

## ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ:

### СД.03.4 Системы управления электроприводов Осенний/весенний семестр 2009-2010 уч. г.

#### СД.03.4 Системы управления электроприводов

**Контактные часы** – 344 ч. (20%.- лекции, 9.3%-лабораторные занятия, 9.3% практические занятия, 61.4% - СРС).

**Ключевые слова:** релейно-контакторные системы, принципы построения и оптимизации систем подчиненного регулирования, автоматические системы управления скоростью и положением электроприводов постоянного тока и переменного тока, адаптивные системы управления электроприводов

#### Краткое содержание дисциплины:

1. Цели и задачи автоматического управления
2. Релейно-контакторные системы управления электропривода
3. Принципы построения замкнутых систем автоматического управления электроприводов
4. Автоматические системы управления скоростью электроприводов постоянного тока
5. Автоматические системы управления скоростью электроприводов переменного тока
6. Автоматические системы управления положением механизмов
7. Адаптация в автоматических системах управления электроприводов
8. Микропроцессорные системы управления электроприводов

**Кредитная стоимость:** 6/6

**Цель:** Целью преподавания дисциплины является формирование у студентов знаний принципов построения и реализации систем автоматического управления электроприводов, обеспечивающих требуемое изменение координат средствами аналоговой и цифровой техники, методов анализа и синтеза систем, а также навыков их практического применения при исследовании, проектировании и настройке систем с управляемыми электромеханическими преобразователями энергии.

#### Результаты обучения:

В результате изучения дисциплины студенты должны знать:

- классификацию и основные функции систем автоматического управления электроприводов;
- принципы построения, способы и технические средства реализации систем регулирования электроприводов постоянного и переменного тока различного назначения;
- методы оптимизации, анализа и синтеза автоматических систем управления электроприводов;
- основные научно-технические проблемы и перспективы развития систем автоматизированного электропривода.

Студенты должны уметь:

- анализировать требования, предъявляемые к электроприводу, идентифицировать структуру и параметры системы, выполнять синтез корректирующих устройств, обеспечивающих требуемое качество регулирования;
- проектировать типовые системы управления автоматизированных электроприводов, отвечающих заданным техническим требованиям и условиям;
- настраивать типовые системы автоматического управления электроприводов.

## **Полное содержание дисциплины:**

Осенний семестр (40 часов)

### **1. Цели и задачи автоматического управления. (2 часа)**

Основные цели автоматического управления, требования к системам автоматического управления электроприводов (САУ ЭП). Обобщенная структура автоматизированного электропривода; силовой и информационный каналы, система управления электропривода, система управления электроприводом; их состав и взаимодействие. Основные функции систем автоматического управления. Разомкнутые и замкнутые системы. Типовые управляющие и возмущающие воздействия в электроприводах. Показатели качества регулирования.

### **2. Релейно-контакторные системы управления электропривода (8 часов)**

Основные функции релейно-контакторных систем. Управление процессами пуска, разгона, регулирования скорости, торможения, реверса. Защиты и блокировки. Требования к схемам управления. Элементная база реализации. Принципы построения схем автоматического управления двигателями. Управление по принципу времени, скорости, тока, пути; типовые узлы; сравнение и выбор принципов управления. Типовые электрические схемы автоматического управления двигателями постоянного и переменного тока. Бесконтактные системы управления.

### **3. Принципы построения замкнутых систем автоматического управления электроприводов (12 часов)**

Электрический двигатель как объект управления, управляемые координаты, типовые управляющие и возмущающие воздействия. Задачи управления. Обратные связи и их назначение. Классификация замкнутых САУ ЭП: по принципу действия, по выходным регулируемым координатам, по виду управления, по выполняемым функциям. Структуры замкнутых систем управления электроприводов: одно- и многоконтурные структуры, параллельное и подчиненное регулирование. Принципы построения и оптимизации систем подчиненного регулирования. Модульный и симметричный оптимумы. Методика оптимизации контура регулирования. Вопросы практической оптимизации контура системы подчиненного регулирования: отработка возмущающих воздействий, ограничение координат, внутренние перекрестные обратные связи, чувствительность к переменным параметрам и т.д. Другие настройки контура регулирования. Оптимизация многоконтурных систем регулирования.

### **4. Автоматические системы управления скоростью электроприводов**

#### **4.1. Автоматические системы управления скоростью электроприводов постоянного тока (18 часов)**

Требования к системам управления скоростью.

Система тиристорный преобразователь-двигатель постоянного тока. Математическое описание силовой цепи. Типовые структуры автоматических систем управления скоростью тиристорных электроприводов постоянного тока. Синтез и оптимизация двухконтурной структуры подчиненного регулирования тиристорного регулируемого электропривода. Особенности построения САУ РЭП, связанные со свойствами тиристорного преобразователя.

Система двухзонного регулирования скорости тиристорного электропривода. Математическое описание силовой цепи и цепи обмотки возбуждения. Синтез и оптимизация контуров тока возбуждения и ЭДС двигателя. Типовые структуры двухзонного электропривода. Примеры практической реализации.

Система генератор-двигатель. Математическое описание силовой цепи, типовые структуры систем регулирования, особенности оптимизации.

#### **4.2. Автоматические системы управления скоростью электроприводов переменного тока (10 часов)**

Математическое описание асинхронного двигателя, дифференциальные уравнения, структурные схемы.

Типовые системы управления частотно-регулируемых электроприводов: системы асинхронного электропривода с частотно-параметрическим, частотно-токовым скалярным и частотно-токовым векторным регулированием скорости. Структурные схемы, качественные показатели, области применения.

Синтез и оптимизация системы частотно-токового векторного управления асинхронным двигателем. Математическая модель системы частотно-токового векторного управления асинхронным двигателем. Настройка контуров регулирования, показатели качества. Обобщенная функциональная схема системы векторного управления. Вопросы практической реализации систем асинхронного электропривода.

#### **5. Автоматические системы управления положением механизмов (10 часов)**

Принцип построения систем управления положением. Позиционирование и слежение – основные режимы работы систем управления положением.

Синтез систем управления положением, работающих в режиме позиционирования. Требования к электроприводу. Виды движений; отработка электроприводом малых, средних и больших перемещений. Реализация требуемого закона перемещения; параболический регулятор положения.

Синтез систем управления положением, работающих в режиме слежения. Задача следящего управления. Требования к электроприводу. Оценка точности следящего электропривода. Методы повышения точности при отработке управляющего воздействия: повышение порядка астатизма, комбинированное управление, двухканальные следящие системы. Ошибки системы при основном возмущении и пути их уменьшения. Влияние особенностей механизма на работу следящего электропривода.

#### **6. Адаптация в автоматических системах управления электроприводов (6 часов)**

Задачи управления нестационарными системами электроприводов машин и механизмов. Принцип адаптивного управления. Классификация адаптивных САУ: самонастраивающиеся и самоорганизующиеся системы, беспоисковые и поисковые системы. Принцип действия и техническая база реализации.

Беспоисковые адаптивные системы управления электроприводов. Адаптивные системы с внутренними обратными связями. Адаптивные системы с переключающейся структурой регуляторов. Адаптивные системы с эталонными моделями и наблюдателями состояния. Адаптивные системы с самонастройкой. Структуры, принцип действия, примеры практической реализации.

Поисковые адаптивные системы. Критерии качества, методы поиска экстремума. Область применения и особенности организации поисковых систем управления электроприводов.

Перспективы развития принципов адаптивного управления в электроприводе.

#### **7. Микропроцессорные системы управления электроприводов (6 часов)**

Классификация цифровых электроприводов, функциональные схемы. Особенности цифровых систем управления: квантование сигналов по времени и уровню. Структурные схемы, передаточные функции элементов. Математические основы анализа. Методы анализа и синтеза цифровых систем: метод z-преобразований, метод пространства состояний. Расчет цифровых контуров регулирования. Особенности реализации цифрового контура положения в системах управления положением механизма.

#### **Пререквизиты:**

1. Теория автоматического управления ОПД.11.4,5
4. Электрические машины ОПД.07
5. Электрические и электронные аппараты ОПД.08
6. Электрический привод ОПД.09
7. Элементы систем автоматики ОПД.14.4,5
8. Математическое моделирование в электротехнике ЕН.Р.!!

### Учебники:

1. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – Учебник. – М.: Академия, 2005. – 304с.
2. Усынин Ю.С. Системы управления электроприводов. – Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 328 с.
3. Онищенко Г.Н., Аксенов М.И., Грехов В.П. и др. Автоматизированный электропривод промышленных установок. – М.: РАСХЛ, 2001. – 520 с.
4. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат, 1982. – 392 с.

### Дополнительная литература:

1. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. Оптимизация контура регулирования: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – 2-е изд., перераб. и доп.. Гриф УМО. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 156 с.
2. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: учебное пособие / Л.С. Удут, Н.В. Кояин, О.П. Мальцева. – Издание 2-е переработанное и дополненное. Гриф УМО. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152 с.
3. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 4. Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: учебное пособие /Л.С. Удут, Н.В., Кояин, О.П. Мальцева. – Издание 2-е переработанное и дополненное. Гриф УМО. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 164 с.
4. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 5. Применение программы DORA-FUZZY для имитационного моделирования автоматизированных электроприводов: учебное пособие / Н.В. Кояин, Л.С. Удут, О.П. Мальцева. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. Гриф УМО. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 180 с.
5. Системы управления электроприводов.: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152 с.
6. Зимин Е.Н., Яковлев В.И. Автоматическое управление электроприводами: Учебное пособие для вузов, - М.: Высшая школа, 1979. – 318 с.
7. Елисеев В.А. Релейно-контакторные системы управления электропривода: Учебное пособие по курсу «Системы управления электропривода». – М.: Изд.во МЭИ, 1995. – 144 с.
8. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
9. Фрер Ф., Орттенбургер Ф. Введение в электронную технику регулирования. Пер. с нем. – М.: Энергия, 1973. – 193 с.
10. Фрер Ф., Орттенбургер Ф. Основные звенья регулируемого привода постоянного тока. Пер. с нем. – М.: Энергия, 1977. – 184 с.
11. Лебедев Е.Д., Неймарк В.Е., Пистрак М.Я., Слежановский О.В. Управление вентиляционными электроприводами постоянного тока. – М.: Энергия, 1970. – 200 с.
12. Слежановский О.В., Дацковский Л.Х., Кузнецов И.С., Лебедев Е.Д., Тарасенко Л.М. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентиляционными преобразователями.- М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
13. Лебедев А. М. Следящие электроприводы станков с ЧПУ/ А.М.Лебедев, Р.Т.Орлова, А.В.Пальцев.—М.: Энергоатомиздат, 1988.—223 с.
14. Егоров В.Н., Шестаков В.М. Динамика систем электропривода. Л.: Энергоатомиздат – 1983. – 216 с.

15. Терехов В.М. Дискретные и непрерывные системы управления в электроприводах: Учебное пособие по курсу «Системы управления электроприводами».- М.: МЭИ, 1989. – 80 с.
16. Терехов В.М. Непрерывные и цифровые системы управления скоростью и положением электроприводов: Учебное пособие по курсу «Системы управления электроприводами». – М.: МЭИ. – 1990. – 100 с.
17. Бургин Б.Ш. Системы управления электроприводами: Лекции для студентов.- Новосибирск, Изд-во НЭТИ. – 1991. – 115 с
18. Чернов Е.А., Кузьмин В.П., Синичкин С.Г. Электроприводы подач станков с ЧПУ. Справочное пособие.- Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. – 271 с.
19. Чернов Е.А., Кузьмин В.П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ: Справочное пособие.- Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1989. – 320 с.
20. Чернов Е. А. Станочные электроприводы переменного тока: Справочное пособие. – М.: Витраж-центр, 1997. – 232 с.
21. Перельмутер В.М., Сидоренко В.А. Системы управления тиристорными электроприводами постоянного тока. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 304с.
22. Батоврин А.А., Дашевский П.Г., Лебедев В.Д., Марков Б.А., Чичерин Н.И. Цифровые системы управления электроприводами Л.: Энергия, 1977. – 256с.
23. Герман-Галкин С.Г., Лебедев В.Д., Марков Б.А., Чичерин Н.И. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями. – Л.: Энергоатомиздат, – 1986. – 248 с.
23. Борцов Ю.А., Поляхов Н.Д., Путов В.В. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 216 с.
25. Фишбейн В.Г. Расчет систем подчиненного регулирования вентильного электропривода постоянного тока. – М.: Энергия, 1972. – 136 с.
26. Динамика вентильного электропривода постоянного тока/ Под ред. А.Д. Поздеева.- М.: Энергия, 1975. – 224 с.
27. Комплектные системы управления электроприводами тяжелых металлорежущих станков/ Под ред. А.Д. Поздеева. – М.: Энергия, 1980. – 228 с.
28. Управляемый выпрямитель в системах автоматического управления/ Под ред. А.Д. Поздеева. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 352 с.
29. Шенфельд Р., Хабигер Э. Автоматизированные электроприводы: Пер. с нем/ Под ред. Ю. А. Борцова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 464 с.
30. Системы подчиненного регулирования переменного тока с вентильными преобразователями/ О.В. Слежановский и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
31. Тиристорные электроприводы серии КТЭУ мощностью до 2000 кВт / И. Х. Евзеров, В. М. Перельмутер, А. А. Ткаченко. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 96 с.
32. Егоров В. Н., Шестаков В. М. Динамика систем электропривода. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.
33. Громыко В.Д., Санковский Е.А. Самонастраивающиеся системы с моделью. -М.: Энергия, 1974. – 212 с.
34. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. – Л.: Энергоатомиздат, 1992. – 132 с
35. Адаптивное управление в сложных системах. Беспойсковые методы / А. Л. Фрадков. — М.: Наука, 1990. — 293 с.
36. Оптимальное частотное управление асинхронными электроприводами / Р. Т. Шрейнер, Ю. А. Дмитриенко; Академия наук Молдавской ССР; Отдел энергетической кибернетики; Под ред. Г. В. Чалого. — Кишинев: Штиинца, 1982. — 224 с.
37. Шубенко В. А. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением.— М.: Энергия, 1972.—200 с.
38. Эпштейн И.И. Автоматизированный электропривод переменного тока. М.: Энергоатомиздат, 1982. – 191 с.
39. Сандлер А.С., Гусяцкий Ю.М. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергия, 1974. – 328 с.
40. Сабинин Ю. А. Частотно-регулируемые асинхронные электроприводы / Ю. А. Сабинин, В. Л. Грузов.—Л.: Энергоатомиздат, 1985.—128 с.

41. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 134 с.
42. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электропроводах. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. – 172 с.
43. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод. М.: Энергоатомиздат, 2004. – 256 с.
44. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – Учебник. – М.: Академия, 2006. – 265 с.
45. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ И.Х. Евзеров, А.С. Горобец и др., Под ред. В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.
46. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А.Елисеева и А.В.Шинянского.- М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
47. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами/ Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 416 с.

### **Учебно-методическая литература для выполнения проекта**

1. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. Оптимизация контура регулирования: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – 2-е изд., перераб. и доп.. Гриф УМО. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 156 с.
2. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: учебное пособие / Л.С. Удут, Н.В. Кояин, О.П. Мальцева. – Издание 2-е переработанное и дополненное. Гриф УМО. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152 с.
3. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 4. Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: учебное пособие /Л.С. Удут, Н.В., Кояин, О.П. Мальцева. – Издание 2-е переработанное и дополненное. Гриф УМО. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 164 с.
4. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 5. Применение программы DORA-FUZZY для имитационного моделирования автоматизированных электроприводов: учебное пособие / Н.В. Кояин, Л.С. Удут, О.П. Мальцева. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. Гриф УМО. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 180 с.
5. Системы управления электроприводов.: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152 с.
6. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 164 с.

### **Специальная техническая литература для выполнения проекта**

- 1.Чернов Е.А., Кузьмин В.П., Синичкин С.Г. Электроприводы подач станков с ЧПУ. Справочное пособие. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. – 271 с.
2. Чернов Е.А., Кузьмин В.П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ: Справочное пособие.- Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1989. – 320 с.
3. Тиристорные электроприводы серии КТЭУ мощностью до 2000 кВт / И. Х. Евзеров, В. М. Перельмутер, А. А. Ткаченко. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 96 с.
4. Лебедев А. М. Следящие электроприводы станков с ЧПУ/ А.М.Лебедев, Р.Т.Орлова, А.В.Пальцев.—М.: Энергоатомиздат, 1988.—223 с.
5. Комплектные системы управления электроприводами тяжелых металлорежущих станков/ Под ред. А.Д. Поздеева. – М.: Энергия, 1980. – 228 с.

## **Стандарты, определяющие общие технические требования к электроприводам металлорежущих станков и промышленных роботов**

1. ГОСТ 25777-83. Электроприводы главного движения постоянного тока металлорежущих станков с числовым программным управлением. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 10 с.
2. ГОСТ 25778-83. Электроприводы подачи постоянного тока металлорежущих станков с числовым программным управлением. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 12 с.
3. ГОСТ 26061-85. Электроприводы постоянного и переменного тока с моментом от 0,035 до 47 Нм для промышленных роботов. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 12 с.

### **Справочная литература**

1. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ И.Х. Евзеров, А.С. Горобец и др., Под ред. В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.
2. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А.Елисеева и А.В.Шинянского.- М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
3. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами/ Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 416 с.
4. Справочник по электрическим машинам: В 2-х т./ Под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клюкова. Т.2. – М.: Энергоатомиздат, 1989 – 688 с.
5. Отраслевой каталог 08.41.11-92. Электроприводы унифицированные трехфазные серии ЭПУ1. – М.: Информэлектро, 1993. – 44 с.
6. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. — М.: Энергоиздат, 1982. — 504 с.
7. Чернов Е. А. Станочные электроприводы переменного тока: Справочное пособие. – М.: Витраж-центр, 1997. – 232 с.

### **Internet-ресурсы**

1. <http://www.Danfoss.com>
2. <http://www.ABB.com>
3. <http://www.KEB.de>
4. <http://www.Siemens.com>
5. <http://www.TI.com>

**Координатор:** Дементьев Ю.Н., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ЭПЭО

**Использование компьютера:** компьютерный демонстрационный материал для чтения лекций, стандартное прикладное и специализированное программное обеспечение для выполнения курсового проекта и проведения практических и лабораторных занятий, *Internet*-ресурсы.

Разработчик: к.т.н., доцент каф. ЭПЭО

Мальцева О. П..