

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Цыпкин Я. З. Основы теории автоматических систем

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР

в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА

1977

Книга представляет собой курс лекций по теории автоматических систем. Она состоит из трех частей: основных сведений об автоматическом управлении, теории непрерывных автоматических систем и теории дискретных автоматических систем.

В книге излагаются основные идеи автоматического управления, а также закономерности, свойства, особенности и предельные возможности автоматических систем. Большинство глав сопровождается задачами, решение которых помогает усвоить глубже излагаемый материал. В приложениях приводятся основные сведения по преобразованиям Лапласа и Фурье и обобщенным функциям, которые используются в основном тексте.

Книга предназначена для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Автоматика и телемеханика», «Техническая кибернетика», «Прикладная математика». Она может быть также использована инженерами и научными работниками, занимающимися автоматическими системами.

Цыпкин Я. З. **Основы теории автоматических систем**. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», М., 1977, 560 стр.

Главная редакций физико-математической литературы издательства «Наука», 1977

Содержание книги Основы теории автоматических систем

Предисловие

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМАТИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ

Глава 1. Задачи автоматического управления

§ 1.1. Основные понятия

§ 1.2. Примеры простейших автоматических систем

§ 1.3. Задачи автоматического управления

§ 1.4. Автоматические системы в живой природе и обществе

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Глава 2. Свойства и особенности автоматических систем

§ 2.1. Статические свойства автоматических систем

§ 2.2. Устойчивость автоматических систем

§ 2.3. О стабилизации автоматических систем

Глава 3. Функциональная схема и типы автоматических систем

§ 3.1. Функциональная схема

§ 3.2. Особенности автоматических систем

§ 3.3. Основные типы автоматических систем

Глава 4. Задачи теории автоматического управления

§ 4.1. Виды воздействий

§ 4.2. Характер процессов управления

§ 4.3. Задачи теории автоматического управления

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

НЕПРЕРЫВНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

А. ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ

Глава 5. Математическое описание автоматических систем

§ 5.1. Понятие о линейных системах

§ 5.2. Уравнения, блок-схемы и графы автоматических систем

§ 5.3. Алгебра передаточных функций

§ 5.4. Передаточные функции и уравнения замкнутых систем

Задачи

Глава 6. Структуры автоматических систем

§ 6.1. Обычная система

§ 6.2. Система с внутренней положительной обратной связью

§ 6.3. Комбинированная система

§ 6.4. Разомкнуто-замкнутая система

§ 6.5. Комбинированная разомкнуто-замкнутая система

§ 6.6. Общие уравнения автоматических систем

Задачи

Глава 7. Чувствительность автоматических систем

§ 7.1. Понятие чувствительности

§ 7.2. Общая формула чувствительности

§ 7.3 Чувствительность соединений элементов

§ 7.4. Чувствительность основных структур автоматических систем

§ 7.5. Системы нулевой чувствительности

§ 7.6. О реализуемости систем нулевой чувствительности

Задачи

Глава 8. Характеристики автоматических систем

§ 8.1. Законы управления

§ 8.2. Показатели передаточных функций

§ 8.3. Понятия о процессах в автоматических системах

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

§ 8.4. Характеристики автоматических систем
Задачи

Глава 9. Вынужденные процессы

§ 9.1. Общее описание вынужденных процессов
§ 9.2. Коэффициенты ошибок по вынужденному процессу $2B(/)$
§ 9.3. Статическая ошибка
§ 9.4. Условия отсутствия статической ошибки
§ 9.5. Условия астатизма 1-го порядка
Задачи

Глава 10. Устойчивость автоматических систем

§ 10.1. Условия устойчивости
§ 10.2. Алгебраические критерии устойчивости
§ 10.3. Частотные критерии устойчивости
§ 10.4. Логарифмические частотные критерии устойчивости
Задачи

Глава 11. Исследование устойчивости автоматических систем

§ 11.1. Исследование устойчивости типовых систем
§ 11.2. Структурно неустойчивые системы и их стабилизация
§ 11.3. Системы, устойчивые при больших коэффициентах усиления
§ 11.4. Асимптотические свойства систем, устойчивых при больших коэффициентах усиления
§ 11.5. Устойчивость систем с запаздыванием
Задачи

Глава 12. Свободные процессы в автоматических системах

§ 12.1. Мера быстродействия автоматических систем
§ 12.2. Связь временной и частотной характеристик автоматических систем
§ 12.3. Переходная характеристика автоматической системы
§ 12.4. Построение переходных характеристик
Задачи

Глава 13. Оптимальные процессы

§ 13.1. Показатели качества
§ 13.2. Интегральное квадратическое отклонение
§ 13.3. Оптимальные параметры систем
§ 13.4. Оптимальные характеристики систем
§ 13.5. Реализуемые оптимальные характеристики
Задачи

Глава 14. Системы при случайных воздействиях

§ 14.1. Основные понятия
§ 14.2. Характеристики случайных процессов
§ 14.3. Статистические характеристики автоматической системы
§ 14.4. Среднеквадратическое отклонение
§ 14.5. Оптимальные системы

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

§ 14.6. Оптимальная стохастическая система при учете ограничений
Задачи

Б. НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ

Глава 15. Уравнения и характеристики нелинейных систем

§ 15.1. Понятие о нелинейных системах
§ 15.2. Блок-схема и граф нелинейной системы
§ 15.3. Типовые нелинейные элементы и их характеристики
§ 15.4. Линеаризация нелинейных элементов
§ 15.5. Уравнения нелинейных систем
Задачи

Глава 16. Процессы в нелинейных системах

§ 16.1. Вынужденные и свободные процессы
§ 16.2. Понятия состояний равновесия и автоколебаний
§ 16.3. Возможные режимы нелинейных систем
§ 16.4. Общие свойства процессов
Задачи

Глава 17. Устойчивость нелинейных систем

§ 17.1. Понятия устойчивости
§ 17.2. Условия абсолютной устойчивости состояния равновесия
§ 17.3. Частотные неравенства
§ 17.4. Критерий абсолютной устойчивости состояния равновесия
§ 17.5. Общий критерий абсолютной устойчивости состояния равновесия
§ 17.6. Критерий абсолютной устойчивости состояния равновесия при нестационарной нелинейной характеристике
§ 17.7. Общий критерий устойчивости процессов
§ 17.8. Об устойчивости «в малом» и «в большом»
Задачи

Глава 18. Исследование абсолютной устойчивости нелинейных автоматических систем

§ 18.1. Абсолютная устойчивость состояния равновесия типовых систем
§ 18.2. Абсолютная устойчивость состояния равновесия при любых положительных коэффициентах статической линеаризации
§ 18.3. Абсолютная устойчивость процессов
Задачи

Глава 19. Оценки качества свободных процессов

§ 19.1. Виды оценок
§ 19.2. Оценка меры быстродействия нелинейных систем
§ 19.3. Оценка квадратического интегрального отклонения
Задачи

Глава 20. Периодические процессы

§ 20.1. Понятие о периодических процессах

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- § 20.2. Гармонический баланс для автоколебаний
 - § 20.3. Определение амплитуды и частоты автоколебаний
 - § 20.4. Гармонический баланс для вынужденных колебаний
 - § 20.5. Резонансные свойства нелинейной автоматической системы
- Задачи

Глава 21. Стохастические процессы

- § 21.1. Особенности стохастических процессов
 - § 21.2. Дисперсия ошибки
 - § 21.3. Реакция нелинейной системы на случайное воздействие
 - § 21.4. Исследование простейшей автоматической системы
- Задачи

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ ДИСКРЕТНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Глава 22. Виды дискретных систем

- § 22.1. Квантование и его особенности
- § 22.2. Виды импульсных и цифровых автоматических систем
- § 22.3. Примеры дискретных автоматических систем

А. ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ

Глава 23. Уравнения импульсных систем

- § 23.1. Блок-схема и граф импульсных систем
 - § 23.2. Импульсный элемент и его уравнения
 - § 23.3. Свойства импульсного элемента
 - § 23.4. Уравнения импульсных автоматических систем
- Задачи

Глава 24. Основные структуры импульсных систем

- § 24.1. Система с дискретным фильтром или с ЦВУ
 - § 24.2. Система с непрерывным фильтром, охватывающим импульсный элемент
 - § 24.3. Разомкнуто-замкнутая импульсная система
- Задачи

Глава 25. Основные характеристики импульсных систем

- § 25.1. Законы управления
 - § 25.2. Дискретные передаточные функции разомкнутых импульсных систем
 - § 25.3. Дискретные передаточные функции типовых импульсных систем
 - § 25.4. Уравнения импульсных систем
- Задачи

Глава 26. Процессы в импульсных системах

- § 26.1. Понятия о процессах в импульсных системах
- § 26.2. Вынужденные процессы
- § 26.3. Вынужденные процессы при монотонных воздействиях
- § 26.4. Условия нулевой вынужденной ошибки
- § 26.5. Вынужденный процесс при гармоническом воздействии

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

§ 26.6. Основные характеристики замкнутой импульсной системы
Задачи

Глава 27. Устойчивость импульсных автоматических систем

§ 27.1. Условия устойчивости
§ 27.2. Алгебраический критерий устойчивости
§ 27.3. Частотный критерий устойчивости
Задачи

Глава 28. Исследование устойчивости импульсных систем

§ 28.1. Исследование устойчивости типовых импульсных систем
§ 28.2. Устойчивость импульсных систем при малых периодах повторения
§ 28.3. Влияние частоты повторения на устойчивость импульсных систем
Задачи

Глава 29. Свободные процессы в импульсных автоматических системах

§ 29.1. Мера быстродействия импульсных систем
§ 29.2. Определение временной характеристики по дискретной передаточной функции
§ 29.3. Процессы конечной длительности
§ 29.4. Процессы при произвольных воздействиях
Задачи

Глава 30. Синтез импульсных автоматических систем

§ 30.1. Задача синтеза
§ 30.2. Условия осуществимости
§ 30.3. Условия грубости
§ 30.4. Основные уравнения синтеза
§ 30.5. Компенсация влияния запаздывания
§ 30.6. Системы с конечной длительностью процесса
Задачи

Глава 31. Оптимальные импульсные системы

§ 31.1. Показатели качества
§ 31.2. Квадратическое суммарное отклонение
§ 31.3. Оптимальные параметры систем
§ 31.4. Оптимальные характеристики
Задачи

Глава 32. Стохастические процессы

§ 32.1. Статистические характеристики импульсного элемента
§ 32.2. Корреляционная функция и спектральная плотность решетчатых процессов
§ 32.3. Статистические характеристики импульсной системы
§ 32.4. Средиекватическое отклонение
§ 32.5. Оптимальные импульсные системы
§ 32.6. Учет ограничений
Задачи

Б. НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Глава 33. Уравнения нелинейных импульсных систем

§ 33.1. Блок-схема и граф нелинейной импульсной системы

§ 33.2. Линеаризация нелинейных импульсных элементов

§ 33.3. Уравнения нелинейных импульсных систем

Задачи

Глава 34. Процессы в нелинейных импульсных системах

§ 34.1. Построение процессов

§ 34.2. Вынужденные и собственные процессы

§ 34.3. Возможные процессы

§ 34.4. Влияние квантования по уровню

Задачи

Глава 35. Устойчивость нелинейных импульсных систем

§ 35.1. Понятие устойчивости

§ 35.2. Условия абсолютной устойчивости

§ 35.3. Критерий абсолютной устойчивости

§ 35.4. Общий критерий абсолютной устойчивости

Задачи

Глава 36. Оценки качества свободных процессов

§ 36.1. Мера быстродействия нелинейных импульсных систем

§ 36.2. Оценка суммарного квадратического отклонения

Задачи

Глава 37. Периодические процессы в нелинейных импульсных системах

§ 37.1. Понятие о периодических процессах

§ 37.2. Уравнения периодических процессов

§ 37.3. Частные случаи

§ 37.4. Приближенный метод определения периодических процессов

Задачи

Глава 38. Импульсное моделирование непрерывных систем

§ 38.1. Понятие об импульсном моделировании

§ 38.2. Определение передаточной функции импульсной модели по передаточной функции непрерывной модели

§ 38.3. Аппроксимация операций интегрирования

§ 38.4. Аппроксимация операций кратного интегрирования

§ 38.5. Методика импульсного моделирования

Задачи

Приложения

Литература

Предметный указатель

ПРЕДИСЛОВИЕ

Традиционное изложение теории автоматического управления, характерное для учебников

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

и учебных пособий, непомерно большое место отводит вспомогательному материалу по различным разделам математики, а также методам, способам и приемам расчета автоматических систем. Что же касается свойствам их автоматических систем, то им почти не уделяется внимание. Такое построение курса, возможно, удобное для вузов, готовящих инженеров-расчетчиков и конструкторов аппаратуры систем управления, не подходит для вузов, готовящих инженеров исследователей и научных работников.

Настоящей книгой делается попытка заполнить этот пробел. Цель этой книги состоит в изложении основных идей автоматического управления и основанных на них принципов построения автоматических систем.

Книга состоит из трех частей. Первая часть содержит общие сведения об автоматических системах. Приводятся примеры автоматических систем в технике, живой природе и обществе. Формулируются задачи автоматического управления. Обсуждаются основные статические и динамические свойства автоматических систем. Устанавливается общая функциональная схема автоматических систем. Приводится классификация автоматических систем и формулируются основные задачи теории управления. Знакомство с первой частью позволяет сознательно подходить к формулировке и решению задач теории автоматических систем, изложенных во второй и третьей частях книги.

Вторая часть посвящена непрерывным автоматическим системам, а третья часть — дискретным автоматическим системам. В этих частях рассмотрено поведение автоматических систем как при детерминированных, так и при случайных воздействиях. Наряду с линейными системами достаточно подробно рассматриваются и нелинейные системы.

Для удобства читателя в приложениях приводятся справочные сведения по обычному и дискретному преобразованиям Лапласа и Фурье, а также импульсивным функциям, на которые опираются выводы ряда положений в основном тексте. Книга снабжена списком работ, в которых читатель может найти дополнительные сведения по теории автоматических систем.

Книга написана на основе курсов лекций, которые автор многие годы читал студентам Московского энергетического института, Московского физико-технического института, инженерам — слушателям факультета усовершенствования Московского института радиотехники, электроники и автоматики, научным сотрудникам Института автоматики и телемеханики, а также ряда НИИ и КБ.

В подготовке первого варианта настоящей книги большая помощь автору была оказана сотрудниками кафедры автоматики и телемеханики МЭИ — В. И. Доценко, Г. В. Фатеевой и Л. П. Чхартишвили. Настоящий, N-й вариант не мог бы быть завершен без активного участия И. П. Девятерикова, П. В. Надеждина и А. С. Позняка. В уточнении ряда мест большую роль сыграли многочисленные и настойчивые вопросы А. М. Кербелева. Г. Н. Архипова неоднократно печатала и перепечатывала рукопись книги, проявив при этом невероятную способность преобразовывать отдельные заметки и черновые записи в нормальный текст. Автор выражает сердечную благодарность всем перечисленным лицам.

Автор также признателен зав. кафедрой «Техническая кибернетика» МИРЭА профессору Н.

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А. Бабакову и зав. кафедрой «Электротехника, электроника и вычислительная техника» МИТХТ им. М. В. Ломоносова профессору А. В. Нетушилу за рецензирование рукописи и полезные замечания, которые были учтены при окончательном редактировании.

Эта книга является итогом двадцатилетнего содружества автора и Главной редакции физико-математической литературы издательства «Наука». Автор глубоко благодарен коллективу Главной редакции за неизменное внимание и огромную помощь при подготовке рукописей книг к изданию.

*Москва, Цыпкин
1965-1975 гг.*

[Скачать книгу Цыпкин Я. З. Основы теории автоматических систем](#). Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», Москва, 1977