

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

И. В. Мирошник

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ



Линейные системы



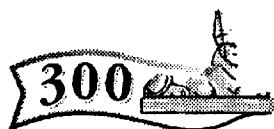
300

УЧЕБНОЕ / ПОСОБИЕ

И. В. Мирошник

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ Линейные системы

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по группе направлений подготовки бакалавров и магистров 550000 — «Технические науки» и дипломированных специалистов 650000 — «Техника и технологии» дисциплине «Теория автоматического управления»



300.piter.com

Издательская программа

**300 лучших учебников для высшей школы
в честь 300-летия Санкт-Петербурга**

осуществляется при поддержке Министерства образования РФ

 **ПИТЕР®**

Москва · Санкт-Петербург · Нижний Новгород · Воронеж
Ростов-на-Дону · Екатеринбург · Самара · Новосибирск
Киев · Харьков · Минск

2005

ББК 32.965.4я7
УДК 621.398-01(075)
М64

Рецензенты:

*Андреевский Б. Р., кандидат технических наук, доцент Балтийского государственного
технического университета «ВОЕНМЕХ»*

*Путлов В. В., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Систем
автоматического управления Санкт-Петербургского государственного
электротехнического университета «ЛЭТИ»*

Мирошник И. В.

М64 Теория автоматического управления. Линейные системы. — СПб.: Питер, 2005. —
336 с.: ил. — (Серия «Учебное пособие»).

ISBN 5-469-00350-7

В учебном пособии представлены базовые положения современной теории линейных систем управления и основного аппарата теории — метода пространства состояний. Значительное внимание уделяется моделям динамических систем: представлены традиционные методы описания и модели с использованием переменных состояния. Рассмотрены вопросы анализа структурных свойств (управляемости и наблюдаемости), устойчивости и качественных показателей систем управления, проблемы выбора классических регуляторов, модального управления, синтеза следящих систем и наблюдателей состояния. Изучаются дискретные модели и обсуждаются особенности цифровых систем, реализованных на базе управляющих контроллеров. В книгу включен цикл практических занятий — практикум, основное содержание которого составляют расчеты и модельные (компьютерные) эксперименты, ориентированные на наглядное подтверждение изучаемых методов и приобретение навыков анализа и синтеза линейных систем.

Учебное пособие может быть использовано как для начального ознакомления с предметом, аппаратом и языком современной теории автоматического управления, так и для углубленной подготовки. Предназначено для студентов технических университетов в процессе освоения курсов «Основы теории управления», «Теория автоматического управления», «Основы автоматического управления», выполнении курсовых и квалификационных работ, а также для самостоятельного изучения современных методов анализа и проектирования автоматических систем.

ББК 32.965.4я7
УДК 621.398-01(075)

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 5-469-00350-7

© ЗАО Издательский дом «Питер», 2005

Содержание

Предисловие	7
Список сокращений и обозначений	11
Глава 1. Основные понятия	13
1.1. Предмет теории управления, кибернетические понятия	14
1.1.1. Управление	14
1.1.2. Процессы и сигналы	18
1.1.3. Кибернетические блоки	21
1.1.4. Кибернетические системы	23
1.1.5. Дискретно-непрерывные (цифровые) системы	24
1.1.6. Кибернетика и предмет теории автоматического управления	26
1.2. Структура и функциональные компоненты САУ	28
1.2.1. Функциональные компоненты систем управления	28
1.2.2. Управление положением кинематического механизма	32
1.2.3. Укрупненная схема системы управления	35
1.3. Задачи управления сложными системами	36
1.4. Локальные задачи управления	39
1.4.1. Одноканальное управление и качество системы	40
1.4.2. Многоканальное управление	41
1.5. Блоки и алгоритмы устройств управления	43
1.5.1. Регуляторы	44
1.5.2. Задающие блоки	45
1.5.3. Специальные задачи и блоки систем управления	47
Глава 2. Математические модели вход-выход	49
2.1. Линейные модели вход-выход	49
2.1.1. Аналитические модели	50
2.1.2. Структурные схемы	54
2.1.3. Многоканальные модели	55
2.1.4. Модели возмущенных систем	58
2.2. Переходные процессы и характеристики моделей вход-выход	59
2.2.1. Переходные процессы	60
2.2.2. Процессы автономных систем	61

2.2.3. Вынужденное движение	63
2.2.4. Установившееся движение	65
2.2.5. Статический режим	67
2.3. Элементарные звенья	69
2.4. Построение моделей вход-выход	76
2.4.1. Простейшие соединения блоков	76
2.4.2. Передаточные функции систем управления	79
Глава 3. Математические модели вход-состояние-выход	82
3.1. Понятие пространства состояний и модели состояние-выход	82
3.1.1. Переменные состояния	82
3.1.2. Модели состояние-выход и переходные процессы	85
3.1.3. Свойства моделей состояние-выход	88
3.2. Модели управляемых систем	93
3.2.1. Модели вход-состояние-выход	93
3.2.2. Передаточная функция (матрица) и структурные схемы моделей ВСВ	96
3.2.3. Статический режим	100
3.3. Фазовые траектории автономной системы второго порядка	101
3.4. Эквивалентные преобразования и канонические представления	107
3.4.1. Эквивалентные преобразования	108
3.4.2. Канонические представления моделей ВСВ	109
Глава 4. Построение моделей систем управления	113
4.1. Модели электромеханических объектов	113
4.1.1. Элементы и структурная схема ЭМО	114
4.1.2. Построение моделей ВВ и ВСВ	116
4.1.3. Приближенная модель ЭМО	116
4.1.4. ЭМО с поступательным механизмом	118
4.2. Модели задающих блоков и внешних воздействий	120
4.3. Регуляторы и модели замкнутых систем	125
4.3.1. Операторные модели	126
4.3.2. Векторно-матричные модели	128
Глава 5. Устойчивость и структурные свойства	131
5.1. Устойчивость систем управления	131
5.1.1. Техническая устойчивость	132
5.1.2. Понятия математической устойчивости	134
5.1.3. Устойчивость возмущенных систем	137
5.2. Критерии устойчивости	141
5.2.1. Метод Гурвица	142
5.2.2. Корневые критерии устойчивости	145
5.2.3. Уравнение Ляпунова и устойчивые матрицы	148
5.3. Структурные свойства систем управления	149
5.3.1. Управляемость линейных систем	149
5.3.2. Наблюдаемость линейных систем	152

5.3.3. Симметричность структурных свойств и невырожденные системы	156
Глава 6. Качество систем управления	158
6.1. Задачи систем управления и показатели качества	158
6.1.1. Показатели качества	158
6.1.2. Оценка качества по переходным функциям	160
6.1.3. Установившееся движение и точность	162
6.1.4. Динамические показатели автономных систем	164
6.2. Корневые методы исследования качества	168
6.2.1. Расположение полюсов и теорема подобия	169
6.2.2. Анализ быстрогодействия	170
6.2.3. Оценка колебательности	173
6.2.4. Оценка быстрогодействия по норме вектора состояния	175
6.3. Метод стандартных переходных функций	177
6.3.1. Полином Баттерворта и переходные функции	178
6.3.2. Биномиальное разложение и переходные функции	180
6.3.3. Построение характеристических полиномов и синтез систем управления	181
6.4. Оценка точностных показателей	185
6.4.1. Разомкнутые и замкнутые системы управления	185
6.4.2. Статические и астатические системы	187
6.4.3. Точность при постоянных входных воздействиях	189
6.4.4. Оценка точности в типовых режимах и метод коэффициентов ошибок	194
Глава 7. Методы управления и синтез САУ	197
7.1. Общие принципы управления	197
7.2. Управление выходом и одноконтурные системы	201
7.3. Регуляторы и системы управления состоянием	209
7.3.1. Синтез алгоритма стабилизации и метод модального управления	211
7.3.2. Стабилизация возмущенного объекта	215
7.3.3. Синтез следящих систем	220
7.4. Синтез наблюдателей состояния	229
7.4.1. Наблюдатель полного порядка	229
7.4.2. Расширенный наблюдатель	234
7.4.3. Редуцированный наблюдатель возмущения	237
7.5. Регуляторы выхода и принцип разделения	239
Глава 8. Дискретные системы	242
8.1. Дискретные модели динамических процессов	242
8.1.1. Построение дискретных моделей	242
8.1.2. Модели вход-выход	249
8.1.3. Модели вход-состояние-выход	255
8.1.4. Элементарные звенья дискретных систем	261
8.2. Основные свойства дискретных систем	265

8.2.1. Управляемость и наблюдаемость	266
8.2.2. Устойчивость дискретных систем	269
8.3. Качество дискретных систем управления	271
8.3.1. Динамические показатели качества	271
8.3.2. Оценка точностных показателей	279
Глава 9. Цифровые системы управления	285
9.1. Цифровые системы	285
9.1.1. Аппаратура цифровых систем	286
9.1.2. Прохождение сигналов и эквивалентная схема цифровой системы управления	291
9.1.3. Особенности цифровых систем	294
9.2. Проблемы дискретизации непрерывных моделей	299
9.2.1. Методы дискретизации	299
9.2.2. Анализ интервала квантования	303
Глава 10. Практикум	310
10.1. Синтез линейной системы управления	310
10.1.1. Анализ объекта управления	311
10.1.2. Синтез алгоритма стабилизации	312
10.1.3. Исследование возмущенной системы	313
10.1.4. Исследование следящей системы	315
10.1.5. Синтез наблюдателей	318
10.1.6. Исследование синтезированной системы управления	320
10.2. Дискретные системы	321
10.3. Цифровые системы	323
Литература	326
Предметный указатель	328