. Вращающееся поле и простейший способ его создания. Коэффициент поляризации.

1.5. Распространение, отражение и преломление радиоволн

Распространение радиоволн (РРВ) в однородных поглощающих средах. Отражение и преломление плоской волны при падении на плоскую границу раздела двух сред. Скин-эффект. Полное внутреннее отражение. Влияние параметров сред на коэффициент отражения.

1.6. РРВ около земной поверхности и в тропосфере

Излучение элементарного вибратора над плоской поверхностью. Интерференционная формула. Расстояние прямой видимости. Влияние свойств и кривизны земли на РРВ. Рефракция радиоволн в тропосфере. РРВ в атмосферном волноводе.

1.7. Влияние ионосферы на РРВ

Причины ионизации верхних слоев атмосферы. Диэлектрическая проницаемость плазмы. Особенности РРВ в плазме, фазовая и групповая скорости РРВ. Поглощение, преломление и отражение радиоволн, влияние магнитного поля на РРВ в ионосфере.

РАЗДЕЛ 2 «УСТРОЙСТВА СВЧ»

2.1. Линии передачи и методы их согласования с нагрузкой на СВЧ

Нормированное описание режима в линиях СВЧ. Режимы работы длинной линии. Круговая диаграмма нормированных сопротивлений и проводимостей. Узкополосное и широкополосное согласование линии передачи с нагрузкой.

2.2. Элементы и узлы фидерного тракта

Классификация линий передачи по диапазонам частот и типам колебаний. Волноводы, коаксиальные линии, микрополосковые линии, диэлектрические и квазиоптические линии передачи. Элементы линий передачи: разъемы, вращающиеся сочленения, возбудители и пр.

2.3. Матричная теория цепей СВЧ

Описание свойств линейных четырехполюсников с помощью нормированных классических матриц передачи и матриц рассеяния. Матрицы простейших четырехполюсников. Способы декомпозиции сложных устройств СВЧ. Описание многополюсников СВЧ с помощью нормированных матриц рассеяния, сопротивлений и проводимостей. Свойства матриц многополюсников при подключении нагрузок и объединении нескольких узлов в общую схему.

2.4. Делители мощности, балансные коммутирующие и фазирующие устройства СВЧ

Тройники и их матрицы рассеяния, делители мощности. Балансные восьмиполюсные устройства СВЧ, их свойства, особенности расчета и применения. Коммутаторы СВЧ, фазовращатели. Полупроводниковые PIN-диоды и их применение.

Свойства подмагниченных ферритов на СВЧ: феррорезонанс, эффект Фарадея, эффект смещения поля и другие эффекты. Ферритовые вентили, фазовращатели, циркуляторы и переключатели на линиях передачи различных типов.

РАЗДЕЛ 3 «АНТЕННЫ»

3.1. Параметры передающих и приемных антенн

Амплитудная, фазовая и поляризационная характеристики антенн. Коэффициент направленного действия (КНД). КПД. Коэффициент усиления. Рабочая полоса частот и предельная мощность. Применение теоремы взаимности к анализу свойств антенны в приемном режиме. Мощность в нагрузке приемной антенны. Эффективная поверхность и шумовая температура приемной антенны.

3.2. Вибраторные и щелевые антенны

Симметричный вибратор в свободном пространстве. Распространение тока и заряда вдоль вибратора. Диаграмма направленности, сопротивление излучения, входное сопротивление вибратора. Разновидности вибраторных антенн. Щелевые антенны.

3.3. Линейные излучающие системы

Диаграмма направленности системы идентичных и одинаково ориентированных в пространстве излучателей. Поле линейной равномерной эквидистантной решетки излучателей. Анализ множителя направленности. Режимы излучения. Зоны видимости, ширина луча, уровень боковых лепестков. Побочные главные максимумы и способы их подавления. Линейные непрерывные излучающие антенны. Зависимость КПД, ширины главного лепестка и уровня боковых лепестков от величины коэффициента замедления. Оптимальное замедление и оптимальная длина антенны в режиме осевого излучения. Влияние амплитудного и фазового распределения на параметры линейной антенны.

3.4. Апертурные антенны

Теория апертурных антенн. Применение принципа эквивалентных поверхностных токов к расчету характеристик излучения антенн. Характеристика направленности плоского раскрыва. КНД плоского раскрыва. Коэффициент использования поверхности (КИП). Примеры апертурных антенн: рупорные и линзовые антенны. Зеркальные антенны. Параболические антенны. Влияние различных факторов на величину КИП.

Типы и конструкции облучателей зеркальных антенн. Двухзеркальные и другие разновидности зеркальных антенн.

3.5. Фазированные антенные решетки

Плоские фазированные антенные решетки (ФАР). Различные законы размещения элементов. Условия отсутствия побочных главных максимумов. Ограничения на величину сектора сканирования. Разновидности схемы питания элементов ФАР.

Литература

1. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн. – М. Высшая школа. 1992.
2. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Радио и связь, 2000.
3. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика. Под ред. Пименова Ю.В. – М.: Радио и связь, 2000.
4. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высшая школа. 1988.
5. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для вузов. Под ред. Воскресенского Д.И. – М: МАИ, 1999.
6. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решёток. Под ред. Воскресенского Д.И. – М.: Радиотехника, 2012

1. Энергетические соотношения и зондирующие радиолокационные сигналы

Энергетические соотношения в активной РЛС обнаружения. Влияние параметров передатчика, приемника, антенны на дальность действия РЛС. Расчет пороговой энергии в РЛС обнаружения. Основное уравнение радиолокации. ЭПР различных целей.

Тактико-технические характеристики РЛС. Их взаимосвязь и взаимная обусловленность. Выбор типа модуляции сигнала, периода повторения и т.д.

Нормированная двумерная автокорреляционная функция сигнала (НДАФ). Влияние НДАФ на тактические характеристики РЛС. Экспериментальное исследование НДАФ. Выбор зондирующего сигнала в многоканальной (с разрешением по дальности и скорости) РЛС обнаружения. НДАФ одиночного простого импульса, пачки когерентных и некогерентных импульсных сигналов с ЛЧМ, потенциальные свойства этих сигналов.

Сигналы с ЛЧМ, их НДАФ. Методы активного и пассивного формирования импульсных сигналов с ЛЧМ. Особенности обработки сигналов с ЛЧМ. Виды искажений, возникающих при обработке сигналов с ЛЧМ.

Сигналы с ЛЧМ, потенциальные свойства этих сигналов. Способы коррекции боковых лепестков НДАФ. Оптимизация параметров корректирующих цепей.

Сигналы с ФМн, их НДАФ. Формирование сигналов с ФМн, структурные схемы генераторов кода. Выбор параметров кода. Искажения, возникающие при обработке сигналов с ФМн за счет Фд. Необходимость двумерной обработки.

Сравнительная характеристика РЛС, работающих с ЛЧМ и ФМн импульсными сигналами: разрешающая способность по R и V , техническая реализация устройств формирования и обработки.

Согласованные фильтры для ЧМ и ФМн импульсных сигналов. Реализация согласованных фильтров. Выигрыш в отношении сигнал/шум.

Сравнение корреляционных, фильтровых и корреляционно-фильтровых методов обработки сигналов сложной формы.

2. Статистическая теория обнаружения радиолокационных сигналов

Постановка задачи обнаружения сигналов на фоне шумов приемника РЛС. Модели сигналов. Синтез устройств оптимального обнаружения, отношение правдоподобия. Характеристики обнаружения.

Отношение правдоподобия, структурные схемы оптимальных обнаружителей и характеристики обнаружения для различных моделей одиночных сигналов.

Обнаружитель отраженных радиолокационных сигналов при неизвестных дальности и скорости целей. Примеры реализации схемы для простых импульсных сигналов и сигналов сложной формы.

Оптимальные обнаружители когерентных пачечных импульсных сигналов. Структурные схемы обнаружителей. Характеристики обнаружения. Оптимальные обнаружители некогерентных пачек импульсных сигналов. Структурные схемы обнаружителей. Характеристики обнаружения.

Потери на некогерентность.

Корреляционно-фильтровая обработка ЛЧМ сигналов. Выбор параметров схемы, расчет отношения сигнал/шум и вероятности правильного обнаружения D при заданной вероятности ложной тревоги F .

Реализация квазиоптимальных цифровых обнаружителей. Выбор порогов. Расчет потерь в отношении сигнал/шум. Многоканальные цифровые обнаружители.

Упрощенные цифровые обнаружители – цифровые автоматы. Расчет потерь в отношении сигнал/шум. Сравнительная характеристика пороговой энергии обнаружителей пачечных сигналов:

- с оптимальным когерентным накоплением;
- с некогерентным накоплением;
- с квазиоптимальным цифровым накопителем;
- с цифровым автоматом.

Непараметрические обнаружители. Особенности реализации, достоинства и недостатки.

3. Обнаружение радиолокационных сигналов на фоне коррелированных помех

Основные характеристики пассивных помех. Расчет интенсивности мешающих отражений.

Маскирующие пассивные помехи. Расчет ЭПР облака диполей. Методы борьбы с пассивными помехами.

Реализация согласованного фильтра в случае помехи с неравномерным

спектром. Схемы построения оптимальной фильтрации сигнала на фоне пассивных помех.

Принципы построения когерентно-импульсных РЛС с селекцией движущихся целей (СДЦ) на фоне пассивных помех (системы с истинной когерентностью, псевдокогерентные и с внешней когерентностью).

Назначение блока череспериодной компенсации (ЧПК). Частотные и скоростные характеристики одно-двукратной системы ЧПК. Борьба со "слепыми" скоростями.

Расчет выигрыша M в отношении сигнал/помеха системы СДЦ с одно и двукратной системой ЧПК. Рекурсивные системы ЧПК. Особенности реализации цифровых систем СДЦ.

Влияние нестабильности частоты передатчика, местного и когерентного гетеродинов в системе СДЦ с внутренней когерентностью на коэффициент подавления сигналов от пассивных помех. Каковы допустимые величины этих нестабильностей?

Как изменится вероятность правильного обнаружения цели D при вариации скорости от оптимальной до "слепой"? Методы борьбы со "слепыми" скоростями. Изобразить схему псевдокогерентной РЛС с внутренней и внешней когерентностью.

Ограничения в подавлении помехи в системах СДЦ. Как ширина спектра и интервал корреляции сигнала помехи влияют на коэффициент подавления помехи в системе ЧПК? Изобразить схему когерентно-импульсной РЛС с истинной внутренней когерентностью.

4. Статистическая теория измерения параметров радиолокационных сигналов.

Синтез оптимального алгоритма измерения параметров радиолокационных сигналов. Понятие и расчет потенциальной точности измерения.

Потенциальная точность измерения дальности. Выбор оптимальной формы зондирующих сигналов. Построение оптимального измерителя дальности.

Потенциальная точность измерения радиальной скорости. Выбор оптимальной формы зондирующего сигнала. Построение оптимального измерителя скорости.

Синтез структуры оптимального дискриминатора. Модифицированный и квазиоптимальный дискриминаторы.

Реализация оптимального следящего измерителя переменного параметра. Требования к экстраполятору, астатизм следящей системы.

Оценка динамических и флуктуационных погрешностей следящего измерителя.

5. Радиолокационные системы измерения дальности до целей, радиовысотомеры

Дальномерные устройства с ЧМ. Погрешности измерения дальности. Выбор параметров анализатора спектра параллельного и последовательного типов. Погрешности измерения дальности.

Импульсные дальномеры. Реализация многоканального цифрового измерителя дальности. Погрешности измерения.

Автосопровождение по дальности. Структурные схемы, назначение входящих в нее элементов и их возможная реализация. Погрешности определения дальности.

Какие параметры системы АСД влияют на величину скоростной и шумовой ошибки? Как изменится величина этих ошибок, если изменить период повторения РЛС, коэффициент передачи разомкнутой системы?

Автодальномер, работающий с непрерывным ФМ сигналом. Реализация корреляционно-временного дискриминатора. Динамические и флуктуационные погрешности.

Особенности отражения от гладкой и шероховатой поверхностей в радиовысотомерном режиме и методы расчета отраженной мощности.

Радиовысотомер (РВ) малых высот с непрерывным ЛЧМ сигналом. Основные отличия РВ от дальномера, особенности реализации, погрешности измерения.

Многофункциональный прецизионный радиовысотомер (ПРВ) космического базирования.

Назначение и решаемые задачи. Анализ статистических характеристик отраженных сигналов.

Выбор основных параметров ПРВ. Синтез оптимального измерителя высоты.

Интегральные и локальные способы реализации квазиоптимальных измерителей ПРВ. Оценка точностных характеристик ПРВ в зависимости от режима облучения и характеристик поверхности.

6. Радиолокационные системы измерения скорости движения целей

Сравнение непрерывных и когерентно-импульсных систем измерения скорости целей.

Беззапросная доплеровская РЛС измерения скорости летательных и космических аппаратов. Требования к стабильности генераторов. Точность измерения скорости.

Запросная доплеровская РЛС измерения скорости летательных и космических аппаратов. Требования к стабильности генераторов. Точность измерения скорости.

Принципы построения цифровых измерителей частоты Доплера. Динамические и флуктуационные погрешности цифровых измерителей.

Радиолокационная система измерения скорости, работающая по отраженному сигналу. Погрешности измерения скорости.

Применение следящих фильтров в системах автосопровождения цели по скорости. Сравнение систем с ЧАП и с ФАПЧ.

Доплеровские измерители скорости и угла сноса летательных аппаратов. Сравнение однолучевых и многолучевых измерителей. Погрешности измерения скорости и угла сноса.

7. Радиолокационные системы обзора пространства и измерения угловых координат

Основные характеристики обзорных систем. Принципы построения систем с пеленгацией по центру пачки. Выбор весовых коэффициентов в случае флуктуирующей и нефлуктуирующей пачки. Потенциальная и реальная точность определения центра пачки.

Квазиоптимальные методы определения углового направления по центру пачки. Выбор частоты сканирования.

Принципы построения следящего пеленгатора с пеленгацией по центру пачки. Его достоинства и недостатки. Результирующая точность пеленгования.

Системы пеленгования, работающие по методу сравнения. Пеленгационная характеристика. Требования к моноимпульсным системам пеленгования. Мультипликативные и аддитивные моноимпульсные системы пеленгования.

Мультипликативные амплитудная и фазовая моноимпульсные системы пеленгования. Требования к идентичности каналов.

Аддитивные моноимпульсные суммарно-разностные системы пеленгования. Амплитудная суммарно-разностная моноимпульсная система с одновременным пеленгованием цели по азимуту и углу места. Точностные характеристики моноимпульсных систем определения угловых координат.

Фазовая суммарно-разностная моноимпульсная система пеленгования. Точностные характеристики моноимпульсных систем определения угловых координат.

РЛС картографирования поверхности Земли. Реализация синтезированной апертуры антенны. Алгоритм обработки отраженных сигналов. Выбор параметров РСА.

РСА – фокусированный и нефокусированный режимы, оценка разрешающей способности в каждом случае. Выбор основных параметров РСА.

Методы борьбы с когерентным шумом. Блок-схема РСА. Принципы цифровой обработки сигналов в РСА.

Корреляционно-экстремальные системы навигации летательных аппаратов на базе РСА.

8. Теоретические основы радионавигации

Принципы радионавигации. Методы определения местоположения – дальномерный, разностно-дальномерный, пеленгационный, дальномерно-пеленгационный.

Линии и поверхности положения, ошибки определения местоположения на плоскости и в пространстве, эллипс и эллипсоид ошибок определения местоположения.

Спутниковые радионавигационные системы – принципы построения и функционирования.

Сигналы спутниковых радионавигационных систем и их характеристики.

Аппаратура потребителей спутниковых радионавигационных систем – принципы построения и функционирования.

Литература

1. А.И. Баскаков, Т.С. Жутяева, Ю.И. Лукашенко. Локационные методы исследования объектов и сред. Учебник для вузов. – М. Академия, 2011.
2. Перов А.И. Методы и алгоритмы оптимального приема сигналов в аппаратуре потребителей СРНС. – М.: Радиотехника, 2012.
3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования/ Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. – М.: Радиотехника, 2010.
4. Перов А.И. Основы построения спутниковых радионавигационных систем. – М.: Радиотехника, 2012.
5. А.И. Баскаков, Т.С. Жутяева. Измерение угловых координат в обзорной РЛС. Уч. пособие МЭИ, 2004.
6. П.А. Бакулев. Радиолокационные системы. – М.: Радиотехника, 2007.

Дополнительная литература

1. А.И. Баскаков, Т.С. Жутяева, В.А. Терехов. Исследование основных энергетических соотношений в радиолокации. Лабораторная работа №1. Методическое пособие. МЭИ (ТУ), М. 2001.

2. А.И. Баскаков, Т.С. Жутяева, Ю.И. Лукашенко. Исследование характеристик, методов формирования и обработки зондирующих радиолокационных сигналов сложной формы. Цикл лабораторных работ. Методическое пособие. МЭИ (ТУ), М. 2003.

3. Радиолокационные и радионавигационные измерительные системы. Сборник лабораторных работ: методическое пособие / А.И. Баскаков, Т.С. Жутяева, Ю.И. Лукашенко, В.А. Терехов; под ред. О.А. Алексева. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

4. А.И. Баскаков, Т.С. Жутяева. Системы защиты от пассивных помех. Сборник лабораторных работ: методическое пособие / Под ред. О.А. Алексева. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

4. Направленность –	05.27.01,	Твердотельная	электроника,
		радиоэлектронные	компоненты, микро- и
		наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах	
		шифр, название	

1. Физика полупроводников и полупроводниковых приборов

Общие свойства полупроводников. Природа химической связи. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др. Поликристаллические и аморфные полупроводники.

Понятие о некристаллических твердых телах. Атомная структура. Средний порядок расположения атомов. Дефекты в некристаллических полупроводниках. Классификация некристаллических систем. Структурная модификация свойств некристаллических полупроводников. Стеклообразование и стеклообразные материалы. Количественные характеристики систем стеклообразования. Электрофизические свойства некристаллических полупроводников. Эффект переключения в халькогенидных стеклообразных полупроводниках.

Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона проводимости и валентная зона. Электроны и дырки. Эффективная масса электрона. Экситоны. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси.

Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости. Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация «зона-зона» и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация.

Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие

электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна.

Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.

Электронно-дырочный ($p-n$) переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика $p-n$ перехода. Токи носителей заряда в $p-n$ переходе, квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация носителей в $p-n$ переходе. Барьерная и диффузионная емкость. Частотные и импульсные свойства. Пробой $p-n$ перехода: тепловой, лавинный, туннельный.

Транзисторный эффект. Зонная диаграмма полупроводниковой структуры с двумя близко расположенными $p-n$ переходами. Коэффициент инжекции. Коэффициент переноса носителей через базу. Коэффициент усиления транзистора.

Контакт металл-полупроводник. Теория Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Омический контакт. Сопоставление с $p-n$ переходом.

Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Зонная диаграмма и ее изменение при приложении напряжения. Роль поверхностных состояний, подвижных и неподвижных зарядов в диэлектрике.

Гетероструктуры. Зонная диаграмма гетеро- $p-n$ перехода. Коэффициент инжекции. Суперинжекция. Одинарные и двойные гетероструктуры. Варизонные структуры.

Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение излучения: собственное и примесное, экситонное и на свободных носителях. Закон Бугера. Красная граница поглощения. Фотопроводимость. Спектральная характеристика. Фотовольтаический эффект в $p-n$ переходе.

Излучение полупроводников. Прямые и непрямые переходы носителей заряда. Виды люминесценции: инжекционная, катодо-, фотолюминесценция. Спектры излучения. Правило Стокса, антистоксова люминесценция. Квантовый выход. Вывод излучения из полупроводников.

Лазерный эффект в полупроводниках. Индуцированное (стимулированное) излучение. Оптический резонатор, усиление и генерация света. Пороговый ток.

Термоэлектрические явления. Термо- и гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла. Электро-, магнито-, акустооптические эффекты. Поверхностные акустические волны. Акустоэлектронные волны.

2. Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники

Полупроводниковые диоды. Устройство и основные параметры. Выпрямительные и импульсные диоды. Варикапы. Стабилитроны и защитные диоды. Туннельные диоды. Диоды СВЧ: детекторные и смесительные, диоды Шоттки, pin – диоды, лавинно-пролетные, диоды Ганна.

Полупроводниковые транзисторы. Биполярные транзисторы. Принцип действия, основные параметры, их зависимость от температуры. Частотные и импульсные характеристики. Диффузионно-дрейфовые транзисторы. Мощные транзисторы, в том числе СВЧ. Транзисторы с изолированным затвором (IGBT).

Тиристоры и их разновидности. Основные параметры.

Полевые транзисторы, принцип действия, основные параметры. Полевые транзисторы с p - n переходом, с барьером Шоттки. МДП-транзисторы с индуцированным и встроенным каналами p - и n - типов.

Полупроводниковые интегральные схемы. Транзисторы, диоды и другие элементы в интегральном исполнении. Межэлементная изоляция. ИС, БИС, СБИС. Классификация микросхем по конструктивно-технологическому принципу: МОП- и КМОП-ИС, биполярные (ТТЛ-, ЭСЛ-, И²Л-ИС); Би-КМОП; «кремний-на-изоляторе» («кремний-на-сапфире»)-ИС; GaAs-ИС на полевых транзисторах с барьером Шоттки (ПТШ)

Микросхемотехника. Цифровые и аналоговые ИС. Базовые логические элементы: ТТЛ, ЭСЛ, МОП, КМОП, ПТШ. Микропроцессоры. Полупроводниковые ЗУ. Программируемые логические матрицы. Базовые матричные кристаллы. ЦАП – АЦП. Сигнальные микропроцессоры. ВИП и стабилизаторы напряжения. Операционные усилители. Специфика интегральных СВЧ-устройств.

Фотоприемники: фото- резисторы, -диоды, -транзисторы, -матрицы. Основные параметры и характеристики. Фотоприемники ИК-диапазона. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. Солнечные батареи: на монокристаллическом и аморфном кремнии, на поликристаллических пленках, с гетероструктурами.

Полупроводниковые лазеры (общее представление).

Светодиоды, параметры и характеристики. Суперяркие светодиоды. ИК-излучатели. Полимерные светодиоды (общее представление).

3. Технология микроэлектроники и твердотельных приборов

Планарная технология – общая схема техпроцесса. Минимальный топологический размер (МТР) – основной показатель уровня технологии. Степень интеграции ИС. Динамика МТР и степени интеграции, закон Мура.

Перспективы развития планарной технологии. Гибридная технология. Микросборки и БИС на подложках.

Изготовление полупроводниковых пластин. Определение кристаллографической ориентации монокристаллов полупроводников. Ориентированная резка, шлифовка, полировка пластин.

Эпитаксия. Методы эпитаксиального выращивания кремния. Методы контроля качества эпитаксиальных слоев. Распределение примесей в эпитаксиальных слоях. Дефекты эпитаксиальных пленок. Получение эпитаксиальных гетеропереходов. Выращивание эпитаксиальных пленок A^3B^5 . Оборудование для эпитаксиального выращивания пленок. Сравнение газотранспортной, жидкофазной, МОС-гидридной и молекулярной эпитаксии.

Создание диэлектрических покрытий на кремнии. Термодинамика процесса окисления кремния. Физическая модель процесса окисления кремния. Кинетика активного и пассивного окисления полупроводников. Структура окисла на кремнии. Перераспределение примеси при термическом окислении кремния. Формирование диэлектрических пленок методами осаждения из металлоорганических соединений.

Зарядовое состояние системы полупроводник–диэлектрик; факторы, влияющие на величину и знак заряда в системе. Связь параметров полупроводниковых приборов и ИС с зарядовым состоянием системы кремний–окисел.

Диффузия в полупроводниках. Физические основы процесса диффузии. Основные уравнения. Граничные условия и расчетные формулы для наиболее важных случаев диффузии. Методы проведения диффузионных процессов. Структурные схемы диффузионных печей. Особенности диффузии в соединениях A^3B^5 .

Электронно-ионная технология. Методы получения электронных и ионных пучков. Ионное легирование. Имплантация ионов. Плазмохимические и ионно-плазменные методы обработки полупроводниковых, диэлектрических и металлических слоев. Дефекты, вносимые электронно-ионной обработкой, их устранение. Конструктивные схемы ионных имплантеров и оборудования для электронно-ионной и ионно-химической обработки.

Металлизация. Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме. Ионно-плазменное распыление. Химическое осаждение из газовой фазы. Оборудование для получения тонких пленок. Материалы тонкопленочной технологии.

Литография. Фотолитография. Основные типы оборудования для фотолитографии. Проекционная фотолитография, электроннолучевая литография и рентгенолитография. Фотошаблоны и их изготовление. Дефекты микросхем, связанные с фотолитографическими процессами.

Структуры элементов полупроводниковых ИС. Методы изоляции элементов. Технология структур «кремний на изоляторе». Структура и свойства элементов ИС.

Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Корпуса полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Методы герметизации. Бескорпусные приборы. Методы отвода тепла в мощных полупроводниковых приборах.

4. Моделирование, испытания, надежность приборов твердотельной электроники, радиоэлектроники и изделий микро- и нанoeлектроники

Моделирование как основа проектирования приборов твердотельной, микро- и нанoeлектроники. Методики построения физических и математических моделей. Двух- и трехмерное моделирование. Примеры моделей транзисторов, элементов микросхем. Системы моделирования и автоматизированного проектирования (общее представление).

Испытание изделий на устойчивость к воздействию внешних факторов: механических, климатических, радиационных, Виды испытаний: приемосдаточные, периодические, квалификационные. Особенности поведения полупроводниковых приборов и микросхем при различных видах радиационных и космических воздействий. Методы повышения радиационной стойкости приборов.

Основные положения, понятия и определения современной теории надежности. Статистические методы оценки и прогнозирования показателей надежности и долговечности. Физика причин отказов полупроводниковых приборов и микросхем. Катастрофические (внезапные) и деградиационные (постепенные) отказы. Методы выявления потенциально ненадежных приборов и микросхем. Ускоренные испытания и имитационные методы испытаний.

5. Радиоэлектронные компоненты

Физические явления, определяющие электропроводность толсто пленочных резистивных материалов.

Толсто пленочные резисторы.

Основные типы постоянных и переменных резисторов.

Физические явления, определяющие емкостные свойства конденсаторов.

Типы, параметры и конструкции конденсаторов постоянной и переменной емкости.

Физические основы работы линий задержек на поверхностных акустических волнах.

Полупроводниковые термо- и фототранзисторы, позисторы, варисторы, болометры (общее представление)

6. Физические эффекты в малоразмерных твердотельных структурах, специфические приборы нанoeлектроники и методы их изготовления, основные принципы создания приборов на квантовых эффектах

Размерное квантование в гетероструктурах. Примеры структур с размерно-квантованным энергетическим спектром: квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки. Сверхрешетки. Туннелирование на одиночном барьере. Двухбарьерная структура. Резонансно-туннельные диод и транзистор. Эффект Джозефсона.

Транспортные явления в малоразмерных полупроводниковых структурах. Модулированное легирование. Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT). Гетеропереходный биполярный транзистор.

Квантовый эффект Холла. Энергетический спектр носителей заряда в магнитном поле. Квантование холловского сопротивления двумерного электронного газа в магнитном поле. Дробный квантовый эффект Холла.

Одноэлектроника. Квантование кулоновской энергии в мезоскопических системах. Явление кулоновской блокады при туннелировании через переходы с малой емкостью. Одноэлектронные транзисторы и схемы на их основе.

Представления об элементной базе квантовых компьютерах – кубитах. Свойства кубита. Управление эволюцией кубита. Элементарные однокубитовые и двухкубитовые операции как основа квантовых вычислений. Представление о принципах квантовой связи на одиночных фотонах.

Литература

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников. СПб.: изд. Лань. 2010. 384 с.
2. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие/ – М.: Высшее образование; Юрайт-Издат, 2009. – 463 с. – (Основы наук).

3. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. – М.: Высшая школа, 2001. 573 с.
4. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 488 с.
5. Гуртов В.А. Твердотельная электроника : учебное пособие для вузов по направлению 010700 "Физика" и специальности 010701 "Физика" / В. А. Гуртов . – 2-е изд., доп . – М. : Техносфера, 2005. – 408 с.
6. Пасынков В.В. Полупроводниковые приборы : Учебник для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. – 7-е изд., испр . – СПб. : Лань, 2003 . – 480 с..
7. Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. Твердотельная фотоэлектроника. Физические основы. – М.: Физматкнига, 2007. – 384 с.
8. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. Основы наноэлектроники Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2004. 496 с.
9. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов, ч.1 и 2, – М.: Мир. 1984.
10. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. – М.: Лаборатория Базовых знаний. 2003. -488 с.
11. Берикашвили, В. Ш. Твердотельная электроника и микроэлектроника : учебное пособие / В. Ш. Берикашвили, С. А. Воробьев . – М.: МГОУ, 2010 . – 354 с.

«Согласовано»

Директор

ИРЭ
название института

подпись

И.Н. Мирошникова
Ф.И.О.