

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра "Радиотехнические устройства".

ПОСОБИЕ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

"Моделирование РТУ и РТС" ЕН.Р.02

Для студентов 3 курса
специальности 201300 заочного обучения

МОСКВА – 2003

Данное пособие по изучению дисциплины **"Моделирование РТУ и РТС"** издаются в соответствии с учебной программой для студентов третьего курса заочного обучения специальности 201300.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры РТУ от 30/01/03 г. и методического совета от _____ г.

Научный редактор канд. техн. наук, доц. Ю. П. Сафоненков.

1. Общие положения

Настоящее пособие имеет целью обеспечить самостоятельную работу студентов по освоению дисциплины **"Моделирование РТУ и РТС"**. Материалы дисциплины достаточно полно отражены в изданиях, входящих в список рекомендованной литературы. Пособие позволяет структурировать работу с данными источниками в ключе, обусловленном задачами изучения дисциплины и самостоятельно проконтролировать усвоение материалов с помощью контрольных вопросов с вариантами ответов, один из которых является правильным.

2. Учебный план дисциплины для студентов заочной формы обучения

| Курс | Лекции, ч. | Практ. занятия, ч. | Лабор. работы, ч. | Контр. работа, шт. | Форма контроля |
|------|------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| III | 10 | 4 | 8 | 1 | Зачёт |

1. Задачи изучения дисциплины

Иметь представление о:

моделировании в целом как эффективном методе исследования сложных радиотехнических устройств и систем (РТУиС), методах оценки точности моделирования, способах обеспечения адекватности модели и оригинала, способах повышения точности моделирования и сокращения вычислительных затрат, методах оптимизации РТУиС с помощью моделей.

Знать:

общие принципы построения математических моделей РТУиС и способы их программной реализации на современных вычислительных платформах.

Уметь:

формулировать задачу математического моделирования РТУиС, составлять формальное описание объекта моделирования на основе функционального принципа моделирования, выбирать и обосновывать способ моделирования, составлять алгоритм цифровой модели РТУиС, осуществлять исследование на модели методом статистических испытаний и получать оценку показателя эффективности РТУиС.

Иметь опыт:

практического построения компьютерных моделей РТУиС.

2. Содержание дисциплины.

2.1. Раздел 1. Формальное описание РТУиС.

Введение. Общие сведения о компьютерном моделировании РТУиС

Тенденция развития авиационных РТУиС и методов их исследования. Проблемная ситуация при создании сложных РТУиС, обусловленная ограниченностью аналитических и экспериментальных методов исследования. Два способа применения компьютеров - численный анализ и математическое моделирование. Основные направления и области применения компьютеров при создании и использовании РТУиС. Физическое, математическое и смешанное моделирование. Схема организации процесса моделирования. Функциональный принцип моделирования. Принятие о методе статистических испытаний.

Литература: [1] с.с. 7-15.

Литература: [2] с.с. 3-8.

Формальное описание РТУиС

Принципы формального описания РТУиС. Характеристики РТУиС как объектов моделирования. Классификация РТУиС. Декомпозиция объекта моделирования как способ понижения размерности его модели. Уровни формального описания РТУиС. Операторное уравнение как одна из форм формального описания. Формальная схема моделирования РТУиС на компьютере. Фрагмент методики моделирования.

Пример формального описания РТУ. Переход от формального описания к математической модели. Формальное описание радиоустройства ФАПЧ на уровне функциональных звеньев. Операторное уравнение ФАПЧ и формальная схема моделирования. Переход от формального описания к математической модели.

Выбор и обоснование метода математического моделирования. Основные принципы построения математических моделей сложных РТУиС. Классификация функциональных звеньев РТУиС. Основные методы математического моделирования РТУиС. Фрагмент методики моделирования.

Литература: [2] с.с. 10-20, 21-26, 58-67.

Центральные темы раздела:

Понятия модели и моделирования. Специфика РТУиС как объектов моделирования. Формальное описание оригинала. Принципы моделирования сложных объектов.

Контрольные вопросы с вариантами ответов:

Какая информация о РЭС как объекте моделирования требует обязательного учета при построении мат. моделей преобразований сигналов в РЭС?

- Характер информационных процессов
- Назначение РЭС
- Общие характеристики РЭС
- Весогабаритные характеристики

Что характеризует понятие "выходной параметр" в формальном описании РЭС (обобщенная математическая модель)?

- Физический сигнал на выходе РЭС
- Качество работы РЭС
- Оценку функциональности модели

Какой фактор в первую очередь определяет уровень сложности математической модели?

- Характер мат. описания сигналов
- Количество моделируемых звеньев

На каком из указанных этапов разработки сложного технического изделия наиболее уместно применение компьютерного моделирования?

- Разработка изделия
- Стендовые испытания
- Объектные испытания

В чем состоит специфика радиотехнических систем как объектов математического моделирования?

- Вероятностный характер процессов
- Высокая стоимость подготовки персонала

Какая из указанных процедур перехода от непрерывного к дискретному описанию сигналов в модели является наиболее важной в смысле вносимой погрешности?

- Дискретизация по времени
- Квантование по уровню

2.2. Раздел 2. Моделирование воздействий в РТУиС.

Общие сведения о цифровом моделировании воздействия в РТУиС

Классификация воздействий на РТУиС. Математические модели основных воздействий. Постановка задачи математического моделирования воздействий на ЦВМ. Проблема квантования по уровню и дискретизации по времени непрерывных воздействий при цифровом моделировании. Выбор величины шага дискретизации, исходя из допустимой ошибки восстановления непрерывной функции времени по ее отсчётам в дискретные моменты времени.

Литература: [1] с.с. 20-26.

Компьютерное моделирование детерминированных воздействии в РТУиС

Компьютерное моделирование непрерывных детерминированных функций времени и функций времени, зависящих от случайного параметра.

Литература: [1] с.с. 27-30.

Литература: [2] с.с. 76-81.

Моделирование случайных величин

Принцип моделирования - функциональное преобразование исходной [базовой] последовательности случайных величин [СВ]. Программный способ получения исходной последовательности независимых СВ с равномерным законом распределения на интервале $[0,1]$. Пример датчика базовой СВ. Псевдослучайность и квазиравномерность - свойства реального датчика базовой СВ. Основные методы моделирования СВ на ЦВМ. Метод деления отрезка. Моделирование дискретных СВ.

Литература: [1] с.с. 31-32.

Литература: [2] с.с. 74-76

Моделирование случайных величин - продолжение

Метод нелинейного преобразования, обратного заданной функции распределения. Метод моделирования СВ с нормальным законом распределения. Методы моделирования негауссовских СВ на основе вторичных преобразований. Примеры моделирования СВ.

Литература: [1] с.с. 30-33.

Моделирование стационарных случайных процессов

Принцип моделирования - функциональное преобразование исходного

(базового) случайного процесса (СП). Общая схема моделирования. Исходный СП - последовательность независимых гауссовских СВ с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией (дискретной "белый" шум). Понятие о формирующем фильтре. Моделирование стационарного нормального СП с помощью формирующего фильтра. Метод скользящего суммирования. Пример алгоритма.

Метод рекуррентных разностных уравнений. Пример алгоритма. Сравнение методов моделирования. Моделирование стационарных СП, порождаемых нормальным процессом. Логарифмически-нормальный СП, СП с экспоненциальным и релеевским законами распределения и заданной корреляционной функцией. Примеры алгоритмов.

Литература: [1] с.с. 33-35, 37-38.

Литература: [2] с.с. 74-76.

Моделирование нестационарного нормального СП и случайных потоков

Пример моделирования нестационарного нормального СП с детерминированными законами изменения параметров. Моделирование марковского процесса. Пример моделирования дискретной цепи Маркова на ЦВМ. Моделирование случайных потоков событий. Примеры алгоритмов для простейшего потока Эрланга произвольного порядка.

Литература: [1], с.с. 39, 41

Моделирование марковских СП

Классификация и характеристики марковских процессов. Принципы моделирования марковского процесса. Моделирования дискретной цепи Маркова. Пример – моделирование системы фазовой автоподстройки с применением аппарата цепей Маркова

Литература: [1], с.с. 39-40

Центральные темы раздела:

Квантования по уровню и дискретизации по времени непрерывных воздействий при цифровом моделировании. Методы моделирования непрерывных детерминированных функций. Принцип моделирования СВ. Моделирование дискретных СВ. Принцип моделирования СП. Метод скользящего суммирования и метод рекуррентных разностных уравнений для формирования заданных корреляционных характеристик. Моделирование стационарных СП, порождаемых нормальным процессом. Моделирования нестационарных СП. Моделирования марковских процессов. Моделирование случайных потоков событий.

Контрольные вопросы с вариантами ответов:

Что необходимо знать для выработки величины шага дискретизации при переходе к дискретному времени?

- Амплитуда процесса (сигнала)
- Дисперсия процесса
- Матожидание процесса
- Фазовый сдвиг процесса

Какой метод мат. моделирования детерминированных сигналов требует наименьших затрат времени при проведении эксперимента?

- Табличный с интерполяцией
- Разложение в ряд Тейлора
- Рекуррентные алгоритмы

Что используется в качестве исходного числового материала при моделировании случайных величин?

- Числа Фибоначчи
- Случайные величины с равномерным распределением
- Случайные величины с экспоненциальным распределением

На каком интервале равномерно распределены случайные величины, используемые в качестве базисных при моделировании случайных величин с произвольным законом распределения?

- $[-1, 1]$
- $[0, 10]$
- $[0, 1]$

Что является источником равномерно распределенных случайных величин, используемых в качестве базисных при моделировании случайных величин с произвольным законом распределения?

- Программный генератор случайных чисел
- Опрос экспертов

Какой метод является основным при компьютерном моделировании случайных величин с произвольным законом распределения?

- Градиентный метод
- Симплекс-метод
- Метод преобразования, обратной функции распределения

Что используется в качестве исходного числового материала при моделировании случайных процессов?

Последовательность простых чисел
Модель белого шума

Каковы значения математического ожидания M и дисперсии D для дискретного белого шума, используемого в качестве базового процесса при моделировании случайных процессов?

M - произвол. значение, $D = M$
 $M = 0, D = 3$
 $M = 10, D = 0.1$
 $M = \text{const}, D = 1$
 $M = 0, D = 1$

Что является необходимыми исходными данными при моделировании случайных процессов?

Закон распределения и корреляционная функция
Энергетический спектр процесса
Плотность распределения вероятности процесса

В чем состоит основное достоинство метода скользящего суммирования при моделировании случайных процессов?

Отсутствие методической погрешности
Быстродействие
Универсальность

Какая теорема теории вероятности используется при моделировании нормально распределенных случайных величин?

Теорема Колмогорова
Центральная предельная теорема

В чем состоит основное достоинство метода разностных уравнений при моделировании случайных процессов?

Отсутствие методической погрешности
Быстродействие
Универсальность

2.3. Раздел 3. Моделирование процессов преобразования воздействия в РТУиС.

Моделирование линейных инерционных звеньев

Классификация функциональных звеньев РТУиС. Принцип дискретной аппроксимации непрерывной линейной инерционной системы. Алгоритм скользящего суммирования. Метод дискретной свертки. Алгоритмы вычисления дискретной свертки

Метод рекуррентных разностных управлений. Пример рекуррентного алгоритма моделирования. Общие сведения о методе быстрого преобразования Фурье и методе конечных разностей.

Литература: [1] с.с. 48-52, 53-54.

Литература: [2] с.с. 67-70.

Моделирование узкополосных линейных систем

Метод комплексной огибающей как основа для моделирования узкополосных линейных систем. Алгоритм скользящего суммирования для комплексной огибающей.

Понятие о низкочастотном эквиваленте узкополосной линейной системы. Фрагмент методики моделирования с применением метода комплексной огибающей.

Литература: [1] с.с. 44-47.

Литература: [2] с.с. 96-107.

Моделирование нелинейных преобразований узкополосных воздействий

Принципы моделирование нелинейных преобразований узкополосных воздействий. Безынерционные нелинейные звенья. Метод огибающей и фазы. Метод контурных интегралов. Инерционные нелинейные звенья. Методы амплитуд, линеаризации по флуктуациям.

Особенности моделирования нелинейных звеньев. Алгоритмы моделирования основных демодуляторов - амплитудного ограничителя узкополосного сигнала. Цифровое моделирование узкополосного частотного детектора с применением метода комплексной огибающей.

Литература: [1] с.с. 59-61.

Литература: [2] с.с. 108-116.

Моделирование сложных РТУиС

Общие сведения о моделировании сложных РТУиС. Метод статистических эквивалентов. Построение статистических эквивалентов методами статистической и гармонической линейаризации, фильтрации информационного параметра

Метод информационного параметра. Пример моделирования системы фазовой автоподстройки. Особенности моделирования на ЦВМ замкнутых следящих радиосистем.

Литература: [2] с.с. 136-154, 162-174.

Центральные темы раздела:

Принцип дискретной аппроксимации непрерывной линейной инерционной системы. Алгоритм скользящего суммирования. Метод дискретной свертки. Метод рекуррентных разностных управлений. Метод быстрого преобразования Фурье. Метод конечных разностей. Метод комплексной огибающей. Принципы моделирование нелинейных преобразований. Метод статистических эквивалентов для моделирования сложных РТУиС. Метод информационного параметра.

Контрольные вопросы с вариантами ответов:

Какой из указанных методов математического описания сигналов является более экономичным в смысле вычислительной емкости модели?

Метод несущей
Метод информационного параметра

Для чего применяется аппарат математического программирования в компьютерном моделировании радиосистем?

Для моделирования воздействий
Для моделирования преобразований_
Для оптимизации радиосистем с помощью моделей

Какой выигрыш дает применение метода быстрого преобразования Фурье для целей моделирования фильтров?

Экономия времени моделирования
Снижение затрат на разработку

Какая характеристика устройства используется при математическом моделировании осуществляемого им преобразования?

Импульсная характеристика.
Характеристика связи с другими устройствами

2.4. Раздел 4. Анализ характеристик и оптимизация модели.

Анализ характеристик процесса на выходе модели

Выбор выходных параметров модели, характеризующих качество функционирования РТУ и С. Оценка статистических характеристик случайного выходного параметра модели. Алгоритмы вычисления оценок функции и плотности распределения СВ, числовых характеристик и корреляционной функции случайного процесса. Обеспечение необходимой точности статистических оценок при моделировании. Методы проверки адекватности модели и оригинала.

Литература: [1] с.с. 61-65.

Оптимизация РТУиС с помощью компьютерных моделей.

Общие сведения о методах решения задач анализа и синтеза радиосистем на компьютере. Методы синтеза параметров РТУиС с помощью цифровых моделей. Методы итераций для поиска экстремума показателя эффективности РТУиС. Метод координатного спуска.

Градиентные методы. Случайный поиск экстремума. Методы поиска экстремума при наличии ошибки оценки показателя эффективности в процессе эксперимента на модели. Примеры оптимизации параметров следящего измерителя. Перспективы дальнейшего развития методов моделирования РТУиС.

Литература: [1] с.с. 65-72, 73-80.

Центральные темы раздела:

Алгоритмы вычисления статистических характеристик случайного выходного параметра модели. Обеспечение необходимой точности статистических оценок при моделировании. Методы проверки адекватности модели и оригинала. Методы синтеза параметров РТУиС.

Контрольные вопросы с вариантами ответов:

С помощью какого критерия оценивают адекватность оригинала и модели?

Критерий Колмогорова
Критерий Найквиста

Посредством чего оцениваются статистические характеристики выходного параметра модели?

Дифференциал
Матожидание
Фурье-трансформанта

Какой метод применяется для поиска экстремума при оптимизации параметров РТУиС?

Метод аффинных преобразований
Метод математического программирования
Метод информационного параметра

2.5. Раздел 5. Практические аспекты компьютерного моделирования.

Программные средства моделирования

Моделирование в среде табличного процессора: базовые понятия, характеристики, организация работы, использование в целях моделирования. Пакеты математической поддержки – MathCAD, MatLAB. Пакеты MicroCUP, MicroLOGIC: функциональные возможности, применение для целей моделирования. Язык UML.

Современные компьютерные технологии в математическом моделировании

Повышение эффективности компьютерного моделирования посредством визуализации процедур. Проблема визуализации функций многих переменных: пространственные срезы, полупрозрачные изоповерхности. Динамическая компьютерная графика как средство визуализации сложных функций. Методы цифровой компрессии/декомпрессии при моделировании сложных объектов в реальном масштабе времени.

Центральные темы раздела:

Типы программного обеспечения для целей моделирования. Стандарты описания моделей сложных систем. Компьютерная визуализация результатов моделирования.

Контрольные вопросы с вариантами ответов:

Какие типы программных средств для реализации математической модели на компьютере обеспечивают минимум временных затрат на создание программной реализации модели?

Компьютерные языки высокого уровня
Специализированные моделирующие программы

Компьютерные языки низкого уровня

Какой пакет обеспечивает экспорт математического описания в модули на языке C+?

MathCAD
MatLAB
MicroCUP

Для чего используется язык UML?

Для создания программ
Для описания моделируемых объектов
Для отладки программного обеспечения

3. Содержание контрольной работы

Задача контрольной работы состоит в разработке программной реализации математической модели воздействия в РТУиС, носящего характер случайной величины с равномерным законом распределения на интервале, границы которого определяются из таблицы вариантов заданий:

| Номер варианта задания | Начало интервала | Конец интервала |
|------------------------|------------------|-----------------|
| 1 | 3 | 12 |
| 2 | 7 | 8 |
| 3 | 3 | 67 |
| 4 | 7 | 34 |
| 5 | 12 | 56 |
| 6 | 45 | 48 |
| 7 | 26 | 95 |
| 8 | 2 | 74 |
| 9 | 87 | 97 |
| 10 | 19 | 37 |
| 11 | 38 | 46 |
| 12 | 61 | 124 |
| 13 | 9 | 502 |
| 14 | 25 | 54 |
| 15 | 77 | 78 |
| 16 | 19 | 53 |

Контрольная работа должна содержать:

а) Описание алгоритма моделирования случайной величины методом нелинейного преобразования, обратной функции распределения.

б) Описание функции плотности вероятности для равномерного закона распределения.

в) Описание этапов моделирования случайной величины с равномерным законом распределения, заданного через функцию плотности вероятности, с помощью метода нелинейного преобразования, обратной функции распределения.

г) Текст программы, реализующей моделирование, на любом известном студенту языке программирования высокого уровня.

1. Содержание лабораторного практикума

ЛР № 1. Возможности электронных таблиц как инструмента математического моделирования. - 2 ч.

ЛР № 2. Моделирование типовой радиотехнической цепи. - 4 ч.

ЛР № 3. Оптимизация математической модели типовой радиотехнической цепи при помощи табличной модели БПФ. - 2 час.

2. Рекомендуемая литература:

2.1. Основная литература

1) Криницин В.В., Хресин И.Н. Моделирование радиосистем и основы систем автоматизированного проектирования. МИИГА, 1992.

2) Борисов Ю.П., Цветнов В.В. Математическое моделирование радиотехнических систем и устройств. М.:Радио и связь, 1985.

2.2. Учебно-методическая литература

3) Криницин В.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Основы моделирования РТУиС на ЭВМ" М:МИИГА, 1988.

4) Горбунов А.Л. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Математические модели в расчетах на ЭВМ" М:МИИГА, 1993.

3. Рекомендуемые программные средства и компьютерные системы обучения и контроля знаний студентов:

MS-Excel, MathCAD, MicroCUP, MS-Visio, тестовые таблицы для проверки знаний по дисциплине в среде табличных процессоров.