

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления

Москва

«Машиностроение» 1986

Перевод с английского В.Г. Дунаева, Е.И. Копылова, А.Н. Косилова

Под редакцией д-ра техн. наук, профессора П. И. Попова

Изложены теория и основы проектирования систем управления, содержащих в контуре цифровую вычислительную машину. Приведен математический аппарат исследования подобных систем, рассмотрены методы их анализа во временной и частотной областях. Изложены вопросы управляемости и наблюдаемости цифровых систем управления. Рассмотрена специфика систем, использующих микропроцессор в качестве управляющего устройства.

Для инженерно-технических работников, занимающихся анализом и проектированием систем автоматического управления, а также для студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

Куо Б. **Теория и проектирование цифровых систем управления**: Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1986. — 448 с, ил. В пер. 2 р. 30 коп.

Содержание книги

Теория и проектирование цифровых систем управления

Предисловие редактора перевода
Предисловие

Глава 1. Введение

- 1.1. Общие сведения
 - 1.2. Преимущества дискретных систем
 - 1.3. Примеры импульсных и цифровых систем
- Список литературы

Глава 2. Преобразование и обработка сигналов

- 2.1. Введение
- 2.2. Цифровые сигналы и кодирование
- 2.3. Преобразование данных и квантование
- 2.4. Устройства выборки и хранения
- 2.5. Цифроаналоговое преобразование
- 2.6. Аналого-цифровое преобразование
- 2.7. Математическое описание процесса квантования

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 2.8. Импульсная теорема
- 2.9. Некоторые свойства $f^*(x)$ на x -плоскости
- 2.10. Восстановление сигналов по дискретным выборкам
- 2.11. Фиксатор нулевого порядка

Список литературы

Глава 3. Теория z -преобразования

- 3.1. Определение z -преобразования
- 3.2. Вычисление z -преобразований
- 3.3. Соответствие между s -и z -плоскостями
- 3.4. Обратное z -преобразование
- 3.5. Теоремы z -преобразования
- 3.6. Ограничения метода z -преобразования
- 3.7. Импульсная передаточная функция
- 3.8. Импульсная передаточная функции фиксатора нулевого порядка и связь между $G(s)$ и $G'(z)$
- 3.9. Процессы между моментами квантования
- 3.10. Применение метода графов к цифровым системам

Список литературы

Глава 4. Метод пространства состояний

- 4.1. Введение
- 4.2. Уравнения состояния и переходные уравнения состояния непрерывных систем
- 4.3. Уравнения состояния цифровых систем с квантованием и фиксацией
- 4.4. Уравнения состояния цифровых систем, содержащих только цифровые элементы
- 4.5. Переходные уравнения состояния цифровых систем
- 4.6. Переходные уравнения состояния цифровых стационарных систем
- 4.7. Цифровое моделирование и аппроксимации
- 4.8. Решение стационарного дискретного уравнения состояния с помощью z -преобразования
- 4.9. Связь уравнения состояния с передаточной функцией
- 4.10. Характеристическое уравнение, собственные значения и собственные векторы
- 4.11. Диагонализация матрицы A
- 4.12. Каноническая форма Жордана
- 4.13. Методы вычисления переходной матрицы состояния
- 4.14. Цифровые сопряженные системы
- 4.15. Связь между уравнениями состояния и разностными уравнениями высокого порядка
- 4.16. Преобразование к канонической форме фазовой переменной
- 4.17. Диаграмма состояния
- 4.18. Декомпозиция цифровых систем
- 4.19. Диаграммы состояния импульсных систем управления
- 4.20. Определение реакции импульсных систем между моментами квантования с помощью понятия состояния

Список литературы

Глава 5. Цифровое моделирование и переоборудование систем управления на базе ЭВМ

- 5.1. Введение
- 5.2. Цифровое моделирование. Цифровая модель с квантованием и фиксацией

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

5.3. Цифровое моделирование. Численное интегрирование

5.4. Цифровое моделирование с помощью z-форм

5.5. Переоборудование систем управления на базе ЭВМ

Список литературы

Глава 6. Анализ во временной области

6.1. Введение

6.2. Сравнение временных характеристик непрерывных и цифровых систем управления

6.3. Связь между временной характеристикой и положением корней на x - и z -плоскостях

6.4. Влияние расположения полюсов и нулей на z -плоскости на максимальное перерегулирование и время максимума переходной функции дискретных систем

6.5. Корневые годографы цифровых систем управления

6.6. Анализ установившейся ошибки цифровых систем управления

Список литературы

Глава 7. Анализ в частотной области

7.1. Введение

7.2. Годограф Найквиста

7.3. Логарифмические частотные характеристики

7.4. Запасы устойчивости по модулю и по фазе

7.5. Амплитудно-фазовая диаграмма и диаграмма Никольса

7.6. Определение полосы пропускания

7.7. Программы вычисления частотных характеристик на ЭВМ

Список литературы

Глава 8. Управляемость и наблюдаемость

8.1. Сведение

8.2. Определение управляемости

8.3. Теоремы об управляемости для нестационарных систем

8.4. Теоремы об управляемости для стационарных систем

8.5. Определения наблюдаемости

8.6. Теоремы о наблюдаемости для нестационарных систем

8.7. Теоремы о наблюдаемости для стационарных систем

8.8. Дуальная связь между наблюдаемостью и управляемостью

8.9. Связь между управляемостью, наблюдаемостью и передаточными функциями

8.10. Зависимость управляемости и наблюдаемости от периода квантования

8.11. Иллюстративные примеры

8.12. Теоремы об инвариантности управляемости

Список литературы

Глава 9. Синтез цифровых систем управления

9.1. Введение

9.2. Последовательная коррекция с помощью аналоговых регуляторов

9.3. Коррекция с помощью аналоговых регуляторов в цепи обратной связи

9.4. Цифровой регулятор

9.5. Синтез цифровых систем управления с цифровыми регуляторами с помощью билинейного преобразования

9.6. Синтез с использованием корневых годографов на z -плоскости

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

9.7. Цифровой ПИД-регулятор

9.8. Синтез цифровых систем управления с апериодическим переходным процессом

9.9. Синтез по заданному расположению полюсов с помощью обратной связи по состоянию (случай единственного управляющего сигнала)

9.10. Синтез по заданному расположению полюсов с помощью обратной связи по состоянию (случай нескольких управляющих сигналов)

9.11. Синтез по заданному расположению полюсов с помощью неполной обратной связи по состоянию или обратной связи по выходу

9.12. Синтез цифровых систем управления с обратной связью по состоянию и динамической обратной связью по выходу

9.13. Реализация обратной связи по состоянию с помощью динамических регуляторов

Список литературы

Глава 10. Синтез с помощью принципа максимума

10.1. Дискретное уравнение Эйлера—Лагранжа

10.2. Дискретный принцип максимума (минимума)

10.3. Оптимальное по быстродействию управление при ограниченной энергии

Список литературы

Глава 11. Синтез оптимального линейного цифрового регулятора

11.1. Введение

11.2. Синтез линейного цифрового регулятора (задача с конечным интервалом времени)

11.3. Синтез линейного цифрового регулятора (задача с бесконечным интервалом времени)

11.4. Принцип оптимальности и динамическое программирование

11.5. Решение дискретного уравнения Риккати

11.6. Чувствительность по отношению к периоду квантования

Список литературы

Глава 12. Цифровой наблюдатель состояния

12.1. Введение

12.2. Синтез наблюдателя состояния полного порядка

12.3. Синтез наблюдателя состояния пониженного порядка

Список литературы

Глава 13. Микропроцессоры в системах управления

13.1. Введение

13.2. Микропроцессор как управляющее устройство систем управления

13.3. Ограничения микропроцессорных систем управления

13.4. Влияние конечной длины слова на управляемость и расположение полюсов замкнутой системы

13.5. Запоздывание в микропроцессорных системах управления

13.6. Эффекты квантования по уровню. Наименьший верхний предел ошибки квантования

Список литературы

Дополнительная литература

ПРЕДИСЛОВИЕ

Это издание является существенной переработкой книги "Цифровые системы управления",

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

опубликованной в 1977 г. издательством СРЛ (SRL), С 1963 г. автор выпустил несколько книг в области цифровых и дискретных систем управления. Первая из них, "Анализ и синтез импульсных систем управления", была опубликована в 1963 г. издательством "Прентис-Холл". В ней изложены классические методы анализа и синтеза дискретных систем управления и включена глава по нелинейным системам. В целом в книге в доступной форме рассмотрен широкий круг проблем дискретных систем управления. Вторая книга, "Дискретные системы управления", была опубликована в 1970 г. тем же издательством. В ней представлен совершенно новый подход по сравнению с изданием 1963 г. и рассмотрены главным образом методы пространства состояний и современной теории управления. Книга "Теория и проектирование цифровых систем управления" является полностью переработанным и расширенным вариантом издания "Дискретные системы управления".

Период расцвета аэрокосмической промышленности в 60-е годы стал наиболее плодотворным для развития теории дискретных систем управления. В этой области было опубликовано большое количество статей и книг. Хотя активность в аэрокосмическом секторе в последующие годы стабилизировалась, достижения в области микропроцессоров и микроЭВМ и развитие систем управления технологическими процессами послужили новым толчком к совершенствованию цифровых систем управления.

Однако популярность микропроцессорного управления наложила свою особенность на развитие теории цифровых систем управления. Поскольку микропроцессоры — "медленные" цифровые машины (обычно оперируют со словами малой длины), при проектировании цифровых систем управления необходимо учитывать эти ограничения, а также эффекты временной задержки и квантования амплитуды. Многие инженеры, на практике применяющие микропроцессоры в системах управления, просто переносят на них алгоритмы аналогового управления и используют малые периоды дискретизации для обеспечения устойчивости всей системы. Пока такой подход эффективен во многих некритических случаях, но он неприемлем для более сложных задач проектирования.

По сравнению с первым изданием "Цифровые системы управления" настоящая книга содержит следующие основные дополнения.

Расширены традиционные методы анализа и синтеза, поскольку в большинстве случаев для проектирования систем управления используются именно эти способы. Они пригодны как для аналоговых, так и для цифровых систем управления.

Сильно расширены вопросы синтеза цифровых систем управления.

В гл. 9 представлены различные методы синтеза как традиционные, так и современные.

Введена глава по применению микропроцессоров в системах управления. Трудно сказать, в каком объеме материал по применению микропроцессоров должен быть включен в книгу, подобную этой. Большинство современных программ по подготовке инженеров в области управления содержат курсы по применению микропроцессоров.

Автор считает, что изложение аспектов программирования не является задачей этой книги, и опыт программирования микропроцессоров для ее читателей не является обязательным.

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Вполне возможно, что инженеру по системам управления поручат разработку цифровой системы управления в целом, однако программист или инженер по математическому обеспечению будет более компетентен в программировании цифрового контроллера. Важно, чтобы проектировщик системы управления понимал, как работает микропроцессор и выполняются программы. В этом случае им может быть спроектирован реальный цифровой регулятор, учитывающий физические ограничения микропроцессора. Помня об этом, автор в гл. 13 представил основные компоненты и программную логику микропроцессора без углубления в специфические детали, при этом особое внимание обращено на эффекты временных задержек и квантования из-за конечности длины слова.

В целях экономии объема, необходимого для нового материала, главы по статистическим методам проектирования систем исключены. Так как предполагается, что новое издание будет использовано студентами старших курсов и аспирантами исключение материала по статистическим методам проектирования не будет серьезной помехой для большинства читателей.

Представленный материал охватывает больший круг учебных вопросов, чем односеместровый курс. Это дает возможность преподавателю выбрать темы, которые он хотел бы проработать. Весь материал книги был использован автором в преподавательской работе в Иллинойс-ком университете. Книга также подготовлена с расчетом на инженеров; она может быть использована как справочник для самообразования.

Предполагается, что читатель знаком с основными принципами построения систем с обратной связью, алгеброй матриц и преобразованием Лапласа. Весьма полезным было бы предварительное знакомство с методом пространства состояний и программированием микропроцессоров.

В гл. 1 дано общее введение в теорию цифровых систем управления. В ней представлены типичные примеры цифровых систем управления. В гл. 2 рассмотрены вопросы преобразования и обработки сигналов, вопросы дискретизации. Это является основой для аналитического подхода при рассмотрении цифровых сигналов в системах управления. Гл. 3 освещает теорию z-преобразования. В эту главу включены также вопросы модифицированного z-преобразования и применения графов. В гл. 4 описаны методы пространства состояний в приложении к цифровым стационарным и нестационарным системам. В гл. 5 рассмотрено цифровое моделирование. Обсуждены методы численного интегрирования и моделирования в z-форме. В эту главу включены также вопросы переоборудования на базе ЭВМ, показывающего, как непрерывную систему представить эквивалентной цифровой системой.

Гл. 6 посвящена анализу цифровых систем управления во временной области. Основное внимание уделено предсказанию переходных характеристик по расположению нулей и полюсов, методу корневого годографа, анализу систем в установившемся и переходном режимах.

В гл. 7 представлены частотные методы анализа цифровых систем управления. Традиционные понятия, такие как критерий Найквиста, диаграммы Бode, диаграмма Никольса, запасы по амплитуде и фазе обобщены в расчете на цифровые системы управления. Гл. 8 посвящена проблемам управляемости и наблюдаемости. В гл. 9

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

представлены методы синтеза систем, от традиционных способов до методов с использованием обратной связи по состоянию и по выходу. Гл. 10-12 охватывают вопросы оптимального управления в цифровых системах. Рассмотрены принцип максимума, синтез оптимального линейного регулятора, динамическое программирование, чувствительность по отношению к периоду-квантования и синтез наблюдателя состояния. В последней, тринадцатой главе рассмотрены вопросы микропроцессорного управления.

Книга содержит большое число иллюстративных примеров, взятых из практического опыта автора, хотя многие из них упрощены для более наглядного представления.

Автор благодарен своим студентам, чья помощь при обсуждении материала во время аудиторных занятий и работе над проектами была неоценимой при подготовке этой книги. Он хочет выразить благодарность своей дочери Тине, выполнившей большинство иллюстраций этой книги, и двум другим дочерям, Лори и Линде, за правку и считывание рукописи. Особую благодарность автор адресует Джейн Карлтон, своему бывшему секретарю, за профессиональное и умелое печатание всей рукописи. В заключение автор хочет поблагодарить свою жену Маргарет за ее всестороннюю поддержку этого и многих других начинаний автора на протяжении многих лет. Без ее моральной и физической поддержки эти начинания никогда не были бы осуществлены.

Б.Куо

[Скачать книгу Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления.](#)
Перевод с английского. Москва, издательство Машиностроение, 1986