

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования

Издание второе, переработанное и дополненное

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальностям: «Автоматика и телемеханика». «Электронные вычислительные машины», «Информационно-измерительная техника»

КИЕВ

ГОЛОВНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ

«ВЫЩА ШКОЛА»

1988

Рецензенты:

чл.-кор. АН СССР И. М. Макаров (Московский институт радиотехники, электроники и автоматики), д-р техн. наук, проф. А. В. Нетушил (Московский институт тонкой химической технологии)

Редакция литературы по информатике и автоматике Зав. редакцией Г. Ф. Трофимчук

Приведены общие сведения и определения теории автоматического управления и регулирования. Описаны принципы управления, динамические характеристики звеньев и систем автоматического управления (САУ).

Рассмотрены вопросы теории инвариантности и ее применения при построении САУ высокой точности с принципом комбинированного управления.

Во второе издание включены главы по цифровым, оптимальным и адаптивным системам автоматического управления. Большое внимание уделено решению основной проблемы теории управления — повышению динамической точности и быстродействия автоматических систем.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям: «Автоматика и телемеханика», «Вычислительная техника», «Информационно-измерительная техника».

Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования. — 2-е изд., перераб. и доп.— К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989.— 431 с. ISBN 5-11-000225-8.

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Содержание книги

Теория автоматического управления и регулирования

Введение

Глава 1. **Основные понятия и определения. Принципы управления**

1.1. Определение системы автоматического управления (САУ)

1.2. Основные принципы управления

Принцип управления по возмущению (разомкнутые САУ) (10). Принцип управления по отклонению (замкнутые САУ) (15). Принцип комбинированного управления. Пример комбинированной системы и ее анализ в статическом режиме (19).

1.3. Классификация систем автоматического управления. Примеры

Классификация САУ по алгоритмам функционирования (23). Классификация САУ по свойствам в установившемся режиме (28). Классификация САУ по характеру изменения величины, определяющих работу отдельных элементов (31). Классификация САУ в зависимости от способов их настройки. Классификация САУ по другим признакам (32).

1.4. Понятие о режимах работы систем автоматического управления. Линеаризация нелинейных дифференциальных уравнений

Глава 2. **Динамические характеристики звеньев и систем автоматического управления**

2.1. Динамические звенья автоматических систем

Необходимость представления элементов автоматических систем динамическими звеньями. Определение динамического звена (35). Классификация и динамические характеристики звеньев (36)

2.2. Структурные (алгоритмические) схемы автоматических систем

Методика составления уравнений элементов и структурной схемы системы (45).

2.3. Передаточные функции типовых соединений звеньев

Передаточная функция последовательного соединения звеньев (50). Передаточная функция параллельного соединения звеньев (50). Передаточная функция звена, охваченного обратной связью (51).

2.4. Передаточные функции систем автоматического управления в разомкнутом и замкнутом состояниях

Передаточная функция системы в разомкнутом состоянии (52). Передаточные функции замкнутой системы (56).

2.5. Передаточные функции статических и астатических САУ

Передаточные функции по ошибке статических и астатических САУ (58). Ошибки САУ в установившихся режимах (61). Установившиеся ошибки САУ следящей системы с астатизмом первого порядка (63). Дополнительные статические ошибки САУ (64).

2.6. Уравнения динамики систем автоматического управления

Уравнение динамики системы в разомкнутом состоянии (65). Уравнения динамики

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

замкнутой системы (65).

2.7. Частотные характеристики звеньев и систем автоматического управления
Комплексная передаточная функция звена (системы) (67). Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики (69). Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) (70). Амплитудно-фазовые частотные характеристики динамических звеньев (73). Амплитудно-фазовые частотные характеристики САУ в разомкнутом состоянии (74).

2.8. Логарифмические частотные характеристики звеньев и систем автоматического управления
Определение логарифмических частотных характеристик (77). Логарифмические частотные характеристики динамических звеньев (78). Логарифмические частотные характеристики систем автоматического управления в разомкнутом состоянии (84).

Глава 3. Устойчивость систем автоматического управления

3.1. Понятие и условие устойчивости САУ

Определение устойчивости САУ (89). Условие устойчивости САУ (91). Понятие о критериях устойчивости САУ (93).

3.2. Алгебраические критерии устойчивости

Критерий устойчивости Гурвица (93). Предельный коэффициент усиления системы (95).

3.3. Частотные критерии устойчивости

Амплитудно-фазовый критерий устойчивости критерий устойчивости Найквиста — Михайлова (96). Логарифмический частотный критерий устойчивости (104).

Глава 4. Качество систем автоматического управления

4.1. Показатели качества систем автоматического управления

4.2. Определение переходной и установившейся составляющих ошибки методом разложения ее изображения на элементарные дроби

4.3. Частотный метод анализа качества переходных процессов систем автоматического управления

Обоснование возможности использования частотных характеристик САУ для построения кривой переходного процесса (112). Связь между показателями качества переходного процесса и вещественной частотной характеристикой замкнутой системы (113).

Приближенный метод построения переходной функции с помощью вещественных трапецеидальных частотных характеристик (114). Построение вещественной частотной характеристики замкнутой системы (119).

4.4. Интегральные оценки качества переходного процесса САУ

4.5. Анализ точности САУ в установившихся режимах с помощью коэффициентов ошибок

Глава 5. Коррекция систем автоматического управления

5.1. Необходимость коррекции САУ. Понятие о коррекции

Противоречие между условиями повышения точности системы в установившемся и

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

переходном режимах. Необходимость и пути коррекции САУ (130). Физический смысл введения производных от сигнала рассогласования в алгоритм управления (133).

5.2. Коррекция САУ с помощью последовательных дифференцирующих фазоопережающих устройств постоянного тока

Дифференцирующий фазоопережающий контур постоянного тока. Передаточная функция и частотные характеристики контура (135). Выбор параметров дифференцирующего фазоопережающего контура. Возможности улучшения показателей качества САУ с помощью контура (138).

5.3. Коррекция САУ с помощью последовательных интегрирующих устройств

Интегрирующий контур постоянного тока. Передаточная функция и частотные характеристики контура (143). Определение параметров интегрирующего контура. Возможность повышения показателей качества САУ с помощью интегрирующего контура (145).

5.4. Коррекция САУ с помощью последовательного интегро-дифференцирующего контура

Интегро-дифференцирующий контур постоянного тока. Передаточная функция и частотные характеристики контура (147). Выбор параметров интегро-дифференцирующего контура. Возможности повышения показателей качества САУ с помощью контура (149).

5.5. Коррекция САУ с помощью последовательных корректирующих устройств переменного тока

Типы корректирующих устройств переменного тока (151). Эквивалентная комплексная передаточная функция цепи переменного тока (контур несущей частоты) (157).
Корректирующие ЯС-контур несущей частоты (159).

5.6. Коррекция САУ при помощи параллельных корректирующих устройств (коррекция обратными связями)

Возможность коррекции САУ с помощью параллельных корректирующих устройств (165). Охват обратной связью апериодического звена (167). Охват обратной связью интегрирующего звена (170). Графический метод анализа САУ, скорректированных с помощью параллельных корректирующих устройств (174). Сравнительная оценка коррекции САУ с помощью последовательных и параллельных корректирующих устройств (180).

Глава 6. Инвариантность комбинированных систем автоматического управления

6.1. Сравнение способов повышения точности систем автоматического управления

6.2. Условие абсолютной инвариантности ошибки относительно возмущающего воздействия и возможность его реализации в комбинированных САУ

6.3. Условие абсолютной инвариантности ошибки относительно задающего воздействия и возможность его реализации в комбинированных следящих системах

6.4. Повышение порядка астатизма комбинированной следящей системы с помощью связи по задающему воздействию

Возможность повышения порядка астатизма следящей системы с помощью связи по задающему воздействию (190). Физический смысл введения производной от задающего

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

воздействия в алгоритм управления системы (192).

6.5. Анализ качества комбинированных систем методом частотных характеристик

6.6. Следящие системы с принципом управления по отклонению и дифференциальными связями. Итерационные системы

Глава 7. Статистические методы исследования систем автоматического управления

7.1. Необходимость исследования САУ при случайных воздействиях с помощью статистических методов

7.2. Статистический метод анализа САУ

Прохождение стационарного случайного сигнала через линейную систему (19S). Оценка точности системы по среднеквадратической ошибке (СКО) (201). Спектральная плотность и дисперсия ошибки системы при воздействии на систему одного полезного сигнала (203). Спектральная плотность и дисперсия ошибки системы при воздействии полезного сигнала и помехи (203). Вычисление среднеквадратической ошибки (206). Пример вычисления среднеквадратической ошибки системы (208).

7.3. Статистический метод синтеза оптимальных параметров САУ

Задача статистического синтеза оптимальной системы (210). Статистический метод синтеза оптимальных параметров системы (211).

Глава 8. Импульсные системы автоматического управления

8.1. Понятие о дискретных системах, классификация дискретных систем

8.2. Определение импульсной системы

Виды импульсной модуляции. Классификация импульсных элементов по виду модуляции. Типы импульсных систем (217). Параметры импульсного элемента. Система автоматического сопровождения цели по дальности импульсной радиолокационной станции (РЛС) (220). Понятие об импульсных системах с мгновенным и конечным временем съема данных (226).

8.3. Эквивалентная схема импульсной системы

Представление импульсного элемента в виде соединения простейшего импульсного элемента и формирующего элемента (227). Передаточная функции формирующего элемента (228). Приведенная непрерывная часть системы (231).

8.4. Математический аппарат исследования импульсных систем

Понятие о решетчатых функциях (233). Понятие о разностях решетчатых функций и разностных уравнениях (235). Дискретное преобразование Лапласа (D-преобразование) (236). Связь между дискретным и непрерывным преобразованиями Лапласа (Фурье), ф-преобразование. Частотное представление решетчатой функции (237). г-преобразование (243).

8.5. Уравнения и передаточные функции разомкнутых импульсных систем

Реакция приведенной непрерывной части системы на последовательность мгновенных импульсов. Уравнение разомкнутой импульсной системы относительно оригиналов (244).

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Уравнения разомкнутой импульсной системы относительно изображений (248). Дискретная передаточная функция разомкнутой импульсной системы (248). Дискретная передаточная функция последовательно и параллельно соединенных цепей направленного действия (251).

8.6. Уравнения и передаточные функции замкнутых импульсных систем

Уравнение замкнутой импульсной системы относительно оригиналов (252). Уравнения замкнутой импульсной системы относительно изображений. Передаточные функции замкнутой импульсной системы (254).

8.7. Анализ устойчивости импульсных САУ

Условие устойчивости замкнутой импульсной системы (256). Критерии устойчивости импульсных САУ (257).

8.8. Анализ качества импульсных САУ

Построение переходных процессов в замкнутой импульсной системе (260). Косвенные методы оценки качества импульсных систем (264).

8.9. Импульсные системы экстраполяции

Определение экстраполяции. Закон экстраполяции (266). Типы экстраполяторов в зависимости от закона экстраполяции (268).

8.10. Полуавтоматические (эргатические) системы управления

Характеристика полуавтоматических систем управления. Математическая модель человека-оператора (270). Полуавтоматическая импульсная система экстраполяции (271).

Глава 9. Цифровые системы автоматического управления

9.1. Определение цифровой САУ. Функциональные схемы цифровых систем

9.2. Преобразователи непрерывных величин в цифровой код и цифрового кода в непрерывную величину

Преобразователи непрерывных (аналоговых) величин в цифровой код (АЦП) (276).

Преобразователи цифрового кода в непрерывную величину (283).

9.3. Примеры цифровых автоматических систем (ЦАС)

Цифровые следящие системы (ЦСС) (283). САУ с микропроцессором для управления технологическим процессом (285).

9.4. Структурные схемы ЦАС

Математическое описание элементов цифровых автоматических систем (286). Структурная схема ЦАС. Представление ЦАС в виде предельной импульсной системы (290).

9.5. Передаточные функции ЦАС

Передаточные функции разомкнутой ЦАС (291). Передаточные функции замкнутой ЦАС (295).

9.6. Анализ устойчивости и качества ЦАС

Анализ устойчивости ЦАС (297). Анализ качества переходных процессов ЦАС (300).

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Глава 10. **Нелинейные системы автоматического управления**

10.1. Понятие о нелинейных системах

10.2. Релейные системы

10.3. Свойства и методы исследования нелинейных систем

Свойства нелинейных систем (308). Методы исследования нелинейных систем (309).

10.4. Особенности устойчивости нелинейных систем

10.5. Частотный критерий абсолютной устойчивости равновесия В. М. Попова

10.6. Метод гармонической линеаризации

Эквивалентный комплексный коэффициент усиления нелинейных элементов (315).

Методика определения эквивалентного комплексного коэффициента усиления нелинейного элемента (318). Годограф вектора нормированного эквивалентного комплексного коэффициента усиления нелинейного элемента (322).

10.7. Исследование устойчивости автоколебаний нелинейных систем методом гармонической линеаризации

Исследование автоколебаний методом логарифмических частотных характеристик (324).

10.8. Способы устранения автоколебаний нелинейных САУ и уменьшения их амплитуды

10.9. Нелинейные корректирующие устройства

Нелинейные корректирующие устройства с опережающими петлевыми характеристиками (333). Псевдолинейные корректирующие устройства (335).

10.10. Методы оценки динамической точности и качества переходных процессов в нелинейных системах

10.11. Компенсация естественных нелинейных САУ

Компенсация зоны нечувствительности (340). Расширение линейной зоны статической характеристики нелинейности типа насыщения (341).

Глава 11. **Оптимальные системы автоматического управления**

11.1. Постановка задачи оптимального управления

Определение и необходимость построения оптимальных систем автоматического управления (343). Понятия о фазовом состоянии и фазовой траектории объекта (344).

Уравнения движения управляемого объекта (346). Критерии оптимальности (348).

Ограничения управляющего воздействия и фазовых координат управляемого объекта (350).

11.2. Методы решения задачи синтеза оптимального управления

Метод динамического программирования Беллмана (352). Принцип максимума Понтрягина (356)

11.3 Оптимальные по быстродействию системы автоматического управления

Задача об оптимальном быстродействии и метод ее решения (360). Теорема об n интервалах (363). Определение моментов переключения управляющего воздействия при оптимальном

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

по быстродействию управления линейными объектами (367). Построение оптимального переходного процесса (372). Оптимальные по быстродействию разомкнутые САУ (374). Оптимальные по быстродействию замкнутые САУ (376). Синтез управляющего устройства замкнутой системы с помощью фазовой плоскости (377). Оптимальные по быстродействию комбинированные САУ (382). Квазиоптимальные системы автоматического управления (384).

Глава 12. Адаптивные системы автоматического управления

12.1. Определение адаптивных систем автоматического управления и их классификация
Необходимость построения адаптивных систем (385). Классификация адаптивных САУ (387).

12.2. Самонастраивающиеся системы автоматического управления со стабилизацией качества управления

Самонастраивающаяся система с эталонной моделью (389). Самонастраивающаяся система стабилизации амплитудно-частотной характеристики с моделью (390).

Самонастраивающаяся система с моделью и большим коэффициентом усиления (391).

12.3. Самонастраивающиеся системы автоматической оптимизации качества управления (системы экстремального управления)

Системы экстремального управления с принципом управления по возмущению (394).

Системы экстремального управления с принципом управления по отклонению (395).

12.4. Поиск системы экстремального управления

Методы определения градиента критерия оптимальности и поиска экстремума (397). Метод синхронного детектирования. Экстремальные системы управления с синхронным детектированием (399). Метод производной по времени. Экстремальные системы с управлением по производной (405). Метод запоминания экстремума. СЭУ с запоминанием экстремума (407).

12.5. Беспойсковые дифференциальные системы экстремального управления

Дифференциальные СЭУ с моделями объекта управления (409).

12.6. Корреляционные системы экстремального управления

Корреляционная СЭУ для выравнивания временных запаздываний сигналов (412).

Корреляционная дифференциальная СЭУ для выравнивания временных запаздываний сигналов (413).

Корреляционная СЭУ с синхронным детектированием для выравнивания временных запаздываний сигналов (415).

Корреляционная СЭУ для измерения скорости движения (416).

Корреляционная дифференциальная СЭУ для измерения скорости проката (417).

Предметный указатель

Список рекомендуемой литературы

[Скачать книгу Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования.](#) — 2-е изд., перераб. и доп. Киев, Издательство Выща школа Головное издательство, 1989