

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Д. Сю, А. Мейер. Современная теория автоматического управления и ее применение

Перевод с английского

В. С. БОЧКОВА, Е. В. ГУРЕЦКОЙ,

Л. М. КИСЕЛЕВОЙ и В. Г. ПОТЕМКИНА

Под редакцией доктора технических наук

профессора Ю. И. ТОПЧЕЕВА

Москва «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1972

Книга посвящена систематическому изложению современной детерминированной теории автоматического управления. В ней рассмотрены уравнения динамики и способы их решения, точные и приближенные методы анализа систем, оптимальные системы, основанные на классических вариационных методах, принципах максимума и динамического программирования.

Значительное число примеров и упражнений, приведенных в книге, позволяют глубже освоить теорию и ее применение к решению практических задач. Книга предназначена для научных работников, преподавателей и аспирантов, занимающихся вопросами автоматического управления в различных областях техники.

Перевод с английского. Под ред. д-ра техн. наук проф. Ю. И. Топчиева. М., «Машиностроение», Ш72, стр. 544.

Содержание книги

Современная теория автоматического управления и ее применение

Предисловие к русскому изданию
Предисловие к английскому изданию
Условные обозначения

Раздел I. ВВЕДЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Глава I. Современные системы автоматического управления

- 1.1. Роль математики в современной теории автоматического управления (15).
- 1.2. Линейные и нелинейные системы управления (16).
- 1.3. Устойчивость и оптимальность (19).
- 1.4. Системы высокого порядка и приближенные методы их расчета (20).
- 1.5. Роль вычислительных машин в практике проектирования систем управления (21).
- 1.6. Исторический очерк развития теории автоматического управления (22).

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.7. Содержание книги (24).

Глава 2. Исследование систем с помощью переменных состояния

2.1. Система, автоматического управления (26).

2.2. Представление динамики объекта в векторно-матричной форме (28).

2.3. Операторная форма записи линейных систем (32).

2.4. Уравнения состояния линейных стационарных систем, передаточная функция которых не содержит нулей (33).

2.5. Уравнения состояния линейных стационарных систем с числителем передаточной функции порядка I , где $1 < I < n$ (38).

2.6. Уравнения состояния линейных стационарных систем с числителем передаточной функции, порядка $I > n$ (41).

2.7. Уравнения состояния линейных систем с переменными параметрами (41).

2.8. Уравнения состояния системы для случая нескольких входов и выходов (42).

2.9. Характеристическое уравнение для стационарных систем (43).

2.10. Краткое содержание (43).

2.11. Задачи для упражнений (44).

2.12. Указания на литературу (46).

Глава 3. Решение уравнений состояния

3.1. Некоторые определения (47).

3.2. Достаточные условия существования и единственности решения системы уравнений относительно переменных состояния (49).

3.3. Решение линейных уравнений состояния (51).

3.4. Определение переходной матрицы линейной стационарной системы (55).

3.5. Передаточные функции линейных стационарных систем (61).

3.6. Управляемость и наблюдаемость линейных систем с постоянными параметрами (63).

3.7. Линейные нестационарные системы (68).

3.8. Сопряженная система уравнений (69).

3.9. Линейные системы, которые не могут быть описаны через переменные состояния (72).

3.10. Краткое содержание (73).

3.11. Задачи для упражнений (74).

3.12. Указания на литературу (76).

Глава 4. Системы второго порядка и фазовая плоскость

4.1. Некоторые примеры траекторий на фазовой плоскости (78).

4.2. Состояния равновесия и зоны равновесных состояний автономных систем (82).

4.3. Различные виды положений равновесия автономных линейных систем второго порядка (84).

4.4. Предельные циклы и другие виды траекторий движения автономных нелинейных систем (89).

4.5. Фазовые траектории консервативных систем (92).

4.6. Построение фазовых траекторий (94).

4.7. Определение времени протекания переходных процессов по фазовым траекториям (97).

4.8. Краткое содержание (98).

4.9. Задачи для упражнений (99).

4.10. Указания на литературу (101).

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Раздел II. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ

Глава 5. Линеаризация и устойчивость в малом

- 5.1. Понятие устойчивости (103).
- 5.2. Устойчивость в малом (устойчивость по Ляпунову) автономных нелинейных систем (104).
- 5.3. Линеаризация (107).
- 5.4. Первый метод Ляпунова анализа устойчивости систем относительно положения равновесия (110).
- 5.5. Линеаризация относительно траектории. Чувствительность и анализ ошибок (115).
- 5.6. Устойчивость траекторий системы. Равномерная асимптотическая устойчивость (119).
- 5.7. Орбитальная устойчивость и устойчивость зон равновесных состояний (125).
- 5.8. Предельные циклы в системах второго порядка и их орбитальная устойчивость (126).
- 5.9. Введение в анализ устойчивости в большом. Гипотезы Айзермана и Калмана (130).
- 5.10. Краткое содержание (133).
- 5.11. Задачи для упражнений (134).
- 5.12. Указания на литературу (137).

Глава 6. Гармоническая линеаризация и эквивалентная передаточная функция

- 6.1. Сущность метода гармонической линеаризации (139).
- 6.2. Метод гармонической линеаризации для систем управления с однозначными нелинейностями (143).
- 6.3. Эквивалентные передаточные функции двузначных нелинейностей (154).
- 6.4. Общий метод определения эквивалентных передаточных функций однозначных нелинейностей (157).
- 6.5. Исследование скачкообразного резонанса методом гармонической линеаризации (162).
- 6.6. Запас по амплитуде в нелинейной системе и его применение в задачах стабилизации систем управления нелинейными корректирующими устройствами (166).
- 6.7. Анализ и стабилизация систем управления высокого порядка (171).
- 6.8. Случай, когда метод гармонической линеаризации не применим (174).
- 6.9. Краткое содержание (175).
- 6.10. Задачи для упражнений. (176).
- 6.11. Указания на литературу (178).

Глава 7. Эквивалентная линеаризация при двухчастотном входном сигнале.

Колебательные сервомеханизмы

- 7.1. Вводные замечания о методе эквивалентной двухчастотной линеаризации. Уравнения баланса для постоянной составляющей (180).
- 7.2. Эквивалентная передаточная функция для двухчастотного входного сигнала и исследование субгармонических колебаний (183).
- 7.3. Другие применения эквивалентной передаточной функции для двухчастотного входного сигнала (187).
- 7.4. Определение эквивалентной передаточной функции для двухчастотного входного сигнала на основе представления однозначных нелинейностей в интегральной форме (191).
- 7.5. Колебательные сервомеханизмы (196).
- 7.6. Краткое содержание (202).
- 7.7. Задачи для упражнений (203).
- 7.8. Указания на литературу (204)

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Глава 8. Точные методы, анализа релейных систем управления

- 8.1. Переходные процессы в релейной системе при произвольной форме входного сигнала (207).
- 8.2. Основные уравнения для отыскания периодического движения и условия их существования (208).
- 8.3. Модифицированное z-преобразование с опережением (210).
- 8.4. Метод Цыпкина исследования автоколебаний (216).
- 8.5. Другой способ построения годографа Цыпкина (223).
- 8.6. Вынужденные колебания в релейных системах управления (225).
- 8.7. Устойчивость колебаний в релейных системах управления (227).
- 8.8. Краткое содержание (231).
- 8.9. Задачи для упражнений (232).
- 8.10. Указание, на литературу (233).

Глава 9. Устойчивость в большом и второй метод Ляпунова

- 9.1. Функции Ляпунова (234).
- 9.2. Теоремы об устойчивости в малом для автономных систем (237).
- 9.3. Теоремы об устойчивости в большом и устойчивости в целом (242).
- 9.4. Функции Ляпунова для линейных автономных систем (245).
- 9.5. Задача Лурье (246).
- 9.6. Применение второго метода Ляпунова к анализу нестационарных систем (250).
- 9.7. Другие приложения второго метода Ляпунова (255).
- 9.8. Краткое содержание (258).
- 9.9. Задачи для упражнений (259).
- 9.10. Указания на литературу (262).

Глава 10. Точные методы анализа устойчивости нелинейных систем. Частотный критерий В. М. Попова и его развитие

- 10.1. Некоторые свойства основной системы (264).
- 10.2. Понятие об асимптотически устойчивом управлении и асимптотически устойчивом выходном сигнале (268).
- 10.3. Основная теорема и некоторые ее применения (271).
- 10.4. Условия асимптотической устойчивости в целом (276).
- 10.5. Степень устойчивости как характеристика демпфирующих свойств системы (277).
- 10.6. Преобразование сдвига полюсов и круговой критерий (278).
- 10.7. Преобразование сдвига нулей (288).
- 10.8. Применение номограмм замыкания при использовании критерия Попова (291).
- 10.9. Краткое содержание (299).
- 10.10. Задачи для упражнений (300).
- 10.11. Указания на литературу (302).

Глава 11. Анализ устойчивости систем при действии входных сигналов

- 11.1. Лемма Беллмана—Гренвилла и ее применение для анализа устойчивости (305).
- 11.2. Устойчивость и ограниченность решений линейных нестационарных систем при вводимых воздействиях.
- 11.3. Практическая устойчивость — устойчивость в малом при ограниченных входном и выходном сигналах (310).
- 11.4. Устойчивость в целом при ограниченных входном и выходном сигналах одноконтурных

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

систем управления (314).

11.5. Устойчивость вынужденных решений (319).

11.6. Устойчивость периодических решений (323).

11.7. Применение теоремы о неподвижной точке сжатого отображения (327).

11.8. Краткое содержание (334).

11.9. Задачи для упражнений (336).

11.10. Указания на литературу (337).

Раздел III. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Глава 12. Качество и оптимальность

12.1. Задачи оптимального управления, формулировки и примеры (341).

12.2. Частотный метод оптимизации линейной стационарной системы (344).

12.3. Решение оптимальных задач с закрепленными концами для линейных нестационарных систем (347).

12.4. Задачи оптимального быстродействия (349).

12.5. Задачи, оптимальные по расходу топлива (354).

12.6. Некоторые другие типы задач оптимального управления (355).

12.7. Краткое содержание (356).

12.8. Задачи для упражнений (356).

12.9. Указания на литературу (357).

Глава 13. Вариационное исчисление и оптимальное управление

13.1. Уравнения Эйлера—Лагранжа и другие необходимые условия локального минимума (358).

13.2. Задачи линейного оптимального управления (372).

13.3. Задача управления конечным состоянием. Задача Майера (378).

13.4. Задача оптимального управления с обобщенным показателем качества. Задача Больца (383).

13.5. Задачи с ограничениями типа неравенств (385).

13.6. Краткое содержание (388).

13.7. Задачи для упражнений (389).

13.8. Указания на литературу (391).

Глава 14. Принцип максимума Понтрягина

14.1. Решение задачи оптимального быстродействия и ее геометрическая интерпретация (393).

14.2. Оптимальное по быстродействию управление линейной системой (397).

14.3. Принцип максимума (400).

14.4. Принцип максимума как достаточное условие оптимальности (409).

14.5. Схема доказательства принципа максимума (409).

14.6. Применение принципа максимума к некоторым классам задач (415).

14.7. Расширение области применения принципа максимума (421).

14.8. Краткое содержание (423).

14.9. Задачи для упражнений (423).

14.10. Указания на литературу (425).

Глава 15. Динамическое программирование

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 15.1. Эвристический подход к решению задач оптимального управления (426).
- 15.2. Принцип оптимальности (430).
- 15.3. Динамическое программирование для непрерывных систем. Уравнение Беллмана (432).
- 15.4. Синтез оптимального управления в системах с линейными объектами и квадратичным критерием качества (436).
- 15.5. Связь динамического программирования с принципом максимума (443).
- 15.6. Динамическое программирование для случая, когда производная разрывна (447).
- 15.7. Динамическое программирование как достаточное условие оптимальности (448).
- 15.8. Краткое содержание (451).
- 15.9. Задачи для упражнений (452).
- 15.10. Указания на литературу (454).

Глава 16. Вырожденные и особые задачи управления

- 16.1 Особые задачи оптимального управления (455).
- 16.2. Вырожденные управления в задаче оптимального быстрогодействия (457).
- 16.3. Вырожденные управления в оптимальных задачах по расходу топлива (460).
- 16.4. Вырожденные управления в других оптимальных задачах (462).
- 16.5. Свойство вырожденных решений (467).
- 16.6. Необходимое условие оптимальности вырожденных решений (468).
- 16.7. Краткое содержание (470).
- 16.8. Задачи для упражнений (471).
- 16.9. Указания на литературу (472).

Глава 17. Практическое применение оптимального управления и его возможности

- 17.1. Численные методы определения оптимальных решений (474).
- 17.2. Изучение структуры оптимального управления (486).
- 17.3. Квазиоптимальные системы управления (489).
- 17.4. Класс современных систем управления (492).
- 17.5. Краткое содержание (495).
- 17.6. Указания на литературу (595).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I. Векторы и матрицы

Приложение II. Обычное g -преобразование и модифицированное g -преобразование с опережением

Приложение III. Математические основы

Список литературы

Литература, добавленная при переводе книги

Именной указатель

Предметный указатель

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Предлагаемый вниманию читателей перевод книги известных американских ученых Д. Сю и А. Мейера «Современная теория автоматического управления и ее применение» вызовет значительный интерес у научных работников, инженеров и аспирантов, занимающихся

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

теорией автоматического управления. По сути дела эта книга является одной из первых, где систематически и в доступной форме изложены методы представления уравнений динамики систем управления с помощью переменных состояния и способы их решения; точные и приближенные методы анализа устойчивости нелинейных систем управления; основы теории оптимальных систем, использующие классические начала вариационного исчисления, принцип максимума Понтрягина и динамического программирования Беллмана.

Большое внимание уделяют авторы книги частотным методам анализа устойчивости нелинейных систем, а также определению области их устойчивости при действии входных сигналов. Наряду с классическими методами теории оптимальных систем излагаются вопросы особых, вырожденных и квазиоптимальных задач управления.

Весь материал книги расположен в порядке возрастающей трудности. В первых главах применяется математический аппарат, широко распространенный в теории автоматического регулирования. В последующих главах используется современный математический аппарат теории множеств, линейных векторных пространств, функционального анализа и теории импульсных систем управления. Для тех, кто недостаточно знаком с этими разделами математики, приведены приложения I—III, где даны основные положения теории матриц, обычного и модифицированного z-преобразований и функционального анализа.

Книга снабжена большим количеством примеров расчета систем автоматического управления, часть из которых представляет самостоятельный интерес. Для более углубленного изучения материала в конце каждой главы приведены задачи для самостоятельных упражнений. Общее количество таких задач составляет более двухсот.

В конце каждой главы авторы дают обзор литературы с изложением оригинальных работ в рассматриваемых направлениях. Всё это, безусловно, повышает ценность данной книги.

При переводе книги были устранены отдельные опечатки и неточности; некоторые обозначения и термины заменены общепринятыми в отечественной литературе. Был также добавлен список литературы за счет наиболее интересных и оригинальных работ, изданных в СССР.

Книга представляет собой обработанный курс лекций, прочитанный авторами для специалистов компании «Белл», аспирантам и студентам Ньюаркского инженерного колледжа и университета штата Юта. Она написана простым и ясным языком и предназначена для широкого круга научно-технических работников, занимающихся вопросами автоматического управления в различных областях техники.

Ю. ТОПЧЕЕВ

[Скачать книгу Д. Сю, А. Мейер. Современная теория автоматического управления и ее применение.](#) Перевод с английского. Под редакцией доктора технических наук профессора Ю. И. Топчиева. Москва, «Машиностроение», 1972