

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)**

Кафедра промышленной электроники

Разработка эффективного управления компонентами электротехнических комплексов и систем

Методические указания
для проведения практических работ

Разработчик:
профессор каф. ПрЭ
С. Г. Михальченко

Томск 2018

Михальченко С.Г.

Разработка эффективного управления компонентами электротехнических комплексов и систем: Методические указания для проведения практических работ / С. Г. Михальченко; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра промышленной электроники – Томск: ТУСУР, 2018. – 20 с.: прил. – Библиогр.: с. 17.

Настоящее руководство имеет целью получение профессиональных компетенций в области разработки алгоритмов эффективного управления компонентами электротехнических комплексов и систем, курс базируется на создании микропроцессорных систем управления (МПСУ) компонентами электротехнических комплексов и систем (ЭтКиС), основную часть которых составляют электропривода различного назначения. Изучению принципов и механизмов управления ЭтКиС и управляющих алгоритмов для них посвящено настоящее учебно-методическое пособие.

Руководство может быть использовано для проведения практических занятий и лабораторных работ как аудиторно, так и в режиме самоподготовки.

Руководство рекомендовано для организации самостоятельной работы студентов всех форм обучения и уровней подготовки.

Наличие вариантов индивидуальных заданий позволяет использовать настоящее руководство для проведения контрольных работ.

Наличие контрольных тестов позволяет использовать его для итогового тестирования знаний по дисциплине «Разработка алгоритмов эффективного управления компонентами электротехнических комплексов и систем».

© Михальченко С.Г., 2018

© Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Цели и задачи дисциплины	4
1. Классификация электротехнических комплексов и систем, варианты архитектуры, общая структура и принципы функционирования	5
___ Практическая работа №1.....	5
2. Технические средства сбора, преобразования и хранения информации измерительных и управляющих систем. Технические средства передачи данных: классификация, стандартизация, интерфейсы.....	6
___ Практическая работа №2.....	6
3. Математическое описание компонентов электротехнических комплексов и систем. Электропривод	7
___ Практическая работа №3.....	7
4. Построение электротехнических систем на принципах модального и оптимального управления 8	
___ Практическая работа №4.....	8
5. Алгоритмы и программные средства управления сосредоточенными и распределенными системами	9
___ Практическая работа №5.....	9
6. Протоколы систем передачи данных электротехнических комплексов и систем.....	10
___ Практическая работа №6.....	10
7. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение	11
8. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации.....	12
Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам:	12
Темы опросов на занятиях:.....	12
Контрольные вопросы для самопроверки:	13
Тестовые задания для самопроверки.....	15
СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	17
Профессиональные базы данных и информационные справочные системы.....	17
Периодические издания.....	17
Варианты индивидуальных заданий	18

ВЕДЕНИЕ

Цели и задачи дисциплины

Цели дисциплины:

Изучение принципов проектирования программных продуктов для эффективного управления компонентами электротехнических комплексов и систем и знакомство с отладочными средствами вычислительной техники и систем управления

Задачи дисциплины

- понять архитектуру программных систем управления электротехническими комплексами;
- освоить средства и способы автономной отладки аппаратурных и программных средств электротехнических комплексов и систем;
- изучить процесс интеграции компонент электротехнических комплексов в системы;
- освоить навыки проектирования программных комплексов управления периферийными устройствами централизованных и распределенных систем;
- получить навыки проведения комплексной отладки и тестирования систем управления электротехнических комплексов и систем.

Требования к результатам освоения дисциплины

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** принципы построения программных продуктов; методы анализа и синтеза компонентов электротехнических комплексов и систем; основы алгоритмизации распределенных и централизованных систем; методы сбора, хранения и передачи информации; методы управления нелинейными системами, теорию устойчивости; методы синтеза систем управления электроприводами; способы проектирования оптимальных по точности систем управления электроприводами.
- **уметь** синтезировать алгоритмы управления электротехническими комплексами и системами; производить оценку эффективности алгоритмов управления; оценить устойчивость и надежность алгоритма; синтезировать системы электропривода с регуляторами и с наблюдателями.
- **владеть** методами синтеза эффективных алгоритмов управления; навыками синтеза и исследования систем электропривода с регуляторами и наблюдателями; методами и инструментами синтеза оптимальной МПСУ электропривода; навыками проведения комплексной отладки и тестирования алгоритмов управления компонентами электротехнических комплексов и систем.

Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 академических часов).

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов
Лекции	36
Практические занятия	36
Самостоятельная работа (всего)	108
Общая трудоемкость, ч	180

Как можно видеть из таблицы, половина всей аудиторной работы по курсу (контактной работы) составляют практические занятия.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ, ВАРИАНТЫ АРХИТЕКТУРЫ, ОБЩАЯ СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Содержательная часть дисциплины, представленная на лекциях, посвящена теоретическому изучению следующего материала:

Основные варианты архитектуры электротехнических комплексов и систем. Принципы управления. Применение теории нелинейных систем автоматического управления для контроля электротехнических комплексов и систем. Сосредоточенное и распределенное управление.

Для получения данного объема знаний необходимо изучить учебное пособие: [*Теоретические основы автоматизированного управления: Учебник / Ехлаков Ю. П. - 2001. 338 с.*] и главы №№2-4 учебного пособия: [*Электронные промышленные устройства: Учебное пособие / Тырышкин А. В., Андраханов А. А. - 2007. 221 с.*].

Практическая работа №1.

Проектирование архитектуры управления компонентами электротехнических комплексов и систем. Аппаратная часть. Датчики и исполнительные механизмы. Согласование уровней сигналов. Схемы подключения.

Ход работы:

1. В соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым преподавателем из списка вариантов (Приложение 1) или предложенным по своему усмотрению, провести работу по проектированию структурной схемы ЭТКиС.
2. Разработать структурную схему аппаратной части ЭТКиС.
3. Выбрать датчики и исполнительные механизмы.
4. Предусмотреть приборы (адаптеры) для согласования уровней и типов сигналов.
5. Разработать схему подключения.
6. Спроектировать структуру программного обеспечения (ПО) МПСУ комплекса.
7. Разработать дерево вызова процедур ПО, включающее списки формальных параметров (аргументов) подпрограмм и выходных данных этих подпрограмм.
8. При необходимости спроектировать структурные типы данных.

Выполнение практической работы завершается подготовкой отчета по практической работе, который составит первую часть разработки всего ЭТКиС по выбранному варианту индивидуального задания.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СБОРА, ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ: КЛАССИФИКАЦИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, ИНТЕРФЕЙСЫ

Содержательная часть дисциплины, представленная на лекциях, посвящена теоретическому изучению следующего материала:

Общие сведения о структуре управляющих систем. Информация = управление. Средства автоматического сбора информации - датчики. Средства технического зрения. Микросхемы ЦАП и АЦП. Аппаратные средства предобработки данных - фильтрация, масштабирование, сравнение, накопление и др. Аппаратные средства передачи цифровых и аналоговых сигналов. Хранение данных, модули резидентной памяти, ПЗУ, ОЗУ. Классификация каналов передачи данных. OSI. Классификация технологий передачи информации. Стандартизация интерфейсов, стандартные уровни цифровых и аналоговых сигналов, уровни помех. Аппаратные средства информационной безопасности.

Для получения данного объема знаний необходимо изучить главы №№1-5 учебного пособия: [*Системы реального времени: технические и программные средства: Учебное пособие / Древис Ю.Г. - М.: НИЯУ "МИФИ", 2010. - 230 с. ISBN 978-5-7262-1310-1*] и главы №№1-3 учебного пособия: [*Цифровые устройства и микропроцессоры: учеб. пособие: Учебное пособие / Микушин А.В., Сажнев А.М., Сединин В.И. - СПб.: БХВ-Петербург, 2010. - 832 с. ISBN 978-5-9775-0417-1*].

Практическая работа №2.

Аналого-цифровые преобразователи. Дискретность сигнала, частота дискретизации, Теорема Котельникова. Типы и архитектура АЦП. Встроенные АЦП и периферийные модули АЦП. Тактирование микросхем. Время преобразования. Реализация цифрового интерфейса передачи данных в микропроцессорной системе. Тактирование микросхем. Вопросы электромагнитной совместимости. Помехи. Балластные резисторы. Фильтрация в цифровых каналах передачи данных.

Ход работы:

1. В соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым преподавателем из списка вариантов (Приложение 1) или предложенным по своему усмотрению, провести работу по проектированию каналов передачи данных МПСУ ЭтКиС.
2. Рассчитать и выбрать аналого-цифровые преобразователи МПСУ, в зависимости от заданной точности измерения и представления сигнала в системе управления, рассчитать необходимую дискретность сигнала, а в зависимости от быстродействия системы - частоту дискретизации.
3. Выбрать из предлагаемого на рынке ряда типы и архитектуру АЦП, определиться с необходимостью реализации встроенных АЦП в МП или рассчитать периферийные модули АЦП.
4. Подобрать необходимое время преобразования. Определиться с тактовой частотой МП и реализовать канал тактирования микросхем МПСУ.
5. Реализовать необходимые цифровые интерфейсы передачи данных в МПСУ, согласовать технологии и уровни сигналов.
6. Рассмотреть вопросы защиты МПСУ от воздействия помех.
7. Проработать задачи электромагнитной совместимости. Учесть расположение силовых цепей ЭтКиС.
8. При необходимости разработать механизмы фильтрации в аналоговых и цифровых каналах передачи данных. Возможно, применить программные фильтры в ПО МПСУ ЭтКиС.
9. Обоснованно выбрать датчики и исполнительные механизмы.

Выполнение практической работы завершается подготовкой отчета по практической работе, который составит вторую (сигнальную) часть разработки всего ЭтКиС по выбранному варианту индивидуального задания.

3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ. ЭЛЕКТРОПРИВОД

Содержательная часть дисциплины, представленная на лекциях, посвящена теоретическому изучению следующего материала:

Математическое описание объектов и систем. Векторно-матричное описание электротехнических комплексов. Электропривод (ЭП) как сложный электромеханический объект. Алгоритмы управления электроприводами – компонентами электротехнических комплексов и систем.

Для получения данного объема знаний необходимо изучить главы №№1-3 учебного пособия: [Москаленко, В.В. *Электрический привод: Учебник / В.В. Москаленко. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 364 с.*].

Практическая работа №3.

Точность в системах с модальным регулятором. Модальный ПИ-регулятор. Измерение переменных состояний в электроприводе. Наблюдающие устройства полного порядка в структуре систем управления электроприводом. Наблюдающие устройства пониженного порядка в системах электропривода. Оценка нагрузочного момента. Астатическое наблюдающее устройство.

Ход работы:

1. Получить индивидуальное задание из списка вариантов (Приложение 1). Если в индивидуальном задании отсутствует электропривод, то задание на проектирование ЭП выдается преподавателем дополнительно.
2. провести работу по моделированию электромеханической части ЭтКиС.
3. С учетом заданной точности позиционирования рабочего тела электропривода ЭтКиС разработать СУ электроприводом.
4. Рассчитать статические и динамические характеристики электропривода.
5. Спроектировать регулятор, настроенный на тот или иной оптимум, в зависимости от требуемого характера движения рабочего тела: рассчитать корректирующее звено.
6. Рассмотреть вопрос модального ПИ-регулятора.
7. Проработать измерение переменных состояний в электроприводе.
8. Спроектировать наблюдающие устройства полного (или пониженного) порядка в структуре систем управления электроприводом.
9. Построить динамические характеристики скорости и нагрузочного момента при сбросе-набросе-реверсе нагрузки.
10. Выбрать датчики и исполнительные механизмы.
11. Предусмотреть приборы (адаптеры) для согласования уровней и типов сигналов.
12. Разработать схему подключения ЭП.

Выполнение практической работы завершается подготовкой отчета по практической работе, который составит третью (расчетную и моделирующую) часть разработки всего ЭтКиС по выбранному варианту индивидуального задания.

4. ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРИНЦИПАХ МОДАЛЬНОГО И ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Содержательная часть дисциплины, представленная на лекциях, посвящена теоретическому изучению следующего материала:

Модальное управление. Оптимальное управление. Синтез модальных регуляторов. Синтез оптимальных регуляторов. Построение наблюдающих устройств. Построение электроприводов по принципу «объект-наблюдатель-регулятор».

Для получения данного объема знаний необходимо изучить главы №№1-3 учебного пособия: [Москаленко, В.В. *Электрический привод: Учебник / В.В. Москаленко. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 364 с.*] и главы №№1-5 учебного пособия: [Онищенко, Г.Б. *Теория электропривода: Учебник / Г.Б. Онищенко. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 294 с.*].

Практическая работа №4.

Основные оптимальные задачи, критерии, процедура решения. Решение оптимальной задачи по точности электропривода. Решение оптимальных задач в условиях ограничения координат (скорости, тока якоря). Принцип максимума. Синтез оптимальной по быстродействию системы. Системы электропривода с адаптацией к возмущению. Построение системы «Объект – астатическое наблюдающее устройство – регулятор с компенсационным каналом». Параметрическая адаптация. Скользящие режимы. Построение системы управления электроприводом как адаптивной системы с переменной структурой.

Ход работы:

1. В соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым преподавателем из списка вариантов (Приложение 1) или предложенным по своему усмотрению, провести работу по проектированию оптимальной системы управления электропривода ЭтКиС.
2. Постановка и решение оптимальной задачи по точности электропривода.
3. Рассмотреть вариант решения оптимизационной задачи в условиях ограничения координат (скорости, тока якоря).
4. Постановка и решение оптимальной задачи по быстродействию системы.
5. Построение СУ с адаптацией к возмущению.
6. Построение системы «Объект – астатическое наблюдающее устройство – регулятор с компенсационным каналом».
7. Проведение параметрической адаптации.
8. Построение системы управления электроприводом как адаптивной системы с переменной структурой.
9. Произвести тепловой расчет и выбор системы отвода избытков тепла.
10. Разработать схему электрическую принципиальную силовой части ЭтКиС, создать перечень элементной базы и схемы точных изделий.
11. Разработать печатную плату силовой части ЭтКиС, разработать схему электрического и планарного монтажа силовой части.

Выполнение практической работы завершается подготовкой отчета по практической работе, который дополнит третью (моделирующую) часть разработки всего ЭтКиС по выбранному варианту индивидуального задания.

5. АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

Содержательная часть дисциплины, представленная на лекциях, посвящена теоретическому изучению следующего материала:

Общее описание процесса проектирования. Классификация методик управления компонентами электротехнических комплексов и систем. Области применения АСУ. Типовые конфигурации программной части систем управления. Средства проектирования и методы автономной отладки программных средств аппаратных комплексов и систем. Алгоритмы управления сосредоточенными и распределенными системами. Оценка эффективности алгоритма. Устойчивость алгоритма. Методы отладки и тестирования.

Для получения данного объема знаний необходимо изучить главы учебное пособие:

[*Теоретические основы автоматизированного управления: Учебник / Ехлаков Ю. П. - 2001. 338 с*].

Практическая работа №5.

Изучение стандартных протоколов. Методы конкурентного доступа к ресурсам. Программная реализация методов теории автоматического управления сложными системами - переходные процессы, установление, устойчивость.

Ход работы:

1. В соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым преподавателем из списка вариантов (Приложение 1) или предложенным по своему усмотрению, провести работу по проектированию МПСУ ЭтКиС.
2. Разработать схему электрическую принципиальную МПСУ ЭтКиС.
3. Разработать схему электрическую принципиальную МПСУ ЭтКиС, создать перечень элементной базы и схемы моточных изделий.
4. Разработать печатную плату МПСУ, разработать схему электрического и планарного монтажа.
5. Проработать структуру программного обеспечения МПСУ комплекса.
6. Написать программный код МПСУ, используя типовые конфигурации программной части систем управления.
7. Выбрать средства проектирования и методы автономной отладки программных средств аппаратных комплексов и систем.
8. Определиться с алгоритмами (верхнего уровня АСУ) управления сосредоточенных и распределенных систем.
9. Произвести оценку эффективности алгоритма.
10. Проверить устойчивость алгоритма.

Выполнение практической работы завершается подготовкой отчета по практической работе, который составит четвертую (МПСУ) часть разработки всего ЭтКиС по выбранному варианту индивидуального задания.

6. ПРОТОКОЛЫ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ

Содержательная часть дисциплины, представленная на лекциях, посвящена теоретическому изучению следующего материала:

Протоколы и стандарты. Пакеты. Адресация в распределенных сетях. Программные средства реализации каналов связи и управления.

Для получения данного объема знаний необходимо изучить учебное пособие: [Микропроцессорные устройства и системы: Руководство к организации самостоятельной работы / Русанов В. В., Шевелев М. Ю. - 2012. 91 с.].

Практическая работа №6.

Проектирование архитектуры управления компонентами электротехнических комплексов и систем. Аппаратная часть. Датчики и исполнительные механизмы. Согласование уровней сигналов. Схемы подключения.

Ход работы:

1. В соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым преподавателем из списка вариантов (Приложение 1) или предложенным по своему усмотрению, провести работу по проектированию структурной схемы ЭтКиС.
2. Запрограммировать МПСУ на работу с одной из известных технологий управления/связи верхнего уровня АСУ (архитектура "мастер-слейв", распределенная сеть, система со случайным доступом, с система с передаваемым приоритетом и пр.). \
3. Реализовать, при необходимости алгоритм "выбора старшего", алгоритм установки приоритетов.
4. Обосновать выбор протокола и стандарта.
5. Алгоритм формирования пакетов – если реализация его не решается аппаратно.
6. Продумать технологию адресации в распределенных сетях.
7. Запрограммировать средства реализации каналов связи и управления.
8. Произвести отладку и тестирование МПСУ ЭтКиС в целом.
9. Произвести испытания или тестирование на эмуляторах.
10. Подготовить протокол испытаний (или эксперимента на эмуляторах).

Выполнение практической работы завершается подготовкой отчета по практической работе, который составит первую часть разработки всего ЭтКиС по выбранному варианту индивидуального задания.

Итоговый отчет по курсу складывается из отчетов по соответствующим практическим работам и защищается в конце второго семестра работы над проектом.

Итоговый отчет оформляется в соответствии с актуальными документами ГОСТ и ЕСКД и положениями ТУСУР.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ И ТРЕБУЕМОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий расположено в *Лаборатория робототехники и ЧПУ* кафедры ПрЭ ТУСУР, оно обеспечивается следующим технологическим оборудованием:

- Персональные компьютеры (5 шт.);
- Робот учебный УР7/3;
- Цифровой осциллограф DSO 3062A (4 шт.);
- Учебный лабораторный комплекс «Силовые цепи энергетической электроники» включает лабораторные стенды:
 - "Для исследования асинхронных электроприводов" (2шт.),
 - "Для исследования вентильных электроприводов" (2шт.),
 - "Для исследования электроприводов постоянного тока".

Лаборатория оснащена персональными компьютерами со следующим программным обеспечением:

- Adobe Acrobat Reader
- Far Manager
- Google Chrome
- LTspice 4
- LibreOffice
- Mathworks Matlab
- Mathworks Simulink 6.5
- Microsoft Visual Studio
- Microsoft Windows XP
- PTC Mathcad13, 14

8. СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам:

Примеры применения МК в промышленности и быту, выдача вариантов индивидуальных заданий.

Изучение стандартного интерфейсного протокола UART.

Изучение стандартного интерфейсного протокола RS-485.

Изучение стандартных интерфейсных протоколов I2C, SPI.

Знакогенерирующие дисплеи.

Сопряжение микроконтроллера с семисегментными светодиодными индикаторами.

Сопряжение микроконтроллера с алфавитно-цифровым жидкокристаллическим дис-плеем.

Вариант программной реализации матричной клавиатуры 4x4 клавиши.

Вариант сопряжения микроконтроллера с персональным компьютером по последовательному порту.

Вариант сопряжения микроконтроллера с микросхемой Flash-памяти по протоколу I2C.

Синтез и исследование системы электропривода с модальным регулятором.

Синтез и исследование системы электропривода с модальным ПИ-регулятором.

Синтез и исследование системы электропривода с наблюдающим устройством полного порядка.

Синтез и исследование системы электропривода с наблюдателем пониженного порядка.

Синтез и исследование оптимальной по точности системы электропривода

Темы опросов на занятиях:

Основные варианты архитектуры электротехнических комплексов и систем. Принципы управления. Применение теории нелинейных систем автоматического управления для контроля электротехнических комплексов и систем. Сосредоточенное и распределенное управление.

Общие сведения о структуре управляющих систем. Информация = управление. Средства автоматического сбора информации - датчики. Средства технического зрения. Микросхемы ЦАП и АЦП. Аппаратные средства предобработки данных - фильтрация, масштабирование, сравнение, накопление и др. Аппаратные средства передачи цифровых и аналоговых сигналов. Хранение данных, модули резидентной памяти, ПЗУ, ОЗУ. Классификация каналов передачи данных. OSI. Классификация технологий передачи информации. Стандартизация интерфейсов, стандартные уровни цифровых и аналоговых сигналов, уровни помех. Аппаратные средства информационной безопасности.

Математическое описание объектов и систем. Векторно-матричное описание электротехнических комплексов. Электропривод – сложный электромеханический объект. Алгоритмы управления электроприводами - компонентами электротехнических комплексов и систем.

Протоколы и стандарты. Пакеты. Адресация в распределенных сетях. Программные средства реализации каналов связи и управления.

Модальное управление. Оптимальное управление. Синтез модальных регуляторов. Синтез оптимальных регуляторов. Построение наблюдающих устройств. Построение электроприводов по принципу «объект-наблюдатель-регулятор».

Общее описание процесса проектирования. Классификация методик управления компонентами электротехнических комплексов и систем. Области применения АСУ. Типовые конфигурации программной части систем управления. Средства проектирования и методы автономной отладки программных средств аппаратных комплексов и систем. Алгоритмы управления сосредоточенными и распределенными системами. Оценка эффективности алгоритма. Устойчивость алгоритма. Методы отладки и тестирования.

Контрольные вопросы для самопроверки:

Часть 1.

1. Электротехническая система. Микропроцессорная система управления. Определение.
2. Электротехнический комплекс. Компоненты ЭТК. Система.
3. Микропроцессорное устройство. Определение.
4. Области использования МКСУ (привести сравнительную таблицу «Характеристика задач - разрядность - производительность»).
5. Основные направления развития микропроцессорных систем управления ЭТК.
6. Архитектура ЭТК. Определение.
7. Структура электротехнических комплексов и систем. Определение.
8. Классификация современных микропроцессоров по функциональному признаку.
9. Микропроцессоры общего назначения. Назначение, исходя из классификации по функциональному признаку.
10. Микроконтроллеры. Назначение, исходя из классификации по функциональному признаку.
11. Назначение и область применения 8-разрядных МКСУ ЭТК.
12. Назначение и область применения 16-разрядных МКСУ ЭТК.
13. Назначение и область применения 32-разрядных МКСУ ЭТК.
14. Цифровые процессоры сигналов. Определение, назначение и область применения.
15. Магистрально-модульную структура. Определение.
16. Типовая структура микропроцессорной системы управления ЭТК. Привести рисунок.
17. Основные режимы работы микропроцессорной системы управления ЭТК.
18. Классификация прерываний и исключений. Привести рисунок.
19. Аналого-цифровые преобразователи. Дискретность сигнала, частота дискретизации, Теорема Котельникова.
20. Типы и архитектура АЦП. Встроенные АЦП и периферийные модули АЦП. Тактирование микросхем. Время преобразования.
21. Реализация цифрового интерфейса передачи данных в микропроцессорной системе. Вопросы электромагнитной совместимости. Помехи.
22. Фильтрация в цифровых каналах передачи данных
23. Математическое описание объектов и систем. Векторно-матричное описание электротехнических комплексов.
24. Алгоритмы управления электроприводами. Классификация, принципы управления, программные и аппаратные решения.
25. Модальное управление. Синтез модальных регуляторов. Измерение переменных состояний в электроприводе.
26. Построение наблюдающих устройств. Построение электроприводов по принципу «объект-наблюдатель-регулятор».
27. Точность в системах с модальным регулятором. Модальный ПИ-регулятор.
28. Наблюдающие устройства полного порядка в структуре систем управления электроприводом.
29. Наблюдающие устройства пониженного порядка в системах электропривода.
30. Оценка нагрузочного момента. Астатическое наблюдающее устройство.

Часть 2.

1. Основные параметры и особенности применения двунаправленных портов, настраиваемых на ввод или вывод программированием бита в регистре направления передачи.
2. Основные параметры и особенности применения квазидвунаправленных портов.
3. Основные параметры и особенности применения двунаправленных портов с программным подключением «подтягивающих» резисторов.
4. Принцип работы и основные свойства «классического» таймера.
5. Принцип работы и основные свойства устройства входного захвата (Input Capture) и выходного сравнения (Output Compare).

6. Принцип работы и основные свойства процессора событий.
 7. Реализация ЦАП на основе ШИМ –модуляции.
 8. Особенности реализации ШИМ (PWM) в разных подсистемах реального времени.
 9. Принцип работы и основные параметры модуля АЦП на основе АЦП последовательного приближения.
 10. Алгоритм и функциональная схема простого и недорогого варианта АЦП, использующего внешний или встроенный аналоговый компаратор.
 11. Интерфейсы последовательного ввода\вывода, используемые для связи встраиваемой МПСУ с системой управления верхнего уровня: название и основные характеристики.
 12. Интерфейсы последовательного ввода\вывода, используемые для связи с внешними по отношению к МПСУ периферийными интегральными схемами, датчиками физических величин с последовательным выходом: название и основные характеристики.
 13. Интерфейсы последовательного ввода\вывода, используемые для связи встраиваемой МПСУ с локальной сетью в мультимикропроцессорной системе: название и основные характеристики.
 14. Архитектура "мастер-слейв" в программно-аппаратном комплексе сосредоточенного управления.
 15. Методы управления распределенными системами. Управление в системах со случайным доступом.
 16. Управление в системах с передаваемым приоритетом (маркер). Алгоритм "выбора старшего", приоритеты.
 17. Протоколы и стандарты. Пакеты.
 18. Адресация в распределенных сетях.
 19. Программные средства реализации каналов связи и управления.
 20. Средства проектирования и методы автономной отладки программных средств.
 21. Изучение стандартных протоколов. Методы конкурентного доступа к ресурсам.
 22. Программная реализация методов теории автоматического управления сложными системами - переходные процессы, установление
 23. Устойчивость сложных технических систем. Методы анализа.
 24. Бифуркационные явления, основы теории хаоса.
 25. Оптимальное управление. Синтез оптимальных регуляторов. Измерение переменных состояний в электроприводе.
 26. Характеристика оптимальных систем. Основные оптимальные задачи, критерии, процедура решения.
 27. Решение оптимальной задачи по точности электропривода. Уравнение Риккати.
 28. Решение оптимальных задач в условиях ограничения координат (скорости, тока якоря).
- Принцип максимума.
29. Синтез оптимальной по быстродействию системы.
 30. Системы электропривода с адаптацией к возмущению.
 31. Построение системы «Объект – астатическое наблюдающее устройство – регулятор с компенсационным каналом».
 32. Параметрическая адаптация. Скользящие режимы. Построение системы управления электроприводом как адаптивной системы с переменной структурой.
 33. Проектирование микропроцессорной системы управления: общее описание процесса (принципы).
 34. Понятие системного проектирования.
 35. Понятие структурно-алгоритмического проектирования.
 36. Понятие функционально-логического проектирования.
 37. Понятие конструкторско-технологического проектирования.
 38. Характеристика варианта реализации МПСУ на стандартных микросхемах (структура стоимости, сложность, сроки).
 39. Основные этапы проектирования цифровой части МПСУ ЭТК.
 40. Основные этапы проектирования аналоговой и аналого-цифровой части МПСУ ЭТК.

Тестовые задания для самопроверки

1. Переменными вектора состояния электропривода ТП–Д являются:
 - а) скорость вращения двигателя, ЭДС двигателя, ток якорной цепи;
 - б) скорость вращения двигателя, ЭДС тиристорного преобразователя, ток якорной цепи;
 - в) скорость вращения двигателя, ЭДС тиристорного преобразователя, ток якорной цепи, момент двигателя.
2. К достоинствам модального управления можно отнести:
 - а) возможность получить любое быстродействие «в большом»;
 - б) возможность получить любое быстродействие «в малом»;
 - в) возможность получить любое быстродействие при средних перемещениях.
3. К недостаткам модального управления можно отнести:
 - а) желаемая динамика достижима только «в малом»;
 - б) желаемая динамика достижима только «в большом»;
 - в) желаемая динамика достижима только при средних перемещениях.
4. Модальный регулятор для электромеханического объекта пятого порядка предполагает введение:
 - а) обратных связей по трем координатам или их оценкам;
 - б) обратной связи по одной координате или ее оценке;
 - в) обратных связей по пяти координатам или их оценкам.
5. Наблюдающее устройство полного порядка позволяет оценить в электроприводе:
 - а) часть переменных состояния;
 - б) все переменные состояния;
 - в) неизмеряемые переменные состояния.
6. Наблюдающее устройство пониженного порядка:
 - а) оценивает параметры электропривода;
 - б) фильтрует измеряемые переменные состояния;
 - в) оценивает неизмеряемые переменные состояния.
7. Недостатком введения в систему электропривода прямой связи по возмущающему воздействию является:
 - а) значительное влияние на динамику системы;
 - б) невозможность в ряде случаев измерить или оценить возмущающее воздействие;
 - в) значительное ухудшение реакции на возмущающее воздействие.
8. К достоинствам модального ПИ-регулятора можно отнести:
 - а) возможность не ухудшать реакцию на задающее воздействие по сравнению с подчиненным регулированием;
 - б) возможность полностью исключить влияние возмущения на работу электропривода;
 - в) возможность в два раза уменьшить статическую ошибку по возмущающему воздействию.
9. Быстродействие наблюдателя по сравнению с быстродействием системы «объект-регулятор» рекомендуется выбирать:
 - а) более низкое;
 - б) аналогичное;
 - в) более высокое.
10. Астатическое наблюдающее устройство для системы электропривода позволяет точно оценить:
 - а) все переменные и возмущение только в динамическом режиме;
 - б) все переменные и возмущение как в динамическом, так и в статическом режиме;
 - в) все переменные и возмущение только в установившемся режиме.
11. Динамику системы электропривода можно настраивать на стандартную форму:
 - а) Баттерворта;
 - б) биномиальную;
 - в) любую желаемую.

12. Параметрическая оптимизация системы электропривода предполагает определение:
- структуры и параметров регулятора;
 - только структуры системы;
 - только параметров регулятора.
13. Для синтеза оптимальных систем электропривода необходимо знать:
- динамические показатели качества управления;
 - статические показатели;
 - критерии качества.
14. Решение уравнения Риккати является основной процедурой при синтезе оптимальной системы управления электроприводом по:
- быстродействию;
 - точности;
 - расходу электроэнергии.
15. Оптимальной системой электропривода называется система:
- наилучшая;
 - наиболее эффективная;
 - наилучшая с точки зрения заданного критерия.
16. Адаптивные принципы построения системы электропривода применяются, когда:
- требуемые показатели качества невозможно обеспечить жесткими настройками;
 - система многомерная;
 - параметры системы в процессе работы незначительно изменяются.
17. Система электропривода с моделью-эталонном в скользящем режиме становится нечувствительной к изменению:
- параметров электропривода;
 - нагрузочного момента;
 - ошибок измерения.
18. Весовые коэффициенты в квадратичном функционале качества:
- выбираются из каталога;
 - подбираются самостоятельно;
 - определяются по формулам.
19. Если модальный регулятор рассчитывается исходя из настройки динамики системы электропривода на биномиальную стандартную форму, то наблюдатель для этой системы настраивается на стандартную форму:
- обязательно биномиальную;
 - обязательно Баттерворта;
 - любую.
20. При реализации модального регулятора ограничение тока обеспечить:
- невозможно;
 - возможно;
 - нет необходимости

СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Электронные промышленные устройства: Учебное пособие / Тырышкин А. В., Андраханов А. А. - 2007. 221 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/805>
2. Теоретические основы автоматизированного управления: Учебник / Ехлаков Ю. П. - 2001. 338 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/668>
2. Рождественский Д.А. Микропроцессорные устройства в системах управления: Учебное пособие. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2003. – 130 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 96 экз.)
3. Москаленко, В.В. Электрический привод: Учебник / В.В. Москаленко. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 364 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=443646>
4. Онищенко, Г.Б. Теория электропривода: Учебник / Г.Б. Онищенко. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 294 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=452841>
5. Микропроцессорные устройства и системы: Руководство к организации самостоятельной работы / Русанов В. В., Шевелев М. Ю. - 2012. 91 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/publications/866>
6. Системы реального времени: технические и программные средства: Учебное пособие / Древс Ю.Г. - М.:НИЯУ "МИФИ", 2010. - 230 с. ISBN 978-5-7262-1310-1: В другом месте, <http://znanium.com/bookread2.php?book=560589>
[изменить](#) [удалить](#)
7. Цифровые устройства и микропроцессоры: учеб. пособие: Учебное пособие / Микушин А.В., Сажнев А.М., Сединин В.И. - СПб:БХВ-Петербург, 2010. - 832 с. ISBN 978-5-9775-0417-1 : В другом месте, <http://znanium.com/bookread2.php?book=350706>

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Электронно-библиотечная система ZNANIUM.COM – <http://www.znanium.com/>
2. Научная электронная библиотека Elibrary.ru <http://elibrary.ru/>
3. База данных электронных изданий IEEE Xplore <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>
4. Информационные, справочные и нормативные базы данных
<https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh>

Периодические издания

1. IEEE Transactions on Power Electronics (Impact Factor 7.151) covers fundamental technologies used in the control and conversion of electric power [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=63>
2. IEEE Transactions on Industrial Electronics (Impact Factor 7.168) encompasses the applications of electronics, controls and communications, instrumentation and computational intelligence for the enhancement of industrial and manufacturing systems and processes. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=41>
3. Журнал "Силовая электроника" [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://power-e.ru/>

ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

1. Спроектировать многоканальную систему регулирования температуры в теплице. Включает восемь датчиков температуры и нагревателей. Значение стабилизируемой температуры задается в диапазоне от 10 до 40 градусов. Индикация выходных сигналов на включение нагревателей - с помощью линейки светодиодов. На цифровое табло вывести температуру объекта, номер которого набран на программном переключателе.

2. Спроектировать измеритель частоты сети с точностью до десятых долей герца при времени измерения не более одной секунды. Информация должна дублироваться на выносном табло, связь с которым осуществляется с помощью трехпроводной линии связи.

3. Разработать устройство охранной сигнализации. Число охраняемых объектов - до 64. Устройство должно сохранять свою работоспособность при выключении сети. При нажатии кнопки "Запрос" на цифровые индикаторы последовательно выводятся номера объектов, обслуженных по сигналу "Тревога".

4. Спроектировать устройство контроля интенсивности движения через мост. По запросу внешнего устройства выводит на цифровые индикаторы час пик и количество автомобилей, прошедших через мост в этот час.

5. Спроектировать устройство управления звонком на занятия. Должно реализовать реальную сетку расписания школьных звонков, индикацию текущего времени.

6. Спроектировать устройство для измерения потребляемой электроэнергии в любой сети постоянного тока (до 10000 кВт\час).

7. Спроектировать электронные весы. Фиксируют сначала вес тары (банки под сметану или растительное масло), а затем чистый вес продукта и его стоимость.

8. Разработать цифровой автомобильный спидометр (три десятичных разряда).

9. Цифровой генератор. Частота импульсов на выходе генератора в герцах от 1 до 99 должна быть равна числу на программном переключателе и отображаться на цифровых индикаторах. Длительность импульсов - 100 мкс.

10. Спроектировать генератор пачек импульсов, следующих с частотой 1 Гц. Частота импульсов в пачке 1 кГц, число импульсов в пачке (от 1 до 100) набирается кнопками программного и отображается на цифровых индикаторах. Длительность импульса - 100 мкс.

11. Спроектировать измеритель частоты вращения ротора двигателя. Диапазон измерения (100-10000 об/мин). Импульсный датчик вырабатывает 96 импульсов за каждый оборот. Время измерения - не более трех оборотов ротора.

12. Разработать электронное устройство управления инкубатором. Точность задания и стабилизации температуры - 0,1 градуса. Через каждый час обеспечить изменение положения яиц путем поворота на 45 град. Предусмотреть цифровую индикацию температуры. Для аналого-цифрового преобразования сигнала использовать метод двухтактного интегрирования.

13. Спроектировать цифровой спидометр для ГАИ. Контролируемая скорость автомобиля - до 200 км/час.

14. Разработать электронные шахматные часы с двумя индикаторами отсчета времени.

15. Спроектировать многоканальную систему регулирования температуры в теплице. Включает четыре датчика температуры и нагревателя. Значение стабилизируемой температуры задается в диапазоне от 10 до 40 градусов. Индикация выходных сигналов на включение нагревателей - с помощью линейки светодиодов. Для аналого-цифрового преобразования использовать метод двухтактного интегрирования

16. Разработать электронный таймер с индикацией в режиме обратного счета установленного времени в часах, минутах и секундах. В течение заданного временного отрезка должен быть включен исполнительный элемент (нагреватель).

17. Спроектировать измеритель частоты сети с точностью до десятых долей герца при времени измерения не более одной секунды. Прибор должен показывать число при включении его

вилки в розетку сети переменного тока промышленной частоты.

18. Разработать устройство охранной сигнализации квартир одного подъезда многоэтажного дома. Число охраняемых объектов - до 16.

19. Спроектировать устройство контроля интенсивности движения автомобилей по автомагистрали без дополнительных съездов/въездов с дороги на контролируемом участке. На цифровые индикаторы выводится текущее время и количество автомобилей, прошедших через магистраль с начала суток.

20. Спроектировать устройство управления гудком на заводе. Должно реализовать реальную сетку расписания смен, обеденных перерывов, индикацию текущего времени.

21. Спроектировать электронные весы. Фиксируют вес и стоимость расфасованной порции продукта.

22. Частота импульсов на выходе генератора в герцах от 10 до 999 должна быть равна числу на программном переключателе и отображаться на цифровых индикаторах. Длительность импульсов - 10 мкс, уровень - ТТЛ.

23. Спроектировать генератор пачек импульсов, следующих с частотой 10 Гц. Частота импульсов в пачке 10 кГц, число импульсов в пачке (от 1 до 100) набирается на лимбах программного переключателя и отображается на цифровых индикаторах. Длительность импульса - 10 мкс.

24. Спроектировать измеритель частоты вращения ротора двигателя. Диапазон измерения (100-1000 об/мин). Импульсный датчик вырабатывает 16 импульсов за каждый оборот. Время измерения - не более трех оборотов ротора.

25. Разработать электронное устройство управления инкубатором. Точность задания и стабилизации температуры - 0,1 градуса. Через каждый час обеспечить изменение положения яиц путем поворота на 45 град. Предусмотреть цифровую индикацию температуры. Для аналого-цифрового преобразования использовать метод последовательных приближений.

26. Разработать часы-секундомер комментатора. Перед началом соревнований стайеров в память заносится время контрольного забега последовательно по кругам. Нажатие кнопки после очередного круга выводит информацию об отклонении от контрольного времени (до 99.9 с).

27. Разработать часы электронные со звуковым сигналом. Воспроизводят мелодию через каждый час.

28. Спроектировать устройство управления рабочим циклом литейной машины. Рабочий цикл включает смыкание форм, подвод механизма впрыска, впрыск (Т1), формование (Т2), отвод механизма впрыска, загрузку (Т3), охлаждение (Т4), размыкание форм и выталкивание изделия. Пауза между циклами - Т5. Временные интервалы Т1, Т2, Т3, Т5 - до 99 с, Т4 - до 9999 с.

29. Спроектировать счетчик потребляемой тепловой энергии. Контролируется объем потребляемой горячей воды и разность температур в трубах горячей и холодной воды.

30. Спроектировать цифровую систему управления электроприводом с модальным регулятором.

31. Спроектировать цифровую систему управления электроприводом с модальным ПИ-регулятором.

32. Спроектировать цифровую систему управления электроприводом с наблюдающим устройством полного порядка.

33. Спроектировать цифровую систему управления электроприводом с наблюдателем пониженного порядка.

34. Спроектировать цифровую систему управления электроприводом с оптимальной по точности системой позиционирования

Михальченко С.Г.

Разработка эффективного управления компонентами электротехнических комплексов и систем: Методические указания для проведения практических работ / С. Г. Михальченко; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра промышленной электроники – Томск: ТУСУР, 2018. – 20 с. : прил. – Библиогр.: с. 17.

© Михальченко С.Г., 2018

© Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), 2018