

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Современные системы управления электроприводами»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.4.2

Всего: 108 часов

Семестр 7, в том числе

6 часов – контактная работа,
84 часов – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 878, и паспорта специальности 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение физических свойств компонентов автоматизированного электропривода, методов реализации, настройки и исследования современных системы управления электроприводами.

Задачами дисциплины являются:

- ознакомление с конструкцией основных типов электрических машин и силовых преобразователей;
- изучение основных типов систем управления электроприводов, их свойств и характеристик;
- изучение методов синтеза и настройки систем управления электроприводов и преобразования структур управления для программной или аппаратной реализации.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- способность развивать общую теорию электротехнических комплексов и систем, изучать системные свойства и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем (ПК-1);

– способность обосновывать совокупности технических, технологических, экономических, экологических и социальных критериев оценки принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов и систем (ПК-2);

– готовность осуществлять разработку, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизацию, а также разработку алгоритмов эффективного управления (ПК-3);

– способность исследовать работоспособность и качество функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях (ПК-4).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать **следующие результаты образования:**

знать:

– конструкцию и математическое описание основных типов электрических машин и силовых преобразователей (ПК-1);

– основные типы систем управления электроприводов, их свойства и характеристики (ПК-2).

уметь:

– производить синтез регуляторов для типовых структур систем управления (ПК-3);

– производить настройку систем управления экспериментальным путем (ПК-4).

владеть:

– методами синтеза систем управления электроприводов и преобразования структур управления для программной или аппаратной реализации (ОПК-3);

– средствами разработки систем управления электроприводами с применением современных микроконтроллеров (ПК-3).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Конструкции и модели электромеханических преобразователей энергии.

Взаимодействие катушки с железом, система с двумя обмотками. Обобщенная машина Уайта и Вудсона. Обобщенная машина фазные и координатные преобразования. Примеры двигателей.

Создание моделей двигателей средствами среды *Simulink* пакета *MATLAB* и программная реализация на языке высокого уровня.

2. Конструкции и модели силовых электрических преобразователей.

Модели дросселя, конденсатора, резистора, стойки. Трехфазный инвертор. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) в трехфазном инверторе. Высоковольтные преобразователи, ШИМ в высоковольтных преобразователях. Матричные преобразователи частоты (ПЧ).

Модели силовых преобразователей двигателей средствами среды *Simulink* пакета *MATLAB* и программная реализация на языке высокого уровня.

3. Принципы построения современных цифровых систем управления.

Общая структура цифровых СУ, датчики физических величин, АЦП, обработка, ШИМ. Относительные единицы. Преобразование моделей к относительным единицам. Преобразование сигналов АЦП к величинам в относительных единицах. Преимущества применения относительных единиц. Переход от аналоговых систем управления к цифровым. Z-преобразование. Разностные уравнения. Примеры создания полностью цифровых разомкнутых систем управления.

4. Современные системы управления на примере электроприводов постоянного и переменного тока.

Влияние обратных связей на регулируемую величину, положительные и отрицательные связи. Подчиненное регулирование координат, коррекция по возмущению. Построение системы управления в относительных единицах. Двухзонное регулирование. Модальное управление. Следящий

электропривод. Релейные регуляторы. Регуляторы с предельным быстродействием.

Вентильный режим синхронного двигателя. Система векторного управления синхронным двигателем.

Скалярное управление асинхронного электродвигателя, регулирование скорости в скалярной системе. Векторное управление. Система прямого управления моментом.

5. Наблюдатели и средства идентификации параметров в системах управления электроприводов.

Понятие наблюдателя состояния. Наблюдатель положения ротора для векторной системы управления синхронным двигателем. Наблюдатели потокосцепления ротора в системах векторного управления асинхронным двигателем. Наблюдатели потокосцепления статора. Автоматическая подстройка параметров наблюдателей в системах управления.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 7 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Электромеханическое преобразование энергии. Система с обмоткой на неподвижном сердечнике и пассивный подвижный элемент. Уравнения электрического равновесия для обмотки, уравнение потокосцепления, уравнение момента.
2. Подчиненное регулирование координат электропривода. Вид переходных процессов. Ошибки по возмущению. Насыщение регуляторов. Вид механических характеристик. Методики измерения/косвенной оценки момента электрических машин разного типа.

3. Электромеханическое преобразование энергии. Система с обмоткой на неподвижном сердечнике и обмоткой на подвижном ферромагнитном элементе. Уравнения электрического равновесия для обмоток, уравнения потокоцеплений, уравнение момента.
4. Отрицательные обратные связи по току и скорости. Положительные обратные связи по току и скорости. Вид механических характеристик. Особенности применения.
5. Обобщенная электрическая машина с пассивным явнополюсным ротором и неявнополюсным статором. Уравнения электрического равновесия для обмоток, уравнения потокоцеплений, уравнение момента.
6. Контур тока двигателя постоянного тока. Ошибка по ускорению. Компенсация ошибки положительной обратной связью по скорости. Вид механических и электромеханических характеристик.
7. Обобщенная электрическая машина с неявнополюсным ротором и неявнополюсным статором. Уравнения электрического равновесия для обмоток, уравнения потокоцеплений, уравнение момента.
8. Двухконтурная система подчиненного регулирования координат электропривода постоянного тока. Механические и электромеханические характеристики. Переходные процессы во времени. Изменение ошибок и выходов регуляторов во времени.
9. Обобщенная электрическая машина. Фазные преобразования. Координатные преобразования. Запись уравнений электрического равновесия обмоток в разных координатных осях. Уравнение момента в статорных и роторных переменных.
10. Двухконтурная система подчиненного регулирования координат электропривода постоянного тока в относительных единицах. Синтез регуляторов. Механические и электромеханические характеристики. Переходные процессы во времени.
11. Преобразование уравнений обобщенной электрической машины к двигателю постоянного тока, синхронному двигателю и асинхронному

двигателю. Характеристики двигателей. Относительные единицы и уравнения в относительных единицах.

12. Двухзонное регулирование электропривода постоянного тока. Переходные процессы во времени. Изменение ошибок и выходов регуляторов во времени.
13. Запись уравнений обобщенной машины в относительных единицах. Выбор системы относительных единиц. Примеры возможных систем относительных единиц для двигателя постоянного тока. Механические и электромеханические характеристики двигателей в относительных единицах. Преимущества представления уравнений двигателей в относительных единицах для системы управления.
14. Системы модального управления. Оптимизация системы модального управления по минимуму датчиков, быстродействию или жесткости механической характеристики (на примере электропривода постоянного тока с безынерционным преобразователем и одномассовой механической системой).
15. Электрические преобразователи в электроприводе. Основные элементы электрических преобразователей (транзистор, диод, конденсатор, катушка индуктивности, резистор). Модели стойки. Правила включения стойки в электрических схемах.
16. Релейные регуляторы. Контур тока с релейным регулятором. Токовый коридор, двойной токовый коридор. Релейный регулятор на базе микроконтроллерной системы управления, особенности. Ограничение частоты коммутации ключей преобразователя с релейным регулятором тока.
17. Модели стойки. Широтно-импульсная модуляция. Внешние характеристики стойки. «Мертвое» время и его влияние на внешнюю характеристику стойки. Характеристики в системе «транзисторный преобразователь – двигатель постоянного тока».

18. Системы управления с предельным быстродействием. Контур тока предельного быстродействия с прогнозированием по модели.
19. Стойка, как базовый элемент электрического преобразователя. Стойка в составе схемы преобразователя частоты со звеном постоянного тока. Виды широтно-импульсной модуляции. Получение вращающегося вектора напряжения в трехфазном инверторе.
20. Наблюдатели в системах управления электроприводами. Понятие наблюдателя и наблюдаемости. Простейший наблюдатель ЭДС для системы управления двигателем постоянного тока.
21. Схемы и принципы работы высоковольтных преобразователей частоты. Широтно-импульсная модуляция в высоковольтных преобразователях частоты. Сравнение схем высоковольтных ПЧ (преимущества и недостатки).
22. Наблюдатели в системах управления электроприводами. Понятие наблюдателя и наблюдаемости. Разомкнутый наблюдатель потокосцепления ротора асинхронного двигателя по известным токам и скорости вращения.
23. Датчики физических величин в электроприводах. Датчики тока и напряжения (принцип действия). Приведение сигнала датчика тока компенсационного типа к формату АЦП микроконтроллерной системы управления.
24. Наблюдатели в системах управления электроприводами. Наблюдатели на основе оценки ЭДС для двигателей переменного тока. Область работы наблюдателей. Необходимость применения наблюдателей.
25. Датчики тока и напряжения. Виды датчиков тока. Гальваническая развязка сигналов датчиков. Подключение датчика тока к АЦП микроконтроллерной системы управления. Меры по обеспечению помехоустойчивости (аппаратные и программные).
26. Вентильный режим работы синхронного двигателя. Механические и электромеханические характеристики. Угол коммутации.

- 27.Общая структура цифровых систем управления электроприводами. Датчики физических величин, АЦП, обработка, ЦАП (ШИМ). Квантованность по уровню и времени.
- 28.Векторное управление синхронным двигателем (на примере машины с постоянными магнитами). Механические характеристики. Регулирование тока оси d для размагничивания машины.
- 29.Общая структура цифровых систем управления электроприводами. АЦП. Приведение сигналов с датчиков к формату АЦП. Выбор диапазона датчиков по параметрам электропривода. Обработка данных АЦП и перевод сигнала в относительные единицы для системы управления.
- 30.Векторное управление синхронным двигателем (на примере машины с постоянными магнитами). Механические характеристики. Наблюдатели для синхронного привода с векторным управлением. Область работы наблюдателей.
- 31.Система управления электроприводом постоянного тока в относительных единицах. Синтез регуляторов в относительных единицах. Обработка данных с датчиков тока, подключенных к АЦП и перевод в относительные единицы.
- 32.Скалярное управление асинхронным двигателем. Механические характеристики. Регулирование скорости в скалярной системе. Система с положительной связью по току и отрицательной обратной связью по скорости. Механические характеристики.
- 33.Преобразование уравнений непрерывных систем к разностным уравнениям. Преобразование уравнений ПИ-регулятора. Ограничение выхода цифрового ПИ-регулятора. Синтез параметров цифрового ПИ-регулятора для контура тока якоря ДПТНВ.
- 34.Система векторного управления асинхронным двигателем (с ориентацией по вектору потокосцепления ротора). Механические характеристики. Область возможных моментов и перегрузочная способность электропривода с векторным управлением. Простейший разомкнутый

наблюдатель потокосцепления ротора для систем векторного управления.

Область работы наблюдателя.

35. Синтез параметров цифрового ПИ-регулятора для контура тока якоря ДПТНВ. Синтез параметров цифрового ПИ-регулятора в относительных единицах. Ограничение выхода цифрового ПИ-регулятора.
36. Система векторного управления асинхронным двигателем (с ориентацией по вектору потокосцепления ротора). Наблюдатель на основе оценки ЭДС. Область работы наблюдателя.
37. Преобразование уравнений непрерывных систем к разностным уравнениям. Синтез цифровых регуляторов с заданными параметрами переходного процесса.
38. Система прямого управления моментом асинхронного двигателя. (с ориентацией по вектору потокосцепления статора). Механические характеристики. Область возможных моментов и перегрузочная способность электропривода с прямым управлением момента. Простейший разомкнутый наблюдатель потокосцепления статора для систем прямого управления моментом. Недостатки простейшего наблюдателя.
39. Синтез цифровых регуляторов с заданными параметрами переходного процесса. Синтез аналогового регулятора с переводом в цифровую область. Преимущества и недостатки подходов.
40. Системы векторного управления асинхронным двигателем и система прямого управления моментом. Достоинства, недостатки. Сравнение перегрузочной способности и быстродействия.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. А. С. Анучин Системы управления электроприводов : учебник по направлению "Электроэнергетика и электротехника" . – М. : Изд. дом МЭИ, 2015 . – 373 с.

2. В. М. Терехов, О. И. Осипов. Системы управления электроприводов : учебник для вузов по специальности 140604 "Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов" направления 140600 "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / . – М. : Академия, 2005 . – 304 с.

3. А. С. Анучин, Д. И. Аляшкин, А. В. Дроздов, [и др.]Встраиваемые высокопроизводительные цифровые системы управления. Практический курс разработки и отладки программного обеспечения сигнальных микроконтроллеров TMS320x28xxx в интегрированной среде Code Composer Studio : учебное пособие по курсу "Микропроцессорные средства в электроприводе" по направлениям "Электротехника, электромеханика и электротехнологии", "Промышленная электроника" .Ред. В. Ф. Козаченко . – М. : Изд. дом МЭИ, 2010 . – 270 с.

4. В. В. Москаленко . Электрический привод : учебник для вузов по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии".– М. : Академия, 2007 . – 368 с.

5. А. П. Балковой, В. К. Цаценкин Прецизионный электропривод с вентильными двигателями. – М. : Изд. дом МЭИ, 2010 . – 328 с.

Дополнительная литература:

6. В. И. Ключев . Теория электропривода: Учебник для вузов / – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоатомиздат, 1998 . – 704 с.

7. О. И. Осипов. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод: Учебное пособие по курсу "Типовые решения и техника современного электропривода" по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" .– М. : Изд-во МЭИ, 2004 . – 80 с.

8. В. М. Терехов. Непрерывные и цифровые системы управления скоростью и положением электроприводов: Учебное пособие по курсу "Системы управления электроприводов". – 1996 . – 100 с.

9. Справочник по автоматизированному электроприводу / Ред. В. А. Елисеев, А. В. Шинянский . – М. : Высшая школа, 1983 . – 616 с.

Программное обеспечение: Matlab