Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ, ИСПРАВЛЕННОЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА 1975

Книга представляет собой монографию, посвященную систематическому изложению теории автоматического регулирования и управления.

Книга содержит все основные разделы теории автоматического регулирования: теорию обыкновенных и особых линейных систем, теорию нелинейных, адаптивных и цифровых систем.

Книга рассчитана на преподавателей и студентов, специализирующихся в области автоматического регулирования и управления, и может быть также использована инженерами и научными работниками при самостоятельном изучении вопросов теории.

Теория систем автоматического регулирования. Издание третье, исправленное. Бесекерский В. А./ Попов Е. П., издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М., 1975, 768 стр.

Содержание книги
Теория систем автоматического регулирования

Предисловие
РАЗДЕЛ I ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
Глава 1. **Виды систем автоматического регулирования**
§ 1.1. Понятие о замкнутых автоматических системах
§ 1.2. Классификация автоматических систем по характеру внутренних динамических процессов
§ 1.3. Примеры непрерывных автоматических систем
§ 1.4. Примеры дискретных и релейных автоматических систем

Глава 2. **Программы и законы регулирования. Адаптивные системы**
§ 2.1. Программы регулирования
§ 2.2. Линейные и нелинейные законы регулирования
§ 2.3: Системы с переменной структурой
§ 2.4. Системы с самонастройкой программы (экстремальные системы)
§ 2.5. Системы с самонастройкой параметров (собственно самонастраивающиеся системы)
§ 2.6. Системы с самонастройкой структуры (самоорганизующиеся системы)

РАЗДЕЛ II ОБЫКНОВЕННЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Глава 3. **Линеаризация дифференциальных уравнений систем автоматического регулирования**
§ 3.1. Линеаризация уравнений
§ 3.2. О записи линеаризованных уравнений звеньев

Глава 4. **Динамические звенья и их характеристики**
§ 4.1. Общие понятия
§ 4.2. Временные характеристики
§ 4.3. Частотная передаточная функция и частотные характеристики
§ 4.4. Логарифмические частотные характеристики
§ 4.5. Позиционные звенья
§ 4.6. Интегрирующие звенья
§ 4.7. Дифференцирующие звенья
§ 4.8. Неустойчивые и неминимально-фазовые звенья
§ 4.9. Звенья с модулированным сигналом

Глава 5. **Составление исходных дифференциальных уравнений систем автоматического регулирования**
§ 5.1. Общий метод составления исходных уравнений
§ 5.2. Передаточные функции систем автоматического регулирования
§ 5.3. Законы регулирования
§ 5.4. Использование структурных схем и графов
§ 5.5. Многомерные системы регулирования
§ 5.6. Управляемость и наблюдаемость
§ 5.7. Уравнения следящей системы

Глава 6. **Критерии устойчивости**
§ 6.1. Понятие об устойчивости систем регулирования
§ 6.2. Критерий устойчивости Гурвица
§ 6.3. Критерий устойчивости Михайлова
§ 6.4. Построение областей устойчивости. D-разбиение
§ 6.5. Критерий устойчивости Найквиста
§ 6.6. Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам
§ 6.7. Устойчивость двумерных систем с антисимметричными связями

Глава 7. **Построение кривой переходного процесса в системах автоматического регулирования**
§ 7.1. Общие соображения
§ 7.2. Непосредственное решение исходного дифференциального уравнения
§ 7.3. Сведение неоднородного уравнения к однородному
§ 7.4. Использование преобразований Фурье, Лапласа и Карсона — Хевисайда
§ 7.5. Использование вещественных частотных характеристик
§ 7.6. Использование вычислительных машин

Глава 8. **Оценка качества регулирования**
§ 8.1. Общие соображения

§ 8.2. Точность в типовых режимах
§ 8.3. Коэффициенты ошибок
§ 8.4. Определение запаса устойчивости и быстродействия по переходной характеристике
§ 8.5. Приближенная оценка вида переходного процесса по вещественной частотной характеристике
§ 8.6. Корневые методы
§ 8.7. Диаграмма Вышнеградского
§ 8.8. Интегральные оценки
§ 8.9. Частотные критерии качества
§ 8.10. Чувствительность систем регулирования

Глава 9. **Повышение точности систем автоматического регулирования**
§ 9.1. Общие методы
§ 9.2. Теория инвариантности и комбинированное управление
§ 9.3. Неединичные обратные связи

Глава 10. **Улучшение качества процесса регулирования**
§ 10.1. О корректирующих средствах
§ 10.2. Последовательные корректирующие звенья
§ 10.3. Параллельные корректирующие звенья
§ 10.4. Обратные связи
§ 10.5. Методы повышения запаса устойчивости
§ 10.6. Примеры

Глава 11. **Случайные процессы в системах автоматического регулирования**
§ 11.1. Вводные замечания
§ 11.2. Случайные процессы
§ 11.3. Стационарные случайные процессы
§ 11.4. Корреляционная функция
§ 11.5. Спектральная плотность стационарных процессов
§ 11.6. Канонические разложения случайных функций
§ 11.7. Прохождение случайного сигнала через линейную систему
§ 11.8. Расчет установившихся ошибок в автоматических система
§ 11.9. Расчеты по минимуму среднеквадратичной ошибки

Глава 12. **Методы синтеза систем автоматического регулирования**
§ 12.1. Общие соображения
§ 12.2. Корневой метод
§ 12.3. Метод корневых годографов
§ 12.4. Метод стандартных переходных характеристик
§ 12.5. Метод логарифмических амплитудных характеристик
§ 12.6. Синтез систем автоматического регулирования на основе частотных критериев качества
§ 12.7. Об оптимальном синтезе
§ 12.8. Использование классических вариационных методов
§ 12.9. Динамическое программирование
§ 12.10. Аналитическое конструирование регуляторов

РАЗДЕЛ III ОСОБЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
Глава 13. **Системы с переменными параметрами**
§ 13.1. Основные понятия
§ 13.2. Нахождение функции веса и построение переходных процессов
§ 13.3. Передаточные функции
§ 13.4. Устойчивость и качество регулирования
§ 13.5. О синтезе систем с переменными параметрами

Глава 14. **Системы с запаздыванием и системы с распределенными параметрами**
§ 14.1. Уравнения линейных систем с запаздыванием
§ 14.2. Уравнения линейных систем с распределенными параметрами
§ 14.3. Исследование устойчивости и качества регулирования

Глава 15. **Импульсные системы**
§ 15.1. Общие сведения
§ 15.2. Использование z-преобразования
§ 15.3. Передаточные функции
§ 15.4. Устойчивость и качество импульсных систем регулирования
§ 15.5. Случайные процессы в импульсных системах

РАЗДЕЛ IV НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
Глава 16. **Составление уравнений нелинейных систем автоматического регулирования**
§ 16.1. Общие понятия
§ 16.2. Уравнения систем с нелинейностью релейного типа
§ 16.3. Уравнения систем с нелинейностью в виде сухого трения и зазора
§ 16.4. Уравненвя систем с нелинейнсстями других видов

Глава 17. **Точные методы исследования устойчивости и автоколебаний**
§ 17.1. Фазовые траектории и метод точечных преобразований
§ 17.2. Теоремы прямого метода Ляпунова и их применение
§ 17.3. Определение автоколебаний релейных систем методом Брипасовывания
§ 17.4. Частотный метод В. М. Попова
§ 17.5. Исследование систем с переменной структурой

Глава 18. **Приближенные методы исследования устойчивости и автоколебаний**
§ 18.1. Гармоническая линеаризация нелинейностей
§ 18.2. Алгебраические способы определения автоколебаний и устойчивости в нелинейных системах первого класса
§ 18.3. Примеры исследования нелинейных систем первого класса
§ 18.4. Нелинейные системы второго класса
§ 18.5. Вычисление высших гармоник и уточнение первой гармоники автоколебаний
§ 18.6. Частотный метод определения автоколебаний

Глава 19. **Медленно меняющиеся процессы в автоколебательных системах**
§ 19.1. Статические и скоростные ошибки автоколебательных систем
§ 19.2. Прохождение медленно меняющихся сигналов в автоколебательных системах

§ 19.3. Гармоническая линеаризация нелинейностей при несимметричных колебаниях

Глава 20. **Оценка качества нелинейных процессов регулирования**
§ 20.1. Приближенное исследование колебательных переходных процессов
§ 20.2. Примеры исследования колебательных переходных процессов
§ 20.3. Система с нелинейным корректирующим устройством
§ 20.4. Примзнение логарифмических частотных характеристик для исследования нелинейных законов регулирования

Глава 21. **Вынужденные колебания нелинейных систем**
§ 21.1. Симметричные одночастотные вынужденные колебания
§ 21.2. Несимметричные вынужденные колебания с медленно меняющейся составляющей
§ 21.3. Зависимость устойчивости и качества нелинейных систем от внешних вибраций

Глава 22. **Случайные процессы в нелинейных системах**
§ 22.1. Статистическая линеаризация нелинейностей
§ 22.2. Простейшие случайные процессы в нелинейных системах
§ 22.3. Пример исследования влияния случайных помех на динамику нелинейной системы

Глава 23. **Нелинейная оптимизация систем автоматического регулирования**
§ 23.1. Общие положения
§ 23.2. Синтез оптимальной системы с использованием принципа максимума
§ 23.3. Последовательная оптимизация на базе нелинейного программирования

РАЗДЕЛ V ЦИФРОВЫЕ И АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
Глава 24. **Системы регулирования с цифровыми вычислительными машинами**
§ 24.1. Общие понятия
§ 24.2. О синтезе систем регулирования с ЦВМ
§ 24.3. Дискретная коррекция
§ 24.4. Периодические режимы, обусловленные квантованием по уровню

Глава 25. **Адаптивные системы**
§ 25.1. Системы экстремального регулирования
§ 25.2. Самонастраивающиеся системы

Приложение 1. Таблица h-функций
Приложение 2. Таблица интегралов
Литература
Предметный указатель

Предисловие

Совершенствование технологии и повышение производительности труда во всех отраслях народного хозяйства относятся к важнейшим задачам технического прогресса нашего общества. Решение этих задач возможно лишь при широком внедрении систем автоматического регулирования и управления как отдельными объектами, так и производством, отраслью и всем народным хозяйством в целом. Поэтому изучение основ

автоматического регулирования и управления предусматривается в настоящее время при подготовке выпускников практически всех инженерных специальностей.

Содержание книги близко к программам курсов теории автоматического регулирования и управления, читаемых в высших технических учебных заведениях. Ряд вопросов освещен более широко. Подробные примеры по всем разделам книги читатель может найти в «Сборнике задач по теории автоматического регулирования и управления» («Наука», изд. 4-е, 1972).

В первом разделе книги даны общие сведения о системах автоматического регулирования, их классификация, понятия о программах и законах регулирования и понятия о различных структурах используемых на практике систем. Изложение иллюстрируется примерами.

Второй раздел представляет систематическое изложение теории линейных (точнее, линеаризованных) систем автоматического регулирования. Он начинается с рассмотрения таких вопросов, как составление и линеаризация исходных уравнений движения и типовые динамические звенья. Затем излагаются возможные подходы, которые используются при анализе замкнутых систем регулирования. Раздел завершается рассмотрением применяемых в практике методов синтеза.

В третьем разделе изложена теория особых линейных систем, к которым относятся системы с переменными параметрами, системы с постоянным временным запаздыванием, системы с распределенными параметрами и импульсные системы регулирования. Необходимо отметить, что излагаемая в этом разделе теория импульсных систем служит базой для рассматриваемых ниже систем регулирования, содержащих в своем контуре цифровые вычислительные машины.

Четвертый раздел содержит сведения о нелинейных системах автоматического регулирования. Здесь последовательно излагается теория нелинейных систем, которая начинается с рассмотрения методики составления исходных уравнений движения. Далее излагаются точные, а затем приближенные методы исследования устойчивости и автоколебаний, методы анализа качества нелинейных систем в различных режимах и при различных входных воздействиях. Раздел заканчивается изложением вопросов нелинейной оптимизации систем автоматического регулирования.

Пятый раздел посвящен рассмотрению основ теории систем регулирования, содержащих в своем контуре цифровые вычислительные машины, я адаптивных (приспосабливающихся) систем.

Научно-техническая революция, вызванная созданием цифровых вычислительных машин, сказалась на развитии многих отраслей науки и техники» Особо сильному влиянию подверглись теория и практика автоматического регулирования и управления объектами и совокупностями объектов как в гражданской, так и в военной технике.

Применение цифровой вычислительной техники открывает большие возможности при управлении такими сложными устройствами и системами как прокатные станы, домны, бумагоделательные машины, поточные линии, подвижные объекты (самолеты, ракеты, космические корабли и др.), автоматизированные системы управления производством,

железнодорожным транспортом, воздушным движением и т. п. В связи с этим в книге уделенозначительное внимание вопросам теории работы систем управления с цифровыми вычислительными машинами.

Предполагается, что читатели знакомы с преобразованиями Лапласа, Карсона-Хевисайда и Фурье, которые излагаются и используются в курсах высшей математики, теоретической механики и теоретических основ электротехники. Поэтому в соответствующих разделах книги даются лишь краткие напоминания основ их применения. Более подробно изложен математический аппарат, используемый для исследования импульсных и цифровых систем управления.

Разделы II, III и V написаны В. А. Бесекерским, а разделы I и IV — Е. П. Поповым.

Скачать книгу Бесекерский В. А., Попов Е. П. **Теория систем автоматического регулирования**. Издание третье, исправленное. Москва, издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1975