

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИДО

С.И. Качин

« ____ » _____ 2014 г.

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рабочая программа, методические указания и контрольные задания
для студентов ИДО, обучающихся по специальности
140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок
и технологических комплексов»

Составитель С.В. Ляпушкин

Семестр	10	11
Лекции, часов	2	8
Лабораторные занятия, часов		8
Курсовая работа		4
Самостоятельная работа, часов		173
Форма контроля		Экзамен Зачет*

Издательство
Томского политехнического университета
2014

УДК 658.5.011.56(075.8)
ББК 32.965я73

Комплексная автоматизация технологических процессов: рабочая программа, метод. указания и контр. задания для студентов ИДО, обучающихся по спец. 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» / сост. С.В. Ляпушкин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 36 с.

Рабочая программа, методические указания и контрольные задания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры электропривода и электрооборудования «___»_____ 2014 г., протокол №__.

Зав. кафедрой ЭПЭО

кандидат техн. наук, доцент _____ Ю.Н. Дементьев

Аннотация

Рабочая программа, методические указания и контрольные задания по дисциплине «Комплексная автоматизация технологических процессов» предназначены для студентов ИДО, обучающихся по специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов». Данная дисциплина изучается в одном семестре.

Приведено содержание основных тем дисциплины, указан перечень лабораторных работ. Приведены варианты заданий для контрольной работы и методические указания для её выполнения.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели освоения дисциплины

Целью преподавания дисциплины «Комплексная автоматизация технологических процессов» является формирование у студентов знаний и умений в области проектирования, наладки и эксплуатации систем комплексной автоматизации технологических процессов; приобретение навыков практических расчетов и компьютерного моделирования, наладки и экспериментальных исследований современных автоматизированных систем с программируемыми контроллерами.

В результате изучения дисциплины студент **должен иметь представление:**

- о связи курса с другими дисциплинами и его месте в ряду прочих курсов специальности;
- о роли дисциплины в подготовке студентов данной специальности;
- о современном состоянии научных дисциплин, являющихся основой для учебного курса, и перспективах их развития в будущем;
- об основных сферах применения получаемых знаний;
- о существующих подходах к рассмотрению вопросов курса;
- о классификации и структуре современных технологических объектов управления;
- о месте и роли электропривода в автоматизированных системах управления технологических процессов (АСУ ТП);
- о назначении, характеристике и структуре современных АСУ ТП;

должен знать:

- научно-техническую лексику (терминологию), основные определения;
- общие принципы построения системы комплексной автоматизации;
- особенности проектирования систем комплексной автоматизации;
- элементы систем комплексной автоматизации;
- элементы комплексной автоматизации технологических узлов;
- классификацию технологических объектов управления;
- типовые и современные структуры АСУ технологических процессов;
- методы построения оптимальных алгоритмов управления технологическим оборудованием;

- требования к автоматизированному электроприводу, как исполнительному элементу;
- программно-аппаратную реализацию автоматизированной системы управления технологическим процессом;
- тенденции развития АСУ ТП и перспективные технические решения в области комплексной автоматизации типовых технологических процессов.

должен уметь:

- обосновать и составить архитектуру и структуру АСУ ТП;
- выбрать и обосновать основные устройства АСУ ТП для различных производств;
- записать основные уравнения и передаточные функции основных технических средств автоматизированной системы управления технологическим процессом;
- разрабатывать алгоритмы управления технологическим процессом и технологическим оборудованием;
- выбрать перспективный программируемый микроконтроллер для применения в автоматизированной системе управления технологическим процессом;
- подготовить программы управления микроконтроллера на одном из языков программирования;
- оценивать показатели качества управления;
- анализировать влияние изменений параметров, настроек системы и внешних воздействий на работу автоматизированной системы управления технологическим процессом;
- интерпретировать экспериментальные данные и сопоставлять их с теоретическими положениями;
- формулировать требования к электроприводу в автоматизированной системе управления технологическим процессом;
- выполнить проектирование и расчет электропривода автоматизированной системы управления технологическим процессом;
- рассчитывать параметры, электромеханические и механические характеристики, энергетические показатели, определять показатели качества электропривода автоматизированной системы управления технологическим процессом;
- контролировать правильность получаемых данных и выводов;
- моделировать электропривод автоматизированной системы управления технологическим процессом в различных статических и переходных режимах;
- объяснять характер процессов и зависимостей.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Курс «Комплексная автоматизация технологических процессов» разбит на восемь тем. При проработке курса необходимо прежде всего изучить особенности рассматриваемых технологических процессов и в связи с этим представить себе технические требования, предъявляемые к электроприводу отдельных механизмов, к схемам управления этими электроприводами. Далее нужно разобраться, при помощи каких средств эти требования выполняются. Затем следует рассмотреть общие принципы и технические средства, применяемые при автоматизации данного процесса, и примеры комплексной автоматизации производственного процесса. Изучение дисциплины должно сформировать у обучающихся современный подход к автоматизации производства, обеспечивающий: контроль и обработку большого количества технологических параметров, минимальное время реакции на изменение условий, принятие решений и выдачу команд. Основными задачами изучения дисциплины являются получение теоретических знаний и приобретение практических навыков расчетно-эксплуатационной и экспериментальной деятельности, связанных с использованием современных систем автоматизированного управления технологическими процессами.

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Введение

Современное промышленное производство и роль автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Классификация промышленного производства. Описание основных технологических процессов в металлообрабатывающей промышленности, металлургии, нефтяной и газовой отраслях, в химической отрасли. История развития АСУ ТП. Назначение, основные характеристики и структуры современных АСУ ТП. Социальные и технологические аспекты автоматизации производства. Электропривод как важнейший элемент автоматизированных систем. Место курса «Комплексная автоматизация технологических процессов» в общем плане подготовки специалистов 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов».

Рекомендуемая литература: [1, с. 6–15], [2, с. 5–17], [22, с. 7–17], [44, с. 5–20].

Методические указания

При изучении первой темы основное внимание должно быть уделено таким понятиям, как технологический комплекс, технологический процесс, производство, автоматизированная электромеханическая система, автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП), программируемые контроллеры, микропроцессоры, контрольно-измерительные средства и др. Необходимо четко представлять, почему при создании АСУ ТП важную роль играет технический уровень электропривода.

Контрольные вопросы

1. Дайте определения следующим понятиям: автоматизированная система управления, автоматизированная система управления технологическим процессом, технологический объект управления.
2. Какие принципиально новые возможности возникают при построении автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП)?
3. Нарисуйте типовую структуру автоматизированного технологического комплекса.
4. Назовите элементы производственного процесса.
5. Чем отличается комплексная автоматизация от обычной механизации производства?
6. Какими показателями оценивается уровень автоматизации?
7. Основное назначение АСУ ТП.
8. Что является целью управляющей функции АСУ ТП на технологический объект управления?
9. Место и роль электропривода в АСУ ТП?
10. Объясните, зачем нужны контроллеры в автоматизированной системе управления технологическим процессом?
11. Что необходимо для создания эффективной и надежной АСУ ТП?

Тема 2. Принципы и методы построения АСУ ТП

Управляемость технологического процесса. Преобразование технологической информации. Виды и форма сигналов. Кодирование сигналов. Способы кодирования. Дискретизация и квантование сигналов. Математический аппарат для импульсных и цифровых систем управления. Математические модели регуляторов в дискретной форме. Способы программной реализации алгоритмов цифровых регуляторов на примере пропорционального интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора. Блок схемы алгоритмов ПИД-регулятора.

Аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) как элементы дискретизации и квантования. Структурные схемы АЦП и ЦАП.

Рекомендуемая литература: [2, с. 17–46], [8, с. 144–175], [12, с. 29–77], [13, с. 244–272], [23, с. 12–41, 250–257], [27, с. 409–415], [36, с. 470–481].

Методические указания

Рассматривая автоматизированную систему управления технологическим процессом, необходимо знать, что функционирование АСУ ТП неразрывно связано с переработкой потока технологической информации. При изучении материалов данной темы следует усвоить общие положения по количественной оценке информации, принципам получения, способам преобразования и передачи технологической информации, её кодирования и защиты от помех. Поэтому в начале этой темы студентам необходимо повторить или изучить основные способы представления (кодирования) чисел в различных системах счисления, а также возможные приёмы преобразования чисел из одной системы счисления в другую. Цифровой сигнал является дискретным, так как определен не во всякий момент времени. Дискретный сигнал можно получить из аналогового, если произвести его квантование по времени. В результате квантования происходит процесс преобразования непрерывного (аналогового) сигнала в последовательность импульсов (дискретный сигнал). Цифровой сигнал отличается от дискретного тем, что кроме квантования по времени он квантован по уровню. Преобразование аналогового сигнала в цифровой производится с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), а цифрового в аналоговый с помощью цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП). Для анализа статических и динамических характеристик локальных дискретных систем, из которых состоит современная автоматизированная система управления технологическим процессом, используется специфический математический аппарат.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение управляемого технологического процесса.
2. Что называется идеально управляемым технологическим процессом?
3. Что является выходной переменной промышленных регуляторов?

4. Почему при использовании промышленных регуляторов возможна лишь приближенная реализация типовых законов регулирования?
5. На основе каких основных узлов может быть реализован промышленный регулятор?
6. Назовите отличие аналогового сигнала от дискретного.
7. Перечислите основные виды квантования дискретного сигнала.
8. Дайте определение амплитудно-импульсной модуляции (АИМ).
9. Назовите основные способы кодирования информации.
10. Назначение ЦАП и АЦП.

Тема 3. Оптимальные и адаптивные АСУ ТП

Постановка оптимизационной задачи. Критерии оптимальности АСУ ТП. Понятие и примеры целевых функций. Варианты решений оптимизационной задачи. Вопросы наблюдаемости и управляемости автоматизированных систем. Методы идентификации технологических объектов управления: аналитические и экспериментальные. Динамическое программирование как метод оптимизации технологических комплексов. Примеры применения метода. Алгоритмы управления электроприводами, механизмами и комплексами. Математические модели и структура систем управления. Каскадное (подчиненное) и модальное управление. Декомпозиция взаимосвязанных систем. Управление с использованием нечеткой логики.

Рекомендуемая литература: [1, с. 86–106], [2, с. 113–151], [12, с. 78–93, 122–161], [23, с. 250–266], [46, 4–92] .

Методические указания

Материал данной темы развивает и дополняет знания студентов, полученные в курсах «Теория автоматического управления», «Системы управления электроприводами» и др. в области принципов формирования и реализации различных законов управления АСУ ТП с учетом специфики технологических объектов управления. Эта специфика заключается в необходимости решать традиционные задачи стабилизации, программного или оптимального управления применительно к многомерным объектам, в формировании дискретной последовательности технологических операций с учетом логического анализа технологического объекта. Поэтому при изучении этой темы основное внимание должно быть уделено таким понятиям как, алгоритм управления, инвариантное управление, дискретная последовательность технологических операций и др.

Вопросы для самопроверки

1. Что понимают под алгоритмом управления?
2. Каким требованиям должен отвечать алгоритм управления технологическим процессом?
3. Приведите пример построения математической модели управляемого объекта.
4. Что считается оптимальным управлением в АСУ ТП?
5. Перечислите основные критерии оптимальности.
6. Что называется целевой функцией?
7. Методы поиска экстремума целевой функции
8. Дайте определение понятия «Математическая модель».
9. Поясните сущность событийного метода моделирования.
10. Генетические алгоритмы оптимизации систем.
11. Дайте формулировку задачи математического программирования.
12. Объясните принцип управления технологическими объектами с использованием нечеткой логики.
13. Как формируется структура и параметры фазы-регулятора.

Тема 4. Программные среды моделирования и визуализации технологических процессов и элементов АСУ ТП

Обзор наиболее распространенных SCADA-систем – Trace Mode, Genesis, Genie. Сравнительный анализ пакетов Trace Mode, Genesis, Genie. Описание пакета Trace Mode 4.20: редакторы базы каналов и представления данных, исполнительные модули системы, драйверы, средства разработки операторского интерфейса и программирования контроллеров. Примеры автоматизации технологических процессов с помощью SCADA-систем – Trace Mode, Genesis, Genie. Рассмотрение вопросов построения SCADA системы на языке высокого уровня – Delphi. Применение среды Matlab для моделирования нижнего уровня управления АСУ.

Рекомендуемая литература: [31–19], [47–36].

Методические указания

В этой теме изучаются, наиболее распространенные SCADA системы – Trace Mode, Genesis, Genie, применяемые в качестве программного обеспечения сбора данных и оперативного диспетчерского управления работой технологического оборудования в АСУ ТП. Изучение материалов данной темы должно дать достаточное представление о программных пакетах для создания интерфейса человек – машина

(Man Machine Interface, MMI) и программного обеспечения операторских станций АСУ ТП (Supervisor Control and Data Acquisition, SCADA). В результате изучения материалов данной темы студенты должны знать, что нужно реализовать программисту при создании рабочего места оператора АСУ ТП. Затем, составив алгоритм отображения и управления технологическим процессом и сделав сравнительный анализ, выбрать подходящий пакет программного обеспечения для АСУ ТП.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение SCADA-системы.
2. Какие компоненты входят в современную SCADA-систему?
3. Основные требования, предъявляемые к SCADA-системам.
4. Назовите основные области применения SCADA-систем.
5. Охарактеризуйте основные функциональные возможности SCADA-системы.
6. Дайте сравнительный анализ наиболее известных SCADA-систем.

Тема 5. Аппаратные средства АСУ ТП

Состав и классификация технических средств, применяемых в АСУ ТП. Критерии выбора аппаратных средств. Сравнительные технико-экономические характеристики решений. Нерегулируемые и регулируемые электроприводы. Коммутационная и защитная аппаратура. Программируемые контроллеры и промышленные компьютеры. Программируемые логические контроллеры VIPA System 200V. Программируемые контроллеры LOGO. Организация магистралей современных микропроцессоров промышленных компьютеров. Компьютерные шины ISA, VME, Multibus II, MODBUS, PROFIBUS и др. Контрольно-измерительные средства: датчики электромагнитных, механических и технологических переменных. Устройства связи с объектом: модули фирмы «Advantech» ADAM. Введение в промышленные сети. Обзор промышленных сетей. Сети на базе AS-интерфейса. Сети на базе интерфейса RS-485. Стандарты физической связи. Стандарт RS-232, RS-485. Распределенные, синхронные и асинхронные АСУ ТП. Примеры аппаратной реализации многоуровневой АСУ ТП.

Рекомендуемая литература: [1, с. 16–50, 74–80], [5, с. 16–50, 74–80], [6, с. 153–214], [14, с. 5–86], [43].

Методические указания

Изучение материала данной темы представляет собой известные трудности, так как технические средства, применяемые в АСУ ТП, постоянно совершенствуются и изменяются. Поэтому наиболее важным при освоении материалов данной темы является изучение функциональных возможностей и принципов действия отдельных элементов АСУ ТП, основу которых составляют современные системы автоматизированного электропривода, микропроцессоры, микроконтроллеры и основные блоки, входящие в них, устройства связи с объектом, широко применяемые в промышленности микромодули, интерфейсы, датчики технологических величин. Кроме того, также важным является изучение способов подключения датчиков, исполнительных устройств, периферийных устройств с помощью различных интерфейсов.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите и охарактеризуйте основные типы электроприводов, применяемые в АСУ ТП.
2. Какие типы регулируемых электроприводов наиболее широко применяются в настоящее время в АСУ ТП и почему?
3. Почему наиболее целесообразно управлять технологическим процессом, используя систему автоматизированного регулируемого электропривода?
4. Что понимается под интерфейсом?
5. Какие основные функции выполняет интерфейс?
6. Что называется стандартным интерфейсом?
7. Преимущества модулей дискретного ввода и вывода VIPA System 200V.
8. Перечислите основные особенности контроллеров серии System 200V.
9. Назовите области применения микроконтроллеров LOGO.
10. Как расшифровывается маркировка модулей LOGO?
11. С какими аналоговыми сигналами могут работать модули LOGO?

Тема 6. Программные средства АСУ ТП

Рассмотрение основ построения систем реального времени. Краткий обзор операционных систем реального времени. Языки программирования: Delphi, Си ++, Ассемблер, ST, SFC, CFC стандарта IEC 61131-3. Программирование контроллеров WAGO. Основы построения иерархических программных систем. Декомпозиция и агрегирование АСУ ТП. Создание программ для контроллера VIPA. Основы программирования

на машинном языке. Способы адресации данных и форматы команд. Общая характеристика системы команд микропроцессора. Команды пересылки данных и арифметические команды. Примеры реализации простейшего цифрового пропорционального регулятора.

Использование логических команд процессора, команд ввода-вывода, команд сравнения для реализации контроллеров и релейных регуляторов.

Основы программирования на языке Ассемблер. Правила применения основных «псевдокоманд» ассемблера. Организация циклов. Работа с подпрограммами и стеком. Программная реализация, измерителей временных интервалов, важнейших функций управления - таймеров, счетчиков событий, генераторов импульсов, изменяющейся длительности и скважности

Рекомендуемая литература: [1, с. 209–216], [13, с. 286–330], [27, с. 157–187], [36, с. 470–481], [43], [45, с. 14–39.]

Методические указания

Система работает в реальном времени, если её быстродействие адекватно скорости протекания физических процессов на объектах контроля или управления. Наиболее слабым звеном в системах реального времени является программное обеспечение. Программным обеспечением или программными средствами принято называть набор различных программ, предназначенных для определенного микропроцессора. Программы, разработанные и используемые для специальных целей, называют прикладными (целевыми, пользовательскими) программами. Разработка таких программ значительно облегчается при наличии в составе системы вспомогательных средств - системного программного обеспечения или операционной системы. Первым и единственным, безусловно, необходимым средством, обеспечивающим программирование микропроцессоров, является система машинных команд. Совокупность машинных команд образует базовый машинный язык данного микропроцессора. Разработчик системы управления может оперировать мнемокодами и символическими адресами, но затем они должны быть переведены в двоичные числа, загружаемые в память микропроцессорной системы. Мнемокоды совместно с директивами, используемые только при трансляции программы, образуют машинно-ориентированный язык, который называют ассемблером. Программы, написанные на ассемблере, могут непосредственно транслироваться в машинные коды. Трансляция может выполняться вручную или на ЭВМ с системным программным обеспечением.

Вопросы для самопроверки

1. Что понимается под системой реального времени?
2. Изобразите основные архитектуры операционной системы реального времени.
3. Дайте определение термина «задача» для многозадачной операционной системы реального времени.
4. Что понимается под программным обеспечением современных микропроцессоров и микроконтроллеров?
5. Какие достоинства и недостатки присущи языку ассемблера и языкам высокого уровня?
6. Какие функции выполняет в программе ассемблер счетчик адресов?
7. Какие преимущества даёт использование подпрограмм?
8. Как одна подпрограмма может вызвать другую и т. д.?
9. Как обеспечивается возврат в нужное место?
10. Чем ограничивается глубина вложения, т.е. число подпрограмм, вызывающих друг друга?
11. Может ли подпрограмма вызвать сама себя?
12. Как обеспечивается строгий порядок выполнения программы?
13. Как выполняются арифметические и логические команды?
14. Как выполняются команды передачи управления в другую точку программы?
15. Как выполняются команды передачи управления подпрограмм?
16. Что такое программа «Транслятор с языка высокого уровня»? Как она работает?

Тема 7. Варианты технической реализации АСУ ТП и их конструктивные решения

7.1. Автоматизированные системы управления технологическими процессами металлообработки

Металлорежущие станки как технологический объект управления. АСУ стабилизации режимов металлообработки. Элементы систем ЧПУ. Структуры АСУ ТП робототехнических комплексов. Примеры АСУ ТП прокатного и доменного производства, нефтяной, газовой и химической отраслях. Тенденции развития АСУ ТП и перспективы реализации гибких автоматизированных производств.

7.2. Прокатное производство

Основные сведения о прокатном производстве. Классификация прокатных станов и клетей. Реверсивные станы горячей прокатки. Тре-

бования и конструктивные особенности станов. Требования к электроприводу. Непрерывные станы горячей прокатки. Технологические и конструктивные особенности. Требования к электрооборудованию. Станы холодной прокатки. Устройство и технологические режимы. Требования к электроприводу. Вспомогательные механизмы. Конструктивные и технологические особенности. Требования к электрооборудованию. Рольганги, ножницы, манипуляторы, кантователи, толкатели и упоры, транспортеры, моталки. Доменное производство. Технологический процесс загрузки. Механизмы систем загрузки. Примеры АСУ ЭП и АСУ ТП прокатного и доменного производства.

7.3. Цветная металлургия

Общие сведения. Классификация производства. Основные технологические процессы производства цветных металлов. Требования к электроприводу, АСУ ЭП и АСУ ТП. Конструктивные особенности оборудования. Технологии обработки лома цветных металлов и получения цветных металлов со свойством первичного материала. Разработка и внедрение энерго-сберегающих технологий. Новое поколение энергосберегающих электроприводов.

7.4. Горнодобывающие машины

Экскаваторы. Общие сведения. Классификация. Основные технические параметры АСУ ЭП. Примеры. Буровые установки. Общие сведения по буровому оборудованию. Электроприводы буровых механизмов: ротора, лебедки, насоса. Серии АСУ ЭП. Примеры.

7.5. Энергосберегающие технологии

Новые технологии, обеспечивающие высокое качество продукции, минимальные затраты (стоимость), максимальное использование энергии и исходного продукта для всех видов промышленного и сельскохозяйственного производства. Новое поколение электроприводов с высокими показателями качества.

Рекомендуемая литература: [1, с.246–362, 378–400, 482–528], [2, с. 244–357], [7, с. 153–239], [28–25], [34], [38–39], [44, с. 158–192].

Методические указания

При изучении материалов данной темы студенты должны особое внимание обратить на технические требования к электроприводам и научиться выбирать комплектные электроприводы для различных механизмов.

В результате изучения материалов данной темы студент должен знать цель автоматизации процессов металлообработки, прокатного производства, в цветной металлургии и т. д., пути энергосбережения в электроприводе, влияние потерь энергии на выбор двигателей по условиям нагрева. Уметь правильно выбрать электродвигатель с учетом условий его нагрева, использовать на практике математическое описание и их структурные схемы.

Вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте основные требования к главному и вспомогательным электроприводам станков.
2. Каким образом решается проблема точного останова привода в металлорежущих станках?
3. Для какой цели, и в каких станках применяется автоматическое регулирование скорости главного привода при изменении диаметра изделия в процессе его обработки?
4. Каковы функциональные принципы построения АСУ металлообработкой?
5. Как работают следящие и копировальные системы?
6. В чем сущность систем числового программного управления станками?
7. Каковы области применения различных систем ЧПУ?
8. Каким образом используются микропроцессоры и мини-ЭВМ в типовых структурах ЧПУ?
9. Что понимается в теории прокатки под обжатием и вытяжкой?
10. Как определить мощность прокатки и момент для вращения валков на основании кривых удельного расхода энергии?
11. Как осуществляется регулирование натяжения полосы между станом холодной прокатки и моталки?
12. Опишите производственный процесс рабочего рольганга, охарактеризуйте режим работы его электродвигателя и объясните, как определяется мощность привода.
13. Дайте оценку эффективности отдельных мероприятий по энергосбережению.
14. Назовите общие мероприятия по энергосбережению при эксплуатации электродвигателей.

Тема 8. Особенности проектирования АСУ ТП

Стадии разработки АСУ ТП и их особенности. Разработка оригинальных АСУ ТП. Особенности разработки повторяемых АСУ ТП. Построение систем с обслуживающим персоналом в контуре управления и вне его.

Основные понятия теории надежности. Количественные характеристики надежности. Проблема надежности АСУ ТП. Показатели надежности ремонтируемых систем. Способы повышения надежности элементов и систем АСУ ТП. Методы расчета надежности систем.

Основные источники экономической эффективности АСУ ТП. Учет экономической эффективности АСУ ТП при ее разработке. Пример расчета экономической эффективности АСУ ТП.

Рекомендуемая литература: [2, с. 214–243], [7, с. 204–239], [13, с. 171–285], [36, с. 481–516], [44, с. 51–68].

Методические указания

Для любого инженера, проектирующего АСУ любого ранга, необходимо представлять основные стадии разработки АСУ ТП, так как разработка АСУ ТП от возникновения идеи до ввода ее в эксплуатацию процесс трудоемкий и длительный. ГОСТ 20913-75 определяет пять стадий создания АСУ ТП: разработка технического задания, выполнение технического проекта, разработка рабочего проекта, внедрение и анализ функционирования. В результате изучения материалов данной темы студент должен знать основные принципы построения АСУ ТП, особенности ее проектирования, стадии разработки и надежности, получить некоторые навыки поиска экономической эффективности АСУ ТП на стадиях разработки технического задания, в процессе выполнения технического проекта и при анализе функционирования АСУ ТП. Кроме того, студент должен знать методику расчета экономической эффективности АСУ ТП и уметь выполнять сравнительную оценку экономичности технологического объекта при ручном управлении и в АСУ ТП.

Вопросы для самопроверки

1. Этапы проектирования АСУ ТП.
2. Инструментальные средства проектирования АСУ ТП
3. Дайте понятие «проектирование».
4. Каковы особенности проектирования технологических процессов в условиях автоматизированного производства?
5. Какие основные принципы лежат в основе проектирования автоматизированных производственных систем?
6. Технические средства системы автоматизированного проектирования (САПР) АСУ ТП.
7. Программное обеспечение САПР.
8. Приведите одну из возможных структур построения САПР АСУ ТП.

3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Тематика лабораторных работ

1. Изучение системы автоматического регулирования температуры с микропроцессорным управлением (4 часа).
2. Изучение цифровых электромеханических систем на базе PCNC (4 часа).
3. Изучение автоматической системы дозирования сыпучих на базе контроллера FASTWEL RTU – 188 BS (4 часа).
4. Изучение программируемого контроллера Siemens Logo! (4 часа).

Конкретная программа лабораторных занятий составляется преподавателем в соответствии с приведенным перечнем лабораторных работ и числом часов аудиторных занятий. При выполнении лабораторных работ каждый студент оформляет отчет, в котором указываются цели работы, описание установки, разработанные программы управления, результаты проверок исследуемых программ, а также выводы по работе. Полученные результаты защищаются.

Методические указания к выполнению лабораторных работ представлены в [16].

4. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

4.1. Общие методические указания

При изучении курса «Комплексная автоматизация технологических процессов» предусмотрено выполнение курсового проекта, состоящей из двух заданий. Целями контрольной работы являются закрепление знаний по дисциплине и в получение навыков самостоятельной работы с технической литературой, а так же в подготовке и оформлении отчетной документации.

Основной теоретический материал, необходимый для выполнения заданий, изложен в методических указаниях к каждому заданию. Однако с целью более эффективной работы в процессе решения целесообразно пользоваться дополнительной литературой, ссылки на которую предусмотрены в методических указаниях к выполнению задания. Все буквенные обозначения физических величин должны поясняться. Все расчеты должны сопровождаться предварительной записью расчетной формулы в общем виде. Порядок подстановки численных значений расчетных величин в формулу должен соответствовать порядку их следования в ней.

Курсовой проект оформляется на листах бумаги формата А4 и в соответствии с требованиями СТО ТПУ 2.5.01-2006.

Курсовой проект имеет два задания: задание № 4.2.1 и задание № 4.2.2. Вариант курсового проекта определяется по номеру зачетной книжки.

4.2.Варианты заданий на курсовой проект и методические указания

Задание № 4.2.1. «Разработка системы автоматизации технологического процесса дозирования сыпучих материалов»

Тема проекта: разработка системы автоматизации технологического процесса дозирования сыпучих материалов.

Объем: 1. пояснительная записка (20-30) страниц текста формата А4;
2. графическая часть выносится в приложение пояснительной записки.

Содержание графической части:

- функциональная схема системы автоматизации процесса дозирования сыпучих материалов;
- имитационная модель;
- основные характеристики и показатели качества работы системы.

Содержание пояснительной записки:

Титульный лист

Техническое задание

Содержание

Введение

1. Разработка и обоснование функциональной схемы системы автоматического дозирования сыпучих материалов
2. Расчет мощности и выбор электродвигателей шнековых питателей
3. Выбор размеров и геометрии бункера дозатора.
4. Выбор и обоснование релейно-контакторной аппаратуры
5. Упрощенная модель процесса дозирования
6. Определение оптимальной настройки регулятора веса
7. Выбор преобразователя частоты

8. Выбор редуктора
 9. Выбор и обоснование датчиков веса
 10. Выбор и обоснование контроллера
 10. Исследование модели автоматической системы дозирования сыпучих материалов
 11. Выбор и компоновка шкафа электроавтоматики
- Заключение
- Список литературы

Техническое задание на курсовой проект

Разработать автоматическую систему дозирования сыпучего материала. Функциональная схема системы представлена на рисунке 4.1.

Сырье последовательно поступает из расходных бункеров РБ через шнековые питатели ШП в бункер-дозатор в соответствии с рецептом. Бункер-дозатор подвешен на датчиках веса ДВ. После завершения дозирования содержимое бункера-дозатора через открытую задвижку сыпается в бункер-смеситель и перемешивается в течении заданного времени. Далее через открытую задвижку смесь высыпается в приемный бункер, откуда отгружается транспортером готовой продукции.

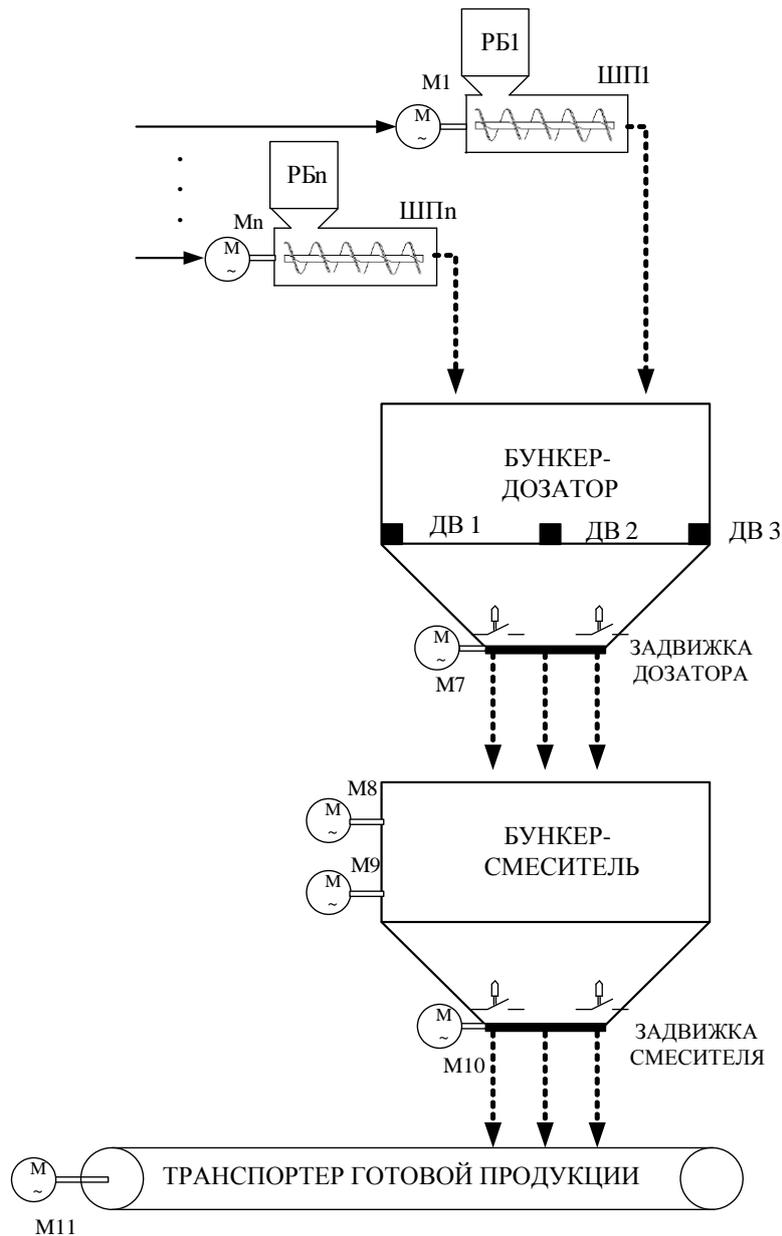


Рисунок 4.1 - Схема объекта автоматизации

Исходные данные механической части системы, тип дозируемого материала, требования к контроллеру автоматики приведены в таблице 4.1, а характеристики дозируемого материала в таблице 4.2.

Требование к содержанию проекта:

1. Разработать функциональную схему системы автоматизации процесса дозирования сыпучих материалов;
2. выполнить расчет и выбор электродвигателя шнекового питателя;
3. выполнить синтез регулятора веса;
4. исходя из грузоподъемности бункера дозатора, выбрать датчики веса;

5. выполнить расчет параметров и моделирование электропривода в среде MatLab.
6. произвести выбор и обоснование элементов системы автоматизации технологического процесса
 - контроллер;
 - интерфейсы связи;
 - нормализатор сигнала;
 - концевые выключатели задвижки дозатора;
 - коммутационное оборудование (пускатели, клеммы);
 - автоматические выключатели;
 - сечения силовых и информационных соединительных проводов;
 - шкаф;
 - указать компоновку элементов в шкафу, с учетом габаритов элементной базы.
(контроллер, датчики веса, релейно-контакторная аппаратура, шкаф);
7. для каждой выбранной позиции элемента автоматики привести его изображение, параметры);
8. для всего оборудования составить таблицу с указанием стоимости и поставщика;

Таблица 4.1

№ п/п	Установка датчика скорости	Контроллер автоматики	Дозируемый материал	Q т/ч	S м	D м	n об/ мин	Грузоподъемность бункера-дозатора, кг	Длина Шнека, м
1	На механизме	Встроенный в ПК	Песок	0.15	0.32	0.38	122	100	0.5
2	На двигателе	Внешний	Известняк	85	0.2	0.25	115	1000	1
3	На механизме	Встроенный в ПК	Полипропилен	0.08	0.24	0.37	121	80	0.38
4	На двигателе	Внешний	Гипс	190	0.24	0.37	121	3000	2
5	На механизме	Встроенный в ПК	Полиэтилен	0.031	0.18	0.24	114	50	0.7
6	На механизме	Встроенный в ПК	Вольфрам	3700	0.3	0.45	126	10000	3

7	На двигателе	Внешний	Сера техническая	17	0.1	0.16	100	8000	2.3
8	На двигателе	Встроенный в ПК	Соль поваренная	200	0.17	0.21	112	6000	3.1
9	На механизме	Внешний	Каучук	25	0.2	0.23	113	12000	2.7
10	На двигателе	Внешний	Цемент	180	0.34	0.45	126	2000	3.5

Таблица 4.2

Материал	Насыпная объемная масса, кг/м ³	Угол трения материала о поверхность, град
Песок	1400	60
Известняк	1230	40
Полипропилен	450	40
Гипс	810-960	35
Полиэтилен	600	34
Вольфрам	2400-4000	50
Сера техническая	850-980	25-60
Соль поваренная	1120	29-37
Каучук	461	19-20
Цемент	903	40

4.2.1.2. Методические указания к заданию № 4.2.1 «Разработка функциональной схемы автоматической системы дозирования сыпучих материалов»

Для обеспечения высокой надежности программно-аппаратный комплекс должен состоять как минимум из трех уровней. Нижний уровень содержит датчики и исполнительные механизмы. Средний уровень включает в себя управляющий контроллер и модуль релейной коммутации. Верхний уровень представляет собой автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора на базе персонального компьютера.

Технологический процесс дозирования требует максимальную точность дозирования при заданной производительности. На рис. 4.2 представлена функциональная схема асинхронного электропривода шнекового питателя для автоматического дозирования сыпучих материалов.

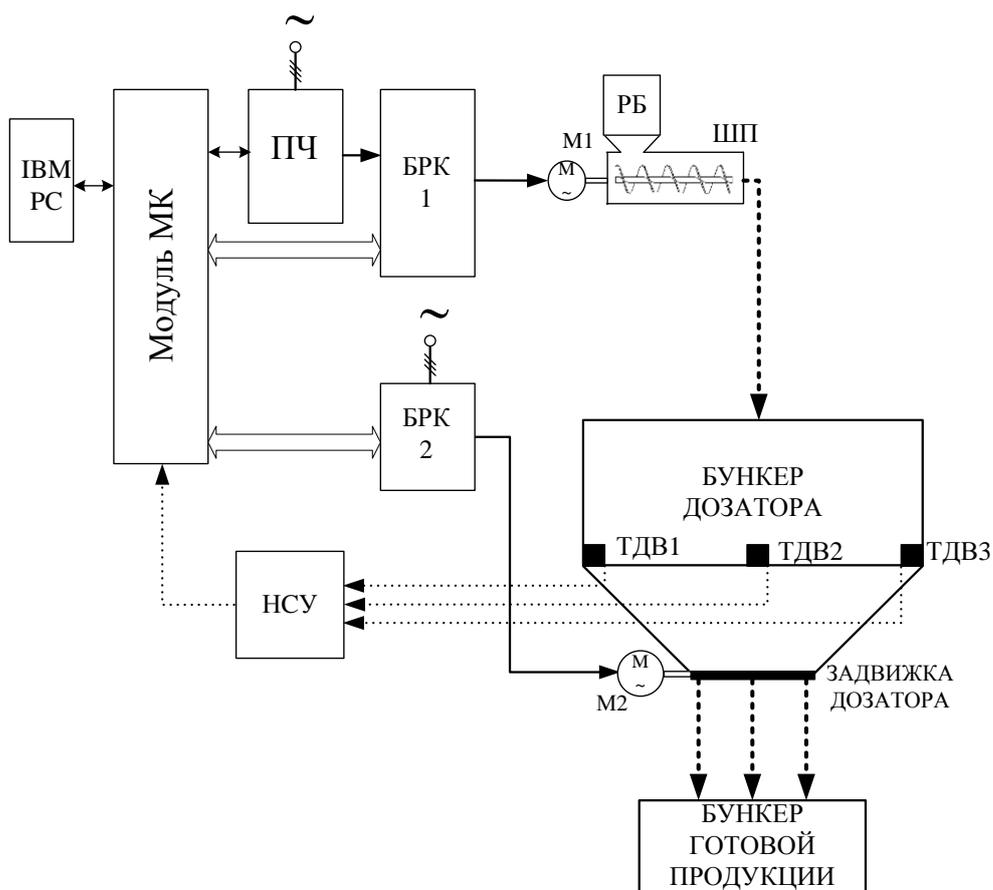


Рис. 4.2. Функциональная схема «Система автоматического дозирования сыпучих материалов»

На рисунке 2 приняты следующие обозначения:

Модуль МК – модуль микроконтроллера;

ПЧ – преобразователь частоты;

БРК – блок релейной коммутации;

НСУ – нормирующий суммирующий усилитель;

М – асинхронный двигатель;

ТДВ – тензодатчик веса;

ШП – шнековый питатель;

РБ – расходный бункер.

На входе регулятора веса, программно выполненного в микроконтроллере, суммируются сигнал задания на вес, поступающий с персонального компьютера и сигнал с нормирующего усилителя, пропорциональный текущему весу. Выход регулятора веса является заданием на частоту преобразователя и, соответственно, скорости вращения асинхронного двигателя шнекового питателя. По мере наполнения бункера разница между заданной и действительной массой в бункере

уменьшается, что приводит к уменьшению скорости электропривода. Остановка двигателя осуществляется на небольшой скорости, что положительно сказывается на точность дозирования. После остановки двигателя шнекового питателя, по сигналу с микроконтроллера, коммутируется силовая цепь задвижки дозатора. Перемещение материала в бункер готовой продукции происходит автоматически.

Выбор электродвигателя

Исходными для выбора электродвигателя являются параметры шнекового питателя, приведенные в табл.4.1.

D – внешний диаметр шнека;

S – шаг винта шнека;

n – скорость вращения шнекового питателя.

Величина пассивной поверхности на шнеке

$$f = \left(\frac{S}{4 \cdot \pi \cdot \cos \lambda_0} \right)^2 \cdot (\sin (2 \cdot \lambda_0) - 2 \cdot \lambda_0 \cdot \cos (2 \cdot \lambda_0)),$$

где, λ_0 – угол трения материала о поверхность шнека (табл. 4.3).

Площадь витка винта

$$F = p \cdot R^2,$$

где R – радиус винта.

Коэффициент производительности

$$\varphi = 0.87 \cdot \left(1 - \frac{f}{F} \right).$$

Секундная производительность

$$Q^c = \frac{S}{D} \cdot R^3 \cdot \omega \cdot \varphi_n, \text{ (м}^3/\text{с)}$$

где, ω – скорость вращения шнекового питателя (рад/с).

Удельный расход энергии

$$A = \frac{2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot L \cdot \gamma_0 \cdot g}{\frac{S}{D}} \text{ (кг/м} \cdot \text{с}^2),$$

где, $\mu=0.8$ – коэффициент трения;

g – ускорение свободного падения (м/с²);

L – длина шнека (м);

γ_0 - насыпная объемная масса материала (кг/м³) (табл.4.2);

Мощность на валу привода

$$N = Q^c \cdot A / 1000 \text{ (кВт)}.$$

По справочной литературе [47] выбираем асинхронный двигатель $P_H \geq N$.

Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя, а также для структурно-параметрического синтеза системы управления необходимо воспользоваться математической моделью электродвигателя, которая в общем случае представляется различными схемами замещения [19]. Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, рис. 4.2.

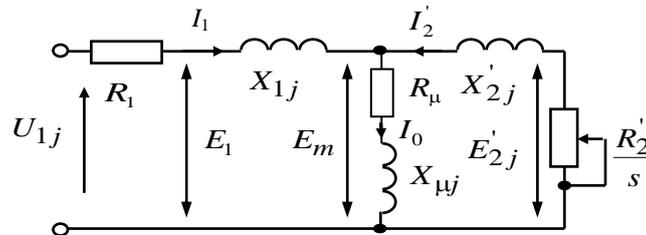


Рис. 3. Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\begin{aligned} \bar{U}_{1\Phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 &= 0; \\ \bar{E}_m + j \cdot X_2' \cdot \bar{I}_2' + R_2' \cdot \bar{I}_2' / s &= 0; \\ \bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющих (1), изображена на рис. 4.3.

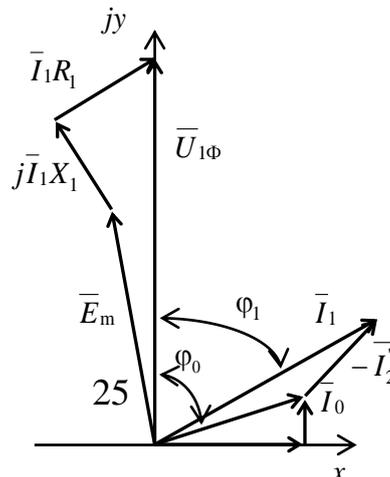


Рис. 4 Векторная диаграмма асинхронной машины

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным. Как правило, в каталогах на асинхронные двигатели приводятся следующие технические данные:

- P_H – номинальная мощность двигателя, кВт;
- U_H – номинальное линейное напряжение, В;
- I_H – номинальный ток статора двигателя, А;
- n_H – номинальная частота вращения, об/мин;
- s_H – номинальное скольжение, относительные единицы (о.е.);
- η_H – коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности (100%-я нагрузка), %;
- $\cos\varphi_H$ – коэффициент мощности в режиме номинальной мощности, о.е.;

$I_{II}/I_H = k_i$ – кратность пускового тока, о.е.;

$M_{II}/M_H = k_{II}$ – кратность пускового момента, о.е.;

$M_K/M_H = k_{max}$ – кратность максимального момента, о.е.;

$M_{min}/M_H = k_{min}$ – кратность минимального момента, о.е.

Эти данные позволяют определить параметры схемы замещения при следующих основных допущениях:

- магнитные и механические потери в двигателе составляют $0,02 P_H$;
- активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются независимыми от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются.

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти из выражения [2]:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* I_{1H} (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}{1 - [p_* (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}}, \quad (2)$$

где $I_{1H} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot \cos\varphi_H \cdot \eta_H}$ - номинальный ток статора двигателя;

$s_H = \frac{(n_0 - n_H)}{n_0}$ - номинальное скольжение;

n_0 – синхронная частота вращения;

U_{1H} – фазное напряжение;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} \quad (3)$$

ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$\cos \varphi_{p_*}$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

η_{p_*} – КПД при частичной нагрузке;

$p_* = P/P_H$ – коэффициент загрузки двигателя.

Коэффициент мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями:

– современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при нагрузке на 10–15% меньшей номинальной [1]. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке $p_* = 0,75$ практически равны между собой, т.е.

$$\eta_H \approx \eta_{0,75}; \quad (4)$$

– коэффициент мощности при той же нагрузке $p_* = 0,75$ значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведенной на рис. 4.4.

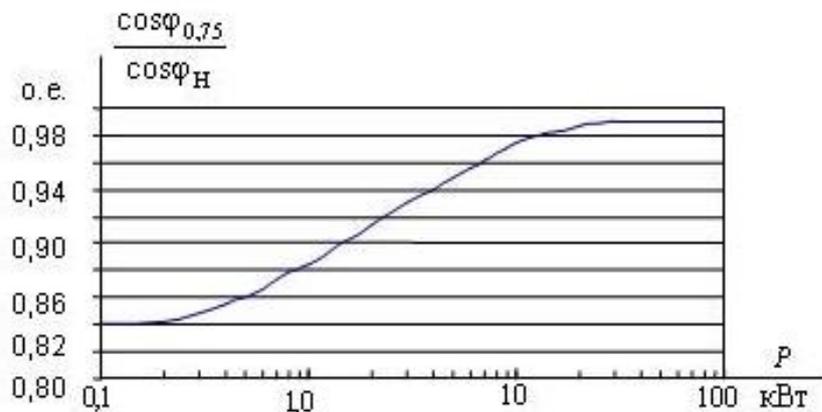


Рис. 4.4. Зависимость $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$ от мощности асинхронного двигателя

Из формулы Клосса определим выражение для расчета критического скольжения

$$s_k = s_H \frac{k_{\max} + \sqrt{(k_{\max})^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)}, \quad (5)$$

где

$$\beta = R_1 / (C_1 \cdot R_2'); \\ C_1 = 1 + (I_0 / (2 \cdot k_i \cdot I_{1H})). \quad (6)$$

Значение коэффициента β согласно [3] находится в диапазоне 0,6–2,5, поэтому в первом приближении принимаем $\beta = 1$.

Определим коэффициент [2]

$$A_1 = mU_{1\Phi}^2 (1 - s_H) / (2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H). \quad (7)$$

Тогда активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = A_1 / (\beta + 1/s_k) \cdot C_1, \text{ Ом.} \quad (8)$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta, \text{ Ом.} \quad (9)$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{кн}$:

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} \quad (10)$$

Очевидно, что при отрицательном подкоренном выражении первоначально принятое значение β необходимо изменить.

Тогда

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2'. \quad (11)$$

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления $X_{кн}$ сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями [4], которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано

$$X_{2H}' = 0,58X_{кн} / C_1, \text{ Ом.} \quad (12)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1H} = 0,42X_{KH}, \text{ Ом.} \quad (13)$$

Определим критическое скольжение:

$$s_K = \frac{C_1 R_2'}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}}. \quad (14)$$

Если рассчитанные по (5) и (14) значения критического скольжения s_K не равны, то вводим поправку β и продолжаем расчеты по (6)–(14) в цикле до их совпадения с абсолютной погрешностью $\delta = 0,01$. Обычно за две, три итерации удается достичь совпадения критического скольжения, определенного по выражениям (5) и (14).

Согласно векторной диаграмме (рис.4.2) ЭДС ветви намагничивания E_m , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна ($R_m \approx 0$)

$$E_m = \sqrt{(U_{1j} \cos \varphi_{1H} - R_1 I_{1H})^2 + (U_{1j} \sin \varphi_{1H} - X_1 I_{1H})^2}, \quad (15)$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu H} = E_m / I_0. \quad (16)$$

Используя параметры схемы замещения, можно произвести расчет механических и электромеханических характеристик, а также динамики системы.

Выбор редуктора

Скорость вращения шнекового питателя для перемещения сыпучих грузов должна лежать в пределах от 100 до 200 об/мин. Следовательно нужно предусмотреть в системе понижающий мотор – редуктор с передаточным числом $n_{ш}/n_{дн}$.

Выбор преобразователя частоты

С точки зрения энергетики основным параметром электропривода является его мощность. Поэтому при выборе преобразователя частоты в первую очередь необходимо определить требования к его нагрузочной способности.

Вторым немаловажным параметром преобразователя являются требования к напряжению питающей сети. Как правило, преобразователи питаются от трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В, разброс $+10\% / -15\%$, что вполне соответствует требованиям российских

стандартов к качеству электроснабжения. Следует также отметить, что ряд производителей выпускают преобразователи частоты невысокой мощности (до 1,5 кВт), рассчитанные на работу от однофазной сети напряжением 220–240 В. Однако ввиду понижения напряжения на звене постоянного тока, эти модели не могут формировать на выходе напряжение выше 220 В, поэтому они могут работать только с двигателями, обмотки статора которых соединены в треугольник. Также необходимо помнить, что такая схема подключения ведет к увеличению тока, как на входе, так и на выходе преобразователя частоты в сравнении с аналогичной моделью, работающей по стандартной схеме от трехфазной сети.

На следующем этапе выбора преобразователя частоты необходимо определить требования к его функциональным возможностям. Требуется выбрать способ управления двигателем: скалярное или векторное управление. Как уже говорилось ранее, векторное управление целесообразно выбирать в случаях, когда необходима высокая точность регулирования, поддержание момента на валу двигателя при малых скоростях вращения.

В настоящее время существует большое количество различных преобразователей частоты. Ведущие позиции среди них занимают преобразователи таких фирм, как «ВЕСПЕР», «Siemens», «ABB», «Danfoss», «Omron», «Mitsubishi», «Schneider Electric».

Выбор защитных аппаратов для двигателей

Для защиты двигателей от токов короткого замыкания, токов перегрузки необходимо выбрать автоматические выключатели. Защитные аппараты выбираются по току электромагнитного расцепителя, току теплового расцепителя и току короткого замыкания.

1. Необходимо определить пусковой ток, зная номинальный ток электроприемника:

$$I_{ПВСК} = 5 \cdot I_H .$$

2. Определяем кратковременный ток:

$$I_{КР} = 1,25 \cdot I_{ПВСК} .$$

3. Ток электромагнитного расцепителя должен быть больше кратковременного тока:

$$I_{ЭМ} \geq I_{КР} .$$

По время-токовой характеристике отключения выбираем уставку электромагнитного расцепителя равную 8, т.е.

$$I_{ЭМ} = 8 \cdot I_H ,$$

где I_H - номинальный ток двигателя.

4. Ток теплового расцепителя должен быть больше номинального тока электроприемника:

$$I_{Т.Р.} \geq I_H,$$

Проверка по току короткого замыкания:

$$I_{КЗ} \geq I_{ЭМ}$$

$$I_{КЗ} = 10 \cdot I_H$$

Выбор электромагнитных пускателей

Пускатель электромагнитный – коммутационный электрический аппарат, предназначенный для пуска, остановки и защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором непосредственным подключением обмоток статора к сети и разрывом тока в них без предварительного ввода в цепь дополнительных сопротивлений.

С учетом используемых на практике схем главной цепи электропривода на основе асинхронных двигателей на электромагнитные пускатели возлагают дополнительно функции:

- реверсирование направления вращения двигателя путем изменения последовательности подключения фаз сети к обмоткам;
- изменение схемы включения обмоток двигателя Y / Δ ;
- защита двигателя от длительных перегрузок и перегрева, снижение сопротивления изоляции и т.п.

Учитывая требования к пускателю, как элементу схемы автоматического управления, на него часто возлагают ряд вспомогательных функций:

- электрическое и механическое блокирование возможности одновременного включения контакторов в реверсивных схемах;
- создание цепей для местного и дистанционного управления пускателем;
- защита от различных нежелательных режимов работы;
- контроль и сигнализация о состоянии силовых цепей и цепей управления.

Выпускаемые промышленностью серии магнитных пускателей рассчитаны на применение в разных климатических поясах, размещение в разных условиях. Пускатели обладают разной степенью защиты

от прикосновения и воздействий и могут использоваться в разных условиях по механическим воздействиям и взрывоопасности среды.

Упрощенная имитационная модель дозирования сыпучих материалов

Имитационная модель системы дозирования сыпучих материалов изображена на рис. 4.5.

Здесь оранжевым цветом выделены блоки, моделирующие объект управления – шнековый питатель с заданной производительностью, звено транспортной задержки (время падения дозируемого материала) и интегратор (растущая масса бункера-дозатора). Голубым цветом выделены блоки, моделирующие преобразователь частоты: задатчик интенсивности на входе преобразователя, пропорциональное звено с коэффициентом условно равным 1 (в этот блок вводится значение коэффициента передачи регулируемого привода (РЭП)), ограничение выходной частоты на верхнем и нижнем уровнях, а также блоки, имитирующие отключение электропривода при уменьшении ошибки дозирования ниже заданного уровня. Зеленым цветом выделены блоки задания на вес, регулятор веса и блоки, моделирующие квантование сигнала задания на скорость по времени и уровню. Датчик веса в модели имеет единичный коэффициент передачи.

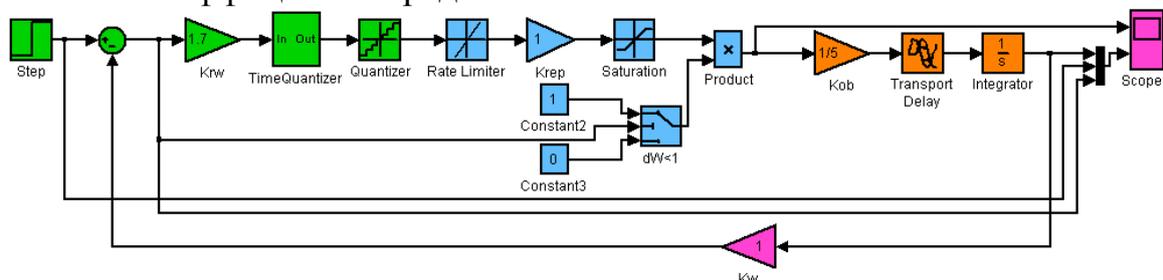


Рис.4.5 Имитационная модель системы дозирования сыпучих материалов

Определение постоянной времени транспортной задержки

При моделировании автоматической системы дозирования сыпучих материалов, необходимо учитывать транспортную задержку процесса, т.е. падающий столб материала который находится в воздухе и не фиксируется датчиками веса.

Объем бункера дозатора определяется по формуле:

$$V = \frac{m}{\gamma_0} \quad (\text{м}^3).$$

Обычно бункеры дозатора выполняются в виде куба и поэтому высота бункера определяется по формуле:

$$L = \sqrt[3]{V} \quad (\text{м}).$$

Высота падающего столба при перемещении материала из шнека в бункер можно определить по формуле:

$$L = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (\text{м}).$$

где t – время падения материала в бункер дозатора.

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot L}{g}}$$

При заполнении бункера время t динамически изменяется, но для расчета регулятора веса можно принять постоянную времени транспортной задержки равной $T_{мз} = \frac{t}{2}$.

Оптимизация контура веса

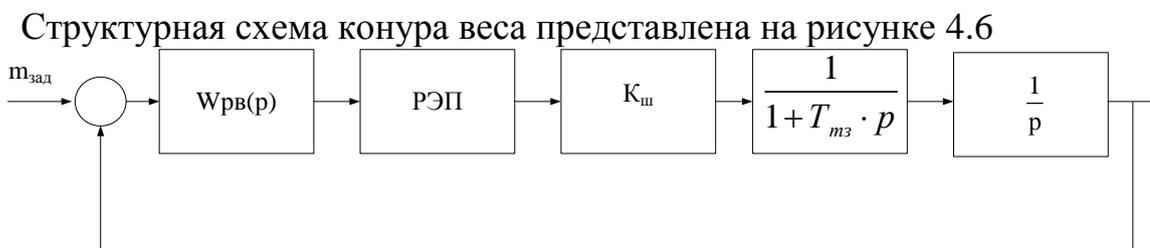


Рисунок 4.6 – Структурная схема линейризованного контура веса

На рисунке приняты следующие обозначения:

$W_{рв}(p)$ - передаточная функция регулятора веса;

$k_{ш}$ - коэффициент передачи шнека;

$T_{тз}$ - постоянная времени транспортной задержки.

Синтез регулятора веса на модульный оптимум

Разомкнутый контур веса, настроенный на модульный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию [9]:

$$W_{\text{то}}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu\text{в}} \cdot p(T_{\mu\text{в}} \cdot p + 1)}$$

где $T_{\mu\text{в}}$ - малая постоянная времени контура веса.

Принимаем малую некомпенсируемую постоянную контура веса равную величине транспортной задержки шнекового питателя $T_{\mu\text{в}} = T_{\text{тз}}$ с.

Протекание процессов по контуру веса имеет медленный характер по сравнению с процессами регулируемого электропривода. Поэтому в данной автоматической системе регулируемый привод (частотный преобразователь) можно представить пропорциональным звеном.

$$K_{\text{рэлп}} = \frac{\omega_{\text{макс}}}{U_{\text{рв макс}}}$$

Исходя из формулы для секундной производительности, коэффициент шнекового питателя можно рассчитать по формуле:

$$K_{\text{ш}} = \frac{S}{D} \cdot R^3 \cdot \varphi_n \cdot \gamma_0$$

Передаточная функция разомкнутого контура веса рассматриваемой системы (рисунок 1.10) определяется следующим образом [10]:

$$W_{\text{разкв}}(p) = W_{\text{рв}}(p) \cdot K_{\text{рэлп}} \cdot \frac{k_{\text{ш}}}{p} \cdot \frac{1}{1 + T_{\text{тз}} \cdot p}$$

Передаточную функцию разомкнутого контура веса приравняем к желаемому и решаем относительно передаточной функции регулятора веса.

$$W_{\text{рв}}(p) = \frac{(T_{\text{тз}} \cdot p + 1)}{k_{\text{ш}} \cdot k_{\text{рэлп}} \cdot 2 \cdot T_{\mu\text{в}} \cdot (T_{\mu\text{в}} \cdot p + 1)} = \frac{1}{k_{\text{ш}} \cdot k_{\text{рэлп}} \cdot 2 \cdot T_{\mu\text{в}}}$$

где:

$$k_{\text{рв}} = \frac{1}{k_{\text{ш}} \cdot k_{\text{рэлп}} \cdot 2 \cdot T_{\mu\text{в}}} - \text{коэффициент усиления регулятора веса;}$$

Таким образом, при настройке контура веса на технический оптимум, получаем регулятор веса пропорционального типа с коэффициентом передачи $k_{\text{рв}}$.

4.2.6. Задание № 2.2 «Разработка системы автоматизации двухкоординатного токарного станка»

Студент должен выполнить проект процесса автоматизации двухкоординатного токарного станка, параметры которого указаны в табл. 4.3, 4.4, выполнив следующие пункты задания.

1. Обоснование и выбор функциональной схемы системы автоматизации двухкоординатного токарного станка и выбора функциональной схемы электропривода.
 2. Механическая система электропривода.
 - 2.1. Кинематическая и расчетная схема механизма.
 - 2.2. Выбор электродвигателя.
 3. Силовая цепь электрической системы электропривода.
 - 3.1. Выбор преобразователя.
 - 3.2. Определение параметров силовой цепи.
 4. Структурная схема силового канала электропривода
 5. Линеаризованная САУ СЭП
 - 5.1 Структурная схема линеаризованной САУ СЭП
 - 5.2 Определение оптимальных настроек контуров СЭП
 - 5.3 Определение и оценка ожидаемых показателей качества работы СЭП
 - 5.4 Исследование линеаризованной САУ СЭП на имитационной модели
- 6 Выбор и обоснование элементов системы автоматизации двухкоординатного токарного станка.
- 7 Выбор и обоснование датчиков положения.
- 8 Выбор контроллера движения.
- 9 Выбор контроллера автоматики.
- 10 Выбор и компоновка шкафа электроавтоматики (пускатели, клеммы, и т.д.).

Таблица 4.3

Исходные данные для задания № 2.2

Последняя цифра № зачет. кн.	C_F	t_p	$S_{об}$	C_V	T	X_V	Y_V	m	n_F
0	300	0,8	1,2	420	60	0,5	0,2	0,2	-0,15
2	200	0,9	0,8	350	60	0,5	0,35	0,2	-0,15
4	300	1,2	1,4	340	60	0,5	0,45	0,2	-0,15
6	200	1,3	1,3	87,5	60	0,25	0,33	0,125	0
8	300	1,4	1,1	56	60	0,2	0,66	0,125	0

Таблица 4.4

Исходные данные для задания № 2.2

Последняя цифра № зачет. кн.	$l_{в}$, м	$d_{в}$, мм	$t_{в}$, мм	m_{Σ} , кг	$i_{ред}$	$\eta_{пер}$	$\eta_{ред}$	$\Delta_{к}$, мкм
0	1,5	20	5	500	1	0,85	0,96	5
2	2,5	25	5	1000	1	0,85	0,97	10
4	3	32	10	500	2,16	0,85	0,96	5
6	3,5	40	10	1000	2,16	0,85	0,97	10
8	4	50	10	500	3,24	0,85	0,96	5

Обозначения, принятые в табл. 4.3, 4.4:

C_F , t_P , $S_{об}$, C_v , T , X_V , Y_V , m , η_F – коэффициенты определяющие усилия подачи;

m_{Σ} – масса перемещаемого груза;

$l_{в}$ – длина ходового винта;

$d_{в}$ – диаметр винта;

$t_{в}$ – шаг винта;

$i_{ред}$ – передаточное число редуктора;

$\eta_{пер}$ – КПД передачи;

$\eta_{ред}$ – КПД редуктора;

$\Delta_{к}$ – допустимая контурная ошибка;

R_0 – радиус окружности;

4.2.7. Методические указания для выполнения задания № 2.2

Определение момента от силы резания и выбор двигателя

В условиях эксплуатации станки работают в разнообразных режимах с различной нагрузкой и в общем случае мощность их приводов можно определять методом средних потерь или эквивалентных величин, используемых при выборе мощности двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме.

Основой для расчёта служат циклограммы работы приводов. Однако они могут быть построены лишь в ограниченных случаях – для специальных и специализированных станков, где обрабатываются определённого вида детали в условиях массового производства с заданными режимами резания. В станках общего назначения станках, предназначенных для обработки большой номенклатуры деталей с различными

режимами резания, построить циклограмму работы станка не представляется возможным. Поэтому при определении мощностей двигателей главного привода и подачи таких станков предполагается, что они работают длительно с наиболее тяжёлыми режимами резания, допускаемыми на данном станке.

Исходными данными для предварительного выбора электродвигателя являются режимы резания, кинематика станка и сведения о конструкции его основных узлов (коробок скоростей, направляющих и т.д.).

Усилие подачи по продольной оси:

$$F_{\Pi} = k_p \cdot F_p + \mu \cdot F_{N\Sigma} + F_H,$$

где F_p – усилие резания вдоль продольной оси;

$k_p = 1 \div 1,5$ – коэффициент запаса;

$F_{N\Sigma}$ – сумма нормальных сил, действующих в направляющих;

$F_H = 100 \text{ Нм}$ – сила от предварительного натяга, не учтенная в $F_{N\Sigma}$ [4];

$\mu = 0,1$ – коэффициент трения (скольжения);

Усилие резания вдоль оси определяем по эмпирическому выражению [4]:

$$F_p = 9,81 \cdot C_v \cdot t^{x_F} \cdot S_{об}^{y_F} \cdot V^{n_F} \cdot k_F,$$

Выбор двигателя осуществляем по моменту:

$$M_C = \frac{F_n \cdot t_B \cdot 10^{-3}}{2\pi \cdot i_p \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{пер}} [H \cdot м],$$

где $F_n = k_p \cdot F_p + \mu \cdot F_{N\Sigma} + F_H$ – усилие рабочей подачи;

$F_p = 9,81 \cdot C_v \cdot t_p^{x_v} \cdot S_{об}^{y_v} \cdot V^{n_F} \cdot k_F$ – усилие резания вдоль продольной оси;

$k_p = 1 \div 1,5$ – коэффициент запаса;

$\mu = 0,1$ – коэффициент трения;

$F_{N\Sigma} = m_{\Sigma} \cdot g$ – сумма нормальных сил действующих по направляющим;

$F_H = 100 \text{ Н}$ – сила от предварительного натяга;

$k_F = 1$ – коэффициент, учитывающий характер резания и тип механизма;

$$V = \frac{C_V \cdot k_V}{T^m \cdot t^{X_V} \cdot S_{об}^{Y_V}};$$

$$k_V = 1.$$

Определение параметров силовой цепи

Определение параметров силовой цепи системы ТП - ДПТ, выбор силового согласующего трансформатора производится по методике, изложенной в [25,26]

Сопротивление двигателя в горячем состоянии. Примем температуру перегрева обмоток двигателя 75°C , тогда

$$R_{дв.гор.} = k_t \cdot R_{дв.},$$

где $k_t = 1,3$ - коэффициент, учитывающий перегрева обмоток двигателя.

Максимальная угловая скорость привода

$$\omega_{эп.макс} = \frac{n_{эп.макс}}{9,55}, \text{ рад} / \text{с}.$$

Максимальное напряжение на двигателе при работе с $\omega_{эп.макс}$ и допустимой предельной перегрузкой

$$U_{дв.макс} = c \cdot \omega_{эп.макс} + I_{эп.макс} \cdot R_{дв.гор.}, \text{ В}$$

Выбор согласующего силового трансформатора

Расчётное значение фазной ЭДС вентильной обмотки трансформатора

$$U_{2ф.расч} = \frac{k_{u2} \cdot k_{\alpha}}{k_{U_c}} \left(1 + k_R \cdot \frac{I_{эп.макс}}{I_{дв.н}} \right) U_{дв.макс}, \text{ В},$$

где $k_{u2} = 0,428$ - коэффициент схемы для трёхфазной мостовой схемы выпрямления;

$$k_{\alpha} = \frac{1}{\cos \alpha_{мин}} = \frac{1}{\cos 10^{\circ}} = 1,015 - \text{коэффициент, учитывающий неполное}$$

открытие тиристорov управляемого преобразователя;

$\alpha_{мин}$ - минимальный угол управления, предварительно принимаем $\alpha_{мин} = 10^{\circ}$;

$k_{U_c} = 0,85$ - коэффициент, учитывающий возможное снижение напряжения сети;

$k_R = 0,05 \div 0,1$ - коэффициент, учитывающий падение напряжения на внутреннем сопротивлении управляемого выпрямителя;

Расчётное значение линейной ЭДС вентильной обмотки трансформатора (предполагаем соединение обмоток «звезда»)

$$U_{2л.расч} = \sqrt{3} \cdot U_{2ф.расч}, B$$

Расчётное значение фазного тока вентильной обмотки трансформатора

$$I_{2ф.расч} = k_i \cdot k_{i2} \cdot I_d, A,$$

где $k_i = 1,05 \div 1,1$ - коэффициент, учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной;

$k_{i2} = 0,815$ - коэффициент, характеризующий отношение

$I_{2ф} / I_d$ для трёхфазной мостовой схемы выпрямления;

I_d - среднее значение выпрямленного тока ($I_d = I_{дв.н}$).

Расчётная мощность трансформатора

$$S_{TP.расч} = k_S \frac{U_{2ф.расч}}{k_{u2}} k_i \cdot I_{d0}, B \cdot A$$

где $k_S = 1,045$ для трёхфазной мостовой схемы выпрямления.

Максимальная мощность, отдаваемая трансформатором в режиме перегрузки двигателя.

$$S_{TP.МАКС} = k_S \left[1 + k_R \cdot \frac{I_{дон}(P_{дв.макс})}{I_{d0}} \right] \cdot k_i \cdot P_{дв.макс}, B \cdot A.$$

Выбираем трансформатор из следующих условий

$$S_{TP} \geq S_{TP.расч}, B \cdot A; \quad S_{TP} \geq \frac{S_{TP.МАКС}}{\lambda_{TP}}, B \cdot A,$$

где $\lambda_{TP} = 2,5$ - коэффициент допустимой перегрузки трансформатора (при длительности не более 3с);

Выбираем трансформатор [26].

Определим фазное напряжение и ток вентильной обмотки трансформатора

$$U_{2фн} = \frac{U_{2н}}{\sqrt{3}}, B; \quad I_{2фн} = \frac{P_{2н}}{U_{2фн} \cdot m_2}, A$$

Определим активное сопротивление и индуктивность вентильной обмотки на фазу

Определим параметры тиристорного электропривода [25]:

- максимальное значение коэффициента усиления тиристорного преобразователя

$$k_{ТП} = \frac{\pi \cdot k_{yo} \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{on.MAX}},$$

где $k_{yo} = 1$ коэффициент передачи управляющего органа;

$2 \cdot U_{OP.макс} = 8 \div 10 В$ - размах линейного опорного напряжения;

Принимаем $2 \cdot U_{OP.макс} = 10 В$.

Коэффициент обратной связи по току

$$k_T = \frac{U_{рс.макс}}{I_{эп.макс}}, \frac{В}{А},$$

где $U_{рс.макс} = 10 В$ – максимальное значение напряжения регулятора скорости.

Коэффициент обратной связи по скорости

$$k_c = \frac{U_{з.макс}}{\omega_{эп.макс}}, \frac{В \cdot с}{рад}.$$

$K_M = \frac{t_B \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot i_{ред}}$, $мкм / рад$ - коэффициент передачи механизма по-

дачи.

Линеаризованная САУ СЭП

Структурная схема линеаризованной САУ СЭП

Структурная схема линеаризованной САУ СЭП представлена на рисунке 4.8.

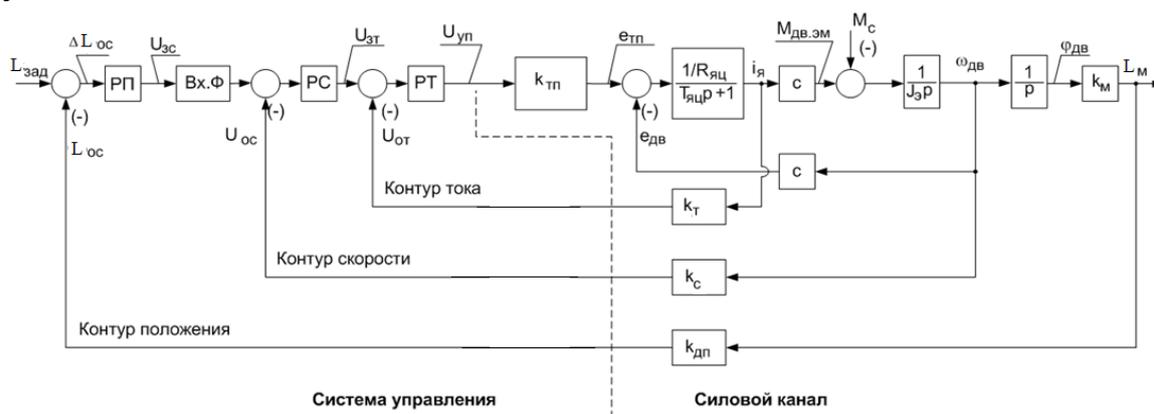


Рисунок 4.8 – Структурная схема линеаризованной САУ СЭП

Для реализации САУ СЭП принимается структура с пропорциональным регулятором положения (П-РП). На первом этапе исследования САУ СЭП пренебрегаем дискретностью датчика положения и значения как задания на положение $L_{зад}$, так и величину пути L_m выражают в мкм. В этом случае $K_{\partial n} = 1$.

Приведенная на рисунке 4.8 схема содержит следующие элементы:

1. $L_{зад}$ - задание по положению, мкм;
2. РП - регулятор положения;
3. Вх.Ф - фильтр на входе регулируемого электропривода;
4. РС - ПИ-регулятор скорости;
5. РТ - ПИ-регулятор тока;
6. $K_{ТП}$ - коэффициент усиления тиристорного преобразователя;
7. $\frac{1/R_{яц}}{T_{яц}p + 1}$ передаточная функция якорной цепи;
8. c - конструктивная постоянная двигателя;
9. J_{Σ} - эквивалентный момент инерции равный суммарному момент инерции, приведённому к валу двигателя;
10. K_M - коэффициент передачи механизма;
11. k_T - коэффициент обратной связи по току;
12. k_c - коэффициент обратной связи по скорости;
13. $K_{дп}$ - коэффициент обратной связи по положению.

Определение оптимальных настроек контуров СЭП

Определение оптимальных настроек контуров СЭП производится по методике Д.А. Поздеева, изложенной в [26]. При этом производится расчет параметров регуляторов тока, скорости, положения.

Для оптимальной настройки САУ СЭП с П-РП в [26] предлагается 5 точка настройки, для реализации которой определяются следующие безразмерные коэффициенты оптимизации, приведённые в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Точка настройки	Коэффициенты оптимизации				
	A_*	B_*	C_*	A_{*0}	K_{ω}
5	0,88	0,21	0,74	0,486	0,286

Расчетные выражения для оптимальных параметров настройки САУ СЭП имеют следующий вид.

Коэффициент регулятора скорости

$$K_{pc} = \frac{A_* \cdot J_{\Sigma} \cdot k_{\tau}}{c \cdot k_c} \cdot \frac{\omega_p}{C_*},$$

где $\omega_p = 2 \cdot \pi \cdot f_p = 2 \cdot \pi \cdot 20 = 125 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ - резонансная частота, соответствующая полосе пропускания частот замкнутого контура скорости тиристорного электропривода 20Гц;

k_{τ}, k_c - коэффициенты обратной связи по току и скорости;

c - конструктивный коэффициент двигателя;

A_*, B_*, C_* - коэффициенты оптимизации;

J_{Σ} - суммарный момент инерции, приведённый к валу двигателя.

Постоянная времени регулятора скорости

$$T_{pc} = \frac{A_*}{B_*} \cdot \frac{C_*}{\omega_p}, \text{ с.}$$

Коэффициент регулятора тока

$$K_{PT} = \frac{T_{яц} \cdot R_{яц}}{K_{ТП} \cdot k_{\tau}} \cdot \frac{\omega_p}{C_*},$$

где $K_{ТП}$ - коэффициент усиления тиристорного преобразователя;

$R_{яц}$ - активное сопротивление якорной цепи;

$T_{яц}$ - электромагнитная постоянная якорной цепи.

Постоянная времени регулятора тока принимается равной

$$T_{PT} = T_{яц}, \text{ с.}$$

Фильтр на входе контура скорости имеет передаточную функцию

$$W(p) = \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1} = \frac{0,014 p + 1}{0,025 p + 1},$$

где T_1 постоянная времени фильтра определяется по выражению

$$T_1 = \frac{1}{B_*} \cdot \frac{C_*}{\omega_p} \cdot A_0,$$

где A_0 - коэффициент оптимизации фильтра.

Постоянная времени фильтра T_2 принимается равной

$$T_2 = T_{pc}, c .$$

Постоянная времени оптимизированного контура тока

$$T_T = \frac{T_{яц} \cdot R_{яц}}{K_{ТП} \cdot k_T \cdot K_{РТ}} ,$$

Расчетная резонансная частота

$$\omega_p = \frac{C_*}{T_T}, c^{-1} .$$

Коэффициент усиления регулятора положения

$$W_{РП} = K_{РП} = \frac{K_\omega \cdot k_c \cdot \omega_p}{K_{П} \cdot K_M \cdot C_*} ,$$

где $K_{П} = 1$ - коэффициент обратной связи по положению;

K_ω - коэффициент оптимизации контура положения;

K_M - коэффициент передачи механизма подачи.

Определение и оценка ожидаемых показателей качества работы СЭП

По структурной схеме линеаризованной САУ СЭП рисунка 4.9 разрабатывается линейная модель в среде MatLab, показанная на рисунке 4.8.

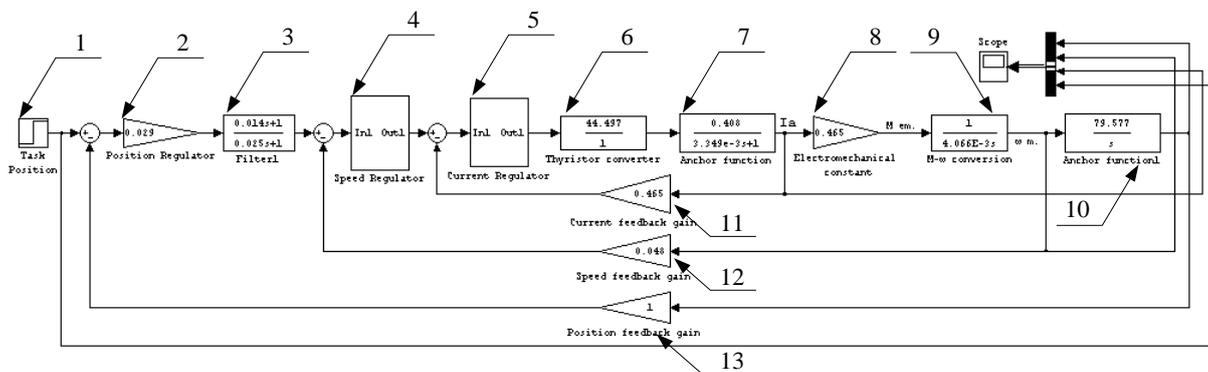


Рисунок 4.9 - Линейная модель СЭП в среде MatLab

Приведенная на рисунке 4.9 модель содержит следующие элементы:

1. задание по положению;
2. П - регулятор положения;

3. фильтр на входе регулируемого электропривода;
4. ПИ - регулятор скорости;
5. ПИ - регулятор тока;
6. коэффициент усиления тиристорного преобразователя;
7. передаточная функция электрического контура двигателя;
8. конструктивный коэффициент двигателя – C ;
9. блок, учитывающий эквивалентный момент инерции. Описывается выражением $\frac{1}{J_{\Sigma} p}$;
10. передаточная функция механизма, описывается выражением: $\frac{K_M}{p}$. Здесь K_M – коэффициент передачи механизма;
11. коэффициент обратной связи по току;
12. коэффициент обратной связи по скорости;
13. коэффициент обратной связи по положению.

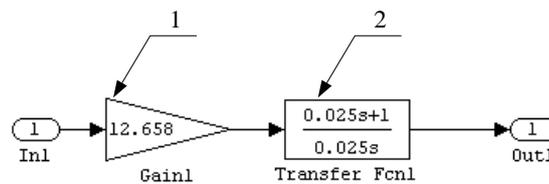


Рисунок 4.10 - ПИ-Регулятор скорости

На рисунке 4.10 приняты обозначения:

1. коэффициент усиления регулятора скорости;
2. интегральная составляющая регулятора скорости.

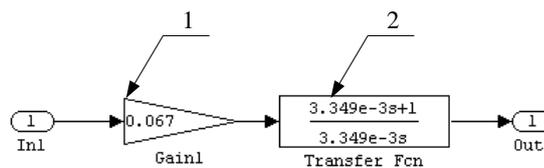


Рисунок 4.11 - ПИ-регулятор тока

На рисунке 4.11 приняты обозначения:

1. коэффициент усиления регулятора тока;
2. интегральная составляющая регулятора тока.

Для оценки адекватности разработанной модели достаточно сформировать любое задание по положению, например - $L_{зАд} = 100\text{мкм}$, т.к.

модель не имеет нелинейностей и ограничений выходных сигналов регуляторов и тиристорного преобразователя.

Строятся графики переходных процессов в контурах тока, скорости и положения, оценивается адекватность разработанной модели ожидаемых показателей качества работы СЭП [26].

Выбор и обоснование датчиков положения (энкодеры)

Энкодер выбираем по числу импульсов на один оборот.

$$n = \frac{t_B \cdot 10^3}{\Delta_X \cdot i_p} - \text{число импульсов энкодера на один оборот;}$$

$$\Delta_X = \frac{\Delta_K}{\sqrt{2}} - \text{координатная ошибка;}$$

$$\Delta_K = \sqrt{\Delta_X^2 + \Delta_Y^2} - \text{контурная ошибка (задана в табл. 4.4).}$$

Выбор контроллера движения

Главным критерием выбора контроллера движения для СЭП является наличие круговой интерполяции, двухосевое управление, ЦАП, количество аналоговых выходов и число специализированных дискретных входов/выходов.

Выбор автоматического выключателя

Автоматические выключатели, предназначенные для защиты электрических цепей от перегрузок и токов короткого замыкания (сверхтоков), а также для осуществления оперативного управления участками электрических цепей.

Автоматические выключатели выбираются по току расцепления и току короткого замыкания

$$1. I_{н.расц} \geq I_{дл}$$

$$2. I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{кр} = 1,25 \cdot I_{пуск}$$

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебно-методическое обеспечение дисциплины, представляемое студенту, включает в себя:

- Учебно-методические пособия, разработанные на кафедре и других учебных заведениях, наименования которых приведены в

списке основной литературы и в списке дополнительной учебной литературы.

- Комплект учебно-методических материалов к выполнению лабораторных работ в лаборатории комплексной автоматизации и производственных механизмов.
- Пакет прикладных программ имитационного моделирования, разработанный на кафедре.
- Прикладное программное обеспечение CLASSIC, MATHCAD, DORA, WINDORA, MATLAB, LABVIEW.

5.1. Литература обязательная

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.

2. Корытин А.М. Автоматизация типовых технологических процессов и установок. / А.М. Корытин [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 432 с.

3. Онищенко Г.Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок / Г.Б. Онищенко [и др.]. – М.: РАСХН, 2001. – 520 с.

4. Ковальчук Е.Р. Основы автоматизации машиностроительного производства / Е.Р. Ковальчук [и др.]; под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш. шк., 1999. – 263 с.

5. Ключев В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: учебник для вузов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.

6. Ильинский Н.Ф. Энергосбережение в электроприводе / Н.Ф. Ильинский, Ю.В. Рожанковский, А.О. Горнов. – М.: Высш. шк., 1989. – 127 с.

7. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.

8. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 224 с.

9. Волков Н.И. Электромашинные устройства автоматики: учеб. пособие для студентов спец. «Автоматика и телемеханика» / Н.И. Волков, В.П. Миловзоров. – М.: Высш. шк., 1976. – 336 с.

10. Зимин Е.Н. Автоматическое управление электроприводами: учеб. пособие для студентов вузов / Е.Н. Зимин, В.И. Яковлев. – М.: Высш. шк., 1979. – 318 с.

11. 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.

12. Сартаков В.Д. Микропроцессорное управление электроприводами: учеб. пособие. Ч. 1. – Иркутск.: ИрГТУ, 1999. – 165 с.

13. Сартаков В.Д. Микропроцессорное управление электроприводами: учеб. пособие. Ч. 2. – Иркутск.: ИрГТУ, 1999. – 230 с.
14. Сартаков В.Д. Промышленные микропроцессорные контроллеры: учеб. пособие. – Иркутск.: ИрГТУ, 2003. – 135 с.
15. Гусев Н.В. Автоматизация технологических комплексов и систем в промышленности / Н.В. Гусев, С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 196 с.
16. Гусев Н.В. Комплексная автоматизация технологических процессов. Лабораторный практикум / Н.В. Гусев[и др.]. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 134 с.
17. Каталымов А.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов / А.В. Каталымов, В.А. Любартович. – Ленинград, Химия, 1990.
18. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. – М.: Машиностроение, 1992.
19. Чернышев А.Ю. Исследование систем «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»: метод. указ. / А.Ю. Чернышев, С.В. Ланграф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003.
20. Журнал «Современные Технологии Автоматизации». – 2000. – №1.
21. Чернышев А.Ю. Расчет характеристик электроприводов переменного тока. Ч. 1. Асинхронный двигатель / А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005.

5.2. Литература дополнительная

22. Вишневецкий Л.М. Электроприводы в АСУ ТП / Л.М. Вишневецкий [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 144 с.
23. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
24. Сайт «Средства и системы компьютерной автоматизации». – Режим доступа: <http://www.asutr.ru/>, свободный.
25. Учебные материалы по SCADA-системе СІТЕС. – Режим доступа: http://www.scada.ru/userfiles/pdf/CS5_TrainCourse_rus.pdf, свободный.
26. Учебные материалы по SCADA-системе СІТЕС. – Режим доступа: http://www.scada.ru/userfiles/pdf/CSV7.0_Qs_eng.pdf, свободный.
27. Козаченко В.Ф. Микроконтроллеры: руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS –196/296 во встроенных системах управления. – М.: ЭКОМ, 1997. – 688 с.
28. Чернов Е.А. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ: справочное пособие / Е.А. Чернов, В.П. Кузьмин. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1989. – 320с.
29. Коровин Б.Г. Системы программного управления промышленными установками и робототехническими комплексами / Б.Г. Коровин, Г.И. Прокофьев, Л.Н. Рассудов. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.

30. Королев А.А. Конструкции и расчет машин и механизмов прокатных станов. – М.: Metallurgy, 1985.
31. Бычков В.А. Электропривод и автоматизация металлургического производства: учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1977.
32. Сандлер А.С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков. – М.: Высш. шк., 1972. – 440 с.
33. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
34. Зеленев А.Б. Электропривод механизмов прокатных станов / А.Б. Зеленев, В.Н. Тертичников, В.Г. Гулякин. – Харьков.: Metallurgizdat, 1963. – 344 с.
35. SIMATIC Комплексная автоматизация производства. Каталог ST 70. – Ч. 1, 2. – Germany, Erlangen, 2001.
36. Ильинский Н.Ф. Общий курс электропривода / Н.Ф. Ильинский, В.Ф. Козаченко. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 544 с.
37. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1990. – 304с.
38. Фотиев М.М. Электропривод и электрооборудование металлургических цехов: учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgy, 1990. – 352 с.
39. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. – М.: Высш. шк., 1977. – 391 с.
40. Учебные материалы по SCADA-системе CITEC. – Режим доступа: http://www.scada.ru/userfiles/pdf/CSR4_TrainCourse.pdf, свободный.
41. Учебные материалы по SCADA-системе CITEC. – Режим доступа: http://www.scada.ru/CitectSCADA_User_Guide.pdf, свободный.
42. Учебные материалы по SCADA-системе CITEC. – Режим доступа: http://www.scada.ru/userfiles/pdf/CS6_PA_Manual_rus.pdf, свободный.
43. Журнал «Современные технологии автоматизации». – Режим доступа: <http://www.cta.ru>, свободный.
44. Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 352 с.
45. Борисов А.М. Автоматизация технологических процессов. Ч. 2 / А.М. Борисов, Н.Е. Лях. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 363 с.
46. Стальский В.В., Проскуряков Р.М. Нечеткая логика и её применение в автоматическом регулировании: учеб. пособие / В.В. Стальский, Р.М. Проскуряков. – СПб.: Санкт-Петербургский горный институт, 1998. – 94 с.
47. Копылов И.П., Справочник по электрическим машинам. Т. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.

Учебное издание

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рабочая программа, методические указания и контрольные задания

Составитель

ЛЯПУШКИН Сергей Викторович

Рецензент

*кандидат технических наук,
доцент кафедрой ЭПЭО ЭНИН*

Ю.Н. Дементьев

Редактор С.В. Ульянова

Компьютерная верстка О.В. Нарожная

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати . Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать Хегох. Усл.печ.л. 2,09. Уч.-изд.л. 1,89.

Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru