

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

/Д.С. Гуц/

«30» октября 2023 года

ПРОГРАММА
вступительного испытания для поступающих в аспирантуру
2.2 Электроника, фотоника, приборостроение и связь
шифр и наименование группы научных специальностей

2.2.16 Радиолокация и радионавигация
шифр и наименование научной специальности

Красноярск 2023

Введение

Настоящая программа базируется на вузовских дисциплинах: радиолокационные системы, радионавигационные системы, теория радиолокации, радиотехнические цепи и сигналы; схемотехника аналоговых электронных устройств; цифровые устройства и микропроцессоры; электроника; устройства генерирования и формирования сигналов; устройства приема и преобразования сигналов; вычислительные устройства и системы; радиотехнические системы; статистическая теория радиотехнических систем.

Программа разработана Сибирским федеральным университетом на основе программы - минимум кандидатского экзамена по специальности 2.2.16. «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

1. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

1.1. Статистическая теория обработки сигналов в радиотехнических системах.

Сообщения, сигналы и помехи. Передача, извлечение и разрушение информации. Радиосигналы. Радиосигналы с амплитудной и угловой (частотной и фазовой) модуляцией и их спектры. Радиосигналы со сложной (смешанной) модуляцией и их спектры.

Шумы и помехи как случайные процессы. Плотности распределения вероятностей, характеристические функции и функции распределения случайных процессов. Энергетические характеристики случайных процессов. Моментные и корреляционные функции. Спектральная плотность. Свойства корреляционных функций. Теорема Винера-Хинчина. Стационарность и эргодичность случайных процессов. Автокорреляционные и взаимные корреляционные функции. Непрерывность и дифференцируемость случайных процессов. Интегрирование случайных процессов. Гауссовский случайный процесс и его характеристики. Процессы близкие к гауссовскому. Импульсные и точечные случайные процессы. Марковские процессы.

Узкополосные случайные процессы. Статистические характеристики огибающей, фазы и их производных для суммы сигнала и узкополосного шума. Выбросы случайных процессов.

Критерии и решающие правила оптимального обнаружения: критерий Байеса, минимаксный критерий, критерий Неймана-Пирсона, критерий Вальда и др. Показатели качества обнаружения сигналов. Методы синтеза оптимальных обнаружителей. Обнаружение детерминированных и квазидетерминированных сигналов на фоне «белого» шума. Обнаружение пачек когерентных и некогерентных радиоимпульсов в «белом» шуме. Корреляционная, фильтровая и корреляционно-фильтровая обработка сигналов. Обнаружение детерминированных и квазидетерминированных сигналов, в том числе и многоканальное, на фоне гауссовых коррелированных помех. Обесцвечивающие фильтры.

Обнаружение сигналов в негауссовых помехах.

Обнаружение пространственно-временных сигналов, многоканальная схема обработки. Условия разделения пространственно-временной обработки на отдельные пространственную и временную. Пространственный фильтр и коррелятор. Реализация пространственных фильтров и корреляторов с помощью ФАР.

Информативные и неинформативные параметры сигналов. Оценки параметров сигналов. Байесовские и небайесовские оценки и их свойства. Оценка максимального правдоподобия и ее свойства. Неравенство Крамера-Рао. Потенциальная точность измерения параметра. Многоканальный и следящий измерители. Оценивание энергетических и неэнергетических параметров сигнала на фоне «белого» шума. Функция рассогласования сигнала и ее связь с потенциальной точностью измерений.

Оценивание времени запаздывания, частоты и фазы различных моделей сигнала. Оценивание параметров стохастических сигналов.

Виды оценивания: фильтрация, интерполяция и экстраполяция. Байесовские правила оценивания. Марковская аппроксимация сигналов. Стохастическое уравнение оптимальной фильтрации (уравнение

Стратоновича). Линейная фильтрация. Непрерывный и дискретный фильтр Калмана. Нелинейная фильтрация. Синтез алгоритмов методом гауссовского приближения. Оценочно-корреляционная обработка сигналов.

Параметрическая и непараметрическая априорная неопределенность. Методы синтеза алгоритмов обработки при параметрической априорной неопределенности. Адаптивные алгоритмы. Адаптивные многоканальные (в том числе двухканальные) компенсаторы помех с корреляционной обратной связью. Автокомпенсаторы коррелированных помех. Методы синтеза алгоритмов при непараметрической априорной неопределенности. Использование знаковых, порядковых и ранговых статистик для обнаружения сигналов. Робастное оценивание параметров сигнала. Оценки типа максимального правдоподобия (М-оценки). Робастное обнаружение. Адаптивно-робастное обнаружение.

Робастное оценивание времени запаздывания, частоты и фазы различных моделей сигнала.

Общие сведения о разрешении и распознавании сигналов (объектов). Характеристики (признаки) объектов и сигналов, используемые для разрешения и распознавания. Взаимосвязь задач разрешения и распознавания. Показатели качества разрешения и распознавания и решающие правила. Упрощенная процедура распознавания. Алгоритмы разрешения и распознавания детерминированных и квазидетерминированных сигналов. Связь разрешающей способности с функцией рассогласования. Меры разрешающей способности. Разрешающая способность по времени запаздывания и по частоте.

Цифровые методы обработки сигналов. Дискретизация сигналов по времени и квантование по уровню. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и выбор параметров кода. Методы синтеза алгоритмов и устройств цифровой обработки сигналов. Цифровая фильтрация и цифровые фильтры. Ошибки квантования и округления. Методы расчета цифровых фильтров. Коэффициент передачи и импульсная характеристика цифровых фильтров. Цифровая фильтрация во временной и частотной областях. Цифровой

спектральный анализ. Быстрое преобразование Фурье. Цифровая обработка многомерных сигналов и изображений.

Искусственные нейронные сети (ИНС). Обучающиеся и самообучающиеся ИНС. Обработка сигналов с помощью ИНС. Распознавание сигналов и образов объектов с помощью ИНС.

2.РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.

2.1.Системы и устройства радиолокации.

Области применения и задачи радиолокации. Виды радиолокации. Обзор пространства. Виды обзора, зона обзора и время обзора.

Физические основы радиолокации. Эффективная площадь рассеяния (ЭПР) целей. Поляризационная матрица рассеяния. Модели реальных точечных и протяженных целей. Наблюдаемость точечных целей на фоне протяженных (радиолокационный контраст).

Дальность действия РЛС. Влияние атмосферы и подстилающей поверхности на дальность действия РЛС.

Устройства обнаружения (обнаружители) радиолокационных сигналов. Структуры обнаружителей. Обнаружители пачек когерентных и некогерентных радиоимпульсов на фоне шума и коррелированных помех. Цифровые обнаружители. Знаковые, ранговые, робастные и адаптивные обнаружители. Методы стабилизации уровня ложных тревог. Пороговая мощность радиолокационного сигнала.

Разрешающая способность по дальности, угловым координатам и скорости. Выбор зондирующего сигнала.

Простые и сложные сигналы. Двумерная корреляционная функция (ДКФ) зондирующего сигнала. Функция неопределенности (ФН) и диаграмма неопределенности (ДН) радиолокационных сигналов.

Методы измерения координат и параметров движения целей. Следящие и несledящие измерители.

Фазовые, частотные и импульсные дальномеры. Радиодальномеры со сложными сигналами. Пределы однозначного измерения, разрешающая способность и точность радиодальномеров.

Измерители радиальной скорости целей. Пределы однозначного измерения, разрешающая способность и точность измерителей скорости.

Амплитудные и фазовые одноканальные пеленгаторы. Амплитудные, фазовые и суммарно-разностные моноимпульсные пеленгаторы. Пределы однозначного измерения, разрешающая способность и точность пеленгаторов.

Измерители угловых скоростей.

Пассивные, активные и комбинированные помехи. Характеристики помех. Борьба с пассивными помехами. Селекция движущихся целей (СДЦ). Когерентно-импульсные РЛС. Режекция пассивных помех с помощью гребенчатых фильтров (РГФ). Цифровые РГФ. Качество подавления помех .

РЛС с синтезированной апертурой (РСА). Выбор параметров РСА и структуры цифровой обработки. Радиоинтерферометры со сверхдлинной базой. Апертурный синтез. Радиовидение.

Пространственно-временная обработка сигналов. Автокомпенсаторы активных помех.

Вторичная обработка радиолокационной информации. Обнаружение и сопровождение траекторий. Калмановская фильтрация траекторий.

Многопозиционная радиолокация.

Обнаружение сигналов теплового радиоизлучения. Схемы радиометров. Методы и устройства измерения координат источников теплового радиоизлучения.

Подповерхностная радиолокация.

Нелинейная радиолокация.

2.2. Системы и устройства радионавигации.

Методы определения местоположения объекта и способы вывода его в заданную точку пространства. Принципы радионавигации и методы технической реализации радионавигационных систем (РНС) и устройств(РНУ). Методы радиоуправления в радионавигации. Элементы теории автоматического управления объектами. Контур следящего управления и его основные звенья.

Командное следящее радиоуправление, автономное радиоуправление, радиоуправление при наведении по лучу, управление космическими аппаратами. Особенности радиолиний управления объектами.

Автономные РНС: системы счисления пути. Радиосистемы навигации по геофизическим полям Земли. Радиовысотометры и доплеровские измерители скорости и угла сноса летательных аппаратов (ДИС).

Корреляционно-экстремальные измерители скорости. Обзорно-сравнительные радионавигационные системы. Системы навигации по рельефу и карте местности.

Комплексирование навигационных систем с радиотехническими и нерадиотехническими датчиками. Интегрированные РНС.

Радиосистемы дальней навигации (РСДН). Построение глобальных и региональных РСДН. Фазовые и импульсно-фазовые РСДН, использующие дальномерные и разностно-дальномерные методы определения местоположения. Погрешности РСДН.

Спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Передача сведений об орбитах спутников потребителю для целей навигации. Особенности построения и функционирования СРНС. Влияние атмосферы и космической среды на характеристики СРНС. Методы определения местоположения в СРНС: доплеровский, дальномерный, разностно-дальномерный.

Радиосистемы ближней навигации (РСБН). Радиосистемы посадки летательных аппаратов.

Точность определения местоположения в позиционных РНС. Линии и поверхности положения. Ошибки линий положения. Ошибки определения местоположения на плоскости и в пространстве. Эллипс и эллипсоид ошибок положения. Рабочие зоны РНС. Геометрический фактор.

2.3. Особенности передачи информации в многопозиционных радиолокационных и радионавигационных системах.

Задачи передачи информации. Радиолинии. Диапазон радиоволн в системах передачи информации. Виды радиосистем передачи информации

(РСПИ): связные, телеметрические и командные. Канал связи и его характеристики. Пропускная способность канала. Структура радиосигналов. Методы модуляции и кодирования. Защита информации. Критерии качества РСПИ. Цифровые РСПИ.

2.4. Системы и устройства разрушения информации.

Область применения и задачи систем разрушения информации (радиоэлектронной борьбы –РЭБ).

Радиотехническая разведка (РТР). Построение систем и устройств РТР. Определение параметров радиосигналов радиотехнических систем различного назначения средствами РТР. Методы определения местоположения радиоэлектронных систем (РЭС). Эффективность средств РТР.

Методы и средства разрушения информации. Генераторы активных помех. Виды активных помех: заградительные, прицельные, ответные и имитационные.

Радиоэлектронная маскировка. Характеристики качества радиомаскировки. Скрытность и незаметность. Общие методы маскировки объектов и уменьшения радиоконтраста РЭС. Использование широкополосных (ШПС) и сверхширокополосных сигналов (СШПС). Маскировка с помощью пассивных помех.

Основные организационные методы помехозащиты. Изменение параметров радиосигнала в процессе работы, борьба с помехами с помощью устройств селекции радиосигналов.

Защита РЭС от воздействия средств поражения.

Эффективность средств РЭБ.

2.5. Радиолокационные устройства в биологии, медицине, метрологии и других отраслях.

Задачи локационных устройств и устройств точного позиционирования в биологии, медицине, метрологии и других отраслях. Использование ультразвуковых сигналов для медицинской диагностики и дефектоскопии.

Медицинские телевизионные устройства, устройства СВЧ, радиометрии, интроскопии, томографии, кардиографии и т.п.

2.6. Проектирование и конструирование радиоэлектронных средств.

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

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

3. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА.

3.1. Излучение, распространение и прием радиоволн.

Уравнения Максвелла. Граничные условия. Энергия электромагнитного поля. Свободные электромагнитные волны и решение однородных уравнений электродинамики. Плоские волны на границе раздела однородных сред. Рефракция радиоволн в неоднородных средах. Решение электродинамической задачи рассеяния радиоволн на телах заданной формы. Распространение радиоволн в природных условиях. Явления дифракции и интерференции.

Канализация радиоволн. Волноводы и фидеры. Теория цепей СВЧ. Электромагнитные резонаторы. Взаимные и невзаимные устройства СВЧ. Элементы теории антенн. Типы направляющих систем. Элементарные излучатели. Ближняя и дальняя зоны. Приемная и передающая антенны, их параметры и характеристики. Влияние вида распределения электромагнитного поля в раскрыве антенны на основные параметры антенн.

Техническая реализация антенн в различных диапазонах радиоволн.

3.2. Устройства генерирования и формирования сигналов.

Генераторы и автогенераторы в РЛС и РНС. Режимы самовозбуждения, их особенности. Стабильность частоты и методы ее

повышения. Стабилизация с помощью высокочастотных колебательных систем (резонаторов). Кварцевые генераторы. Квантовые эталоны частоты. Умножители частоты. Синтезаторы частот. Факторы, ограничивающие мощность генераторов. Суммирование мощностей генераторов.

Управление колебаниями (модуляция) в РЛС и РНС. Основы теории линейной и нелинейной модуляции (манипуляции).

Генерация и усиление СВЧ колебаний. Основные типы генераторов и усилителей СВЧ в РЛС и РНС.

3.3. Устройства приема и преобразования сигналов.

Основные типы радиоприемных устройств в РЛС и РНС. Узлы радиоприемников, их схемные решения и расчет. Преобразователи частоты сигналов, смесители и гетеродины. Частотный план радиоприемника. Детекторы сигналов: амплитудные, частотные и фазовые. Усилители различных частотных диапазонов. Автоматические регулировки в радиоприемниках. Элементная база радиоприемных устройств. Методы проектирования радиоприемников. Моделирование радиоприемников и их элементов. Вторичные источники электропитания.

Рекомендуемая основная литература:

1. Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов.—5-е изд., перераб. и доп. -М.: Радио и связь, 1994.
2. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. —М.: Радио и связь, 1991.
3. Ярлыков М.С., Миронов М.А. Марковская теория оценивания случайных процессов.—М.: Радио и связь, 1993.
4. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ.—М.: Высш. шк., 1990.
5. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для вузов./ Под ред. Воскресенского Д.И.—М: Издательство МАИ, 1999.
6. Коновалов Г.Ф. Радиоавтоматика: Учебник для вузов.—М: «ИПРЖР» 2004.
7. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: Учеб. пособие для вузов.—М.: Радио и связь, 1992.

8. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радиолокационные и радионавигационные системы. –М.: Радио и связь, 1994.
9. Сетевые спутниковые радионавигационные системы./ Под ред. Шабшаевича В.С.-М.: Радио и связь, 1993.
10. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. –М.: Радио и связь., 1993.
11. Основы радиоуправления: Учеб. пособие для вузов./ Под ред. Вейцеля В.А.-М.: Радио и связь, 1995.
12. Демин В.П., Куприянов А.И., Цветнов В.В. Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие. –М.: Издательство МАИ, 1998.
13. Устройства генерирования и формирования радиосигналов./Под ред. Уткина Г.М., Благовещенского М.В., Кулешова В.Н.–М.: Радио и связь, 1994.
14. Радиотехнические системы передачи информации./ Под ред. Калмыкова В.В.-М.: Радио и связь, 1990.
15. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. –Учебник для вузов. «Радиотехника», 2004.

Дополнительная литература:

1. Самойленко В.И., Пузырев В.А., Грубрин И.В. Техническая кибернетика: Учеб. пособие для вузов. –М: Издательство МАИ, 1994.
2. Радиотехнические системы: Учебник для вузов./ Под ред. Казаринова Ю.М.-М.: Высш. шк., 1990.
3. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей.: Пер. с англ. –М.: Радио и связь, 1993.
4. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория.: Справочник./ Под ред. Ширмаана Я.Д.–М.: ЗАО «МАКВИС», 1998.
5. Демин В.П., Куприянов А.И., Цветнов В.В. Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита. –М.: Издательство МАИ, 1999.
6. Спутниковая связь и вещание./ Под ред. Кантора Л.Я. Справочное издание.–М.: Радио и связь, 1997.
7. Окунев Ю.Б. Цифровая передача информации фазоманипулированными сигналами. -М.: Радио и связь, 1991.23. Цифровые процессоры обработки сигналов.: Справочник. / Под ред. Остапенко А.Г..-М.: Радио и связь, 1994.

8. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – Киев: Издательство ВЦ, 2000.
9. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. Учебное пособие.–М.: Радиотехника, 2003.
10. Перунов Ю.М., Фомичев К.И., Юдин Л.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием./Под ред. Ю.М. Перунова.,–М: Радиотехника. 2003.

Перечень вопросов к экзамену

1. Разложение произвольного сигнала по заданной системе ортогональных функций.
2. Спектры периодических и непериодических сигналов. Теорема отсчетов Котельникова в частотной области.
3. Радиосигналы. Радиосигналы с амплитудной и угловой (частотной и фазовой) модуляцией и их спектры.
4. Свойства корреляционных функций. Теорема Винера-Хинчина
5. Гауссовский случайный процесс и его характеристики. Процессы близкие к гауссовскому.
6. Линейные и нелинейные цепи и устройства. Методы анализа стационарных и переходных режимов в радиотехнических цепях, устройствах и динамических системах.
7. Шумы и помехи как случайные процессы. Плотности распределения вероятностей, характеристические функции и функции распределения случайных процессов.
8. Критерии и решающие правила оптимального обнаружения: критерий Байеса, минимаксный критерий, критерий Неймана-Пирсона, критерий Вальда и др.
9. Показатели качества обнаружения сигналов. Методы синтеза оптимальных обнаружителей.
10. Фильтровая и корреляционно-фильтровая обработка сигналов.
11. Области применения и задачи радиолокации. Виды радиолокации. Обзор пространства. Виды обзора, зона обзора и время обзора.
12. Физические основы радиолокации. Эффективная площадь рассеяния (ЭПР)
13. Дальность действия РЛС. Влияние атмосферы и подстилающей поверхности на дальность действия РЛС.
14. Устройства обнаружения (обнаружители) радиолокационных сигналов. Структуры обнаружителей. Обнаружители пачек когерентных и некогерентных радиоимпульсов на фоне шума и коррелированных помех.
15. Разрешающая способность по дальности, угловым координатам и скорости. Выбор зондирующего сигнала.
16. Методы измерения координат и параметров движения целей.
17. Селекция движущихся целей (СДЦ). Когерентно-импульсные РЛС.
18. Режекция пассивных помех с помощью гребенчатых фильтров (РГФ). Цифровые РГФ. Качество подавления помех
19. Пространственно-временная обработка сигналов. Автокомпенсаторы активных помех.

20.. Методы определения местоположения объекта и способы вывода его в заданную точку пространства. Принципы радионавигации и методы технической реализации радионавигационных систем (РНС)

21. Спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Передача сведений об орбитах спутников потребителю для целей навигации.

22. Особенности построения и функционирования СРНС. Влияние атмосферы и космической среды на характеристики СРНС. Методы определения местоположения в СРНС: доплеровский, дальномерный, разностно-дальномерный.

23. Комплексование навигационных систем с радиотехническими и нерадиотехническими датчиками. Интегрированные РНС.

Программа соответствует паспорту номенклатуры специальностей научных работников.

д-р техн. наук, профессор



Е.Н. Гарин

Составители программы:

д-р техн. наук, профессор



В.Н. Тяпкин

канд. техн. наук, доцент



Д.Д. Дмитриев