

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южный федеральный университет»

Программа вступительных экзаменов в аспирантуру

**по направлению**  
**11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи»**

по отрасли  
Технические науки

Присуждаемая квалификация

Исследователь.  
Преподаватель-исследователь

Форма обучения  
Очная

г. Таганрог

**Специальности:**

05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»;

05.12.07 «Антенны, СВЧ – устройства и их технология»;

05.12.14 «Радиолокация и радионавигация»;

05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»;

09.06.01 Информатика и вычислительная техника

## Программа по специальности

### 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Элементы теории сигналов. Обобщенная структура радиотехнической информационной системы. Классификация радиотехнических сигналов. Понятия о важнейших преобразованиях сигналов в радиотехнических цепях, устройствах и системах.

Колебания с неизвестными параметрами как сигнал, несущий полезную информацию. Сигнал как функция времени. Область определения и область значений сигнала. Непрерывные (континуальные) и дискретные сигналы, заданные по всей оси времени и ее части. Детерминированные и случайные, вещественные и комплексные, квантованные и неквантованные сигналы. Управляющее и модулированное колебания.

#### 1. Основные понятия теории цепей

Определение электрической цепи. Источники (генераторы) и потребители (приемники) электрической энергии. Понятия тока, напряжения, мощности и энергии. Единицы измерения. Положительные направления тока и напряжения. Понятие о пассивных и активных элементах и участках цепей.

Понятие о математических и схемных моделях элементов электрических цепей. Идеализированные пассивные элементы электрических цепей. Определения сопротивления, проводимости, емкости и индуктивности. Единицы измерения. Понятия о статическом и дифференциальном сопротивлении (емкости, индуктивности). Зависимости между током, напряжением, мощностью и энергией для идеализированных пассивных элементов. Линейные, нелинейные и параметрические идеализированные пассивные элементы. Понятие о дуальности. Реальные пассивные элементы и их схемы замещения. Идеализированные активные элементы. Идеализированные источники тока и напряжения. Схемы замещения реальных источников. Независимые (неуправляемые) и зависимые (управляемые) источники.

Понятие о схемах электрических цепей: структурные, принципиальные схемы и схемы замещения (схемные модели) электрических цепей. Разновидности схем замещения электрических цепей. Последовательное, параллельное и смешанное соединение двухполюсных элементов. Ветвь, узел и контур электрической схемы.

Основы топологии цепей. Граф электрической цепи. Основные понятия теории графов: ребро, вершина, путь, контур, дерево графа, ветви дерева, главные ветви (связи), сечения. Построение графа электрической цепи.

Законы Кирхгофа для мгновенных значений токов и напряжений. Физическое содержание законов Кирхгофа. Понятие об уравнениях электрического равновесия (математической модели) электрической цепи. Топологические и компонентные уравнения. Основная система уравнений электрического равновесия цепи. Использование топологических представлений для определения числа независимых уравнений баланса токов и баланса напряжений. Дифференциальное уравнение цепи.

Классификация цепей по математическим моделям: линейные, нелинейные и параметрические цепи; цепи с сосредоточенными и распределенными параметрами. Классификация цепей по энергетическим свойствам, числу внешних выводов и по топологическим особенностям. Формулировка задач анализа и синтеза электрических цепей.

#### 2. Простейшие линейные цепи при гармоническом воздействии

Понятие о периодических процессах. Период, частота. Гармонические колебания. Мгновенное значение, текущая и начальная фазы, амплитуда, частота и угловая частота гармонического колебания. Среднее и среднеквадратическое (действующее) значение периодической функции.

Дифференциальные уравнения цепи при гармоническом воздействии. Представление гармонических функций времени на комплексной плоскости. Текущий (мгновенный) комплекс, комплексная амплитуда, комплексное действующее значение гармонических

тока и напряжения. Понятие о методе комплексных амплитуд. Комплексное входное сопротивление и проводимость. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме. Комплексное входное сопротивление и комплексная входная проводимость автономного и неавтономного двухполюсников.

Идеализированные двухполюсные элементы при гармоническом воздействии. Временные и векторные диаграммы для тока, напряжения, мощности и энергии. Последовательная и параллельная RLC-цепи при гармоническом воздействии.

Энергетические соотношения в простейших цепях при гармоническом воздействии. Мгновенная, средняя (активная), реактивная, полная и комплексная мощности. Единицы измерения. Коэффициент мощности. Баланс мощностей. Согласование источника энергии с нагрузкой по критериям максимума передаваемой средней мощности и максимума коэффициента полезного действия.

Преобразования электрических цепей. Понятие об эквивалентных преобразованиях электрических цепей. Преобразования цепей с последовательным, параллельным и смешанным соединением элементов. Эквивалентные взаимные преобразования участков цепей с параллельным и последовательным соединением элементов. Преобразование треугольника сопротивлений в звезду и обратное преобразование. Преобразования участков цепей с идеализированными источниками. Перенос источников.

Индуктивно-связанные цепи при гармоническом воздействии. Понятие о взаимной индуктивности. Компонентные уравнения связанных индуктивностей. Согласное и встречное включения. Понятие об одноименных зажимах. Применение метода комплексных амплитуд для анализа индуктивно-связанных цепей. Схема замещения связанных индуктивностей. Последовательное и параллельное включение связанных индуктивностей. Линейный трансформатор. Понятие о совершенном и идеальном трансформаторах. Свойства идеального трансформатора. Понятие о реальных трансформаторах.

### 3. Частотные характеристики и резонансные явления

Понятие о комплексных частотных характеристиках (КЧХ) электрических цепей. Классификация КЧХ и их размерность. Входные КЧХ: комплексное входное сопротивление и комплексная входная проводимость. Передаточные КЧХ: комплексные коэффициенты передачи по току и напряжению, комплексные передаточные сопротивление и проводимость. Представление КЧХ в алгебраической и показательной формах. Понятия об амплитудно-частотной (АЧХ) и фазочастотной (ФЧХ) характеристиках электрической цепи. Способы графического изображения КЧХ. Логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАХ). Понятие о годографе. Комплексные частотные характеристики идеализированных двухполюсных элементов и простейших цепей с одним реактивным элементом.

Резонансные явления в электрических цепях. Определение и критерии резонанса. Резонансные частоты цепи. Резонанс токов и резонанс напряжений.

Одиночный колебательный контур. Классификация одиночных колебательных контуров по способу включения источника энергии. Резонансная частота, характеристическое сопротивление и добротность одиночного колебательного контура. Энергетические соотношения в одиночном контуре на резонансной частоте. Входные и передаточные характеристики одиночных колебательных контуров различных типов.

Избирательность и полоса пропускания. Понятие об идеальной избирательной цепи. Коэффициент прямоугольности АЧХ. Влияние внутреннего сопротивления источника и сопротивления нагрузки на резонансные свойства одиночных колебательных контуров.

Связанные колебательные контуры. Виды связи, сопротивление связи, коэффициент связи. Обобщенная схема замещения связанных контуров. Схемы замещения первичного и вторичного контуров. Настройка связанных контуров. Резонансные кривые связанных контуров. Полоса пропускания и коэффициент прямоугольности связанных колебательных контуров.

4. Анализ линейных электрических цепей с постоянными параметрами при гармоническом воздействии

## 5. Нелинейные резистивные цепи

Особенности электрических процессов в нелинейных цепях. Классификация нелинейных цепей.

Нелинейные резистивные элементы и их классификация. Вольтамперные характеристики нелинейных резистивных элементов. Общие понятия о методах формирования уравнений электрического равновесия нелинейных резистивных цепей.

Графические методы анализа нелинейных резистивных цепей. Простейшие преобразования нелинейных резистивных цепей при последовательном, параллельном и смешанном соединении элементов. Определение рабочих точек нелинейных резистивных элементов. Определение реакции безынерционного нелинейного резистивного элемента на произвольное внешнее воздействие.

Аппроксимация вольтамперных характеристик нелинейных резистивных элементов. Выбор аппроксимирующей функции. Определение коэффициентов аппроксимирующей функции. Методы выравнивания, выбранных точек и наименьших квадратов. Аппроксимация вольтамперных характеристик в окрестности рабочей точки.

Нелинейное резистивное сопротивление при гармоническом воздействии. Образование гармоник. Понятие о режимах большого и малого сигналов. Линеаризация характеристик нелинейных резистивных элементов в окрестности рабочей точки. Понятие о нелинейных искажениях. Нелинейное резистивное сопротивление при одновременном воздействии двух гармонических колебаний. Комбинационные частоты.

Применение нелинейных резистивных цепей. Стабилизация напряжения. Выпрямление переменного тока. Ограничение колебаний. Преобразование частоты.

6. Методы анализа неустановившихся и переходных процессов в линейных цепях с сосредоточенными параметрами

Понятие об установившихся, неустановившихся и переходных процессах. Непрерывность изменения энергии электрического и магнитного полей. Правила коммутации. Зависимые и независимые начальные условия. Порядок цепи.

Классический метод анализа переходных процессов. Свободные и вынужденные составляющие токов и напряжений. Определение постоянных интегрирования. Переходные процессы в цепях первого и второго порядков. Зависимость характера переходных процессов в цепи от типа корней характеристического уравнения.

Операторный метод анализа переходных процессов. Прямое и обратное преобразование Лапласа. Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме. Операторные схемы замещения идеализированных двухполюсных элементов при нулевых и ненулевых начальных условиях. Операторная схема замещения цепи.

Операторные характеристики цепи. Понятие о комплексной частоте. Виды операторных характеристик. Определение операторных характеристик цепи. Нули и полюсы операторных характеристик.

Дифференцирующие и интегрирующие цепи.

Временные характеристики линейных цепей. Понятие о единичном скачке и единичном импульсе и их свойства. Переходная и импульсная характеристики. Связь между операторными и временными характеристиками цепи. Применение принципа наложения для анализа неустановившихся и переходных процессов в линейных цепях. Понятие о спектральном методе анализа. Применение переходной и импульсной характеристик для анализа неустановившихся и переходных процессов. Различные формы интеграла Дюамеля.

## 7. Методы автоматизированного анализа цепей

Постановка задачи автоматизированного анализа цепей. Основные этапы анализа цепи с помощью ЭВМ.

Математические модели электрических цепей и их элементов. Топологическое описание электрических цепей. Матрица инцидентностей. Матрица сечений. Матрица контуров. Матричная запись уравнений, составленных по законам Кирхгофа. Компонентные

уравнения двухполюсных элементов и компонентное уравнение цепи в матричной форме.

Методы формирования уравнений электрического равновесия, ориентированные на применение ЭВМ. Методы узловых напряжений и контурных токов. Метод переменных состояния. Понятие собственного и нормального деревьев цепи. Выбор методов формирования и решения уравнений электрического равновесия цепи.

Краткая характеристика особенностей современных программ автоматизированного анализа цепей.

#### 8. Основы теории четырехполюсников и многополюсников

Классификация многополюсников и четырехполюсников. Основные уравнения и системы первичных параметров неавтономных проходных четырехполюсников. Физический смысл и основные свойства первичных параметров. Связь между различными системами параметров. Методы определения первичных параметров. Канонические схемы замещения неавтономных четырехполюсников. Основные уравнения и первичные параметры составных четырехполюсников. Комплексные частотные и операторные характеристики проходных четырехполюсников при произвольной нагрузке.

Характеристические сопротивления и характеристические постоянные передачи неавтономного четырехполюсника. Постоянная ослабления и постоянная фазы. Физический смысл и единицы измерения. Характеристическая постоянная передачи цепочки согласованно включенных четырехполюсников. Рабочие параметры проходных четырехполюсников.

Автономные четырехполюсники. Первичные параметры и канонические схемы замещения.

Невзаимные четырехполюсники. Идеальные усилители тока и напряжения. Идеальные операционные усилители. Уравнения электрического равновесия цепей с идеальными операционными усилителями. Преобразователи сопротивления.

Электрические фильтры. Классификация. Условие прозрачности реактивного фильтра. Фильтры типов кит. Рабочие параметры фильтров. Понятие об активных фильтрах

Основные уравнения и системы первичных параметров многополюсников. Неопределенные матрицы параметров. Применение методов контурных токов и узловых напряжений к анализу цепей с многополюсными элементами.

#### 9. Синтез электрических цепей

Формулировка задачи синтеза линейных электрических цепей. Синтез в частотной и временной областях. Понятие о физической реализуемости функций. Понятие об аппроксимации частотных характеристик. Понятие об оптимизации. Связь задачи синтеза и задачи оптимизации электрической цепи.

Понятие о синтезе четырехполюсников. Свойства операторных передаточных функций. Минимально-фазовые и неминимально-фазовые четырехполюсники. Реализация четырехполюсников по заданным выражениям для первичных параметров. Реализация четырехполюсника по заданному выражению для коэффициента передачи по напряжению.

#### 10. Цепи с распределенными параметрами

Понятие о цепях с распределенными параметрами. Длинные линии. Первичные параметры длинных линий. Классификация. Дифференциальные уравнения цепей с распределенными параметрами для мгновенных значений токов и напряжений.

Однородная длинная линия при гармоническом воздействии. Решение дифференциальных уравнений линии. Понятия о падающей и отраженной волнах. Длина волны в линии, фазовая скорость. Характеристические параметры длинной линии. Коэффициент отражения.

Линия без потерь. Режимы бегущих, стоячих и смешанных волн. Коэффициент бегущей волны. Зависимость входного сопротивления отрезка линии без потерь от длины и частоты.

Операторные и комплексные частотные характеристики однородных длинных линий. Полусно-нулевые диаграммы входного сопротивления и входной проводимости линии без потерь и линий с потерями. Длинная линия как четырехполюсник. Матрица

рассеяния и волновая матрица.

Переходные процессы в длинных линиях.

Длинные линии специальных типов: резистивная линия, резистивно-емкостная линия. Неоднородная линия.

Применение отрезков длинных линий.

#### 11. Основные понятия теории сигналов

Обобщенная структура радиотехнической информационной системы. Классификация радиотехнических сигналов. Понятия о важнейших преобразованиях сигналов в радиотехнических цепях, устройствах и системах. Наиболее распространенные области применения радиотехники.

Колебания с неизвестными параметрами как сигнал, несущий полезную информацию. Сигнал как функция времени. Область определения и область значений сигнала. Непрерывные (континуальные) и дискретные сигналы, заданные по всей оси времени и ее части. Детерминированные и случайные, вещественные и комплексные, квантованные и неквантованные сигналы. Управляющее и модулированное колебания.

#### 12. Характеристики детерминированных видеосигналов

Модели наиболее распространенных сигналов. Представление произвольного сигнала в виде суммы элементарных колебаний.

Геометрические представления в теории сигналов. Метрические и нормированные пространства сигналов. Геометрический и физический смысл метрик и норм в основных пространствах сигналов. Расстояние между сигналами.

Обобщенная спектральная теория сигналов. Обобщенный ряд Фурье. Ортогональная и ортонормированная системы базисных функций. Равенство Парсевала. Погрешность аппроксимации колебаний рядом Фурье. Неравенство Бесселя. Краткий обзор используемых в теории сигналов ортогональных базисных систем функций.

Гармонический анализ периодических колебаний. Различные виды рядов Фурье и связь между ними. Спектр периодического колебания. Табличный и графический виды представления спектров. Погрешности анализа и синтеза сигналов в гармоническом базисе Фурье. Явление Гиббса. Примеры спектров. Распределение мощности в спектре периодического колебания. Изменение спектра сигнала при изменении его параметров (длительности, периода) во временной области.

Гармонический анализ непериодических колебаний. Переход от ряда Фурье к преобразованиям Фурье. Физический смысл модуля и аргумента спектральной плотности сигналов. Свойства преобразования Фурье (теоремы о спектрах). Спектры наиболее распространенных сигналов: прямоугольный, экспоненциальный, колокольный видеоимпульсы. Испытательные сигналы: дельта-функция и единичный скачок.

Распространение понятия "спектральная плотность" на гармоническое колебание и на сложное периодическое колебание. Связь между спектрами единичного импульса и периодической последовательности импульсов. Преобразование Лапласа, как обобщение Фурье-преобразования.

Математическое описание дискретных сигналов в непрерывном времени (обобщенный дискретный сигнал). Связь между спектральной плотностью исходного непрерывного сигнала и спектральной плотностью дискретного сигнала. Восстановление непрерывного сигнала как задача линейной фильтрации дискретного сигнала. Теорема Котельникова. Представление сигналов с ограниченной полосой частот в виде ряда по ортогональным функциям типа  $(\sin x)/x$  (ряд Котельникова). Физическая реализуемость восстанавливающих фильтров. Теорема отсчетов в частотной области.

Корреляционный анализ сигналов. Примеры определения корреляционной функции простейших сигналов с ограниченной энергией. Спектральная плотность энергии сигнала, ее связь с корреляционной функцией. Взаимная корреляционная функция двух сигналов с ограниченными энергиями. Корреляционная функция периодического сигнала. Понятие когерентности колебания.

### 13. Модулированные колебания

Простейшие виды модуляции: амплитудная и угловая. Разновидности угловой модуляции: частотная и фазовая.

Амплитудно-модулированные колебания (АМК). Тональная амплитудная модуляция. Основные параметры АМК с тональной модуляцией: спектр, векторная диаграмма. АМК при периодическом законе модуляции. Связь между спектром огибающей и спектром АМК.

Колебание с угловой модуляцией. Общий подход к вычислению спектра колебания с угловой модуляцией. Спектр колебания с угловой модуляцией при гармоническом модулирующем сигнале и при различных значениях индекса модуляции. Практическая ширина спектра колебания с тональной угловой модуляцией. Спектры ЧМК и ФМК при тональной модуляции для различных частот модулирующего гармонического колебания. Спектр радиоимпульса с линейной частотной модуляцией. База сигнала.

Аналитический сигнал (комплексный гильбертовский сигнал), его спектральная и временная характеристики. Характеристики колебания, сопряженного по Гильберту с заданным физическим колебанием, и их значение для представления модулированных колебаний.

Автокорреляционная функция модулированного колебания (радиосигнала). Корреляционная функция огибающей узкополосного колебания. Корреляционные функции радиоимпульсов с прямоугольной огибающей с фиксированной частотой и линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Сжатие сигналов. Примеры практического применения сигналов с различными базами.

Дискретизация (по Котельникову) узкополосного сигнала.

### 14. Модуляция, детектирование и преобразование частоты в нелинейных и параметрических цепях

Основные виды аппроксимации ВАХ нелинейной резистивной цепи. Методы расчета спектрального состава тока через нелинейный элемент. Нелинейное резонансное усиление и умножение частоты гармонических колебаний. Энергетические соотношения.

Модуляция, детектирование и преобразование частоты как процессы, связанные с преобразованием спектров сигналов. Преобразование спектров двух и более гармонических колебаний в нелинейной резистивной цепи. Обобщенная схема нелинейного преобразователя сигналов.

Нелинейный способ получения АМК. Методы расчета статической модуляционной характеристики при полиномиальной и кусочно-ломанной аппроксимациях ВАХ нелинейного элемента. Линейные и нелинейные искажения закона модуляции. Построение амплитудных модуляторов на основе перемножителей сигналов. Получение специальных видов АМК: DSB, SSB.

Детектирование АМК. Преобразование спектров при детектировании АМК, синхронное детектирование. Амплитудное детектирование в нелинейной цепи. Расчет статической характеристики детектирования при кусочно-линейной аппроксимации ВАХ. Последовательный и параллельный диодные детекторы. Принцип работы, временные диаграммы, расчет элементов нагрузки:  $R_n$ ,  $C_n$ . Коэффициент передачи детектора, входное сопротивление, линейные и нелинейные искажения демодулированного сигнала.

Преобразование частоты радиосигналов. Преобразование спектров, балансные и кольцевые смесители. Преобразование частоты в нелинейной цепи. Оптимальный вид ВАХ и условия, при которых не искажаются законы амплитудной и угловой модуляций.

Получение колебаний с угловой модуляцией, Прямые и косвенные методы получения ФМК и ЧМК. Модуляторы ЧМ с варикапом и "реактивной" лампой. Статическая модуляционная характеристика, линейные и нелинейные искажения закона модуляции.

Детектирование колебаний с угловой модуляцией, общие принципы, обобщенная схема детектора. Статическая характеристика детектирования.

Фазовое детектирование. Расчет статической характеристики детектирования. Ча-

стотный детектор "произведений", построенный на основе фазового детектора.

#### 15. Автогенераторы гармонических колебаний

LC-автогенераторы с внешней обратной связью. Дифференциальное уравнение, условия возбуждения. Стационарный режим автогенератора и его устойчивость. Квазилинейный метод анализа. Баланс фаз и амплитуд.

Мягкий и жесткий режимы самовозбуждения и генерации. Колебательные характеристики для этих режимов, их сравнение и устойчивость колебаний. Схемы LC-автогенераторов, дифференциальное уравнение, условия самовозбуждения, установившийся режим.

Трехточечные схемы LC-автогенераторов, условия баланса фаз и амплитуд.

RC-автогенераторы гармонических колебаний. Условия самовозбуждения. Схемы RC-автогенераторов: с мостом Вина, Сифорова, с 2Т-мостом. Условия баланса фаз и амплитуд. Способы сохранения гармонической формы колебаний в RC-автогенераторах.

#### 16. Линейные радиотехнические цепи с постоянными параметрами

Определение и основные свойства линейной активной цепи. Линейные цепи с обратной связью. Определение вида и типа обратной связи. Передаточная функция замкнутой системы с обратной связью. Влияние положения полюсов передаточной функции на плоскости комплексного переменного на устойчивость системы. Инженерные критерии устойчивости активных цепей с обратной связью: критерий Рауса-Гурвица, критерий Найквиста. Определение устойчивости по АЧХ и ФЧХ разомкнутой цепи. Запас устойчивости по амплитуде и фазе. Применение отрицательной обратной связи для улучшения характеристик усилителя.

#### 17. Прохождение детерминированных сигналов через линейные цепи с постоянными параметрами

Спектральные с временные методы анализа передачи сигналов через линейные цепи. Принцип суперпозиции во временной и спектральной областях. Физическая трактовка изменения формы сигнала во временной области с помощью спектральных представлений выходных сигналов. Примеры передачи управляющих сигналов (видеосигналов) через апериодические цепи: прохождение прямоугольных видеоимпульсов через усилитель, дифференцирование и интегрирование сигналов и др.

Прохождение радиосигналов через линейные узкополосные (избирательные) цепи. Постановка задачи анализа прохождения сигналов через избирательные цепи приближенными методами. Приближенный метод интеграла свертки (метод огибающей). Приближенный спектральный метод анализа прохождения радиосигналов через избирательные цепи. Связь временных и спектральных характеристик цепей, используемых в приближенных методах анализа. Передача колебаний с непрерывной амплитудной модуляцией через колебательный контур. Прохождение ЧМК через колебательные цепи. Метод мгновенной частоты, условия его применимости, прохождение фазо- и частотно-манипулированных колебаний.

#### 18. Параметрические линейные цепи.

Параметрические элементы цепи. Основные свойства, определение сигнала на выходе параметрической цепи, передаточная функция и импульсные характеристики линейной параметрической цепи. Эквивалентная схема замещения параметрической цепи цепью с независимыми от времени элементами.

Энергетические соотношения в цепи с параметрическими реактивными элементами. Принцип параметрического усиления колебаний, одноконтурный параметрический усилитель. Ток в контуре одноконтурного параметрического усилителя. Энергетические соотношения, коэффициент усиления по мощности.

#### 19. Основные характеристики случайных сигналов.

Случайные и квазислучайные процессы. Одномерные и многомерные интегральные законы распределения вероятностей и плотностей вероятностей случайных процессов. Характеристическая функция, моментные функции случайных процессов, их физический

смысл.

Стационарные и нестационарные случайные процессы. Стационарность в узком и широком смыслах. Нормальные случайные процессы, их основные числовые характеристики. Эргодические случайные процессы, радиотехническая интерпретация таких параметров, как математическое ожидание, среднее значение, средний квадрат, дисперсия, их размерность.

Корреляционная функция и спектральная плотность мощности стационарного случайного процесса. Теорема Винера-Хинчина. Мощность источника стационарного случайного процесса и ее связь с корреляционной функцией и спектральной плотностью мощности. Энергетическая ширина спектра и интервал корреляции. Модель случайного процесса в виде белого шума. Условия применимости такой модели. Взаимная корреляционная функция и взаимная спектральная плотность мощности двух стационарных случайных процессов.

Узкополосные случайные процессы. Статистические характеристики огибающей, фазы и мгновенной частоты. Особенности реализации узкополосного случайного процесса.

20. Прохождение стационарных случайных сигналов через линейные цепи.

Установившийся режим линейной цепи с постоянными параметрами при стационарном случайном входном воздействии. Определение корреляционной функции и спектральной плотности мощности выходного сигнала.

Воздействие белого шума на RC-цепь (фильтр нижних частот) и колебательный контур. Энергетическая (эффективная) полоса пропускания цепи. Прохождение нормального стационарного случайного процесса через линейную цепь. Нормализация случайных сигналов в цепях с малой полосой частот по сравнению с полосой входного воздействия.

Дифференцирование и интегрирование случайных сигналов.

21. Прохождение стационарных случайных сигналов через нелинейные цепи

Нелинейные безынерционные преобразования случайных сигналов. Плотность вероятности, корреляционная функция и спектральная плотность мощности сигнала на выходе нелинейной безынерционной цепи (на примерах квадратора и двухстороннего ограничителя).

Прохождение узкополосного шума через нелинейный безынерционный элемент с квадратичной характеристикой. Воздействие узкополосного шума на линейный и квадратичный детекторы. Статистические характеристики процессов на выходах таких детекторов.

Совместное воздействие гармонического колебания и узкополосного шума на амплитудный ограничитель с резонансной нагрузкой.

22. Принципы оптимальной линейной фильтрации сигнала на фоне помех

Задача фильтрации сигналов из аддитивной смеси сигнала и стационарного шума. Критерии оптимальности. Фильтр, максимизирующий отношение сигнал/помеха при белом шуме. Передаточная функция и импульсные характеристики фильтра. Согласованные фильтры. Физическая реализуемость. Сигнал и помеха на выходе согласованного фильтра. Характеристики обнаружения сигнала.

Примеры построения согласованных фильтров для прямоугольного видеоимпульса и радиоимпульса с прямоугольной огибающей. Квазиоптимальные фильтры для этих сигналов. Квадратурная обработка комплексного сигнала.

Оптимальная фильтрация заданного сигнала при небелом шуме на входе. Коэффициент передачи фильтра.

Фильтры, минимизирующие среднеквадратическую ошибку воспроизведения формы сигнала при наличии шума. Критерии синтеза винеровского фильтра. Простейшие примеры синтеза.

23. Цифровая фильтрация сигналов

Преимущества цифровой обработки сигналов, структурная схема цифровой фильтрации, основные определения теории линейных дискретных систем с постоянными параметрами. Импульсная характеристика цифрового фильтра (ЦФ). Фильтры с конечной (КИХ) и бесконечной (БИХ) импульсными характеристиками. Физическая реализуемость цифровых фильтров. Передаточная функция цифрового фильтра и ее свойства (на примере ЦФ с экспоненциально спадающей импульсной характеристикой).

Отображение дискретного сигнала функциями непрерывной комплексной переменной - Z-преобразование. свойства Z-преобразования. Обратное Z-преобразование. Связь Z-преобразования и дискретного преобразования Фурье (ДПФ) последовательности. Классификация числовых последовательностей. Z-преобразование единичного импульса и единичного скачка. Z-преобразование вещественной и комплексной экспонент. Области сходимости.

Структурные схемы ЦФ. Прямая и канонические формы. Последовательная (каскадная) и параллельная структурные схемы ЦФ. Трансверсальный КИХ фильтр, прямая форма и ее модификации.

Понятие об алгоритме быстрого преобразования Фурье (БПФ).

24. Оптимальные методы приема сигналов на фоне помех

Понятие помехоустойчивости. Постановка задачи оптимального приема сигналов. Критерии оптимальности (Неймана-Пирсона, Зигерта-Котельникова (идеального наблюдателя), минимума среднего риска). Функции стоимости (потерь), условный и средний риск. Принципы максимума апостериорной вероятности и правдоподобия. Отношение правдоподобия и функция правдоподобия.

Оптимальное обнаружение сигналов известной формы на фоне белого нормального шума. Структура оптимального приемника и характеристики обнаружения. Обнаружение сигнала со случайными параметрами (фаза и амплитуда). Обнаружение пачки импульсов. Оптимальное различение сигналов. Оптимальное измерение параметров сигналов. Оценка энергетических и неэнергетических параметров (времени прихода и частоты сигнала). Особенности обработки сигналов при априорной неопределенности.

25. Основные характеристики оптического и ТВ изображений.

Формирование оптического изображения. Светоделение. Классификация и характеристики оптических и ТВ изображений. Критерии оценки качества ТВ изображения. Изображение - объект исследований.

26. Зрительное восприятие, основы колориметрии.

Зрительная система человека. Основные характеристики зрения (чувствительность, восприятие яркости, различимость градаций, разрешающая способность, восприятие пространства и др.). Цветовое зрение. Механизмы и характеристики цветовосприятия. Основы колориметрии, цветовые измерения и расчеты. Связь между спектральными характеристиками и цветом.

27. Формирование сигналов изображения.

Анализ и синтез изображений. Частотный спектр сигналов изображения. Построение ТВ раstra. Выбор параметров ТВ раstra. Чересстрочная развертка. Переходная и апертурно-частотная характеристики разлагающего устройства. Синхронизация процессов анализа и синтеза изображений.

28. Преобразователи изображений.

Принцип накопления сигнала. Твердотельные преобразователи изображений. Принципы построения и характеристики линейных и матричных преобразователей. Управление характеристиками твердотельных преобразователей. Принципы формирования сигналов цветного ТВ. Многосигнальные преобразователи изображений. Динамические характеристики преобразователей.

29. Аналоговая и цифровая обработка сигналов изображения.

Обработка сигналов и качество ТВ изображения. Цифровое представление сигналов изображения. Дискретизация и квантование сигналов. Цифровое кодирование сигналов

изображения. Цифровая обработка видеосигналов. Коррекция полутонных, апертурных и цветовых искажений. Противошумовая коррекция. Компрессия видеoinформации. Дискретное косинусное преобразование (ВСТ). Виды алгоритмов сжатия изображений.

30. Кодирование и передача сигналов изображения и звука по каналам связи

Согласование параметров сигналов и характеристик каналов связи. Яркостный и цвето-разностные сигналы. Системы цветного ТВ с частотным уплотнением спектра. Системы цветного ТВ NTSC, SECAM, PAL. Временное уплотнение сигналов в системах цветного ТВ. Алгоритмы эффективного статистического кодирования. Сжатие с потерями (по формату MPEG). Компрессия динамических изображений в форматах MPEG. Квантование и управление потоком данных. Формат MPEG-2 в цифровых ТВ системах. Системы телевидения высокой точности (ТВЧ).

31. Воспроизведение изображений

Принципы формирования черно-белого и цветного изображения: черно-белые и цветные кинескопы. Дискретные устройства с плоским экраном. Качество цветного изображения. ТВ приемники. Особенности структурных схем ТВ приемников. Приемники цифровых ТВ сигналов.

33. Консервация сигналов изображения.

32. Принципы магнитной видеозаписи. Аналоговая и цифровая запись сигналов изображения и звука. Цифровая обработка сигналов изображения и звука в процессе записи и воспроизведения. Форматы видеозаписи. Оптическая видеозапись.

333. Главные особенности нового поколения телевизионных систем цифровой телевизионный сигнал. Преобразование аналогового телевизионного сигнала в цифровой. Цифровые телевизионные сигналы согласно рекомендации ITU-R BT601. Формирователи цифровых телевизионных сигналов. Параллельный видеостык, последовательный видеостык. Другие стандарты цифровых телевизионных сигналов. Рекомендация ITU-T H.263 для систем компьютерной видеосвязи. Передача цифровых телевизионных сигналов по каналам связи. Задача сжатия видеoinформации. Методы цифровой обработки и кодирования телевизионных сигналов и изображений. Дискретно косинусное преобразование. Цифровая фильтрация многомерных цифровых сигналов. Обработка и передача сигналов с разложением на частотные поддиапазоны по разрешающей способности. Вейвлет-преобразования. Оценка и компенсация движения. Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция. Кодирование с предсказанием. Векторное квантование. Фрактальное кодирование.

34. Системы прикладного телевидения.

Системы визуализации. Космические ТВ системы. Измерительные ТВ системы. Компьютерные технологии в системах анализа и обработки изображений. Распознавание образов и анализ сцен.

### Литература

1. Попов В.П. Основы теории цепей: Учебник для вузов спец. «Радиотехника» М.: Высшая школа, 2005 г.- 575 с.
2. Бирюков В.Н., Попов В.П., Семенцов В.И. Сборник задач по теории цепей: Учебное пособие для студентов вузов спец. «Радиотехника». - М.: Высшая школа, 2007.- 254 с.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов спец. «Радиотехника». - М.: Радио и связь, 1986. - 512 с.
4. Галустов Г.Г., Гоноровский И.С., Демин М.П., Прозоровский В.Е., Рыжов В.П., Федосов В.П. Радиотехнические цепи и сигналы. Примеры и задачи: Под ред. И.С. Гоноровского.- М.: Радио и связь 1989. - 248 с.
5. Радиотехнические системы / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др.; Под ред. Ю.М. Казаринова. - М.: Высшая школа, 1990.
6. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радиолокационные и радионавигационные системы. - М.: Радио и связь, 1994.
7. Бакалов В.П. Цифровое моделирование случайных процессов.. Примеры и задачи.

М.: Радио и связь. - М.: Сайнс-пресс, 2002.

8. Радиотехнические системы передачи информации / В.А. Борисов, В.В. Калмыков, Я.М. Ковальчук и др.; Под ред. В.В. Калмыкова. - М.: Радио и связь, 1990.

9. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. Учебник для вузов. – М.-СПб, Ростов-на Дону, ...-Питер, 2002, 603 с.

10. Смирнов Н.Н., Федосов В.П., Цветков Ф.А. Измерение характеристик случайных процессов. М.: Сайнс-пресс, 2004.

11. Быков Р. Е. Теоретические основы телевидения. Учеб. для вузов / СПб.: Изд. «Лань», 1998.-288с.

12. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под ред. В.Е. Джаконии.- М.: Радио и связь, 1997. - 640 с.

13. Новаковский С.В. Цвет в цветном телевидении. - М.: Радио и связь, 1997. - 271 с.

14. Птачек М. Цифровое телевидение. Теория и техника. Под ред. Л.С. Виленчика. - М.: Радио и связь, 1990. - 528 с.

15. Урвалов В.А. Очерки истории телевидения. - М.: Наука, 1990. - 216 с.

16. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Пер. С англ. - М.: Мир, 1982, в 2-х кн.

17. Кривошеев М.И. Основы телевизионных измерений: Изд. 3-е. - М.: Радио и связь, 1990.

18. Преобразователи изображения на ПЗС. / Р.Е. Быков, А.А. Манцетов, Н.Н. Степанов, Г.А. Эйсенгардт. - М.: Радио и связь, 1992. - 184 с.

Автор зав. кафедрой ТОР В.П.Федосов \_\_\_\_\_

## Программа по специальности

05.12.07 «Антенны, СВЧ – устройства и их технология»

### 1. Общая теория антенн и СВЧ-устройств

**Основные уравнения электродинамики:** плотности заряда и тока, закон сохранения электрического заряда; принцип непрерывности магнитного потока. Основные законы электродинамики. Система уравнений Максвелла. Материальные уравнения. Уравнения Максвелла для комплексных амплитуд; Принцип двойственности; Уравнение баланса энергии (теорема Умова-Пойнтинга). Электродинамические потенциалы. Волновые уравнения. Уравнение Гельмгольца.

**Задачи возбуждения электромагнитных полей.** Решение уравнения Гельмгольца для источников в свободном пространстве. Функция Грина для свободного пространства. Уравнение для функции Грина. Задание сторонних токов. Линейные излучатели, Физические и математические модели.

Элементарные излучатели (элементарный электрический вибратор, элементарный магнитный вибратор, элементарная рамка электрического тока, рамка магнитного тока, элемент Гюйгенса): постановка задачи; физическая и математическая модели; электромагнитное поле в ближней, промежуточной и дальней зонах; структура силовых линий; сферическая волна (среда без потерь и с потерями); фазовая и групповая скорости, волновая функция; характеристика и диаграмма направленности (ХН, ДН, КНД); мощность и сопротивление излучения, проводимость излучения. Силовые линии.

Поле бесконечной нити электрического тока. Физические и математические модели, ЭМП. Цилиндрическая волна. Силовые линии.

Плоский лист электрического тока. ЭМП. Поверхностная волна (медленная волна). Плоская волна. Быстрая волна. Структура силовых линий. Устройства, реализующие замедляющие структуры. Плоский лист магнитного тока.

**Теоремы и принципы электродинамики.** Формулировка краевой задачи электродинамики. Граничные условия. Лемма Лоренца. Интегральные соотношения для полей, Теорема эквивалентности. Физическое содержание. Условия излучения. Физическое содержание. Теорема взаимности. Принцип Гюйгенса. Интеграл Кирхгофа. Теорема единственности. Поля системы источников. Излучение поля с вращающейся поляризацией.

**Дифракция и отражение электромагнитных волн.** Общая характеристика задач дифракции. Возбуждение нитью тока кругового цилиндра: постановка и решение задачи при импедансных граничных условиях методом собственных функций, вторичное (рассеянное) поле, поверхностные токи, освещенная область и область полутени; задача дифракции; характеристика рассеяния поля, эффективная площадь рассеяния и дальность обнаружения объекта в радиолокации; диаграмма направленности. Дифракция на шаре. Дифракция на идеально проводящем клине. Дифракция на полуплоскости: граничная задача, понятие о граничном условии на ребре, применение преобразования Фурье-Бесселя, случай дифракции поля, асимптотические разложения решения; полуплоскость; диаграммы направленности и рассеяния. Дифракция ЭМВ на отверстии в экране: физические и математические модели, постановка задачи, решение задачи, применение теоремы эквивалентных поверхностных токов, поле в плоскости электрического вектора (дальняя зона). Зоны Френеля. Область пространства, существенная для распространения радиоволн: дифракция Френеля, интегралы Френеля, спираль Корню, зоны Френеля. Методы решения задач электродинамики: длинноволновое и коротковолновое приближения; приближенные методы – метод геометрической оптики, уравнение эйконала, оптическая длина пути вдоль луча, принцип Ферма, законы преломления и отражения; явление рефракции; - су-

щество метода физической оптики, гипотеза о независимости токов; - понятие о геометрической теории дифракции, дифракционные лучи, лучевые координаты, лучевые коэффициенты, особенности метода краевых волн. Строгие методы – методы собственных функций и интегральных преобразований, метод интегральных уравнений. Метод интегральных уравнений (ИУ): примеры ИУ поверхностных токов на цилиндрической поверхности токов, ИУ Фока, способы численного решения уравнения; ИУ Поклингтона для функции распределения тока на тонком проводнике, применение метода Галеркина для решения ИУ. ИУ для магнитного тока на отверстии в плоском экране.

Значение численных методов при построении математических моделей сложных ЭД устройств. Возбуждение периодической решетки: постановка задачи, волны Флоке, быстрые и медленные волны, ИУ Фредгольма, анализ ядра, применение метода моментов.

**Распространение радиоволн.** Распространение радиоволн в природных средах. Классификация волн по способу распространения. О влиянии среды на условия распространения радиоволн. Общие соображения о расчете напряженности поля в свободном пространстве. Расчет напряженности электрического поля в свободном пространстве. Действующая длина антенны. Расчет мощности на входе приемной антенны (свободное пространство). Отражение радиоволн от неровной земной поверхности. Коэффициент отражения. Критерий Релея. Замирания сигнала. Влияние помех на работу радиолинии. Расстояние прямой видимости. Модели радиотрасс над поверхностью Земли. Поле излучателя, поднятого над поверхностью Земли. Постановка задачи. Вывод основных расчетных соотношений. Пример применения интерференционной формулы. Формула Введенского. Приближенный учет сферичности Земли. Формула идеальной радиопередачи. Формула Шулейкина-Ван-дер-Поля. Распространение РВ над неоднородной почвой. Явление береговой рефракции. Расчет напряженности поля в зоне полутени. Явление усиления препятствием. Пассивные ретрансляторы.

Распространение радиоволн в тропосфере. Диэлектрическая проницаемость и показатель преломления тропосферы. Поглощение радиоволн в тропосфере, тепловые потери, рассеяние, селективное поглощение; подавление помех от гидрометеоров. Явление атмосферной рефракции, радиус кривизны луча, нормальная тропосфера, нормальная рефракция. Понятие об эквивалентном радиусе Земного шара. Различные виды атмосферной рефракции. Понятие о дальнем тропосферном распространении УКВ за счет рассеяния в тропосфере. Сверхрефракция, тропосферные волны.

Влияние ионосферы на распространение радиоволн. Диэлектрическая проницаемость ионосферы. Преломление и отражение волн в ионосфере.

Особенности распространения волн разных диапазонов. Особенности распространения радиоволн оптического и инфракрасного диапазонов. Понятие об электромагнитной совместимости радиоустройств.

## 2. Теория и техника СВЧ-устройств

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В НАПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ.

Граничная задача о возбуждении прямоугольного волновода: постановка задачи, граничная задача для векторного потенциала, решение граничной задачи.

Свойства ЭМП в прямоугольном волноводе. Определение электрических и магнитных типов волн: распространяющиеся и не распространяющиеся типы «волн», фазовая и групповая скорости, длина волны в волноводе, критическая длина волны, физическое содержание индексов. Волна основного типа в прямоугольном волноводе: ее анализ, силовые линии полей. Токи на внутренних стенках волновода. Излучающие и неизлучающие щели. Круглый волновод: постановка граничных задач. Решение задач Дирихле и Неймана для круглого волновода (метод Фурье). Критическая длина волны, длина волны в волноводе, фазовая и групповая скорости. Основная волна, силовые линии полей. Коаксиальная ли-

ния: постановка и решение граничной задачи, Т-волны, основная волна, силовые линии поля. Полосковые линии. Потери в диэлектрике направляющей системы. Потери в металле направляющей системы. Поверхностные волны над слоем диэлектрика на металле: физическая и математическая модели, постановка и решение граничной задачи. Плоский диэлектрический волновод: постановка и решение граничных задач, типы электромагнитных волн. Цилиндрический диэлектрический волновод: граничная задача, свободные волны, гибридные типы волн, фазовые и групповые скорости. Поверхностные волны над плоской ребристой структурой: постановка и решение граничных задач в импедансном приближении. Условия возбуждения поверхностных волн. Спиральный волновод: граничные условия, общее решение задачи, характеристическое уравнение, коэффициенты замедления, качественный анализ решения. Понятие о квазиоптических направляющих системах.

**Электромагнитные резонаторы.** Общие сведения о резонаторах. Определения, добротность. Постановка задачи о возбуждении прямоугольного резонатора. Решение граничной задачи возбуждения. Типы колебаний, их анализ, собственная частота, основной тип колебаний, силовые линии полей. Цилиндрический резонатор. Типы колебаний, собственные частоты, основной тип колебаний. Силовые линии полей основного колебания. Коаксиальный резонатор: свободные колебания, основной тип колебания, силовые линии полей. Потери в резонаторах. Собственная и нагруженная добротности. Понятие о диэлектрических резонаторах. Понятие об открытых резонаторах.

**Техническая электродинамика.** Линии передачи. Основные понятия и определения, классификация. Уравнения Максвелла для линий передачи. Телеграфные уравнения. Структура силовых линий в линиях передачи. Полоса пропускания. Теория линий передачи. Математическая модель линии передачи конечной длины, энергетические характеристики. Падающая и отраженная волны. Коэффициент отражения. Узкополосное и широкополосное согласование. Матричная теория многополюсников СВЧ. Основные определения. Классические и волновые матрицы. Физический смысл элементов матрицы рассеяния. Классы многополюсников. Элементы фидерного тракта. Основные определения. Соединительные элементы. Реактивные элементы. Атенюаторы и фазовращатели. Тройники. Направленные ответвители. Элементы фидерных трактов ДМВ-диапазона. Сумматоры, трансформаторы. Частотно-избирательные фильтры и резонаторы. Основные определения и классификация фильтров. Синтез фильтров с оптимальными частотными характеристиками. Особенности конструктивного выполнения фильтров. Резонаторы СВЧ. Управляющие устройства СВЧ Классификация управляющих устройств. Фазовращатели и коммутаторы на управляемых р-і-n-диодах. Теоретические ограничения на достижимые параметры коммутирующих устройств. Ферритовые приборы - вентили, циркуляторы, фазовращатели. Коммутирующие устройства, использующие новые физические принципы (сегнетоэлектрики, приборы на основе высокотемпературной сверхпроводимости и т.д.).

Принципы построения и методы проектирования приёмо – передающих устройств СВЧ. Особенности активных СВЧ-устройств на основе полупроводниковых и миниатюрных вакуумных приборов (генераторы, умножители частоты, малозумящие 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. Численный электродинамический расчёт основных типов СВЧ-устройств.

### **3. Теория и техника антенных устройств и систем**

Структурная схема антенны. Общие алгоритмы нахождения с помощью ЭВМ электромагнитного поля излучающей системы токов в дальней, промежуточной и ближней областях. Простейшие излучатели линейной и круговой поляризации (вибраторы, рамки,

турникеты, элементы Гюйгенса, микрополосковые элементы). Учет влияния плоских и искривленных поверхностей на излучение источников.

Параметры антенных систем в передающем и приемном режимах. Обобщенное представление антенны в радиосистеме в виде четырехполосника. Эквивалентная схема приемной антенны. Поляризационные соотношения при радиоприеме. Эффективная поверхность и шумовая температура приемной антенны. Проблема электромагнитной совместимости и подходы к решению соответствующих антенных аспектов.

Методы экспериментального исследования антенных устройств.

Линейные излучающие системы. Идеальный линейный излучатель. Режимы излучения - поперечный, сканирующий, осевой. Оптимальная линейная антенна. Ширина луча, КНД. Влияние вида амплитудно-фазового распределения возбуждения на параметры линейной антенны. Понятие о методах синтеза линейных излучателей и решеток. Сверхнаправленность.

Антенны осевого излучения - диэлектрические, спиральные, импедансные, директорные. Оптимизация антенн осевого излучения. Волноводно-щелевые антенные решетки. Микрополосковые антенные решетки.

Апертурные антенны. Эквивалентные линейные излучатели. Характеристики направленности, КНД, эффективная поверхность плоского раскрытия. Возможности фокусировки раскрытия в промежуточной и ближней областях излученного поля. Методы управления сканированием луча. Зеркальные, рупорные, линзовые антенны. Антенны моноимпульсных РЛС. Суммарные и разностные характеристики направленности. Схемы построения одно-, двух- и многозеркальных антенн. Оптимизация облучателей зеркал и линз. Гибридные зеркальные и линзовые антенны с облучателями в виде решеток. Двухзеркальные антенны. Схемы Кассегрена и Грегори. Характеристики направленности и частотные свойства. Эквивалентная длиннофокусная антенна. Методы расчета конструкции двухзеркальных антенн.

Методы синтеза апертурных антенн. Конструктивный синтез антенн.

Фазированные антенные решетки (ФАР). Принцип действия и направленные свойства ФАР. Взаимное влияние элементов ФАР и методы его учёта. ФАР с плавными и дискретными фазовращателями. Матрицы Бласса и Батлера. ФАР отражательного и проходного типов. Активные ФАР. ФАР с лучеобразующими матрицами. Антенны с синтезированным раскрытием. Понятие об адаптивных антенных решетках.

Антенны различных диапазонов волн. Характерные особенности антенн в зависимости от применяемого диапазона волн. Общие свойства антенн малых электрических размеров. Антенны длинных, средних, коротких волн. УКВ-антенны. Способы увеличения рабочей полосы частот. Логопериодические антенны.

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. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Радио и связь. 2000, - 559 с.
2. Марков Г.Т., Петров Б.М., Грудинская Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Сов. радио, 1979. – 376 с.
3. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика / Под ред. Ю.В. Пименова. М.: Радио и связь, 2000.
4. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Высш. шк., 1992.

5. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1989.
6. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ. М.: Высш. шк., 1990.
7. Черенкова Е.Л., Чернышов О.В. Распространение радиоволн. М.: Радио и связь, 1988.
8. Марков Г.Т., Чаплин А.Ф. Возбуждение электромагнитных волн. – М.: Радио и связь, 1983. – 296 с.
9. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. Учебник для радиотехнич. специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1988. 432 с.
10. Сазонов Д.М., Гридин А.Н., Мишустин Устройства СВЧ. Учебное пособие./ Под ред. Д.М. Сазонова. М.: Высшая школа, 1981. 290 с.
11. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решёток / Под ред. Д.И. Воскресенского. М.: Радио и связь, 1994.
12. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для вузов / Под ред. Д.И. Воскресенского. М.: МАИ, 1999.
13. Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1994.
14. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высш. шк., 2000.
15. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991.
16. Крылов К.И., Прокопенко В.Т., Тарлыков В.А. Основы лазерной техники. Л.: Машиностроение, 1990.
17. Кугушев А.М., Голубева Н.С., Митрохин В.И. Основы электроники. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие для вузов. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
18. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. - 3-е изд., перераб. и доп., М.: «Радио и связь», 1981г., 280 с., ил.
19. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства. - М.: «Связь», 1977г., 440с., ил.,
20. М.П.Долуханов. Распространение радиоволн: - М.: Связь, 1972.

Программу составил

Зав каф. АиРПУ  
д.т.н., профессор

Ю.В.Юханов

## Программа по специальности

### 05.12.14 «Радиолокация и радионавигация»

#### 1. Основные понятия теории сигналов

Обобщенная структура радиотехнической информационной системы. Классификация радиотехнических сигналов. Понятия о важнейших преобразованиях сигналов в радиотехнических цепях, устройствах и системах. Колебания с неизвестными параметрами как сигнал, несущий полезную информацию. Сигнал как функция времени. Область определения и область значений сигнала. Непрерывные (континуальные) и дискретные сигналы, заданные по всей оси времени и ее части. Детерминированные и случайные, вещественные и комплексные, квантованные и неквантованные сигналы. Управляющее и модулированное колебания.

#### 2. Характеристики детерминированных видеосигналов

Геометрические представления в теории сигналов. Метрические и нормированные пространства сигналов. Геометрический и физический смысл метрик и норм в основных пространствах сигналов. Расстояние между сигналами. Обобщенная спектральная теория сигналов. Обобщенный ряд Фурье. Ортогональная и ортонормированная системы базисных функций. Равенство Парсеваля. Гармонический анализ периодических колебаний. Различные виды рядов Фурье и связь между ними. Спектр периодического колебания. Гармонический анализ непериодических колебаний. Переход от ряда Фурье к преобразованиям Фурье. Физический смысл модуля и аргумента спектральной плотности сигналов. Свойства преобразования Фурье (теоремы о спектрах). Преобразование Лапласа, как обобщение Фурье –преобразования. Восстановление непрерывного сигнала как задача линейной фильтрации дискретного сигнала. Теорема Котельникова. Представление сигналов с ограниченной полосой частот в виде ряда по ортогональным функциям. Физическая реализуемость восстанавливающих фильтров. Теорема отсчетов в частотной области. Корреляционный анализ сигналов. Спектральная плотность энергии сигнала, ее связь с корреляционной функцией. Взаимная корреляционная функция двух сигналов с ограниченными энергиями. Корреляционная функция периодического сигнала. Понятие когерентности колебания.

#### 3. Модулированные колебания

Простейшие виды модуляции: амплитудная и угловая. Разновидности угловой модуляции: частотная и фазовая. Амплитудно-модулированные колебания (АМК). Тональная амплитудная модуляция. Основные параметры АМК с тональной модуляцией. Аналитический сигнал (комплексный гильбертовский сигнал), его спектральная и временная характеристики. Характеристики колебания, сопряженного по Гильберту с заданным физическим колебанием, и их значение для представления модулированных колебаний. Автокорреляционная функция модулированного колебания (радиосигнала). Корреляционная функция огибающей узкополосного колебания. Корреляционные функции радиоимпульсов с прямоугольной огибающей с фиксированной частотой и линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Сжатие сигналов. Дискретизация (по Котельникову) узкополосного сигнала.

4. Модуляция, детектирование и преобразование частоты в нелинейных и параметрических цепях

Основные виды аппроксимации ВАХ нелинейной резистивной цепи. Нелинейное резонансное усиление и умножение частоты гармонических колебаний. Модуляция, детектирование и преобразование частоты как процессы, связанные с преобразованием спектров сигналов. Детектирование АМК. Преобразование спектров при детектировании АМК, синхронное детектирование. Амплитудное детектирование в нелинейной цепи. Преобразование частоты радиосигналов. Преобразование спектров, балансные и кольцевые смесители. Получение колебаний с угловой модуляцией, Прямые и косвенные ме-

тоды получения ФМК и ЧМК. Статическая модуляционная характеристика, линейные и нелинейные искажения закона модуляции. Детектирование колебаний с угловой модуляцией, общие принципы. Фазовое детектирование. Расчет статической характеристики детектирования. Частотный детектор "произведений", построенный на основе фазового детектора.

#### 5. Автогенераторы гармонических колебаний

LC-автогенераторы с внешней обратной связью. Дифференциальное уравнение, условия возбуждения. Стационарный режим автогенератора и его устойчивость. Квазилинейный метод анализа. Баланс фаз и амплитуд. Мягкий и жесткий режимы самовозбуждения и генерации. Колебательные характеристики для этих режимов, их сравнение и устойчивость колебаний. Схемы LC-автогенераторов, дифференциальное уравнение, условия самовозбуждения, установившийся режим. Стабилизация частоты автогенераторов. Кварцевые генераторы. Трехточечные схемы LC-автогенераторов, условия баланса фаз и амплитуд. RC-автогенераторы гармонических колебаний. Условия самовозбуждения. Схемы RC-автогенераторов: с мостом Вина, Сифорова, с 2Т-мостом. Условия баланса фаз и амплитуд. Способы сохранения гармонической формы колебаний в RC-автогенераторах.

#### 6. Линейные радиотехнические цепи с постоянными параметрами

Определение и основные свойства линейной активной цепи. Линейные цепи с обратной связью. Определение вида и типа обратной связи. Передаточная функция замкнутой системы с обратной связью. Влияние положения полюсов передаточной функции на плоскости комплексного переменного на устойчивость системы. Инженерные критерии устойчивости активных цепей с обратной связью: критерий Рауса-Гурвица, критерий Найквиста. Определение устойчивости по АЧХ и ФЧХ разомкнутой цепи. Запас устойчивости по амплитуде и фазе. Применение отрицательной обратной связи для улучшения характеристик усилителя.

7. Прохождение детерминированных сигналов через линейные цепи с постоянными параметрами. Спектральные с временные методы анализа передачи сигналов через линейные цепи. Принцип суперпозиции во временной и спектральной областях. Физическая трактовка изменения формы сигнала во временной области с помощью спектральных представлений выходных сигналов. Прохождение радиосигналов через линейные узкополосные (избирательные) цепи. Постановка задачи анализа прохождения сигналов через избирательные цепи приближенными методами. Приближенный метод интеграла свертки (метод огибающей). Приближенный спектральный метод анализа прохождения радиосигналов через избирательные цепи. Связь временных и спектральных характеристик цепей, используемых в приближенных методах анализа.

#### 8. Параметрические линейные цепи.

Параметрические элементы цепи. Основные свойства, определение сигнала на выходе параметрической цепи, передаточная функция и импульсные характеристики линейной параметрической цепи. Эквивалентная схема замещения параметрической цепи цепью с независимыми от времени элементами.

#### 9. Основные характеристики случайных сигналов.

Случайные и квазислучайные процессы. Одномерные и многомерные интегральные законы распределения вероятностей и плотностей вероятностей случайных процессов. Характеристическая функция, моментные функции случайных процессов. Стационарные и нестационарные случайные процессы. Стационарность в узком и широком смыслах. Нормальные случайные процессы, их основные числовые характеристики. Эргодические случайные процессы. Корреляционная функция и спектральная плотность мощности стационарного случайного процесса. Теорема Винера-Хинчина. Энергетическая ширина спектра и интервал корреляции. Модель случайного процесса в виде белого шума. Взаимная корреляционная функция и взаимная спектральная плотность мощности двух стационарных случайных процессов. Узкополосные случайные процессы. Статистические

характеристики огибающей, фазы и мгновенной частоты.

10. Прохождение стационарных случайных сигналов через линейные цепи.

Воздействие белого шума на RC-цепь (фильтр нижних частот) и колебательный контур. Энергетическая (эффективная) полоса пропускания цепи. Прохождение нормального стационарного случайного процесса через линейную цепь. Нормализация случайных сигналов в цепях с малой полосой частот по сравнению с полосой входного воздействия. Дифференцирование и интегрирование случайных сигналов.

11. Прохождение стационарных случайных сигналов через нелинейные цепи

Нелинейные безынерционные преобразования случайных сигналов. Плотность вероятности, корреляционная функция и спектральная плотность мощности сигнала на выходе нелинейной безынерционной цепи. Прохождение узкополосного шума через нелинейный безынерционный элемент с квадратичной характеристикой. Воздействие узкополосного шума на линейный и квадратичный детекторы. Статистические характеристики процессов на выходах таких детекторов.

12. Цифровая фильтрация сигналов

Преимущества цифровой обработки сигналов, структурная схема цифровой фильтрации, основные определения теории линейных дискретных систем с постоянными параметрами. Импульсная характеристика цифрового фильтра (ЦФ). Фильтры с конечной (КИХ) и бесконечной (БИХ) импульсными характеристиками. Физическая реализуемость цифровых фильтров. Передаточная функция цифрового фильтра и ее свойства (на примере ЦФ с экспоненциально спадающей импульсной характеристикой). Структурные схемы ЦФ. Прямая и канонические формы. Последовательная (каскадная) и параллельная структурные схемы ЦФ. Трансверсальный КИХ фильтр, прямая форма и ее модификации. Преобразование аналог-цифра и шумы квантования. Шумы округления. Оценка быстродействия арифметического устройства ЦФ. Понятие об алгоритме быстрого преобразования Фурье (БПФ).

13. Принципы оптимальной линейной фильтрации сигнала на фоне помех

Задача фильтрации сигналов из аддитивной смеси сигнала и стационарного шума. Критерии оптимальности. Согласованные фильтры. Физическая реализуемость. Сигнал и помеха на выходе согласованного фильтра. Характеристики обнаружения сигнала. Корреляционные устройства фильтрации сигналов с известной и неизвестной начальной фазой, с неизвестным временем прихода. Фильтры, минимизирующие среднеквадратическую ошибку воспроизведения формы сигнала при наличии шума. Критерии синтеза винеровского фильтра.

14. Основные понятия теории связи.

Сеть связи, система связи. Виды связи. Коммутация каналов, сообщений, пакетов. Кодирование и декодирование. Модуляция и демодуляция.

15. Каналы связи.

Классификация каналов. Искажения сигналов. Помехи в каналах связи. Модель непрерывного канала без шума. Модель непрерывного канала с аддитивным гауссовым шумом. Канал с неопределенной фазой сигнала. Канал с межсимвольной интерференцией и аддитивным шумом. Математические модели дискретных каналов связи. Математическая модель дискретно-непрерывного канала связи. Оптические каналы связи.

16. Кодирование и передача цифровых сообщений.

Количество информации в дискретных сообщениях. Понятие энтропии. Производительность источника дискретных сообщений. Скорость передачи информации. Эффективное кодирование источников дискретных сообщений. Информационные характеристики источников непрерывных сообщений. Пропускная способность дискретного канала связи. Пропускная способность непрерывного канала связи. Теорема кодирования для канала с помехами.

17. Помехоустойчивое кодирование.

Принципы построения помехоустойчивых кодов. Классификация помехоустойчи-

вых кодов. Групповые коды. Проверочная матрица. Коды Хемминга. Порождающая матрица. Синдром. Построение полиномиальных кодов. Циклические коды. Коды БЧХ. Структура сверхточных кодов. Алгоритм декодирования Витерби. Каскадные коды. Код Рида-Соломона. Перемежение в системах с кодированием. Автоматический запрос повторной передачи.

18. Помехоустойчивость систем связи.

Оптимальный прием элементов дискретных сообщений. Синтез оптимальных приемников при приеме элементов дискретных сигналов, известных точно. Оптимальный прием при неопределенной фазе и амплитуде элементов дискретного сигнала. Неоптимальные методы приема дискретных сообщений. Оптимальный прием непрерывных сообщений. Цифровые методы передачи непрерывных сообщений.

19. Шифрование и дешифрование.

Модель процесса шифрования и дешифрования. Совершенная секретность. Интенсивность и избыточность языка. Расстояние единственности и идеальная секретность. Практическая защищенность. Поточное шифрование. Криптосистемы с открытыми ключами. Проверка подлинности подписи. Система RSA.

20. Повышение эффективности систем связи.

Оценка эффективности систем связи. Принципы системного подхода к исследованию и разработке систем связи. Анализ систем связи по их эффективности.

21. Основные понятия теории радиолокации

Классификация радиолокационных систем. Физические основы радиолокации. Отражение, рассеяние и переизлучение радиоволн объектами (целями). Диаграммы обратного рассеяния цели, эффективная площадь рассеяния. Принципы радиолокации. Сигналы и помехи, основные технико-эксплуатационные характеристики радиолокационных систем.

22. Основы статистической теории радиолокации.

Статистическая постановка задач обнаружения, разрешения и оценивания параметров сигналов. Статистические критерии обнаружения сигналов и оценивания их параметров. Структуры оптимальных обнаружителей, устройств разрешения и оценивания параметров сигналов на фоне мешающего действия помех и шумов. Функции и диаграммы неопределенности сигналов, сложные сигналы и их характеристики. Борьба с активными и пассивными помехами. Селекция и распознавание целей.

23. Радиолокационные методы измерения параметров целей.

Методы измерения дальности цели. Методы измерения скорости движения целей. Методы определения угловых координат целей. Методы определения геометрических и электро-физических параметров целей. Пространственно-временная обработка радиолокационных сигналов.

24. Радиолокационные средства измерения параметров целей.

Радиодальномеры, радиопеленгаторы, радиолокационные измерители скорости, радиолокаторы селекции движущихся целей, радиолокационные системы с синтезированной апертурой антенных систем, связь их основных технических параметров с эксплуатационными характеристиками.

25. Основные понятия теории радионавигации.

Принципы радионавигации методы реализации радионавигационных систем (РНС). Виды РНС: автономные и неавтономные радиосистемы; радиосистемы счисления пути; радиосистемы навигации по геофизическим полям Земли; радиосистемы навигации по опорным сигналам, излучаемым из точек пространства с известными координатами или с известных орбит.

26. Методы определения местоположения.

Дальномерно-пеленгационный, дальномерный, пеленгационный, разностно-дальномерный методы. Региональные и глобальные РНС, Спутниковые РНС, особенности построения аппаратуры.

27. Местоопределение с помощью РНС.

Линии и поверхности положения, Ошибки линии положения, ошибки определения местоположения на плоскости и в пространстве. Эллипс и эллипсоид ошибок положения. Рабочие зоны РНС.

28. Радиосистемы управления.

Контур следящего управления и его основные звенья. Командное следящее управление. Системы радиотехнического, оптического и теплового самонаведения. Наведение по лучу, автономное радиоуправление.

29. Радиоуправление космическими аппаратами.

Особенности космических радиолиний. Командно-измерительные комплексы. Радиоуправление космическими аппаратами.

## Литература

19. Попов В.П. Основы теории цепей: Учебник для вузов спец. «Радиотехника» М.: Высшая школа, 2005. – 575 с.
20. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов спец. «Радиотехника». - М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.
21. Федосов В.П. Радиотехнические цепи и сигналы: для самостоятельного изучения. Учебное пособие – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 208 с.
4. Радиотехнические системы / Под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Высшая школа, 1990.- 496 с.
5. Справочник по радиолокации. / Под ред. М. Сколника. М.: Сов. радио, 1976.
6. Сосулин Ю.Г.. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. М.: Радио и связь, 1992.-304 с.
7. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов.- М.: Радиотехника, 2004, 320с.
8. Винницкий А.С. Автономные радиосистемы. М.: Радио и связь, 1986.-336 с.
9. Буренин Н.И. Радиолокационные станции с синтезированной антенной. М.: Радио и связь, 1972.-160 с.
10. Коростелев А.А. Пространственно-временная теория радиосистем. – М.: Радио и связь, 1987.
11. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радиолокационные и радионавигационные системы. – М.: Радио и связь, 1994.
12. Ключев Л.Л. Теория электрической связи. Учебное пособие – Минск: Дизайн ПРО, 1998.
13. Сетевые спутниковые радионавигационные системы./ под ред. В.С. Шебшаевича. – М.: Радио и связь, 1993.
14. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами. Учебное пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 2002.
15. Пенин П.И., Филиппов Л.И. Радиотехнические системы передачи информации. – М.: Радио и связь, 1984.

Программу составил зав. кафедрой РТС, к.т.н., доцент В.Т. Лобач

## Программа по специальности

05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»

### 1. ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Природа химической связи в полупроводниках. Структура кристаллов. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: кремния, арсенида галлия.

Поликристаллические и аморфные полупроводники. Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках.

Зона проводимости и валентная зона. Эффективная масса электрона. Собственные и примесные полупроводники. Роль донорных и акцепторных примесей.

Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Распределение Максвелла-Больцмана. Невырожденные и вырожденные полупроводники.

Рекомбинация носителей. Теория рекомбинации Шокли-Рида-Холла. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация.

Электропроводность полупроводников. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна.

Фундаментальная система уравнений полупроводника в диффузионно-дрейфовом приближении. Теплопроводность полупроводников. Термоэлектрические явления. Термо- и гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла.

Электронно-дырочный p-n переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Распределение потенциала в p-n переходе. Токи носителей заряда в p-n переходе, квазиуровни Ферми. Диффузионная и барьерная емкости перехода.

Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Контакт металл-полупроводник. Омический и выпрямляющий контакты Шоттки. Поверхностные состояния. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Полевой эффект в МДП структурах. Емкость МДП-структур.

Поглощение излучения в полупроводниках.

### 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Химическое травление и химическая полировка германия, кремния, арсенида галлия. Химико-механическая полировка.

Физические основы процесса диффузии. Основные уравнения. Граничные условия и расчетные формулы для наиболее важных случаев диффузии. Практические методы проведения диффузионных процессов. Структурные схемы диффузионных печей.

Ионное легирование. Методы получения электронных и ионных пучков. Плазмохимические и ионно-плазменные методы обработки полупроводниковых, диэлектрических и металлических слоев. Конструктивные схемы основных типов оборудования для электронно-ионной и ионно-химической обработки.

Эпитаксия. Практические методы эпитаксиального наращивания. Оборудование для эпитаксиального наращивания пленок.

Термическое окисление кремния в парах воды, в сухом и влажном кислороде, испарение и конденсация в вакууме, анодное окисление, химическое осаждение окисла из газовой фазы.

Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме. Ионное распыление, ионно-плазменное анодирование. Химическое осаждение из газовой фазы. Оборудо-

вание для получения тонких пленок.

Фотолитография. Основные типы оборудования для фотолитографии. Электронолитография, рентгенолитография, ионная литография. Разрешающая способность и максимальное поле изображения.

Методы изоляции элементов полупроводниковых ИС. Изоляция р-п-переходом. Изопланарная технология, эпок-процесс, технология "кремний на изоляторе".

Технология тонко- и толстопленочных ИС.

Сборка и монтаж полупроводниковых приборов и интегральных схем. Корпуса полупроводниковых приборов и интегральных схем. Методы герметизации. Бескорпусные приборы. Методы отвода тепла в полупроводниковых приборах и ИС.

Основные направления совершенствования СБИС.

Надежность элементов ИС. Механизмы отказов. Методы повышения надежности полупроводниковых приборов и ИС.

### 3. ПРИБОРЫ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ, КОМПОНЕНТЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИС

Полупроводниковые диоды. Основные параметры и характеристики диодов, их зависимость от температуры и режима. Эквивалентные схемы. Варикапы. Стабилитроны. Туннельные и обращенные диоды. Лавинно-пролетные диоды. Диоды Шоттки. Диоды Ганна.

Биполярные транзисторы. Структура и принцип действия. Распределение носителей в областях транзистора. Основные параметры и характеристики транзисторов. Эквивалентные схемы и математические модели транзистора. Импульсные и частотные свойства транзисторов. Переходные процессы в транзисторе при работе в ключевом режиме. Шумы в транзисторах.

Тиристоры, принцип их действия и классификация.

Полевые транзисторы: с МДП-структурой, с р-п переходом, с барьером Шоттки. МДП- транзисторы с индуцированным и встроенным каналами. Принцип действия. Основные параметры и характеристики полевых транзисторов. Эквивалентные схемы полевого транзистора. Частотные и импульсные свойства полевого транзистора.

Интегральные микросхемы. Классификация ИС по конструктивно-технологическому и функциональному признакам. Элементы и компоненты тонко- и толстопленочных гибридных ИС. Проектирование пленочных резисторов и конденсаторов. Элементы полупроводниковых ИС на биполярных транзисторах: диоды, разновидности транзисторов, резисторы, конденсаторы; проектирование транзисторов, резисторов, конденсаторов. Элементы ИС на МОП-транзисторах; проектирование топологии элементов МОП-ИС.

Проектирование заказных СБИС на основе библиотечных элементов. Проектирование полузаказных БИС на основе базовых матричных кристаллов. Проектирование СБИС на основе ПЛИС.

Приборы с зарядовой связью.

Фотоприемники: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, лавинные фотодиоды. Полупроводниковые излучатели: светодиоды, электролюминесцентные приборы, лазеры. Оптроны и оптоэлектронные интегральные микросхемы.

Акустоэлектроника.

### 4. МИКРОСХЕМОТЕХНИКА

Аналоговые интегральные схемы.

Источники тока, источники напряжения. Дифференциальный каскад. Операцион-

ные усилители (ОУ).

Цифровые интегральные схемы и их классификация.

Электронные ключи. Дiodные ключи. Ключи на биполярных транзисторах. Ключи на МДП-транзисторах.

Основные законы алгебры логики. Способы представления логических функций. Методы минимизации логических функций. Выполнение арифметических операций. Функционально-полные системы логических элементов. Проектирование логической структуры цифровых микросхем.

Транзисторно-транзисторные логические элементы (ТТЛ, ТТЛШ). Эмиттерно-связанные логические элементы (ЭСЛ). Основные типы логических элементов на МДП-транзисторах с одинаковыми и дополняющими типами проводимости.

Интегральные триггеры, принципы построения и основные характеристики. Комбинационные цифровые ИС. Дешифраторы. Преобразователи кодов. Сумматоры. Последовательностные цифровые интегральные схемы. Регистры. Счетчики.

Полупроводниковые запоминающие устройства (ЗУ). Оперативные ЗУ на биполярных и полевых транзисторах. Основные типы запоминающих элементов (ЗЭ). Динамические ЗУ, их организация и структура. Постоянные ЗУ (ПЗУ). Программируемые ЗУ. Программируемые логические матрицы и ПЛИС.

## 5. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ (Для специализации в области приборов СВЧ)

Эквивалентное представление ячейки передающей линии и вывод волнового уравнения для комплексных амплитуд напряжения и тока. Комплексная постоянная распространения. Падающая и отраженные волны. Волновое сопротивление. Фазовая скорость и длина волны в линии. Коэффициенты отражения. Коэффициент стоячей волны. Круговая диаграмма.

Общие свойства и основные типы волн в волноводах, и коаксиальных и полосковых линиях. Волноводно-щелевые и диэлектрические волноводы. Основные типы и параметры резонатора. Добротность резонаторов и методы ее измерения.

Направляющие элементы СВЧ трактов (мостовые устройства и направленные ответвители). Фазовращатели и коммутаторы СВЧ. Полосовые фильтры на микрополосковых линиях. Фильтры верхних и нижних частот. Определение числа звеньев фильтра для случаев аппроксимации Чебышева и Баттерворташ.

Варакторные диоды СВЧ, рin-диоды, диоды с барьером Шоттки, туннельные и обращенные диоды. Лавинно-пролетные диоды, инжекционно-пролетные диоды и диоды Ганна. СВЧ генераторы, усилители, умножители и преобразователи частоты на лавинно-пролетных диодах и диодах Ганна. СВЧ биполярные и полевые транзисторы и их специфика. Эквивалентные схемы СВЧ транзисторов и их применение. Тенденции развития современных полупроводниковых СВЧ приборов и устройств. Полупроводниковые приборы на размерных квантовых эффектах.

## 6. ПРИБОРЫ НА КВАНТОВЫХ ЭФФЕКТАХ. НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Нанотехнология. Нанoeлектроника.

Принцип неопределенности. Квантование энергии электронов в потенциальной яме. Туннельный эффект. Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Режимы работы СТМ. Основные принципы туннельно-зондовой нанотехнологии.

Сверхрешетки. Энергетические диаграммы сверхрешеток.

Особенности прохождения электронов через наноразмерные структуры. Понятия о квантовых ямах, потенциальных барьерах, квантовых проволоках и точках. Туннельные транзисторы. Гетеропереходные структуры с высокой подвижностью носителей на основе

GaAs. Транзисторы на горячих электронах. Резонансно-туннельный диод. Транзисторы с резонансным туннелированием.  
Одноэлектроника.  
Квантовые вычисления. Квантовые принципы обработки и передачи информации.  
Кубит.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х кн. М.: Мир, 1984.
3. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. М.: Лаборатория базовых знаний, 2000.
4. Технология СБИС. В 2-х кн. Под ред. С. Зи. М.: Мир, 1986.
5. Булычев А.Л. и др. Электронные приборы. - М.: Лайт Лтд., 2000.
6. Малышев В.А. Бортовые активные устройства СВЧ, Л.: Судостроение, 1990.
7. Прянишников В.А. Электроника. С-Пб.: КОРОНА принт, 2000.
8. Быстров Ю.А., Гамкрелидзе С.А., Иссерлин Е.Б., Черепанов В.П. Электронные приборы и устройства на их основе: Справочная книга.- М.: ИП РадиоСофт, 2002.
9. Мухин Ю.А. Приборы и устройства полупроводниковой оптоэлектроники: Учеб. пособие под ред. В.Н.Бодрова, Г.И.Обидина. М.:Изд-во МЭИ, 1996.
10. Алексенко А.Г. Основы микросхемотехники. - М.:Физматлит, 2002.
11. Абрамов И.И., Новик Е.Г. Численное моделирование металлических одноэлектронных транзисторов. Минск: Беспринг, 2000.
12. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. - М., Изд 2-е - 2001 г.
13. Драгунов В.Г., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники. Новосибирск: Издательство НГТУ, 2000.
14. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем/ под ред. А.Я. Шика. – С-ПБ: Наука, 2001.
15. Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. Физика квантовой информации. М.: Постмаркет, 2002.
16. Уайтсайлмс Дж, Эйглер Д. и др. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований. /под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Амевисатоса. М.: Мир, 2002.

Программа одобрена на заседании Совета факультета электроники и приборостроения (ФЭП) 2 апреля 2012 г., протокол № 5.

**Специальность 05.13.18**  
**«Математическое моделирование, численные методы**  
**и комплексы программ»**

**1. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ**

*1.1. Погрешность результата численного решения задачи*

Источники погрешности. Методологическая, трансформированная, методическая, инструментальная и динамическая погрешности.

Абсолютная и относительная формы представления погрешности. Запись чисел в ЭВМ. Формы записи данных.

*1.2. Интерполирование и аппроксимация*

Линейные множества. Линейно-независимые системы элементов. Задача интерполирования.

Интерполяционный многочлен Лагранжа. Построение интерполяционного многочлена Лагранжа. Интерполяционный многочлен Лагранжа для равноотстоящих узлов. Погрешности интерполяционной формулы Лагранжа.

Линейная интерполяция. Интерполяционный многочлен Ньютона. Интерполяционная формула Ньютона для равных и неравных промежутков. Погрешности многочлена Ньютона.

Применение интерполяции.

Эрмитова интерполяция. Интерполяционный многочлен Эрмита. Сходимость интерполяционного процесса.

Понятие нелинейной интерполяции.

Сплаины. Интерполяция сплайнами.

Многомерная интерполяция. Общие сведения.

Наилучшее приближение. Линейная аппроксимация. Метод наименьших квадратов. Нелинейная аппроксимация.

Равномерное приближение. Наилучшие приближения. Нахождение равномерных приближений.

*1.3. Численное дифференцирование и интегрирование*

Полиномиальные формулы, простейшие формулы. Метод Рунге - Ромберга.

Полиномиальная аппроксимация. Постановка задачи. Формулы трапеций. Формула Симпсона. Формула средних. Формула Эйлера. Процесс Эйткена. Формулы Гаусса – Кристофеля. Формулы Маркова. Сходимость квадратурных формул.

Квадратные интегралы. Метод ячеек. Последовательное интегрирование.

Метод статистических испытаний. Случайные величины. Разыгрывание случайной величины. Вычисление интеграла. Уменьшение дисперсии. Кратные интегралы. Другие задачи.

*1.4. Решение систем уравнений*

Линейные системы. Задачи линейной алгебры. Метод исключения Гаусса. Определитель и обратная матрица. Другие прямые методы решения систем уравнений. Прогонка. Метод квадратного корня.

Плохо обусловленные системы.

Уравнение с одним неизвестным. Исследования уравнений. Дихотомия. Метод простых итераций. Метод Ньютона. Процессы высоких порядков. Метод секущих. Метод парабол. Метод квадрирования.

*1.5. Приближенное решение обыкновенных дифференциальных уравнений*

Задача Коши и ее решение. Интегрирование дифференциальных уравнений с помо-

щью степенных рядов. Метод численного интегрирования. Конечно-разностные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Особенности конечно-разностных методов.

Интерполяционно-итерационные методы численного интегрирования. Интерполяционные формулы. Метод последовательных приближений. Методы с заданным числом итераций.

Экстраполяционный метод численного интегрирования. Особенности метода.

Экстраполяционно-интерполяционный метод численного интегрирования. Организация вычислений на начальном участке. Сравнение экстраполяционного и экстраполяционно-интерполяционного методов.

Метод Эйлера. Модификация метода Эйлера. Метод Рунге-Кутты. Метод Адамса.

#### *Литература:*

1. Калиткин Н.Н. Численные методы. – М.: Гл. ред. физ.- мат. литературы. Изд-во "Наука", 1978. - 512с.
2. Бахвалов Н.С. Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения). - М.: Гл. ред. физ.- мат. литературы. Изд-во "Наука", 1973. - 632с.
3. Пьявченко О.Н. Системное проектирование микропроцессорных устройств цифровой обработки информации. – Таганрог, Изд-во ТРТУ, 1996. – 91с.
4. Пьявченко О.Н. Конечно-разностные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений в микрокомпьютерах. – Таганрог, Изд-во ТРТУ, 2000. – 96с.
5. Березин И. С., Жидков Н.П. Методы вычислений, т.1. - М.: Гл. ред. физ.мат. литературы. Изд-во "Наука", 1966. - 632с.
6. Демидович Б.П. Численные методы анализа. - М.: Гос. изд-во физ.- мат. литературы, 1963. - 400с.

## **2. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ**

### *2.1. Введение*

Моделирование как метод научного познания. Основные виды научных исследований. Моделирование систем.

Основные понятия моделирования. Определение понятия "модель". Особенности и области применения математического, машинного, натурального и полунатурного моделирования.

Обоснование корректности моделей. Основы теории подобия и верификации моделей.

Использование моделирования при решении научно-исследовательских задач. Моделирование в решении задач информатики. Теоретико-множественное понятие модели объекта. Формализация. Классификация моделей. Имитационное моделирование.

### *2.2. Математические схемы моделирования систем.*

Основные подходы к построению математических моделей систем.

Непрерывно - детерминированные системы (D - схемы).

Дискретно - детерминированные системы (F - схемы).

Дискретно - стохастические модели (P - схемы).

Непрерывно - стохастические модели (Q - схемы).

Обобщенные модели (A – схемы).

### *2.3. Методы обработки и визуализации данных.*

Основные характеристики и особенности массивов информации при моделировании. Размерность, качественные и количественные признаки, способы представления, механизмы и модели порождения данных, общая схема и основные этапы анализа данных.

Задача статистического оценивания параметров. Свойства статистических оценок. Методы статистического оценивания параметров. Использование априорной информации

(байесовский подход).

Статистическая проверка гипотез. Основные типы гипотез, проверяемых в ходе статистической обработки данных. Общая схема статистического критерия. Построение статистического критерия, принцип отношения правдоподобия. Характеристики качества статистического решения.

Методы структуризации данных. Задача классификации, механизмы порождения классификаций. Различные модели распознавания образов. Кластер-анализ, вариационный и статистический подходы, основные типы алгоритмов, проблема выбора числа классов.

Методы структуризации параметров. Модели и методы факторного анализа, алгоритмы экстремальной группировки, выбор числа групп, нелинейные модели, особенности методов структуризации качественных признаков.

Методы отображения и визуализации многомерных данных, методы и модели многомерного шкалирования, особенности использования алгоритмов для различных типов данных, связь методов многомерного шкалирования и методов классификации.

Методы аппроксимации сложных зависимостей, построение прогностических и нормативных моделей. Регрессионные линейные и нелинейные модели. Методы кусочной аппроксимации зависимостей. Структурные регрессионные уравнения. Методы структурной минимизации эмпирического риска в задаче аппроксимации зависимостей.

Методы анализа экспериментальных кривых, специфика проблемы и основные подходы к ее решению. Сегментация кривых.

Методы первичной обработки данных. Шкала измерений. Унифицированное представление разнотипных данных. Методы восстановления пропущенных наблюдений. Анализ резко выделяющихся наблюдений. Погрешности дискретизации и квантования в задачах интерполяции сигналов, статистической обработки данных. Снятие данных.

#### *2.4. Особенности использования ЭВМ при моделировании.*

Основные этапы моделирования. Предварительное исследование моделируемого объекта. Постановка задачи и определение типа модели. Требования к модели. Построение концептуальной модели системы и ее формализации. Построение математической, алгоритмической и программной модели исследуемой системы. Проведение моделирования и интерпретация результатов. Метод статистического моделирования систем.

Программные и технические средства моделирования систем. Языки программирования для моделирования систем. Сравнительный анализ для языков имитационного моделирования. Инструментальные программные средства моделирования. Моделирующие комплексы различных видов. Особенности фиксации и статистической обработки результатов моделирования систем на ЭВМ. Анализ и интерпретация результатов моделирования системы. Особенности обработки результатов моделирования при синтезе систем.

Особенности применения ЭВМ при постановке и проведении моделирования. Одноуровневые и иерархические структуры. Особенности гибридного моделирования сложных динамических объектов.

Научный, инженерный и промышленный эксперимент как средство построения или уточнения математической модели исследуемого объекта или явления.

Требования к аппаратным и программным средствам ЭВМ с точки зрения их использования при проведении моделирования.

Особенности постановки и проведения машинных исследований моделей сложных систем на многопроцессорных и многомашинных вычислительных комплексах.

#### *Литература*

1. Советов Б. Я. Моделирование систем. - М.: Высшая школа, 1985г.
2. Бусленко Н.П. Моделирование систем. - М.: Наука, 1978г.
3. Бусленко Н.П. Метод статистического моделирования. - М.: Статистика, 1970г.
4. Полляк Ю.Г. Вероятностное моделирование на ЭВМ.- М.: Статистика, 1971г.
6. Снапелев Ю.М., Старосельский В.А. Моделирование и управление в сложных си-

стемах. - М.: Советское радио, 1974г.

7. Асатурян В.И. Теория планирования эксперимента. - М.: Радио и связь, 1983г.

8. Варшавский В. Г. Коллективное поведение автоматов. - М.: Наука, 1973.

10. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике// М.; Советское радио, 1971. -328 с.

11. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука// М.: Мир, 1978.

12. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко Н.Н. Лекции по теории сложных систем. - М.: Советское радио, 1973.

### 3. Методы математического программирования и проектирования программных систем

#### 3.1. Основы теории программирования

Основные понятия: буквы, связи, оболочки, конструкции. Слова, алфавиты, классификация конструкций.

Элементы теории формальных языков. Синтаксис формального языка. Семантика формального языка.

Формальные грамматики. Формальные языки, порождаемые индуктивными грамматиками. Формальные языки, порождаемые дедуктивными грамматиками. Связи между индуктивными и дедуктивными грамматиками. Формальная семантика формального языка. Сущность трансляции.

Система счисления. Позиционные системы счисления. Перевод чисел из одной системы счисления в другую.

Элементы математической логики. Понятие логических связей, логического значения и высказывания. Двоичные функции и алгебро-логические операции. Основные свойства алгебро -логические операций и логических связей. Полные системы алгебро -логические операций и логических связей.

Понятие предиката.

#### 3.2. Элементы теории алгоритмов.

Понятие алгоритма. Первичные алгоритмы. Понятие операции. Полное определение алгоритма. Локальные операции над конструкциями. Локальные первичные алгоритмы. Коллектив алгоритмов.

Язык логических схем (ЯЛС). Алфавит, первичная структура языка логических схем. Язык операндов, связанных с языком логических схем. Элементарные операторы. Операторы, их классы, применяемые в языке логических схем. Запись алгоритма на ЯЛС.

Логическая схема и расшифровка операторов.

Правила выполнения алгоритма. Выражения, замыкания операторов. Обобщенные операторы. Совмещение алгоритмов.

Равносильные преобразования алгоритмов

Понятие равносильности алгоритмов. Комплексы. Равносильные преобразования.

Однородный комплекс. Эквивалент однородного комплекса. Распознавание равносильности однородных комплексов с помощью их эквивалентов.

Полная система равносильных преобразований однородных комплексов. Действия над однородными комплексами.

Основные равносильные преобразования алгоритмов, заданных на ЯЛС.

Основные преобразования логических операторов. Равносильные преобразования не-логических операторов. Перестановка операторов. Подчиненность оператора предикату.

#### 3.3. Линейное программирование

Общая постановка задачи линейного программирования. Канонический вид задачи линейного программирования. Симплекс – метод. Симплекс – метод при заданной

начальной таблице. Получение начальной вершины. Вырожденный случай и его рассмотрение при помощи симплекс-метода. Двойственность в линейном программировании. Модифицированные методы, дополнительное изменение задачи.

Линейная транспортная задача. Отыскание начального решения. Транспортный метод.

**Целочисленное линейное программирование**. Постановка задачи. Геометрическая интерпретация. Метод сечений Гомери. Чисто целочисленные задачи линейного программирования. Смешанно-целочисленные задачи линейного программирования.

Метод разветвлений.

Сравнение методов.

Типичные применения линейного программирования: использование производственных площадей, задача о смесях, задача планирования, распределения ресурсов.

3.4. Методы проектирования программ

**Метод организации данных**. Типы данных. Уровни организации данных. Уровень логической организации данных. Представление данных. Физические организации данных. Документирование данных.

**Оптимизация программ**. Экономия памяти. экономия времени. Повышение эффективности программ. Средства оптимизации. Документирование показателей эффективности программы.

Реализация программного модуля. Подходы реализации. Реализация данных. Реализация ввода-вывода. Реализация управления. Сложность программы. Оформленные программы. Исключительные средства, используемые при реализации.

**Проектирование модулей**. Структурированные алгоритмы. Схема передачи управления. управляющие таблицы. Документация модулей.

Структурное программирование. Основные положения. Терминология и обозначения. Структурированная программа. Теория о структурировании. Процесс структурного проектирования. Структурное программирование и корректность программ.

Языки программирования и структурное проектирование. Технология структурного программирования.

3.5. Общие принципы построения вычислительных сетей

Определение вычислительной сети. Эволюция вычислительных систем. Система пакетной обработки. Многотерминальные системы – прообраз сети. Появление глобальных сетей. Первые локальные сети. Создание стандартных технологий локальных сетей. Современные тенденции.

Вычислительные сети – частный случай распределенных систем. Мультипроцессорные компьютеры. Многомашинные системы. Вычислительные сети. Распределенные программы.

Основные программные и аппаратные компоненты сети.

Основные проблемы построения сетей. Связь компьютера с периферийными устройствами. Простейший случай взаимодействия двух компьютеров. Проблемы физической передачи данных по линиям связи. Проблемы объединения нескольких компьютеров. Топология физических связей. Организация совместного использования линий связи. Адресация компьютеров. Ethernet – пример стандартного решения сетевых проблем. Структуризация как средство построения больших сетей. Физическая структуризация сети. Логическая структуризация сети. Сетевые службы.

#### Литературы.

1. Зиглер К. Методы проектирования программных систем. – М.: Мир, 1985.-328с.
2. Майерс Г. Искусство тестирования программ. – М.: Финансы и статистика, 1982 – 148с.
3. Гудман С., Хидетниема С. Введение в разработку и анализ алгоритмов. – М.: Мир, 1981.- 368с.
4. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения. – М.: Конкорд, 1992. – 519с.
5. Брукс Ф. Мифический человек - месяц или как создаются программные системы. – СПб.: Символ-Плюс, 1999.-304с.
6. Криницкий Н.А. Миронов Г.А., Фролов Г.Д. Автоматизированные информационные системы. - М.: Наука. Гл. ред. физ. - мат. лит., 1982-384с.
7. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. / В.Г.Олифер, Н.А.Олифер. – СПб.: Издательство «Питер», 2000. – 772с.
8. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. - СПб.: Издательство «Питер», 1999. – 704с.

#### Составили:

д.т.н., профессор Пьявченко О.Н.  
к.т.н., доцент Клевцов С.И.

Руководитель направления подготовки  
аспирантов по направлению  
11.06.01 - «Электроника, радиотехника и системы связи»  
д.т.н., проф.

Ю.В.Юханов