

Оглавление

Предисловие	9
Глава 1. Представление в пространстве состояний. Некоторые математические сведения	11
1.1. Уравнение системы в нормальной форме	11
1.2. Преобразование уравнений линейных систем в нормальную форму	13
1.3. Общая формула решения системы линейных дифференциальных уравнений	17
1.4. Управляемость объекта управления	19
1.4.1. Управляемость линейных объектов (19). 1.4.2. Управляемость линейных стационарных объектов (21). 1.4.3. Подпространство управляемости (25). 1.4.4. Каноническая форма управляемости (26).	
1.5. Канонические формы уравнения и модальное управление ...	28
1.6. Стабилизируемость линейных стационарных систем	34
1.7. Равномерная непрерывность и лемма Барбалата	36
1.8. Лемма Калмана–Якубовича	38
1.9. Векторное дифференцирование	39
Задачи	42
Глава 2. Нелинейные системы. Метод фазовой плоскости	45
2.1. Нелинейные статические характеристики. Особенности нелинейных систем	45
2.2. Определение устойчивости	47
2.3. Орбитальная устойчивость. Автоколебания	51
2.4. Изображение процессов на фазовой плоскости	53
2.5. Фазовые портреты и типы особых точек	55
2.5.1. Фазовые портреты и типы особых точек линейных систем (55). 2.5.2. Фазовые портреты нелинейных систем (57).	
2.6. Метод фазовой плоскости анализа и синтеза систем	60
2.6.1. Анализ нелинейных систем (60). 2.6.2. Синтез систем с переменной структурой (62).	
Задачи	66

Глава 3. Метод гармонической линеаризации	68
3.1. Гармоническая линеаризация	68
3.2. Вычисление коэффициентов гармонической линеаризации при симметричных колебаниях	71
3.2.1. Коэффициенты гармонической линеаризации нелинейных звеньев с однозначной характеристикой (71). 3.2.2. Коэффициенты гармонической линеаризации нелинейных звеньев с неоднозначной характеристикой (74).	
3.3. Исследование симметричных автоколебаний	81
3.3.1. Аналитический способ исследования автоколебаний (81).	
3.3.2. Графический (частотный) метод исследования автоколебаний (85).	
3.4. Несимметричные колебания	87
3.4.1. Вычисление коэффициентов гармонической линеаризации (87). 3.4.2. Исследование несимметричных колебаний (95).	
3.5. Вынужденные колебания и вибрационная линеаризация	97
3.5.1. Вынужденные колебания (98). 3.5.2. Вибрационная линеаризация (100).	
Задачи	105
Глава 4. Метод функций Ляпунова	107
4.1. Знакопостоянные и знакоопределенные функции	107
4.1.1. Определение знакопостоянных и знакоопределенных функций (107). 4.1.2. Положительно определенные квадратичные формы (109).	
4.2. Устойчивость неавтономных систем	111
4.2.1. Теоремы об устойчивости (112). 4.2.2. Теоремы о неустойчивости (117).	
4.3. Устойчивость автономных систем	119
4.3.1. Теоремы об устойчивости (119). 4.3.2. Теоремы о неустойчивости (123).	
4.4. Устойчивость при постоянно действующих возмущениях ...	124
4.5. Исследование нелинейных систем по линейному приближению	127
4.5.1. Уравнение Ляпунова и критерий Ляпунова устойчивости линейных систем (127). 4.5.2. Критерий устойчивости Ляпунова по линейному приближению (130).	
4.6. Оценка времени регулирования	135
4.7. Методы построения функций Ляпунова	137
Задачи	140
Глава 5. Абсолютная устойчивость	142
5.1. Система сравнения. Необходимое условие абсолютной устойчивости	143

5.2. Прямой метод Ляпунова исследования абсолютной устойчивости	144
5.3. Частотные методы исследования абсолютной устойчивости	146
5.3.1. Линейная часть устойчива (146). 5.3.2. Линейная часть неустойчива (148).	
5.4. Доказательство критерия Попова	150
5.5. Квадратичный критерий абсолютной устойчивости	158
5.5.1. Эрмитова матрица и эрмитова форма (159). 5.5.2. Локальная связь. Минимальная устойчивость (161). 5.5.3. Квадратичный критерий (162). 5.5.4. Методы построения квадратичной формы локальной связи (165).	
5.6. Круговой критерий абсолютной устойчивости	169
Задачи	172
Глава 6. Линеаризация обратной связью	174
6.1. Обычная линеаризация и ее недостатки	174
6.2. Линеаризация обратной связью	175
6.3. Некоторые сведения из дифференциальной геометрии	177
6.3.1. Производные и скобки Ли (177). 6.3.2. Диффеоморфизмы и преобразование нелинейных систем (181). 6.3.3. Теорема Фробениуса (182).	
6.4. Линеаризация обратной связью по состоянию	184
6.5. Линеаризация обратной связью по выходу	189
6.5.1. Относительный порядок (192). 6.5.2. Внешняя и внутренняя динамика (193).	
6.6. Нуль-динамика и синтез алгоритмов управления	197
6.6.1. Нуль-динамика (197). 6.6.2. Синтез алгоритма стабилизации (198). 6.6.3. Синтез алгоритма управления в задаче слежения (199).	
Задачи	201
Глава 7. Системы большой размерности. Векторная функция Ляпунова	203
7.1. Дифференциальные неравенства	204
7.2. Экспоненциальная устойчивость. Теорема Красовского	206
7.3. Декомпозиция и децентрализация	212
7.3.1. Декомпозиция (212). 7.3.2. Преобразование Луенбергера (215). 7.3.3. Децентрализация по входу (216).	
7.4. Векторные функции Ляпунова	220
7.4.1. Норма матрицы (220). 7.4.2. Устойчивость агрегированной системы (221). 7.4.3. Критерий устойчивости М-матриц (224). 7.4.4. Устойчивость агрегированной системы с нелинейными взаимосвязями (229).	
Задачи	235

Глава 8. Методы синтеза систем управления	238
8.1. Метод обратной задачи динамики	238
8.2. Синтез систем с переменной структурой	241
8.2.1. Условия скольжения и попадания (241). 8.2.2. Уравнение движения в скользящем режиме (244). 8.2.3. Стабилизация линейного стационарного объекта (246).	
8.3. Синтез систем, основанный на методе функций Ляпунова ..	260
8.3.1. Синтез параметров регулятора (261). 8.3.2. Достаточные условия стабилизируемости и синтез законов управления (262). 8.3.3. Синтез стабилизирующего закона управления при линейном относительно состояния уравнении объекта (266).	
8.4. Синтез систем методом линеаризации обратной связью	269
8.5. Синтез стабилизирующих законов управления методом декомпозиции	270
Задачи	275
Глава 9. Методы теории оптимального управления	277
9.1. Общие положения и постановка задачи	277
9.1.1. Общая постановка задачи оптимального управления (278). 9.1.2. Примеры постановки задач оптимального управления (279). 9.1.3. Классификация задач оптимального управления и их преобразования (283).	
9.2. Метод множителей Лагранжа (методы классического вариационного исчисления)	285
9.2.1. Уравнения Эйлера (285). 9.2.2. Уравнения Эйлера–Лагранжа (287). 9.2.3. Правило множителей Лагранжа для задач оптимального управления с фиксированными концами (288). 9.2.4. Правило множителей Лагранжа для задач оптимального управления с подвижными концами (291). 9.2.5. Правило множителей Лагранжа для задач оптимального управления с нефиксированным временем (294).	
9.3. Принцип максимума Понтрягина	297
9.3.1. Задача с закрепленными концами и фиксированным временем (297). 9.3.2. Задача с подвижными концами и нефиксированным временем (299). 9.3.3. Задача максимального быстродействия. Теорема об n интервалах (302). 9.3.4. Вырожденные задачи (305). 9.3.5. Особые задачи (306).	
9.4. Метод динамического программирования	307
9.4.1. Инвариантное погружение и функциональное уравнение (307). 9.4.2. Принцип оптимальности (309). 9.4.3. Функции и уравнения Беллмана (311). 9.4.4. Достаточные условия оптимальности (314).	
9.5. Наблюдаемость и восстанавливаемость	316

9.5.1. Наблюдаемость линейных стационарных систем (316).	
9.5.2. Каноническая форма наблюдаемости. Обнаруживаемость (320).	
9.5.3. Принцип двойственности управляемости и наблюдаемости (321).	
9.5.4. Наблюдатели полного порядка (322).	
9.5.5. Наблюдатели пониженного порядка (323).	
9.6. Синтез оптимальных систем управления	326
9.6.1. Метод фазовой плоскости синтеза оптимальной по быстродействию системы (326).	
9.6.2. Синтез оптимальной по интегральному квадратичному критерию нестационарной линейной системы управления (328).	
9.6.3. Синтез оптимальной по интегральному квадратичному критерию стационарной линейной системы управления (332).	
9.6.4. Синтез оптимального линейного регулятора выхода (336).	
9.6.5. Синтез оптимальной системы по критерию обобщенной работы (338).	
9.6.6. Метод прогонки решения задачи синтеза оптимальной линейной системы (341).	
Задачи	346
Глава 10. Анализ систем и синтез оптимальных систем управления при случайных воздействиях	350
10.1. Случайные величины и процессы	350
10.1.1. Случайные величины и их характеристики (350).	
10.1.2. Случайные процессы и их характеристики (353).	
10.1.3. Некоторые типы случайных процессов (355).	
10.2. Анализ линейных систем и синтез оптимальных параметров при случайных воздействиях	358
10.2.1. Преобразование случайных процессов линейными системами (358).	
10.2.2. Анализ линейных систем в переходном режиме (362).	
10.2.3. Анализ линейных систем в установившемся режиме (363).	
10.2.4. Синтез параметров системы по минимуму среднеквадратической ошибки (367).	
10.3. Винерова задача оптимальной фильтрации	368
10.3.1. Постановка винеровской задачи оптимальной фильтрации (368).	
10.3.2. Уравнение Винера–Хопфа (369).	
10.3.3. Формирующий фильтр (371).	
10.3.4. Фильтр Винера (374).	
10.4. Фильтры Калмана–Бьюси	377
10.4.1. Задача оптимальной фильтрации при белых шумах (377).	
10.4.2. Фильтр Калмана–Бьюси при цветном шуме объекта (385).	
10.4.3. Фильтр Калмана–Бьюси при цветном шуме наблюдения (388).	
10.4.4. Вырожденная задача оптимального оценивания (391).	
10.4.5. Линеаризованный фильтр Калмана–Бьюси (394).	
10.5. Стохастические оптимальные системы	396
10.5.1. Стохастическое оптимальное управление и уравнение Беллмана (397).	
10.5.2. Стохастическая оптимальная линейная система при полной информации о состоянии (398).	

10.5.3. Стохастическая оптимальная линейная система при неполной информации о состоянии. Принцип разделения (400).	
Задачи	408
Глава 11. Адаптивные системы управления	411
11.1. Общие положения. Постановка задачи	411
11.1.1. Назначение адаптивных систем управления (412).	
11.1.2. Структура и типы адаптивных систем управления (413).	
11.1.3. Общая постановка задачи адаптивного управления (415).	
11.1.4. Общая характеристика методов синтеза адаптивных систем управления (416).	
11.2. Алгоритмы адаптивного управления с ЭМ	417
11.2.1. Алгоритм адаптивного управления линейным объектом 1-го порядка (417).	
11.2.2. Адаптивное управление по состоянию линейным объектом (421).	
11.2.3. Адаптивное управление по выходу линейным объектом с единичным относительным порядком (425).	
11.2.4. Адаптивное управление по выходу линейным объектом с относительным порядком, превышающим единицу (431).	
11.2.5. Адаптивное управление по состоянию нелинейным объектом (435).	
11.2.6. Адаптивное управление и робастность (438).	
11.3. Адаптивное управление с идентификатором	440
11.3.1. Идентификация и модель для получения оценки (440).	
11.3.2. Градиентный идентификатор (442).	
11.3.3. МНК-идентификатор (446).	
11.3.4. МНК-идентификатор с экспоненциальной потерей памяти (449).	
11.3.5. Выбор коэффициента потери памяти (452).	
11.3.6. Сравнительная характеристика различных методов получения оценки (453).	
Задачи	455
Список литературы	456
Предметный указатель	460