

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Механико-технологический факультет
Кафедра машиностроения, автоматики и электроэнергетики

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,

к.т.н., доцент

_____ К.М. Виноградов
_____ 2018 г.

Автоматизированный электропривод
механизма качания кристаллизатора
машины непрерывного литья заготовок

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2018.050.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты
Безопасность жизнедеятельности,
к.т.н., доцент
_____ В.Г. Некрутов
_____ 2018 г.

Руководитель работы,
доцент
_____ В.Д. Константинов
_____ 2018 г.

Автор работы
студент группы ДО-508
_____ И.А. Середкин
_____ 2018 г.

Нормоконтролер, доцент
_____ В.Д. Константинов
_____ 2018 г.

Челябинск 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Факультет «Механико-технологический»
Кафедра «Машиностроение, автоматика и электроэнергетика»
Направление «13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ К.М. Виноградов
_____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу студента
Середкина Ивана Андреевича

Группа ДО-508

1 Тема работы

Автоматизированный электропривод механизма качания кристаллизатора
машины непрерывного литья заготовок

утверждена приказом по университету от _4 апреля 2018 г. № 580

2 Срок сдачи студентом законченной работы 10 июня 2018 г.

3 Исходные данные к работе

3.1 Материалы производственной и преддипломной практик

3.2 Справочно-техническая литература

3.3 Инструкции к оборудованию

4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Аннотация

Оглавление

Введение

1 Сравнение отечественных и передовых зарубежных преобразователей частоты. Выводы.

2 Описание технологического процесса, механизм качания кристаллизатора и привода качания кристаллизатора. Выводы.

3 Расчет мощности и выбор двигателя.

Технологические требования к механизму качания кристаллизатора, предварительный выбор двигателя, расчёт параметров движения кристаллизатора, крутящие моменты нагрузки на валу двигателя редукторного привода кристаллизатора. Выводы.

4 Разработка системы автоматического регулирования. Обоснование технического задания. Анализ силовой части электропривода как объекта управления. Построение функциональной схемы системы управления электроприводом. Синтез передаточных функций регуляторов. Построение структурной схемы управления электропривода. Моделирование системы управления электропривода на ЭВМ. Расчёт параметров электрической принципиальной схемы. Выводы.

5 Описание технологической автоматики. Описание контроллера *SIMATIC S7- 400*. Общие данные. Область применения. Алгоритм программы и программа на *S7* для электропривода механизма качания кристаллизатора. Выводы.

6. Техничко- экономический расчет. Введение. Простои оборудования и потери валовой прибыли. Капитальные затраты и сроки выполнения. Расчёт экономической эффективности внедрения нового оборудования. Выводы.

7. Безопасность жизнедеятельности. Введение. Краткая характеристика производственного помещения. Требования к оборудованию. Меры по электробезопасности. Чрезвычайные ситуации. Выводы.

Заключение

Библиографический список

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1)

- 5.1 Кинематическая схема электропривода механизма качания кристаллизатора. Плакат. 1,0 л.
- 5.2 Схема силовой части электропривода. Схема электрическая принципиальная. 1,0 л.
- 5.3 Функциональная схема САР. Схема электрическая функциональная.
- 5.4 Структурная схема САР. Схема электрическая структурная. 1,0 л.
- 5.5 Схема технологической автоматики. Плакат. 1,0 л.
- 5.6 Таблица технико-экономических расчетов. Плакат. 1,0 л.

Всего 6 листов

6 Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы

| Раздел | Консультант | Подпись, дата | |
|--------------------------------|---------------|--------------------------------|-----------------------------|
| | | Задание выдал (консультант) | Задание принял (студент) |
| Безопасность жизнедеятельности | В.Г. Некрутов | | |
| | | | |
| | | | |

7 Дата выдачи задания 20 февраля 2018 г.

Руководитель, доцент _____ В. Д. Константинов
(подпись)

Задание принял к исполнению _____ И. А. Середкин
(подпись студента)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Наименование этапов выпускной квалификационной работы | Срок выполнения этапов работы | Отметка о выполнении руководителя |
|--|----------------------------------|---|
| Сравнение отечественных и передовых зарубежных преобразователей частоты | 15.03.16-20.03.16 | |
| Описание технологического процесса | | |
| Расчет мощности и выбор двигателя | 21.03.16-31.03.16 | |
| Разработка системы автоматического регулирования | 01.04.16-18.04.16 | |
| Описание технологической автоматики | 19.04.16-30.04.16 | |
| Модернизация электропривода | | |
| Экономическая часть | 17.05.16-05.06.16 | |
| Безопасность жизнедеятельности | 06.06.16-16.06.16 | |
| Выполнение графической части | 15.03.16-16.06.16 | |
| Направление на рецензию | 19.06.16 | |

Заведующий кафедрой _____ /К.М.Виноградов/

Руководитель работы _____ /В.Д. Константинов/

Студент _____ /И.А. Середкин/

АННОТАЦИЯ

Середкин И.А. Автоматизированный электропривод механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок. – Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2018, 108 с., 22 ил., библиогр. список – 18 наим., 5.5 листов чертежей ф. А1.

В выпускной квалификационной работе спроектирован автоматизированный электропривод механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок. Скорость качания кристаллизатора должна быть синхронизирована со скоростью тянуще-правильной машины и поддерживаться заданной величины, обусловленной технологией производства металлических заготовок. Разработана двухконтурная система автоматического регулирования, которая была смоделирована в пакете *MATLAB SIMULINK*.

Также в работе рассмотрена замена морально и физически устаревших электроприводов постоянного тока *TEAM MOTOCON* на новые привода постоянного тока *SIEMENS SIMOREG DC MASTER 6RA7025* аналогичных по энергетическим показателям. Модернизацией электропривода была достигнута высокая степень надёжности работы механизма и снижены простои оборудования.

Нормы безопасности жизнедеятельности были соблюдены на достаточно высоком уровне.

Выполнено экономическое обоснование модернизации, в ходе которого была рассчитана экономия на годовых эксплуатационных издержках при внедрении модернизированного оборудования, срок окупаемости и рентабельность капитальных вложений.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 8 |
| 1. СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА..... | 10 |
| 2. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА..... | 23 |
| 2.1. Технологический процесс..... | 23 |
| 2.2. Механизм качания кристаллизатора..... | 24 |
| 2.3. Привод качания кристаллизатора..... | 25 |
| 3. ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ..... | 27 |
| 3.1. Технологические требования к механизму качания кристаллизатора..... | 27 |
| 3.2. Предварительный выбор двигателя..... | 27 |
| 3.3. Расчёт параметров движения кристаллизатора..... | 28 |
| 3.4. Крутящие моменты нагрузки на валу двигателя редукторного привода кристаллизатора..... | 31 |
| 4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ..... | 37 |
| 4.1. Обоснование технического задания..... | 37 |
| 4.2. Анализ силовой части электропривода как объекта управления..... | 39 |
| 4.3. Построение функциональной схемы системы управления электроприводом..... | 46 |
| 4.4. Синтез передаточных функций регуляторов..... | 50 |
| 4.4.1. Общие положения..... | 50 |
| 4.4.2. Синтез регулятора тока..... | 50 |
| 4.4.3. Синтез регулятора ЭДС..... | 51 |
| 4.5. Построение структурной схемы управления электропривода..... | 52 |
| 4.6. Моделирование системы управления электропривода на ЭВМ..... | 54 |
| 4.7. Расчёт параметров электрической принципиальной схемы..... | 56 |
| 4.7.1. Расчёт параметров регулятора тока..... | 56 |
| 4.7.2. Расчёт параметров датчика ЭДС..... | 60 |

| | |
|--|-----|
| 4.7.3. Расчёт параметров регулятора ЭДС..... | 64 |
| 4.7.4. Расчёт инвертора в цепи датчика тока..... | 66 |
| 4.7.5. Выбор датчиков..... | 67 |
| 5. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ | 69 |
| 5.1. Описание контроллера <i>SIMATIC S7- 400</i> | 69 |
| 5.1.1. Общие данные..... | 69 |
| 5.1.2. Область применения..... | 69 |
| 5.1.3. Дизайн..... | 71 |
| 5.1.4. Расширение..... | 73 |
| 5.1.5. Связь..... | 75 |
| 5.2. Алгоритм программы и программа на <i>S7</i> для электропривода механизма качания кристаллизатора | 77 |
| 6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ..... | 78 |
| 6.1. Введение..... | 78 |
| 6.2. Простои оборудования и потери валовой прибыли..... | 79 |
| 6.3. Капитальные затраты и сроки выполнения..... | 81 |
| 6.4. Расчёт экономической эффективности внедрения нового оборудования..... | 83 |
| 7. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ..... | 86 |
| 7.1. Введение..... | 86 |
| 7.2. Краткая характеристика производственного помещения..... | 87 |
| 7.3. Требования к оборудованию..... | 88 |
| 7.4. Меры по электробезопасности..... | 90 |
| 7.5. Чрезвычайные ситуации..... | 95 |
| 7.5.1. Пожарная безопасность..... | 95 |
| 7.5.2. Возможные чрезвычайные ситуации..... | 96 |
| 7.6. Анализ вредных и опасных факторов..... | 99 |
| 7.6.1. Шум..... | 99 |
| 7.6.2. Вибрация..... | 100 |
| 7.6.3. Микроклимат..... | 100 |
| 7.6.4. Освещение..... | 101 |
| 7.6.5. Вредные вещества в воздухе..... | 103 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 7.6.6. Вентиляция..... | 104 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 106 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК..... | 107 |

ВВЕДЕНИЕ

В современной российской экономике, которая имеет свою опору в нефтегазодобывающей промышленности, наблюдаются тенденции и в расширении базы чёрной металлургии. Вкладываются деньги в строительство новых и реконструкцию старых предприятий. Ярким примером является ЗАО НСММЗ, имеющее свои филиалы в городах Свердловской области Нижние Серьги и Ревда. Металлургический холдинг, созданный на базе данного предприятия, вошёл в государственную программу по развитию чёрной металлургии в России. Уже был построен и пущен в эксплуатацию первый электросталеплавильный цех в городе Ревда, включающий в себя машину непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

В настоящее время основными промышленными типами МНЛЗ являются криволинейные и вертикальные машины. Ограниченное развитие получили вертикальные МНЛЗ с изгибом слитка в горизонтальное положение на участке его полного затвердевания. Некоторое время назад появились опытно-промышленные горизонтальные машины. На МНЛЗ получают слябы сечением до 300×2600 мм., сортовые заготовки, в том числе блюмы, сечением от 80×80 мм. до 400×520 мм., круглые заготовки диаметром до 400 мм., полые трубные заготовки диаметром 410-750 мм. и другие. Производительность одной двухручьевой слябовой МНЛЗ достигает двух миллионов тонн в год. Максимальная скорость вытягивания слитка равна 1,4 м/мин на слябовых машинах и 4,0 м/мин на сортовых. Число ручьёв на сортовых МНЛЗ может достигать восьми.

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается механизм качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), расположенной в первом электросталеплавильном цехе (в ближайшем времени планируется запустить второй аналогичный цех) ревинского филиала Metallургического холдинга. Весь комплекс цехов данного предприятия

(2 электросталеплавильных цеха) рассчитан на производство 2 миллионов тонн металла в год. МНЛЗ, входящая в состав электросталеплавильного цеха, включает в себя 6 линий разливки (ручьев). Каждый ручей включает в себя механизм качания кристаллизатора, тянущее-правильную машину, машину газовой резки и холодильные агрегаты. Электропривод механизма качания кристаллизатора состоит из двигателя постоянного тока, редуктора, эксцентрика и системы рычагов, через которую приводится в движение стол кристаллизатора, непосредственно на который устанавливается сам кристаллизатор. Регулирование скорости качания ведётся цифровым электроприводом постоянного тока. В проекте рассматривается замена морально и физически устаревшего привода на новый цифровой электропривод фирмы *SIEMENS SIMOREG DC MASTER* с высоким коэффициентом надёжности. Вопросы энергосбережения рассмотрению не подлежат, поскольку привода схожие по энергетическим показателям. Решающим фактором является надёжность работы механизма, отсутствие простоев. Исключая простои по вине электропривода экономим огромные денежные средства, поскольку экономятся потери производства металла. Так как МНЛЗ содержит всего 6 ручьев, то при остановке одного ручья мощность производства падает на одну шестую часть, а это при непрерывном процессе разливки выливается в длительные простои и недопроизводство металла.

1. СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В проекте рассматривается замена морально и физически устаревшего привода на новый цифровой электропривод фирмы *SIEMENS SIMOREG DC MASTER* с высоким коэффициентом надёжности. Вопросы энергосбережения рассмотрению не подлежат, поскольку привода схожие по энергетическим показателям. Решающим фактором является надёжность работы механизма, отсутствие простоев. Исключая простои по вине электропривода экономим огромные денежные средства, поскольку экономятся потери производства металла. Были рассмотрены и другие виды электроприводов:

- Тиристорный преобразователь реверсивный ТРС-ТЯ (Россия)

Тиристорный преобразователь для двигателя постоянного тока ТРС-ТЯ обеспечивает выполнение задач управления двигателем постоянного тока (далее – ДПТ):

- плавный пуск и останов с ограничением пускового тока якоря;
- изменение направления вращения;
- регулирование частоты вращения вала двигателя путем регулирования напряжения питания обмотки якоря (однозонное регулирование);
- визуализация выходного напряжения и тока электродвигателя;
- защита от короткого замыкания, перегрузки, потери фазы, перегрева радиатора, потери поля возбуждения.

ТРС-ТЯ функционально состоит из трех выпрямителей. Первый и второй – трехфазные тиристорные мосты, собранные по схеме Ларионова, предназначены для регулирования напряжения и изменения его полярности на обмотке якоря. Регулирование напряжения ведется фазо-импульсным методом. За счет этого и достигается регулирование частоты вращения и плавный/пуск останов. Реверс осуществляется путем изменения полярности напряжения на обмотке якоря. Такой способ реверса более дорогой, чем контакторный по цепи возбуждения, однако он имеет неоспоримое преимущество - это отсутствие релейно-контакторных элементов, что важно при большом количестве реверсов (более

10-15 в час). Третий выпрямитель – неуправляемый (диодный) однофазный формирует постоянное напряжение для питания обмотки возбуждения (как правило 220 В).

Устройство ТРС-ТЯ имеет микропроцессорную систему управления с возможностью введения пользовательских настроек через кнопочную панель управления, наглядной системой индикации данных на жидкокристаллическом дисплее.

Важную роль имеет развитая система защит и автодиагностики, например, ТРС-ТЯ имеет защиту от потери поля возбуждения двигателя. В случае если напряжение питания обмотки возбуждения снизится ниже 150 В, устройство идентифицирует данную ситуацию как аварийную и обесточит обмотку якоря.

Таблица 1 Технические характеристики ТРС-ТЯ

| | |
|---|---|
| Количество фаз | 3 |
| Сеть | 3x380 В, 50 Гц |
| Выходное напряжение цепи якоря | 0..230 В, 0..460 В, регулируемое |
| Выходное напряжение цепи возбуждения | 220 В, нерегулируемое |
| Тип тиристорных модулей | IXYS, Semikron, Протон-Электотекс |
| Наличие кнопки аварийного отключения | Да |
| Наличие вводного автоматического выключателя | Опция |
| Реверс | Тиристорный по цепи якоря |
| Торможение | Реверсом (противовключением) в функции времени |
| Способы регулирования напряжения | Фазовый |
| Вспомогательное питание для системы управления | 198-242 В 50 Гц |
| Номинальный ток преобразователя для питания обмотки якоря | 40, 80, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000 А |
| Номинальный ток преобразователя для питания обмотки возбуждения | 13, 22, 35, 50 А |
| Регулирующий элемент | Тиристор |
| Тип системы управления | Микропроцессорная |
| Стабилизация скорости | По сигналу обратной связи от тахогенератора |

| | |
|--|--|
| Сигнал управления | 0..10 В, 0..20 мА, 4..20 мА, встроенный переменный резистор, внешний переменный резистор, кнопки панели управления |
| Вход управления / входное сопротивление | 0-10 В / 20 кОм 0-20 мА / 91 Ом 4-20 мА / 91 Ом |
| Плавный пуск и останов | 0..25 сек |
| Индикация | жидко-кристаллический индикатор 32-символьный, 2 светодиода |
| Дополнительные контакты | 2 Программируемых реле 220 В 5 А. Выходной сигнал: “Работа”, “Авария”, “Готовность” |
| Защита: короткое замыкание на выходе | Электронная защита |
| Защита: перегрузка длительным током | Электронная защита |
| Защита: перегрев тиристоров | Датчик температуры 80 С |
| Защита: потеря фазы или “слипание” фаз | Электронная |
| Перегрузочная способность | $I=1,5 I_n - 20 \text{ сек}$, $I=1,25 I_n - 60 \text{ сек}$, $I=1,1 I_n - 2 \text{ мин}$ |
| Порог срабатывания защиты от короткого замыкания | $I = 3..3,5 I_n$ |
| Точность поддержания выходного напряжения в режиме стабилизации напряжения | 2% U_n |
| Время стабилизации выходного напряжения при скачке напряжения сети на 10% в режиме стабилизации напряжения | 2..3 сек |
| Степень защищенности | IP41 |
| Охлаждение | Принудительное встроенными вентиляторами |
| Ресурс вентилятора | 50000 часов |
| Температура окружающей среды | 0..40 С |
| Относительная влажность воздуха | 0..90% без конденсата (сухое помещение) |
| Изоляция | 2,5 кВ между шасси, силовой цепью и |

| | |
|--------------|-----------------------|
| | управляющими цепями |
| Режим работы | Длительный, ПВ = 100% |

Подключение тахогенератора к ТРС необязательно, если не требуется высокая точность регулирования скорости. Но при наличии сигнала обратной связи от тахогенератора становится возможным работа устройства в режиме стабилизации частоты вращения, в котором стабильность и точность поддержания оборотов двигателя гораздо выше, особенно на низких оборотах.

- Цифровой электропривод постоянного тока серии ЭПУ1М-7 (Россия). ЭПУ1М-7 – это цифровой электропривод постоянного тока производства ООО «ЧЭАЗ-ЭЛПРИ», на базе сигнальных процессоров, предназначенный для замены аналоговых электроприводов ЭПУ1М, ЭПУ1, БТУ, ЭТУ, БУВ и др.

Область применения:

- электроприводы подач и главного движения станков с ЧПУ, промышленных манипуляторов, установок, применяемых в машиностроении, металлургии, стройиндустрии, целлюлозно-бумажной, горной, нефтяной и других отраслях промышленности;
- нагрузочные агрегаты для испытаний электродвигателей постоянного и переменного тока;
- лабораторное оборудование для студентов электротехнических специальностей
- Устройство сочетает в одном исполнении следующие возможности:
- режимы однозонного (с обратной связью по скорости и по ЭДС двигателя) и двухзонного (с обратной связью по скорости) регулирования скорости;
- широкий диапазон регулирования: 1:2000 - (с обратной связью по скорости), 1:20 - (с обратной связью по ЭДС);
- выбор перегрузочной способности (до 6 - в исполнениях на 25-100А, до 4 - в исполнении на 200А, до 3 - в исполнениях на 400-1000А);
- встраивание в системы ЧПУ или использование в общепромышленных механизмах;
- различные варианты управления приводом (через логические входы, встроенный или дистанционный пульт, через ПК);

- интеграция в АСУ через последовательный интерфейс RS-485.

В системе управления приводом на базе сигнальных процессоров реализованы цифровые контуры :

- цифровой контур тока якоря;
- цифровой контур скорости;
- цифровой контур тока возбуждения;
- цифровой контур ЭДС;
- цифровая система импульсно-фазового управления (СИФУ) реверсивного тиристорного преобразователя цепи тока якоря;
- цифровая СИФУ нереверсивного тиристорного преобразователя цепи тока возбуждения.

Наличие цифровых контуров регулирования обеспечивает высокую точность и быстрое действие, максимально упрощает наладку и настройку в отличие от аналоговых приводов.

Преимущества цифрового ЭПУ1М-7 перед аналоговыми приводами:

- простой монтаж (отпадает необходимость установки перемычек и потенциометров);
- независимое чередование фаз питающей сети;
- автонастройка привода и определение параметров конкретного электродвигателя (нет необходимости ручного регулирования и настройки контуров);
- выбор и хранение до 4-х комплектов параметров с разными настройками на разные двигатели, что дает возможность более гибкой и быстрой настройки привода по заданным требованиям;
- расширенный набор защит;
- мониторинг основных параметров
- диагностика тиристорных;
- архив последних событий;
- удобный пульт управления с ЖК дисплеем с 2 строками по 20 знаков;
- возможность настройки параметров и управления через ПК;

- возможность управления по интерфейсу RS-485;
- набор различных опций дает широкие возможности (использование в качестве пускового устройства, возможность использования в режиме регулятора напряжения на активную или активно-индуктивную нагрузку);
- модульная конструкция позволяет быстро произвести ремонт устройства;
- гибкая и быстрая доработка программного обеспечения по техническому заданию заказчика.

Защиты:

- от обрыва цепи обратной связи по скорости;
- от перегрева двигателя (при наличии RTC);
- от длительной перегрузки (I_2t);
- от превышения заданной скорости;
- от превышения максимально допустимого тока якоря;
- от перенапряжения в цепи якоря;
- от обрыва цепи возбуждения якоря;
- от превышения максимально допустимого тока возбуждения;
- от перегрева преобразователя;
- от недопустимого понижения напряжения;
- от исчезновения напряжения в силовой цепи;

- Тиристорные электроприводы постоянного тока серии ТЭП (Украина).

Тиристорные электроприводы постоянного тока серии ТЭП предназначены для регулирования скорости, напряжения (ЭДС) двигателя и других координат движения, определяемых требованиями автоматизируемого объекта или технологического процесса.

Конструкция и принцип действия.

Силовая часть электроприводов построена на основе трехфазной мостовой схемы выпрямления. Вентильная часть реверсивных электроприводов выполнена на основе встречно-параллельной схемы включения и снабжена системой отдельного управления реверсивными группами.

В состав электроприводов входит: выпрямитель (выпрямительное устройство с системой импульсно-фазового управления); силовой трансформатор или сетевой реактор; линейный контактор; система защиты и сигнализации, включая индикацию неисправностей; устройство питания обмотки возбуждения двигателя; система автоматического регулирования и система диагностики.

Конструктивно электроприводы выполнены в виде шкафов каркасного типа напольного исполнения с односторонним обслуживанием. Допускается установка шкафов тыльными сторонами друг к другу и к стене.

На входе питания переменного тока установлена защита от сетевых перенапряжений и перенапряжений при отключении ненагруженного трансформатора.

Шкафы электроприводов, в зависимости от мощности, имеют принудительное воздушное или естественное воздушное охлаждение.

Параметры основных типоразмеров изделий приведены в таблице 1.

Таблица 2. Технические характеристики преобразователя серии ТЭП

| Номинальное выходное напряжение электро- привода, В | Номинальный выходной ток, А | Номинальная выходная мощность, кВт | Габариты LxVxH, мм | Масса электропривода, кг | |
|---|-----------------------------------|---|-----------------------|-----------------------------|------------------|
| | | | | неревер- сивного | реверсив ного |
| 230 | 10 | 2,3 | 250x170x310 | 10 | 12 |
| 230 | 25 | 5,75 | 600x600x1870 | 230 | 260 |
| 230 | 50 | 11,5 | 600x600x1870 | 245 | 270 |
| 230 | 100 | 23 | 600x600x1870 | 285 | 315 |
| 230 | 200 | 46 | 600x600x1870 | 115 | 145 |
| 230 | 320 | 73,6 | 600x610x1940 | 145 | 175 |
| 230 | 500 | 115 | 600x610x1940 | 170 | 200 |

| | | | | | |
|-----|------|--------|---------------|-----|-----|
| 460 | 10 | 4,6 | 250x170x310 | 10 | 12 |
| 460 | 25 | 11,5 | 600x600x1870 | 200 | 230 |
| 460 | 50 | 23 | 600x600x1870 | 230 | 260 |
| 460 | 100 | 46 | 600x600x1870 | 250 | 280 |
| 460 | 200 | 92 | 600x600x1870 | 172 | 205 |
| 460 | 320 | 147,2 | 600x610x1940 | 220 | 250 |
| 460 | 500 | 230 | 600x610x1940 | 245 | 275 |
| 460 | 630 | 290 | 600x610x1940 | 245 | 275 |
| 460 | 800 | 368 | 1400x600x2155 | 365 | 405 |
| 460 | 1000 | 460 | 1400x600x2155 | 390 | 430 |
| 460 | 1600 | 736 | 1000x800x1950 | 475 | 505 |
| 660 | 2500 | 1650 | 1135x650x2260 | 500 | 530 |
| 825 | 2500 | 2062,5 | 1135x650x2260 | 500 | 530 |
| 825 | 3200 | 2640 | 1200x800x2200 | 600 | 700 |
| 825 | 4000 | 3300 | 1200x800x2200 | 670 | 770 |
| 825 | 5000 | 4125 | 1200x800x2200 | 770 | 870 |

В таблице 2 приведены габаритные размеры и масса электроприводов на токи от 200 до 5000 А без силового трансформатора, а на токи от 1000 до 5000 А без сглаживающего реактора.

Срок службы электроприводов не менее 20 лет.

Система защиты электропривода обеспечивает:

- защиту при превышении мгновенного тока предельной величины устанавливаемой для данного электропривода;

- защиту при аварийной перегрузке тиристорov;
- защиту при исчезновении и недопустимом снижении тока возбуждения электродвигателя;
- защиту при исчезновении напряжения питания силовых цепей и напряжения собственных нужд;
- защиту от перегрузки электродвигателя, превышающей заданную величину в течение определенного времени.

Система сигнализации электропривода обеспечивает:

- сигнализацию о готовности электропривода к работе;
- сигнализацию об аварийном отключении преобразователя;
- сигнализацию о наличии напряжения в силовой цепи и напряжения собственных нужд.

Электроприводы имеют каналы выдачи сигналов во внешнюю систему автоматизации объекта.

Могут быть установлены дополнительные узлы: источник питания обмотки возбуждения; источник питания для электромагнитного тормоза; устройство динамического торможения; источник питания обмотки возбуждения тахогенератора.

Встроенные тиристорные источники питания обмотки возбуждения двигателя обеспечивают выходное напряжение от 40 до 230В, при токе нагрузки до 16А (исполнения ТЭП 50 – ТЭП 200); 25А (исполнения ТЭП 320 – ТЭП 500); 50А (исполнения ТЭП 800 - ТЭП 1000).

- Электропривод постоянного тока LENZE (фрг). Цифровые электроприводы постоянного тока LENZE.

Компания **Lenze** работает на рынке производства приводной техники вот уже более полувека. Все эти годы изделия фирмы отличались высочайшим качеством и надежностью, именно поэтому имя Lenze теперь говорит само за себя. Создатель, немецкий технолог Ганц Ленц, первоначально производил шкивные вариаторы, запчасти к которым (как и сами вариаторы) есть в продаже и по сей день. Сегодня компания считается одним из лучших производителей

высококачественной приводной техники для промышленных целей. Главными ее детищами являются тиристорные электрические приводы постоянного тока.

ОСОБЕННОСТИ ПРОДУКЦИИ

Электроприводы постоянного тока **Lenze** создаются для обеспечения бесперебойной работы двигателей постоянного тока с рабочими мощностями до 500 кВт. Это устройства с цифровым программируемым управлением, которые легко вмонтировать в любую систему регулирования, что дает возможность полностью управлять процессом работы всей электростанции.

Высокая мощность, надежность и компактность устройств, произведенных в соответствии с последними технологическими достижениями, дают возможность применять их для решения вопросов по регулированию работы высоконадежных, высокоточных технологических систем.

Технические характеристики.

- Комплектация предусматривает наличие разъемов для подключения энкодера, резольвера и тахогенератора в зависимости от потребностей системы.
- Существуют двухквadrантные и четырехквadrантные виды оборудования.
- Электропривод постоянного тока LENZE способен обеспечить цифровую связь одновременно с несколькими приводами, что помогает синхронизировать скорость и угол поворота вала мотора.
- Высокая точность удержания стабильной скорости во время изменения нагрузки на механизм.
- Регулировать скорость работы устройства можно в диапазоне 1:1000.
- Возможность задавать необходимый диапазон вращения и контролировать положение ротора.
- Каждое устройство имеет двухстрочный дисплей LCD.
- В энергонезависимой памяти можно сохранить 4 набора пользовательских параметров.
- Наличие 4 аналоговых входа и 4 выхода.
- Простая, доступная, усовершенствованная диагностика прибора.
- Надежная защита от перегрузок, многое другое.

Электропривод постоянного тока LENZE

Техника приводов постоянного тока будет по-прежнему удерживать рынок в тех сегментах, где ей отдается предпочтение перед техникой трехфазного тока по экономическим или техническим причинам. Особенно при высоких мощностях пакет из мотора постоянного тока и преобразователя часто имеет преимущество в стоимости перед другими решениями.

Полностью электронное задание параметров облегчает ввод в эксплуатацию. Привода обладают коммуникационными способностями и могут подключаться с помощью интерфейсов к системам автоматизации.

Серия преобразователей постоянного тока фирмы LENZE применима для приводов, работающих в одном или четырех квадрантах.

Диапазон питающих напряжений охватывает от 170 до 460 В, а ток якоря — от 2 до 2000 А.

Серия 470.

Свойства

- одноквадрантный привод
- выходная мощность 1,3кВт ... 7кВт
- питание привода:

190..265 В для EVD471/472

340..460 В для EVD472/473

применения:

- привод намотки
- экструдеры
- Системы с несколькими двигателями

Таблица 3. Технические характеристики.

| Тип | | EVD471- | EVD472- | EVD473- |
|-----------------------------------|----------------|------------------------|---------|------------------------|
| | | Е | Е | Е |
| Выходная мощность | P_{el} [кВт] | 1,3 | 2,5 | 4 7 |
| Напряжение питания VL1, L2 VL1, N | V [В] | 190...265 190...265 | | 340...460 190...265 |
| Напряжение якоря | V_A [В] | 160 | | 260 |
| Ток якоря | I_A [А] | 8 | 16 | 27 |
| Напряжение возбуждения | V_F [В] | 0,9 · VL1, N | | |
| Максимальный ток возбуждения | I_F [А] | 0,8 | 2 | 2,5 |
| Выходной ток | I_{max} [А] | 0...8 | 0...16 | 0...27 |
| Ном. напряжение тахогенератора | V_{TN} [В] | 10...180 | | |
| Минимальная скорость | n_{min} [nN] | 0...0,25 | | |
| Температура окружающей среды | T_a [°C] | 0...45 | | |
| Вес | m [kg] | 1,2 | 2,1 | 2,8 |

Вывод по разделу 1: вследствие сравнительной оценки отечественных и зарубежных приводов постоянного тока был выбран привод марки *SIEMENS SIMOREG DC MASTER 6RA702*.

2. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

2.1. Технологический процесс

В состав машины непрерывного литья заготовок (далее МНЛЗ) входит: поворотный сталеразливочный стенд для двух ковшей, обеспечивающий разливку методом «плавка на плавку», тележка для подачи и подъёма промежуточного ковша, медный водоохлаждаемый кристаллизатор, снабжённый механизмом качания, секции неприводной роликовой проводки, роликовые секции радиального участка тянуще-правильной машины (ТПМ), приводные роликовые секции криволинейного и горизонтального участков ТПМ.

Выходящий из роликов ТПМ слиток поступает на приёмный рольганг, над которым на эстакаде установлена машина для газовой резки слитка на заготовки (слябы) мерной длины. По отводящему рольгангу слябы выдаются к крану перекладчику, укладываются на рольганг-тележку и передаются на транспортно-отделочную линию для последующей резки, огневой зачистки, маркировки и штабелирования.

Перед разливкой стали, в каждый кристаллизатор вводится затравка, образующая дно. Поступающий в кристаллизатор жидкий металл затвердевает у его стенок и у затравки, сцепляясь с ней. После достижения определённого уровня металла в кристаллизаторе включается привод валков тянущей клетки. Затравка вместе с формирующимся слитком начинает вытягиваться из кристаллизатора. Скорость вытягивания слитка плавно (в течение 10-20 секунд) нарастает до заданной. Из промежуточного ковша непрерывно поступает металл, и в кристаллизаторе поддерживается постоянный уровень.

Для предупреждения «зависания» слитка в кристаллизаторе, то есть приваривания его корочки к стенке, грозящего прорывом жидкого металла, кристаллизатору эксцентриковым механизмом сообщается возвратно-поступательное движение. Средняя скорость качания кристаллизатора меняется

пропорционально изменению скорости разливки. На стенки кристаллизатора непрерывно подаётся жидкая смазка.

Слиток, выходящий из кристаллизатора, имеет затвердевшую оболочку и жидкую сердцевину. Ниже кристаллизатора расположена зона вторичного охлаждения, в которой находятся секции водяных форсунок. Для предупреждения деформации боковых поверхностей слитка под действием ферростатического давления жидкой сердцевины на всём протяжении зоны вторичного охлаждения слиток охватывается направляющими брусками и роликами. Секции направляющих зоны вторичного охлаждения образуют канал с упругой стенкой.

2.2. Механизм качания кристаллизатора

Механизм качания кристаллизатора предназначен для производства криволинейных колебаний кристаллизатора по дуге, соответствующей радиусу разливки.

Механизм имеет короткую рычажную систему, обеспечивающую точность криволинейных движений. Четыре рычага (два наверху и два внизу) расположены в такой геометрии, что их удлинения встречаются в центре кривой радиуса разливки.

Стол кристаллизатора оборудован цапфами для качающихся рычагов, соединениями ввода и вывода для охлаждающей воды кристаллизатора, соединениями ввода для смазочного масла кристаллизатора, резьбой для фиксации центрирующего прибора кристаллизатора.

Центрирующее устройство для кристаллизатора установлено на столе кристаллизатора, служит для поддержки и центрирования кристаллизатора на столе и для расположения катушки электромагнитного смешивания. Центрирующее устройство снабжено основной плитой с фиксирующими отверстиями, центрирующим кожухом для расположения кристаллизатора со всеми необходимыми отверстиями для соединения, соединениями для ввода и вывода охлаждающей воды кристаллизатора, фиксирующими отверстиями для катушки электромагнитного смешивания.

Качающиеся рычаги (четыре рычага) снабжены антифрикционными подшипниками для переноса стола кристаллизатора. Два нижних рычага

синхронизированы посредством трубчатой цапфы. Два верхних рычага крепятся независимо. Соединительный рычаг приварен к цапфе для передачи качающего движения от вала эксцентрика к системе качающегося рычага.

Подшипниковая опора несёт цапфу и верхние качающиеся рычаги. В то же самое время она передаёт силы, имеющие место при колебаниях кристаллизатора, на опорную конструкцию машины. Компенсация явления дедвейва производится одной воздушной подушкой, соединённой с системой сжатого воздуха и управляемой редукционным клапаном.

2.3. Привод качания кристаллизатора

Соединения включают в себя одну муфту между мотором и редуктором и одну муфту между входным валом редуктора и эксцентриком.

Редуктор коническо-цилиндрический с передаточным числом $i=10$ установлен на раме привода.

Эксцентрик включает в себя вал и несущий эксцентрик, установлен на двух подшипниковых блоках, каждый с антифрикционным подшипником для поддержки вала с обеих сторон. Подшипники защищены от грязи и пара путём прокладочных колец и колпаков.

Соединительный стержень служит для передачи колебательных движений. Один конец стержня прикреплен к эксцентрику посредством антифрикционного подшипника, тогда как другой конец прикреплен к качающемуся рычагу механизма колебаний. Кинематическая схема механизма качания кристаллизатора приведена на рисунке 1.1.

Выводы по разделу 2: в данном разделе был рассмотрен технологический процесс производства металла с помощью механизма качания кристаллизатора и принцип его работы.

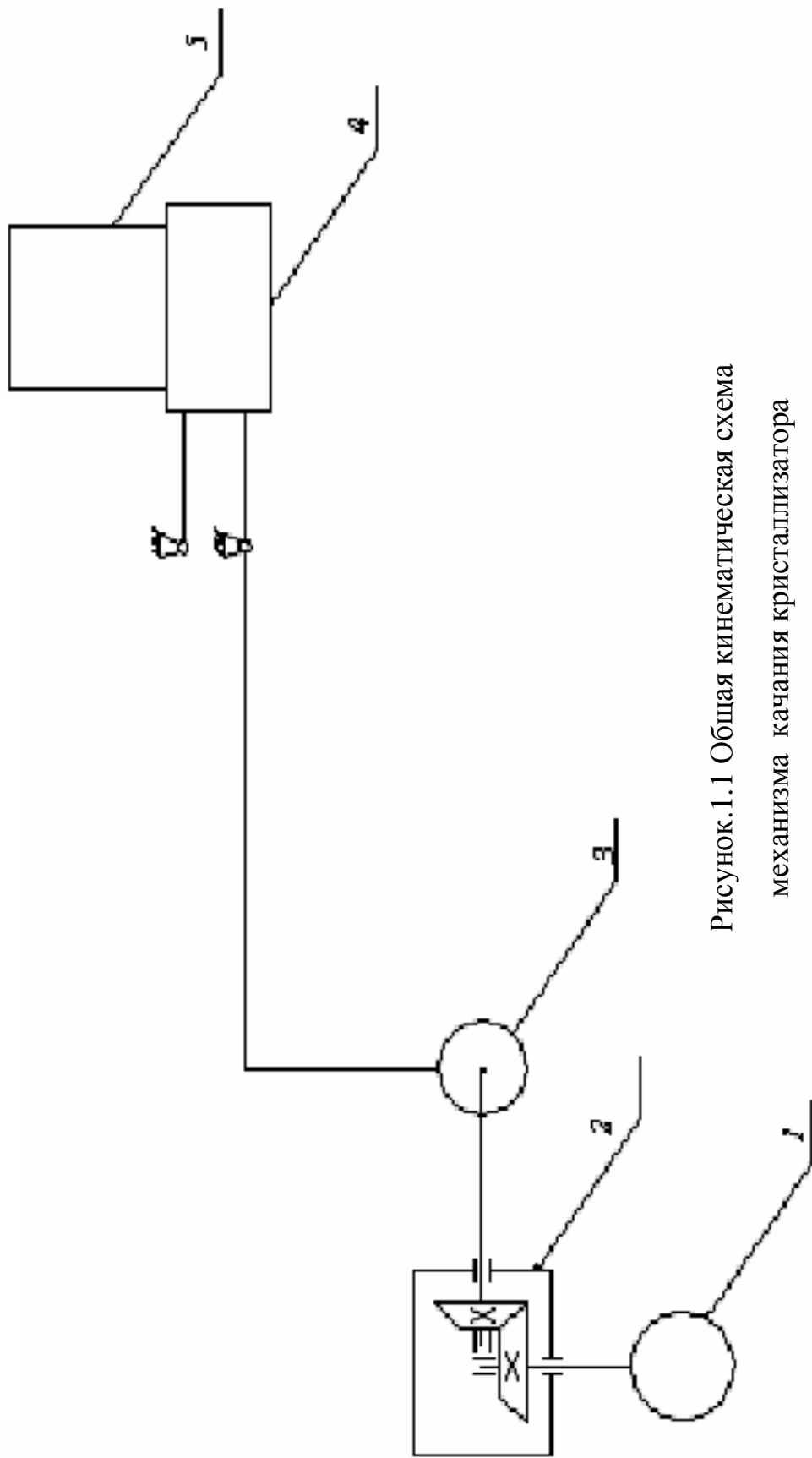


Рисунок.1.1 Общая кинематическая схема механизма качания кристаллизатора

- 1 - двигатель постоянного тока; 2 - коническо-цилиндрический редуктор;
- 3 - эксцентрик; 4 - стол кристаллизатора; 5 - кристаллизатор

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

3.1. Технологические требования к механизму качания кристаллизатора

К электроприводу механизма качания кристаллизатора предъявляются следующие технологические требования:

- Плавное регулирование скорости с диапазоном регулирования $D=1:10$;
- Стабилизация скорости;
- Синхронизация скорости качания со скоростью разливки.

3.2. Предварительный выбор двигателя.

По технологии производства требуется поддержание скорости качания кристаллизатора в предельном её значении 200 качаний за минуту для производства заготовок с сечением 125 мм^2 .

Зная передаточное число редуктора $i=10$, получаем желаемую скорость двигателя $n=2000$ об/мин.

В настоящее время механизм качания кристаллизатора приводится в движение двигателем постоянного тока фирмы *COSTRUCCIONES ELECTROMECHANICAS* типа *CN-160-L-A*.

Двигатель имеет следующие параметры.

Номинальная мощность $P_N=5500$ Вт.

Номинальная скорость $n_N=2200$ об/мин.

Номинальный ток якоря $I_N=15,3$ А.

Номинальное напряжение якоря $U_N=400$ В.

Номинальный вращающий момент $M_N=23,873$ Н·м.

Момент инерции двигателя $J_D=0,138$ кг·м².

3.3. Расчёт параметров движения кристаллизатора

Характер движения кристаллизатора имеет решающее значение для получения качественного слитка и предупреждения разрывов его оболочки с прорывом жидкого металла.

В тот интервал полупериода опускания кристаллизатора, когда его скорость $v_{кр}$ превышает скорость движения слитка v_c , слиток подвергается сжимающим усилиям, упрочняющим его корку и «залечивающим» микротрещины. Этот интервал называют интервалом опережения кристаллизатора (Рисунок 2.1).

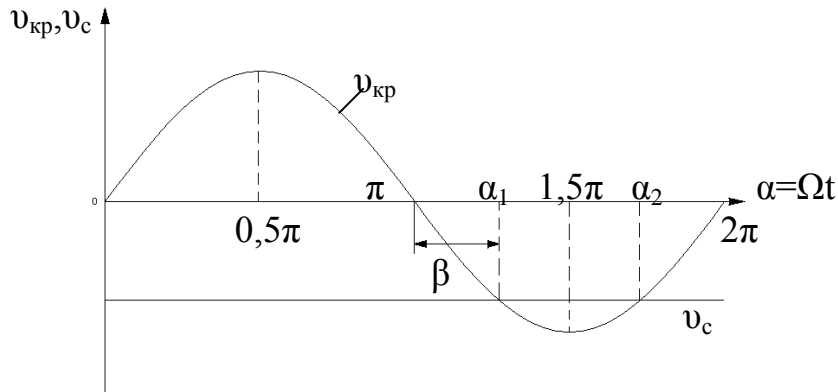


Рисунок 2.1 График скорости качания кристаллизатора и скорости движения слитка

По технологическим требованиям оптимальное значение амплитуды разности линейной скорости кристаллизатора и скорости опускания слитка из условия получения качественной структуры металла и упрочнения оболочки слитка составляет от 5 до 20% скорости вытягивания слитка. При этом должны поддерживаться с высокой точностью как форма кривой изменения скорости кристаллизатора во времени, так и его путь на интервале опережения, определяющий собой длину отрезков слитка, по которым скользит кристаллизатор в каждом полупериоде опускания и которые упрочняются в максимальной степени.

Рассмотрим основные параметры, характеризующие движение кристаллизатора.

Текущее значение пути кристаллизатора:

$$S_{кр} = e \cdot \cos \Omega t, \quad (2.1)$$

где e — эксцентриситет эксцентрика, м;

Ω — угловая скорость эксцентрика, рад/с.

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60 \cdot i}, \quad (2.2)$$

где n — скорость двигателя.

$$\Omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2000}{60 \cdot 10} = 20,94 \text{ рад/с.}$$

Текущее значение скорости кристаллизатора:

$$v_{кр} = -e\Omega \cdot \sin\Omega t. \quad (2.3)$$

Приведённое к валу двигателя значение момента инерции кристаллизатора зависит от угловой координаты эксцентрика и определяется выражением:

$$J_{кр} = \frac{m_{кр} \cdot v_{кр}^2}{\omega_D^2} = \frac{m_{кр} \cdot e^2 \cdot \sin^2(\Omega t)}{i^2}, \quad (2.4)$$

где $m_{кр}$ – масса кристаллизатора, кг;

ω_D – угловая скорость двигателя, рад/с;

i – передаточное число редуктора.

Суммарный приведённый момент инерции системы:

$$J_{\Sigma} = J_{II} (1 + A \cdot \sin^2(\Omega t)), \quad (2.5)$$

где J_{II} – постоянная составляющая момента инерции, равная сумме моментов инерции двигателя, муфты и редуктора, кг·м²;

A – коэффициент.

$$A = \frac{m_{кр} \cdot e^2}{i^2 \cdot J_{II}}; \quad (2.6)$$

$$A = \frac{1618 \cdot (0,0019)^2}{10^2 \cdot 0,18} = 0,00032.$$

В редукторном электроприводе коэффициент $A \ll 1$ при любых реальных амплитудах и частотах качания. Таким образом, при расчётах электропривода механизма качания машины непрерывного литья заготовок можно пренебречь переменной составляющей момента инерции механизма. Этот важный вывод даёт возможность при анализе вынужденных колебаний в электроприводе считать, что электромеханическая постоянная времени привода $T_M \approx \text{const}$.

Рассмотрим методику расчёта крутящих моментов на валу привода качания кристаллизатора.

Сила трения слитка в кристаллизаторе.

$$F_{кр} = 0,5 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \mu \cdot \gamma \cdot P \cdot H_a^2, \quad (2.7)$$

где k_1 - коэффициент, учитывающий степень «приработки» кристаллизатора;

k_2 – коэффициент, учитывающий марку стали;

$\mu=0,47\div 0,55$ – коэффициент трения кристаллизирующегося слитка о стенки кристаллизатора;

$\gamma=70$ кН/м³ – удельный вес жидкой стали;

P – периметр кристаллизатора, м;

H_a – активная высота кристаллизатора (расстояние от поверхности жидкой стали до нижнего торца кристаллизатора), м.

$$F_{KP}=0,5\cdot 1,5\cdot 1,75\cdot 0,47\cdot 70000\cdot 0,5\cdot 0,64=13818 \text{ Н.}$$

Экспериментальные исследования показали, что для нового кристаллизатора $k_1=1,5\div 2,0$. После разливки 15-20 плавов кристаллизатор «прирабатывается», и сила трения уменьшается в 1,5-2 раза. Коэффициент k_2 для малоуглеродистой стали составляет 0,65, для углеродистой стали принимают $k_2=1,75$.

3.4. Крутящие моменты нагрузки на валу двигателя редукторного привода кристаллизатора.

При поднятии кристаллизатора момент сопротивления описывается выражением 2.8.

$$M_{CI}=M_{II}+M_{BI}\cdot \sin \Omega t, \quad (2.8)$$

где M_{II} – постоянная составляющая момента сопротивления, Н·м;

M_{BI} – амплитуда гармонической составляющей момента сопротивления при подъёме кристаллизатора, Н·м.

$$M_{II}=M_{РЕДИ}+M_{ТР.ЭI}+M_{ТР.ВКИ}+M_{ТР.П.}, \quad (2.9)$$

где $M_{РЕДИ}$ – момент потерь в редукторе;

$M_{ТР.ЭI}$ – момент трения эксцентрика о вкладыш;

$M_{ТР.ВКИ}$ – момент трения вкладыша о плиту;

$M_{ТР.П.}$ – момент трения в подшипниках.

Момент трения редуктора был взят из паспортных данных редуктора на предприятии $M_{РЕДИ} = 2,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Момент трения эксцентрика определяется выражением (2.10).

$$M_{ТР.Э1} = \frac{(G_{КР} + F_{КР}) \cdot l_1 \cdot \mu \cdot d_{Э}}{2 \cdot (l_1 + l_2) \cdot i}, \quad (2.10)$$

где $G_{КР}$ – вес кристаллизатора с обвязкой, Н;

$F_{КР}$ – сила трения слитка в кристаллизаторе, Н;

l_1 – расстояние от оси кристаллизатора до оси вращения рамы, м;

l_2 – расстояние от оси вращения рамы до оси вращения эксцентрика,

м;

$d_{Э}$ – диаметр эксцентрика, м;

i – передаточное число редуктора;

μ – коэффициент трения стали по бронзе ($\mu=0,05$).

$$M_{ТР.Э1} = \frac{(16180 + 13818) \cdot 0,644 \cdot 0,05 \cdot 0,2}{2 \cdot (0,644 + 1,4) \cdot 10} = 4,726 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент трения вкладыша о плиту выражается формулой 2.11.

$$M_{ТР.БК1} = \frac{9,55 \cdot (G_{КР} + F_{КР}) \cdot l_1 \cdot \mu \cdot v_{СР.БК}}{(l_1 + l_2) \cdot n_N}, \quad (2.11)$$

где $v_{СР.БК}$ – средняя скорость горизонтального перемещения вкладыша;

n_N – номинальная скорость двигателя.

Средняя скорость горизонтального перемещения вкладыша.

$$v_{СР.БК} = \frac{4e}{t_{Ц}}, \quad (2.12)$$

где $t_{Ц}$ – время одного колебания, время цикла, с;

e – эксцентриситет эксцентрика, м.

$$v_{СР.БК} = \frac{4 \cdot 0,0019}{0,3} = 0,0253 \text{ м/с}.$$

$$M_{ТР.БК1} = \frac{9,55 \cdot (16180 + 13818) \cdot 0,644 \cdot 0,05 \cdot 0,0253}{(0,644 + 1,4) \cdot 2200} = 0,052 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент трения в подшипниках определяется выражением 2.13.

$$M_{тр.п} = \frac{(G_{кр} + F_{кр}) \cdot \mu_{п} \cdot d_{ср.п}}{i}, \quad (2.13)$$

где $\mu_{п}$ – коэффициент трения в подшипниках;

$d_{ср.п}$ – средний диаметр подшипников. м.

$$M_{тр.п} = \frac{(16180 + 13818) \cdot 0,015 \cdot 0,13}{10} = 5,85 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Подставляем результаты вычислений выражений 2.10, 2.11, 2.13 в выражение 2.9. и получаем результат вычислений для постоянной составляющей момента сопротивления.

$$M_{п} = 2,3 + 4,726 + 0,052 + 5,85 = 12,928 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Амплитуда гармонической составляющей момента сопротивления в момент поднятия кристаллизатора описывается выражением 2.14.

$$M_{B1} = \frac{(G_{кр} + F_{кр}) \cdot l_1 \cdot e}{(l_1 + l_2) \cdot i}, \quad (2.14)$$

где $G_{кр}$ – вес кристаллизатора с учётом обвязки и охлаждающей жидкости, Н;

l_1 – расстояние от оси кристаллизатора до оси вращения рамы, м;

l_2 – расстояние от оси вращения рамы до оси эксцентрика, м;

e – эксцентриситет, м;

i – передаточное число редуктора.

$$M_{B1} = \frac{(16180 + 13818) \cdot 0,644 \cdot 0,0019}{(0,644 + 1,4) \cdot 10} = 1,8 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент сопротивления в случае опускания кристаллизатора определяется выражением 2.15.

$$M_{C2} = M_{п} - M_{B2} \cdot \sin \Omega t, \quad (2.15)$$

где M_{B2} – амплитуда гармонической составляющей момента сопротивления в случае опускания кристаллизатора,

$$M_{B2} = \frac{(G_{кр} - F_{кр}) \cdot l_1 \cdot e}{(l_1 + l_2) \cdot i}, \quad (2.16)$$

$$M_{B2} = \frac{(16180 + 13818) \cdot 0,644 \cdot 0,0019}{(0,644 + 1,4) \cdot 10} = 0,14 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент двигателя в разомкнутой системе электропривода, то есть в системе без автоматического регулирования, в полупериод поднятия кристаллизатора выражается формулой 2.17.

$$M_I = M_{II} + M_{a1} \cdot \sin(\Omega t - \psi), \quad (2.17)$$

где ψ – угол отставания, связанный с инерционными свойствами жидкого металла;

T_M – электромеханическая постоянная времени электропривода, с;

Ω – частота вращения эксцентрика, рад/с;

M_{a1} – амплитуда гармонической составляющей момента двигателя в разомкнутой системе, Н·м.

Электромеханическая постоянная времени:

$$T_M = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_0}{M_{K.3.}},$$

ω_0 – угловая скорость идеального холостого хода двигателя, рад/с;

J_{Σ} - приведённый к валу двигателя суммарный момент инерции, кг·м²;

$M_{K.3.}$ – момент короткого замыкания двигателя, Н·м.

$$T_M = \frac{0,18 \cdot 256,35}{235,65} = 0,196 \text{ с}.$$

Угол отставания:

$$\psi = \arctg(T_M \cdot \Omega),$$

$$\psi = \arctg(0,196 \cdot 20,944) = 1,33 \text{ рад}.$$

Гармоническая составляющая момента двигателя в разомкнутой системе:

$$M_{a1} = M_{B1} \cdot \sqrt{1 + (T_M \cdot \Omega)^2},$$

$$M_{a1} = 1,8 \cdot \sqrt{1 + (0,196 \cdot 20,944)^2} = 7,61 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Аналогично получаем момент двигателя в разомкнутой системе для случая опускания кристаллизатора.

$$M_2 = M_{II} - M_{a2} \cdot \sin(\Omega t - \psi)$$

где M_{a2} – амплитуда гармонической составляющей момента двигателя в разомкнутой системе в случае опускания кристаллизатора, Н·м.

$$M_{a2} = M_{B2} \cdot \sqrt{1 + (T_M \cdot \Omega)^2} ,$$

$$M_{a2} = 0,14 \cdot \sqrt{1 + (0,196 \cdot 20,944)^2} = 0,591 \text{ Н·м.}$$

Кривые изменения момента сопротивления и момента двигателя в разомкнутой системе приведены на рисунке 2.2.

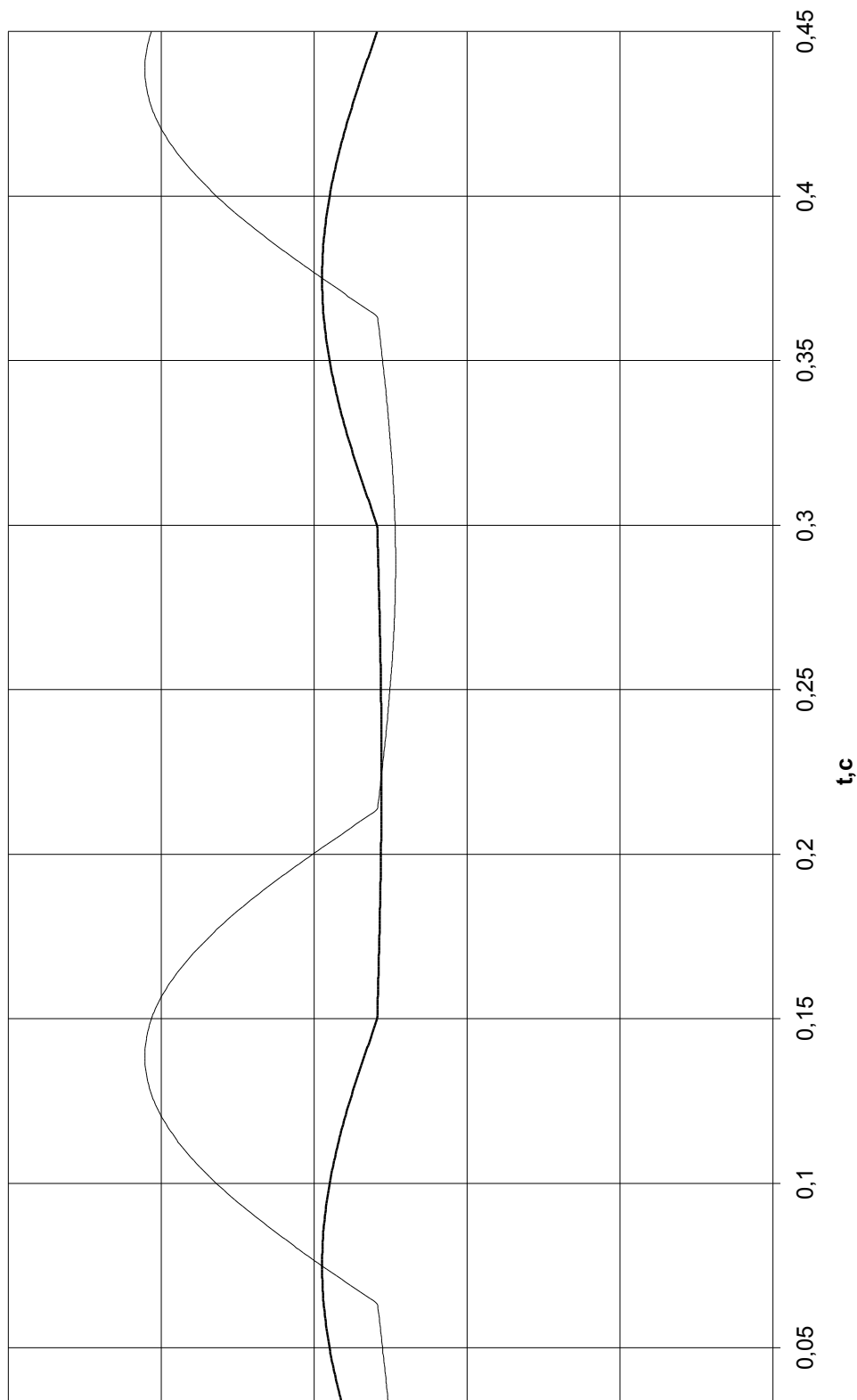


Рисунок 2.2 Графики момента двигателя в разомкнутой системе и момента сопротивления

Проверка двигателя по нагреву производится методом эквивалентного момента (по эквивалентному среднеквадратичному моменту в разомкнутой системе).

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{M_{\text{II}}^2 + \frac{(M_{a1}^2 + M_{a2}^2)}{4} + \frac{2M_{\text{II}}}{\pi}(M_{a1} - M_{a2})}, \quad (2.18)$$

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{(12,928)^2 + \frac{(7,61)^2 + (0,591)^2}{4} + \frac{2 \cdot 12,928}{3,14}(7,61 - 0,595)} = 15,475 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

По условию, для того чтобы двигатель прошёл по нагреву требуется, чтобы $M_{\text{ЭКВ}} < M_{\text{N}}$, где M_{N} – номинальный момент двигателя. В нашем случае это условие выполняется.

$$M_{\text{N}} = 23,873 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad M_{\text{ЭКВ}} = 15,475 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Двигатель проходит по нагреву с запасом в 35%.

Выводы по разделу 3: в этом разделе были рассчитаны параметры движения кристаллизатора и крутящие моменты на валу двигателя редукторного привода кристаллизатора.

4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

4.1. Обоснование технического задания

Разработка и обоснование технического задания является начальным этапом проектирования системы управления электроприводом. В процессе его выполнения формируются основные требования к системе управления, определяются её задачи, условия функционирования и научно-технический уровень. На основании анализа исходного задания и изучения материалов по теме выпускной квалификационной работы формируется техническое задание:

- Привод постоянного тока;
- Плавность регулирования;
- Режим работы продолжительный S1.

Данные двигателя:

- Тип CN-160-L-A;
- Номинальная мощность: $P_N=5,5$ кВт;
- Номинальная скорость: $n_N=2200$ об/мин;
- Номинальное напряжение: $U_N=400$ В;
- Номинальный ток: $I_N=15,3$ А
- Номинальный момент: $M_N=23,783$ Н·м;
- Максимальная токовая перегрузка: $\lambda=2$;
- Момент инерции двигателя: $J_D=0.138$ кг·м² ;
- Суммарное активное сопротивление якоря: $R_{\Sigma}=2,64$ Ом;
- Индуктивность якорной цепи: $L_{\Sigma}=14$ мГн.

Технологическая цель проектируемой СУЭП состоит в формировании переходных процессов пуска, торможения. Класс СУЭП - 1. Определяющими показателями качества для СУЭП первого класса являются:

- Время отработки режима пуск-торможение;
- Диапазон регулирования: $D=1:4$.

Определяющими ограничениями являются:

- Ток якоря:

$$i_{я\max} \leq i_{яДОП},$$

$$i_{яДОП} = \lambda \cdot i_N = 2 \cdot 15,3 = 30,6 \text{ А.}$$

- Темп изменения тока якоря:

$$\left(\frac{di_{я}}{dt} \right)_{\max} \leq \left(\frac{di_{я}}{dt} \right)_{\text{доп}} ;$$

$$\left(\frac{di_{я}}{dt} \right)_{\text{доп}} = 36,1 \text{ А/с.}$$

- Темп изменения угловой скорости:

$$\left(\frac{d\omega}{dt} \right)_{\max} \leq \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_{\text{доп}} ;$$

$$\left(\frac{d\omega}{dt} \right)_{\text{доп}} = 178 \text{ рад/с.}$$

Определяющим внешним воздействием является момент сопротивления изменяющийся по закону:

$$M_C = M_{\Pi} + M_B \cdot \sin(\Omega t),$$

где M_{Π} – постоянная составляющая момента сопротивления, Н·м;

M_B – амплитуда гармонической составляющей момента сопротивления, Н·м;

Ω – частота вращения эксцентрика, рад/с.

Способ задания управляющего воздействия – аналоговый.

4.2. Анализ силовой части электропривода как объекта управления

Одним из этапов проектирования системы управления электропривода является выделение объекта управления и анализ его характеристик. В составе автоматизированного электропривода объектом управления является силовая часть электропривода, которую составляют преобразователь, двигатель и механизм.

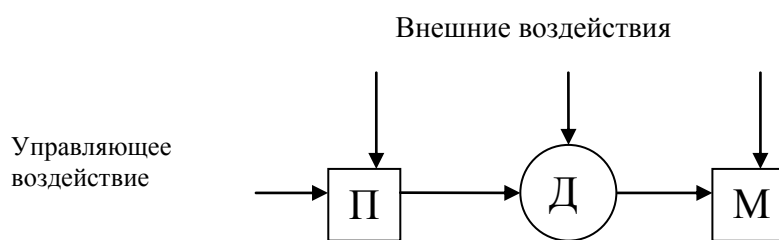


Рисунок 3.1

На рисунке: П- тиристорный преобразователь, Д- двигатель, М- исполнительный орган.

Для достижения желаемой технологической цели управления на входы преобразователя подаются управляющие воздействия. Управляемой координатой силовой части является обычно скорость или перемещение исполнительного органа М, а при жёсткой связи между Д и М – скорость или угол поворота ротора двигателя.

Для достижения высокого качества управления не исключается возможность контроля других координат силовой части: напряжения преобразователя, якорного или статорного тока и т.п.

Кроме управляющих воздействий в реальных условиях на силовую часть электропривода действуют различного рода возмущения. Эти возмущения, как правило, затрудняют достижение технологической цели управления.

Для успешного проектирования системы управления электроприводом важной задачей является разработка математической модели силовой части как объекта управления. Математическая модель силовой части должна, с одной

стороны, отражать её характерные свойства, а с другой стороны, должна быть достаточно проста для синтеза и анализа системы управления электропривода.

Уравнения проектируемой СУЭП имеют вид (3.1):

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{\delta} = k_{\delta} \Phi \omega ; \\ E_{\Pi} = k_{\Pi} U_y ; \\ E_{\Pi} = E_{\delta} + R_{\text{я}} I_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} ; \\ M = k_{\delta} I_{\text{я}} \Phi ; \\ M - M_c = J_{\delta} \frac{d\Omega}{dt} . \end{array} \right. \quad (3.1)$$

где E_{δ} – ЭДС двигателя, В; Φ – магнитный поток двигателя, Вб;

E_{Π} – ЭДС преобразователя, В; k_{Π} – коэффициент усиления преобразователя;
 U_y – напряжение преобразователя, В; $R_{\text{я}}$ – активное сопротивление якоря, Ом;
 $I_{\text{я}}$ – ток якоря, А; $L_{\text{я}}$ – индуктивность якоря, Гн; M – момент двигателя, Н·м;
 k_{δ} – конструктивный коэффициент двигателя; M_c – момент сопротивления, Н·м;
 J_{δ} – момент инерции двигателя, кг·м²; Ω – частота вращения двигателя, рад/с.

Нормирование уравнений, т.е. представление в относительных единицах, осуществляется для исключения из уравнений ряда коэффициентов и получения общности результатов анализа характеристик силовой части и в целом системы управления электроприводом. При этом выбор базовых значений переменных является свободным и может быть осуществлён на основании анализа установившихся режимов работы силовой части электропривода.

Для того чтобы выполнить нормировку уравнений, т.е. представление уравнений в относительных единицах, вычислим некоторые величины.

ЭДС двигателя.

$$E_{\text{ДВ}} = U_N - R_{\text{яД}} I_N - \Delta U_{\text{щ}} ,$$

где $\Delta U_{\text{щ}}$ – потери напряжения на щётках двигателя, В;

$R_{\text{яД}}$ – сопротивление якоря двигателя, Ом;

I_N – номинальный ток двигателя, А;

U_N – номинальное напряжение якоря двигателя, В.

$$R_{\text{яД}} = k_t \cdot R_{\text{я}\Sigma} + R_{\text{щ}} ,$$

где k_t – температурный коэффициент;

R_{Σ} – суммарное активное сопротивление якоря, Ом;

$R_{щ}$ – сопротивление щёток, Ом.

$R_{щ}=0$ Ом; $k_t=1,24$.

$R_{\Sigma}=1,24 \cdot 2,64=3,274$ Ом.

$E_{ДВ} = 400 - 3,274 \cdot 15,3 - 2=347,969$ В.

ЭДС преобразователя.

$$E_{d0}=k_E \cdot U_C,$$

Где k_E – коэффициент преобразователя;

U_C – напряжение сети, В.

$$E_{d0}= 1,35 \cdot 380=513 \text{ В.}$$

Коэффициент усиления преобразователя.

$$K_{\Pi} = \frac{E_{d0}}{U_y},$$

где U_y – напряжение управления тиристорного преобразователя, В.

$$K_{\Pi} = \frac{513}{15} = 34,2 .$$

Рассчитаем эквивалентное активное сопротивление и эквивалентную индуктивность системы “Тиристорный преобразователь – двигатель”.

$$R_{\Sigma} = R_{\Sigma} + R_{\Pi},$$

где R_{Π} – активное сопротивление преобразователя, Ом.

$R_{\Sigma}=3,274$ Ом; $R_{\Pi}=2,026$ Ом.

$R_{\Sigma} = 3,274+0,226=5,3$ Ом.

$$L_{\Sigma} = L_{\Sigma} + L_{\Pi},$$

где L_{Π} – индуктивность преобразователя, Гн; L_{Σ} – суммарная индуктивность якорной цепи, Гн.

$L_{\Pi}=4,3 \cdot 10^{-3}$ Гн; $L_{\Sigma}=66,6 \cdot 10^{-3}$ Гн;

$L_{\Sigma}=(66,6+4,3) \cdot 10^{-3}=70,9 \cdot 10^{-3}$ Гн.

Введём постоянные времени:

T_{Σ} – постоянная времени электропривода;

T_j – постоянная времени механизма.

$$T_{\vartheta} = \frac{L_{\vartheta}}{R_{\vartheta}};$$

$$T_{\vartheta} = \frac{70,9 \cdot 10^{-3}}{5,3} = 0,013 \text{ с};$$

$$T_j = J_{\text{д}} \frac{\Omega_N}{M_N};$$

$$T_j = 0,138 \frac{230,383}{23,873} = 1,336 \text{ с}.$$

Для выражения уравнений в относительных единицах введём базовые величины.

$$U_{\delta} = E_{\delta N} = 347,969 \text{ В};$$

$$I_{\delta} = I_{\text{я}N} = 15,3 \text{ А};$$

$$R_{\delta} = \frac{U_E}{I_B} = 22,743 \text{ Ом};$$

$$\Omega_{\delta} = 230,383 \text{ 1/с};$$

$$M_{\delta} = M_N = 23,873 \text{ Нм}.$$

Для системы управления берутся свои базовые величины.

$$U_{\delta,p} = 7 \text{ В};$$

$$U_{\gamma} = 15 \text{ В}.$$

Здесь $U_{\delta,p}$ - базовое напряжение для системы регулирования;

U_{γ} – напряжение управления тиристорного преобразователя.

С учётом нормировки, уравнения, описывающие силовую часть электропривода, принимают такой вид (3.2):

$$\left\{ \begin{array}{l} e_{\text{п}} = k_{\text{п}} u_{\gamma}; \\ e_{\text{п}} = e_{\delta} + r_{\text{я}} i_{\text{я}} + r_{\text{я}} T_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt}; \\ m = i_{\text{я}} \varphi; \\ e_{\delta} = \omega \varphi; \\ m - m_{\text{с}} = T_j \frac{di_{\text{я}}}{dt}, \end{array} \right. \quad (3.2)$$

где e_{II} – ЭДС тиристорного преобразователя, о.е.; k_{II} – коэффициент усиления тиристорного преобразователя, о.е.; e_{δ} – ЭДС двигателя, о.е.; $r_{Я}$ – эквивалентное сопротивление системы, о.е.; $T_{Я} = T_{\delta}$ – постоянная времени электропривода, с; φ – магнитный поток, о.е.; ω – угловая скорость вращения двигателя, о.е.; m – момент двигателя в о.е.; m_C – момент сопротивления, о.е.; T_j – механическая постоянная времени, с.

$$r_{\delta} = r_{Я};$$

$$r_{\delta} = \frac{R_{\delta}}{R_B};$$

$$r_{\delta} = \frac{5,3}{22,743} = 0,233 \text{ о.е.}$$

Коэффициент усиления преобразователя.

$$k_{II} = \frac{U_{\delta.p.}}{U_{\delta}} \cdot K_{II};$$

$$k_{II} = \frac{7}{347,969} \cdot 34,2 = 0,688.$$

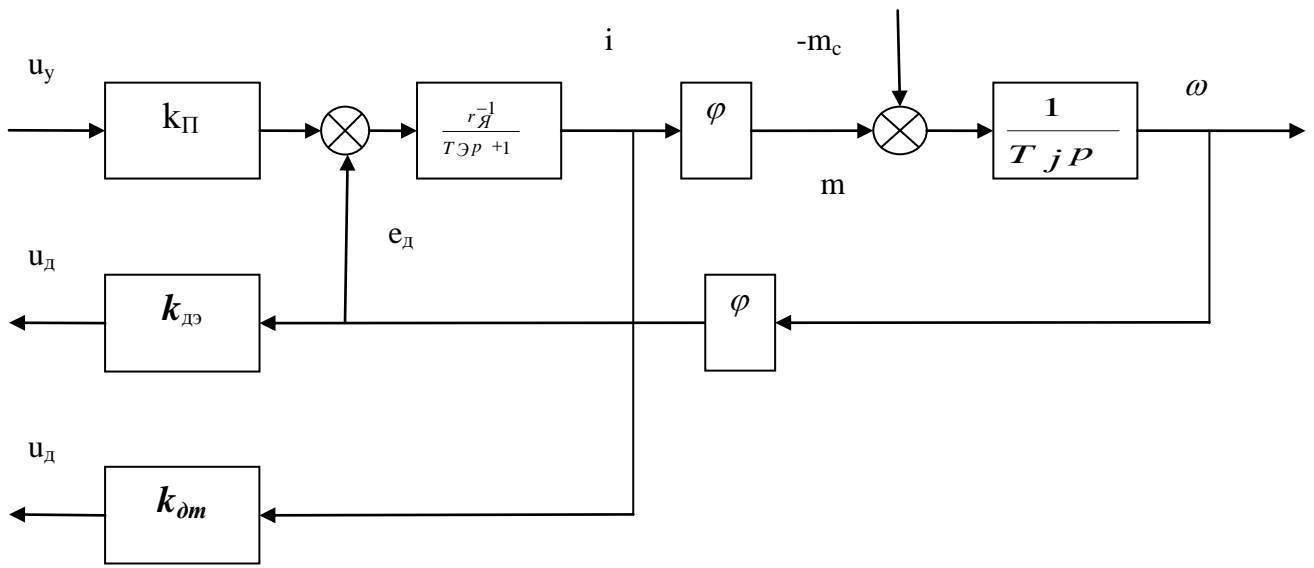
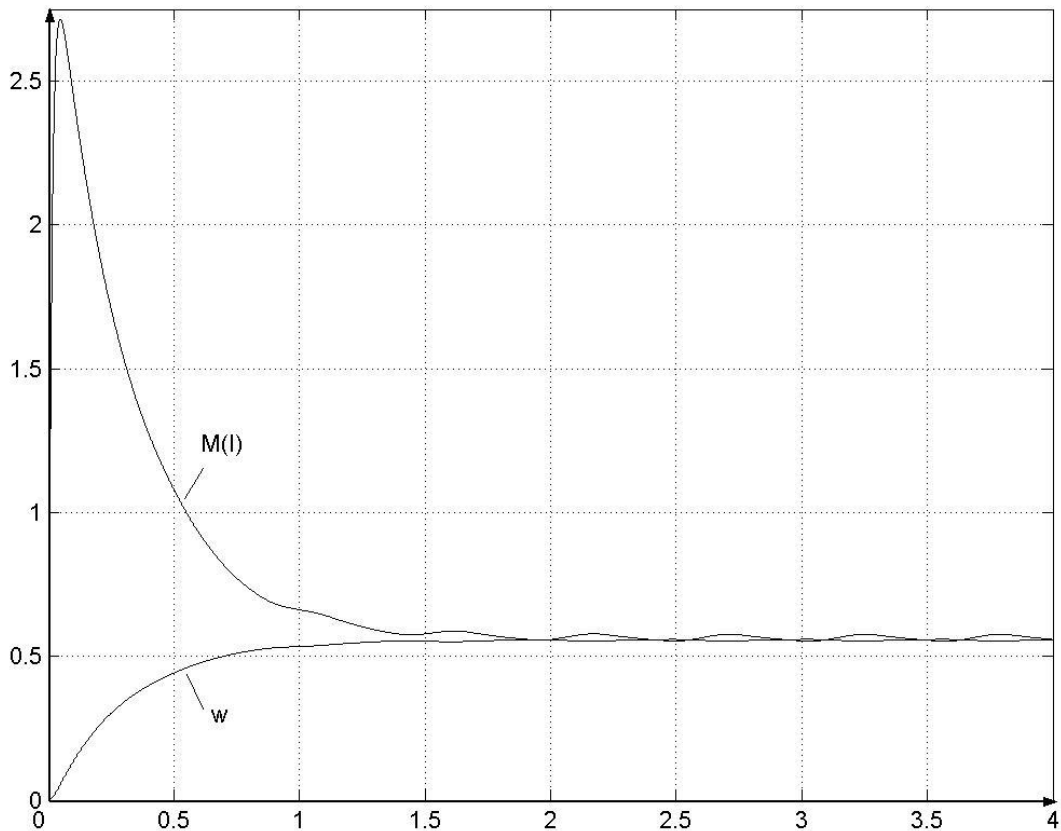


Рисунок 3.2 Схема математической модели
силовой части электропривода

После построения математической модели силовой части электропривода в среде MATLAB были построены реакции системы ТП-Д на управляющее и возмущающее воздействия.

Переходные процессы (пуск и наброс нагрузки) в системе ТП-Д показаны на рисунке 3.3.



4.3. Построение функциональной схемы системы управления электроприводом

Построение предварительных вариантов функциональной и структурной схемы предшествует этапу синтеза передаточных функций регуляторов и связано с выбором общей структуры построения системы управления электроприводом.

Функциональные схемы управления электроприводами отражают связи и взаимодействие между блоками, в которых составляющие их элементы участвуют в выполнении определённой единой функции (сравнение, измерение, усиление, коррекция и т.п.). Они разъясняют процессы, протекающие в отдельных функциональных частях или в электроприводе в целом. Функциональная схема является основной для разработки принципиальной схемы электропривода.

В выпускной квалификационной работе рассматривается функциональная схема двухконтурной системы подчинённого регулирования электропривода постоянного тока.

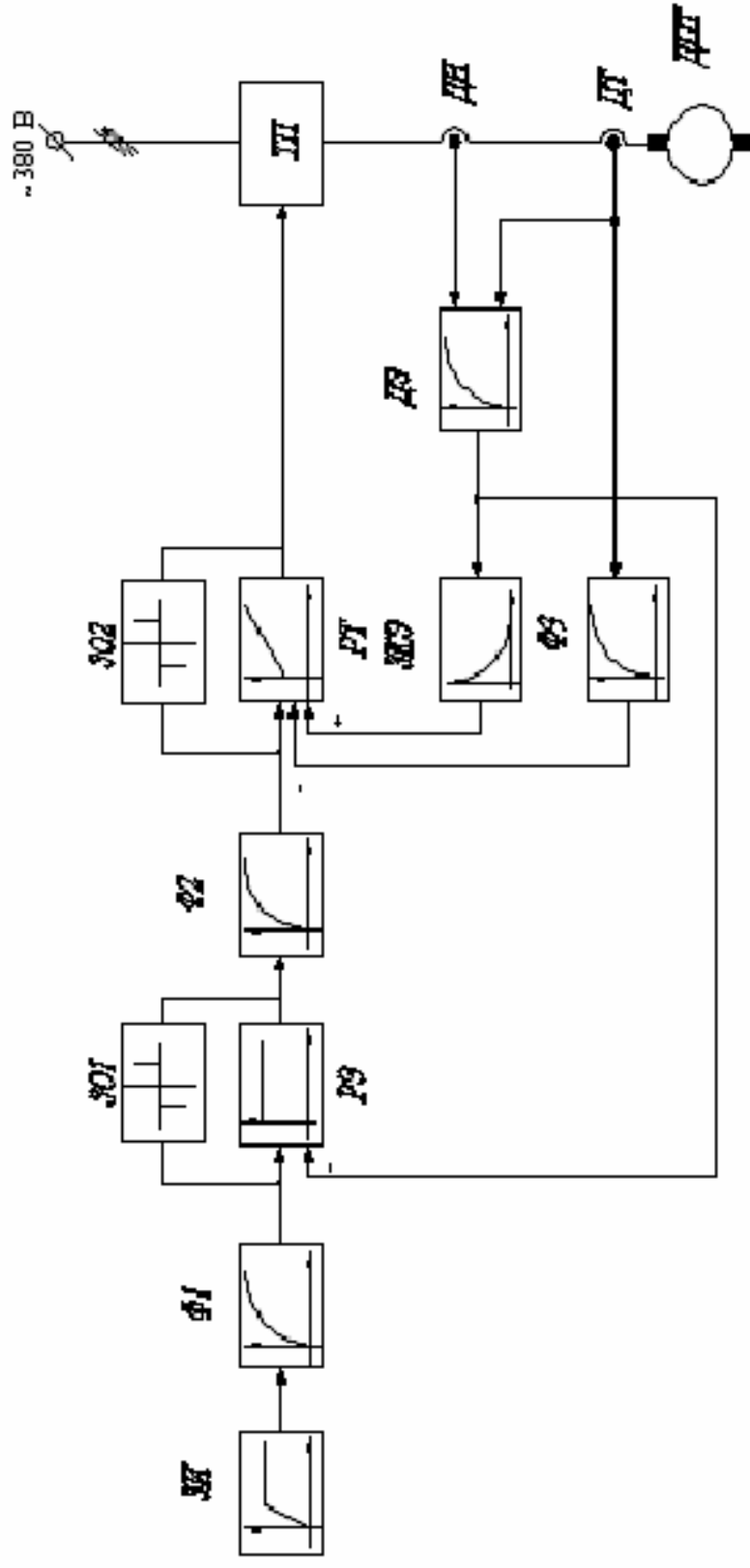


Рисунок 3.4 Предварительная функциональная схема САР электропривода механизма качания кристаллизатора

ЗИ - задатчик интенсиности; Ф1, Ф2, Ф3 - фильтры; ЗФ1, ЗФ2 - звена отрицания; ТТ - тиристорный преобразователь; ДН - датчик напряжения; ДТ - датчик тока; ЗКЭ - звено компенсации ЭДС; ДЭ - датчик ЭДС.

На рисунке 3.4 показано звено компенсации ЭДС. Поскольку $T_M > 20T_\mu$, то принимаем влияние ЭДС = 0. Это означает, что в окончательном варианте звено компенсации ЭДС не требуется. На рисунке 3.5 показан окончательный вариант функциональной схемы САР электропривода механизма качания кристаллизатора.

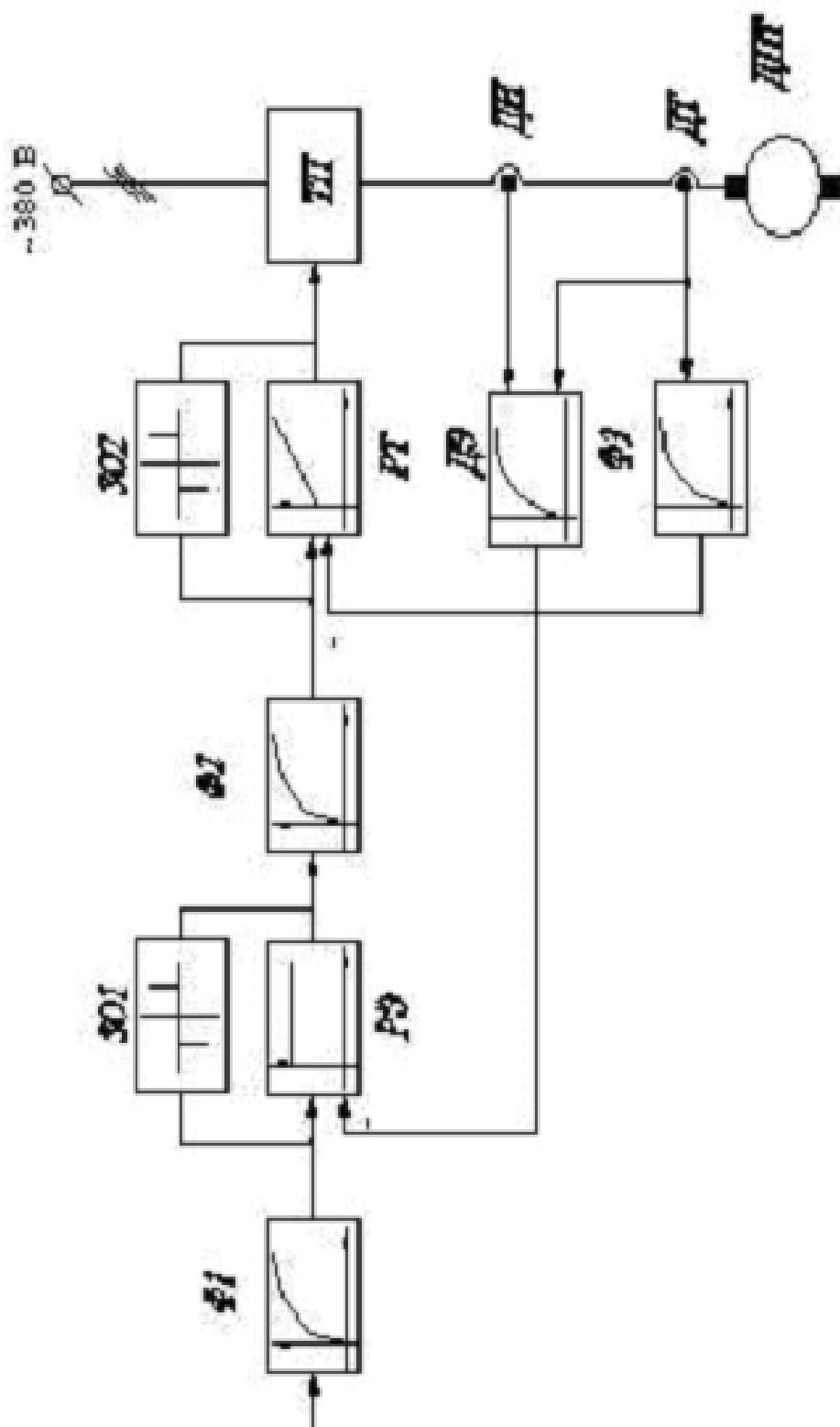


Рисунок 3.5 Функциональная схема САР электропривода механизма качания кристаллизатора

ЗТ - задатчик инт енсивности, Ф1, Ф2, Ф3 - фильтры, ЗО1, ЗО2 - звена ограничения, ТП - тиристорный преобразователь, ДН - датчик напряжения, ДТ - датчик тока, ДЭ - датчик ЭДС.

4.4. Синтез передаточных функций регуляторов

4.4.1. Общие положения

Задача синтеза регуляторов – определение структуры параметров регулятора. Синтез регулятора ведётся по определённым методикам, последовательно, начиная с внутреннего контура и заканчивая внешним.

Каждый регулятор должен решать три основные задачи:

1. Компенсация влияния звена объекта регулирования, который попадает в данный контур. Для этого в регулятор вводится звено, передаточная функция которого является обратной передаточной функции звена объекта регулирования.

$$R_{ki}(p) = \frac{1}{W_i(p)}.$$

2. Обеспечения астатизма контура по управляющему воздействию. Обеспечение нулевой астатической ошибки. Для этого в регулятор вводится ещё одно звено с передаточной функцией интегрирующего звена.

$$R_{ui}(p) = \frac{1}{T_i p}.$$

3. Оптимизация контура по динамическим показателям. Здесь могут быть привлечены определённые критерии качества.

Итак, передаточная функция регулятора: $R_{ki}(p) = \frac{W_i^{-1}}{T_i p}$.

4.4.2. Синтез регулятора тока.

Структурная схема синтеза регулятора тока показана на рисунке 3.6.

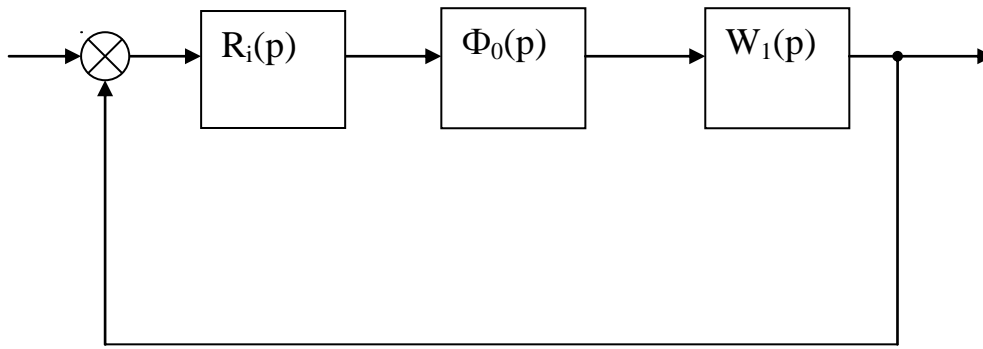


Рисунок 3.6 Структурная схема синтеза регулятора тока.

Передаточная функция фильтра:

$$\Phi_o = \frac{1}{(T_\mu p + 1)},$$

где T_μ - некомпенсируемая постоянная времени, с;

$$T_\mu = 0,002 \text{ с.}$$

Передаточная функция регулятора тока:

$$R_i(p) = \frac{W_i^{-1}(p)}{T_i p} = \frac{T_\Delta p + 1}{k_{II} \cdot r^{-1} \cdot T_i p},$$

где $T_i = 2T_\mu$ (настройка на модульный оптимум).

T_i – постоянная времени контура тока, с.

Регулятор тока - ПИ-регулятор.

4.4.3. Синтез регулятора ЭДС.

Регулятор ЭДС является регулятором внешнего контура.

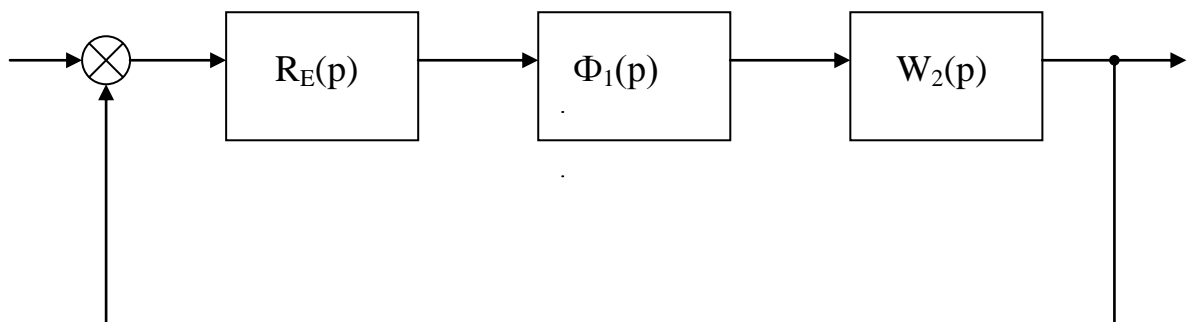


Рисунок 3.7 Структурная схема синтеза регулятора ЭДС

$$R_E(p) = \frac{W_2^{-1}(p)}{T_E p} = \frac{T_j}{\varphi \cdot T_E},$$

где T_j –механическая постоянная времени.

При настройке на модульный оптимум $T_E=2T_i=4T_\mu$, но, так как мы используем инерционный датчик ЭДС с постоянной времени $T_{дЭ}=T_\varepsilon=0,013с$, то

$$T_E=2(T_{дЭ}+T_i),$$

$$T_E=2(0,013+0,004)=0,034 с.$$

Регулятор ЭДС представляет из себя П-регулятор.

4.5. Построение структурной схемы системы управления электропривода

Структурной схемой управления электроприводом называют графическое изображение её математической модели в виде соединения звеньев. Она даёт наглядное представление о связях между звеньями, о прохождении и преобразовании сигналов в системе, сравнительно просто выявляются общие её характерные свойства и возможные пути совершенствования. Структурная схема используется при синтезе передаточных функций регуляторов системы.

Звено ограничения ЗО1 ограничивает задание на регулятор тока, звено ЗО2 ограничивает задание на напряжение управления ТП. Используется инерционный датчик ЭДС. На рисунке 3.8 показана структурная схема системы автоматического регулирования электропривода механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок.

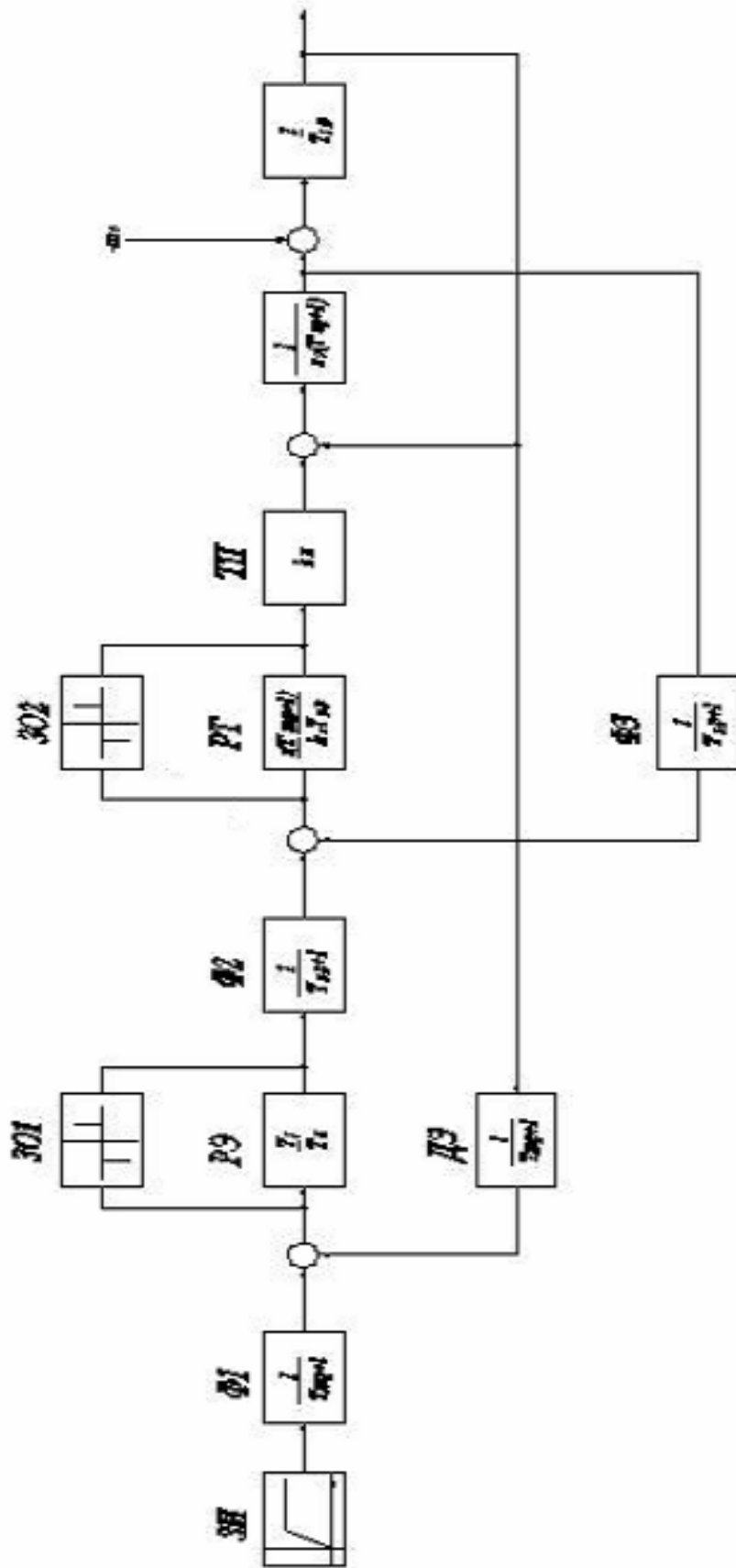


Рисунок 3.8 Структурная схема САР электропривода

ЗИ - задатчик интенсивности, Ф1, Ф2, Ф3 - фильтры, ДЭ - датчик ЭДС, РЭ - регулятор ЭДС; РТ - регулятор тока; ТП - тиристорный преобразователь; З01, З02 - звенья ограничения

4.6. Моделирование системы управления электропривода на ЭВМ

После построения структурной схемы системы управления электропривода переходим к моделированию системы на ЭВМ. Используем для этих целей пакет MATLAB, включающий в себя библиотеку SIMULINK. В результате получили нагрузочную диаграмму и тахограмму электропривода, которые приведены на рисунке 3.9. Данные тахограмма и нагрузочная диаграмма полностью удовлетворяют условиям и требованиям применяемых к данному электроприводу.

Поскольку в системе автоматического регулирования применяется регулятор ЭДС, являющийся П-регулятором, то неизбежна ошибка по скорости. Величина допустимой ошибки, если следовать технологическим требованиям, 5% от номинального значения. В результате проектирования в среде MATLAB получили тахограмму с величиной ошибки по скорости 1,5%, что полностью удовлетворяет заданным требованиям.

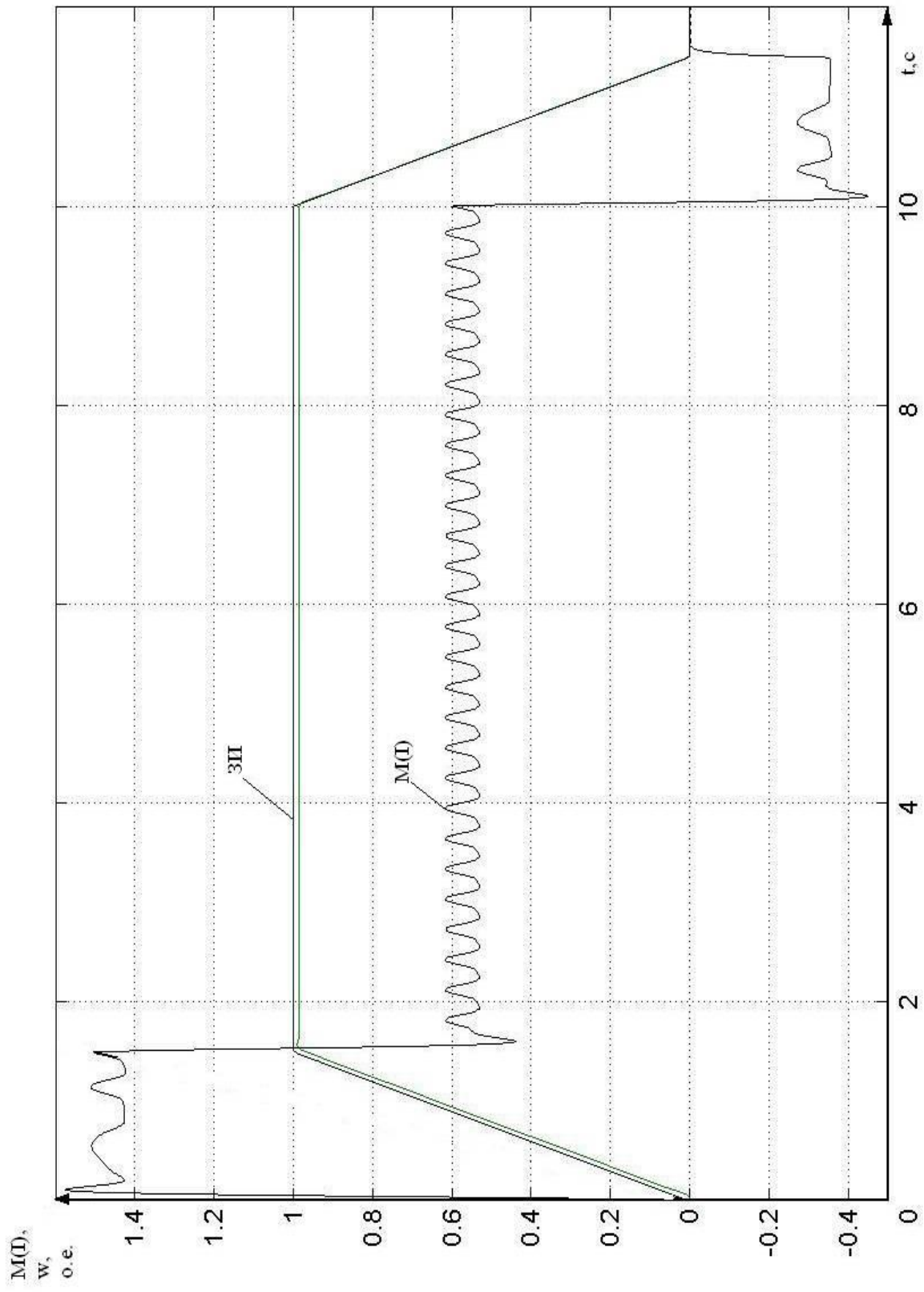


Рисунок 3.9 Нагрузочная диаграмма и тахограмма электропривода

4.7. Расчёт параметров электрической принципиальной схемы системы управления электропривода

4.7.1 Расчёт параметров регулятора тока

Первым рассчитываем параметры регулятора тока. Регулятор тока является ПИ-регулятором. Ниже приведены рисунки для расчёта параметров регулятора тока (рисунок 3.10 и рисунок 3.11).

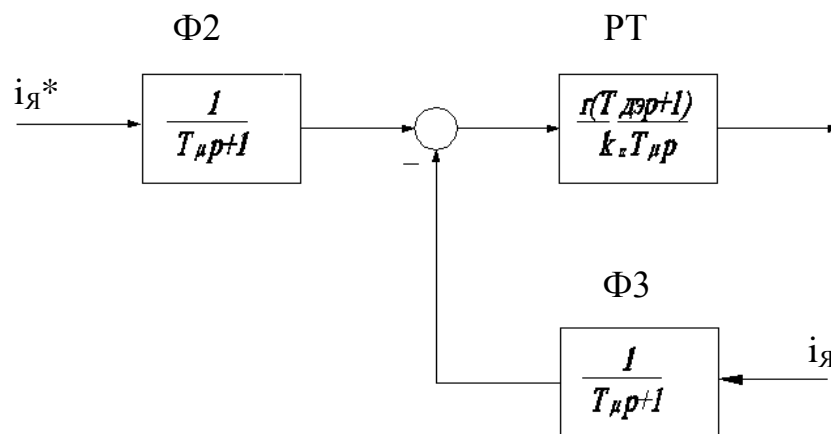


Рисунок 3.10. Функциональная схема регулятора тока

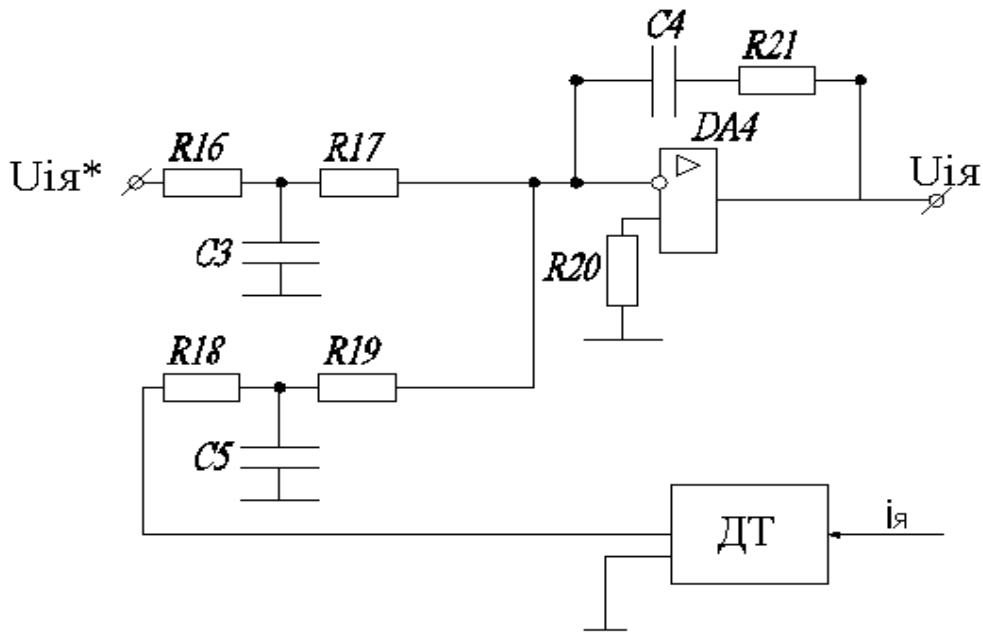


Рисунок 3.11. Принципиальная схема для расчёта регулятора тока

Расчёт ведём исходя из заданных и рассчитанных величин.

$$T_{\mu}=0,002\text{с};$$

$$T_i=2T_{\mu}=0,004\text{с};$$

$$T_{\Sigma}=0,013\text{с};$$

$$K_n=0,688;$$

$$r_{\Sigma}=0,233;$$

$$K_{ДТ}=1.$$

Максимальное значение регулируемых координат и напряжений ограничения регуляторов.

$$u_{ou\ max} = \frac{U_{OV\ max}}{U_{Б.Р.}},$$

$$u_{ou\ max} = \frac{10}{7} = 1,4 .$$

$$i_{я.\ max}^* = i_{я.\ ou} = 2 .$$

где $i_{я.\ max}^*$ - ограничение тока якоря; $u_{ou\ max}$ - максимальное значение напряжения управления преобразователя.

Для расчета используем формулы для общего случая.

$$z_k(p) = \frac{u_{k-1 \max}^*}{x_{k-1 \max}^*} \cdot R_k(p) \cdot z_{Б.Р}(p);$$

$$z_{1k}(p) = \frac{u_{k \max}^*}{x_{k \max}^*} \cdot W_{X^*}^{-1}(p) \cdot z_{Б.Р}(p);$$

$$z_{2k}(p) = K_{Xk} \cdot W_X^{-1}(p) \cdot z_{Б.Р}(p).$$

При $k=1$:

$$z_{11}(p) = \frac{u_{0 \max}^*}{x_{0 \max}^*} \cdot R_1(p) \cdot z_{Б.Р}(p) = \frac{u_{0 \max}^*}{x_{0 \max}^*} \cdot \frac{(T_{\text{Э}} p + 1)}{k_{\text{П}} \cdot r_{\text{Э}}^{-1} \cdot T_i p} \cdot R_{\text{б.р.}} = \frac{R_{\text{OC}} \cdot C_{\text{OC}} + 1}{C_{\text{OC}} p}.$$

Неопределённость выбора R, C разрешается путём использования относительных единиц.

$$z_{1.1}(p) = \frac{u_{1 \max}^*}{x_{1 \max}^*} \cdot W_{X^*}^{-1}(p) \cdot z_{Б.Р}(p) = \frac{u_{0Y \max}}{i_{0Y \max}} \cdot (T_{\mu} p + 1) R_{\text{б.р.}}$$

$$\frac{u_{0Y \max}}{i_{0Y \max}} \cdot (T_{\mu} p + 1) \cdot R_{\text{б.р.}} = 2R_{\text{ex1}}(1 + R_{\text{ex1}} C_{\text{ex1}} p \cdot 0,5)$$

$$z_2(p) = K_{X1} \cdot W_{X1}^{-1}(p) \cdot z_{Б.Р}(p) = k_{\text{дм}} \cdot (T_{\mu} p + 1) \cdot R_{\text{б.р.}} = 2R_{\text{ex2}} \cdot (1 + R_{\text{ex2}} C_{\text{ex2}} p \cdot 0,5)$$

Ёмкость конденсатора в обратной связи.

$$C_{\text{OC}} = \frac{T_i \cdot k_{\text{П}}}{r_{\text{Э}} \cdot R_{\text{Б.Р.}}}$$

где $R_{\text{б.р.}} = \frac{U_{\text{Б.Р.}}}{I_{\text{Б.Р.}}}$,

$$R_{\text{б.р.}} = \frac{7}{0,0007} = 10 \text{ кОм.}$$

$$C_{oc} = \frac{0,004 \cdot 0,688}{0,233 \cdot 10^4} = 1,181 \text{ мкФ},$$

Принимаем значение C_{oc} из стандартного ряда $C_{oc}=2 \text{ мкФ}$.

$$C_{oc} = C4.$$

Активное сопротивление обратной связи.

$$R_{oc} = \frac{T_{\varepsilon}}{C_{oc}},$$

$$R_{oc} = \frac{0,013}{2 \cdot 10^{-6}} = 6,5 \text{ кОм},$$

принимаем R_{oc} из стандартного ряда $R_{oc}=6,5 \text{ кОм}$;

$$R_{oc} = R21.$$

Сопротивление фильтра Ф2:

$$R_{ex1} = \frac{u_{0Y \max}}{2 \cdot i_{0Y \max}} \cdot R_{Б.Р.},$$

$$R_{ex1} = \frac{1,4}{2 \cdot 2} \cdot 10^4 = 3500 \text{ Ом},$$

принимаем $R_{ex1}=3,48 \text{ кОм}$.

$$R_{ex1} = R16 = R17.$$

Ёмкость фильтра Ф2:

$$C_{ex1} = \frac{2 \cdot T_{\mu}}{R_{BX1}},$$

$$C_{ex1} = \frac{2 \cdot 0,004}{3,48 \cdot 10^3} = 1.14 \text{ мкФ},$$

принимаем $C_{ex1}=1,15 \text{ мкФ}$;

$$C_{ex1} = C3.$$

Сопротивление фильтра Ф3:

$$R_{ex2} = \frac{k_{ДТ} \cdot R_{Б.Р.}}{2},$$

$$\text{где } k_{ДТ} = \frac{K_{ДТ} \cdot U_{Б.Р.}}{I_{Б}};$$

$$k_{дт} = \frac{7}{15,3} = 0,458 \text{ В/А.}$$

$$R_{\text{вх}2} = \frac{0,458 \cdot 10^4}{2} = 2287,58 \text{ Ом,}$$

из стандартного ряда $R_{\text{вх}2} = 2,3 \text{ кОм.}$

$$R_{\text{вх}2} = R18 = R19.$$

Ёмкость фильтра Ф3:

$$C_{\text{вх}2} = \frac{2 \cdot T_{\mu}}{R_{\text{вх}2}},$$

$$C_{\text{вх}2} = \frac{2 \cdot 0,002}{2,3 \cdot 10^3} = 1,74 \text{ мкФ,}$$

принимаем $C_{\text{вх}2} = 1,8 \text{ мкФ.}$

$$C_{\text{вх}2} = C5.$$

Сопротивление R20:

$$R_3 = \frac{2 \cdot R_{\text{вх}1} \cdot R_{\text{вх}2} \cdot R_{\text{оц}}}{R_{\text{оц}} \cdot (R_{\text{вх}1} + R_{\text{вх}2}) + 2R_{\text{вх}1} \cdot R_{\text{вх}2}},$$

$$R_3 = \frac{2 \cdot 3,48 \cdot 2,3 \cdot 6,5}{6,5 \cdot (3,48 + 2,3) + 2 \cdot 3,48 \cdot 2,3} = 1,95 \text{ кОм.}$$

$$R_3 = 1,95 \text{ кОм.}$$

$$R_3 = R20.$$

4.7.2 Расчёт параметров датчика ЭДС

Напряжение якорной цепи:

$$U_{\text{яц}} = E_{\delta} + R_{\text{яц}} I_{\text{яц}} + L_{\text{яц}} \frac{di_{\text{я}}}{dt}.$$

Переходим к относительным единицам:

$$U_{\delta} = E_{\delta \text{ ном}}; I_{\delta} = I_{\text{я ном}}; R_{\delta} = U_{\delta} / I_{\delta};$$

$$U_{\delta} = 347,969 \text{ В;}$$

$$I_{\delta} = 15,3 \text{ А;}$$

$$R_{\delta} = 22,743 \text{ Ом.}$$

$$U_{яц} = e_{\delta} + r_{яц}(T_{яц}p + 1)i_{я};$$

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}};$$

$$e_{\delta} = u_{яц} - r_{яц}(T_{яц}p + 1)i_{я}.$$

При введении инерционности:

$$\frac{e_{\delta}}{(T_{дэ}p + 1)} = \frac{u_{яц}}{(T_{дэ}p + 1)} - \frac{r_{яц} \cdot (T_{яц}p + 1) \cdot i_{я}}{(T_{дэ}p + 1)}.$$

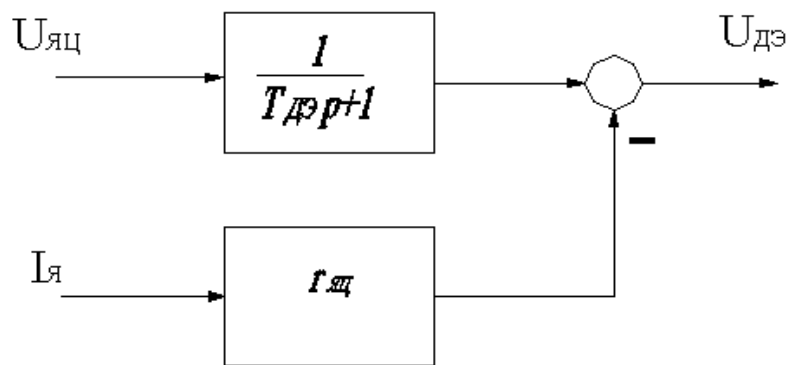


Рисунок 3.12. Функциональная схема датчика ЭДС

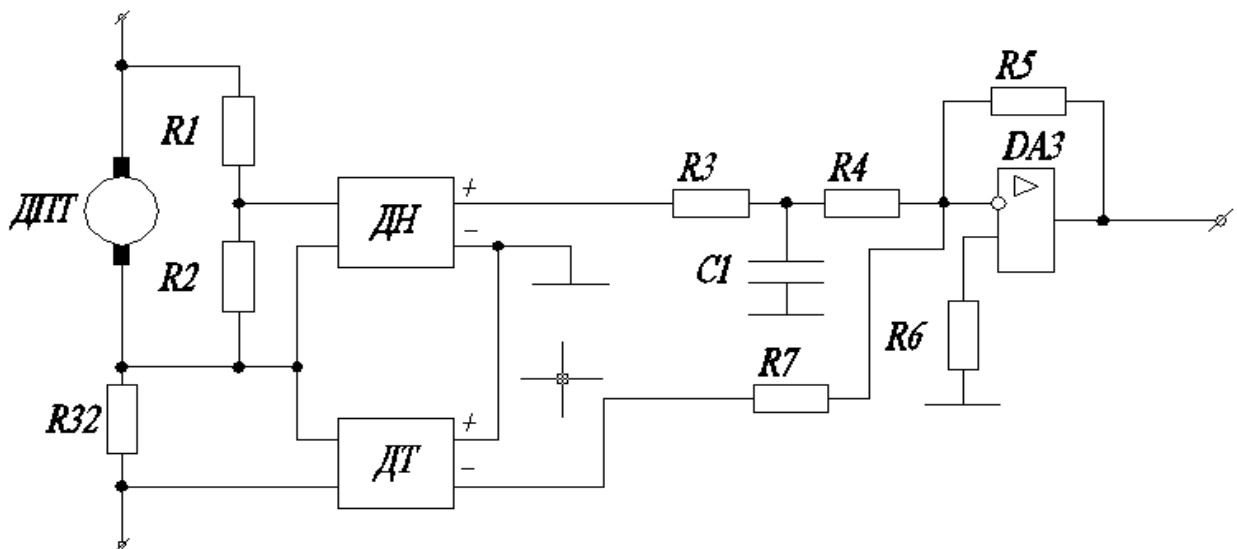


Рисунок 3.13. Электрическая принципиальная схема датчика ЭДС

Напряжение датчика ЭДС:

$$U_{ДЭ} = - \left(\frac{z_{OC}(p) \cdot k_{ДН} \cdot U_{ЯЦ}}{z_{ВХ1}(p)} - \frac{z_{OC}(p) \cdot k_{ДТ} \cdot I_{Я}}{z_{ВХ2}(p)} \right).$$

$$z_{OC}(p) = R_{OC};$$

$$z_{ex.1}(p) = 2R_{ex.1}(1 + R_{ex.1}C_{ex.1}p \cdot 0,5);$$

$$z_{ex.2}(p) = R_{ex.2};$$

Производим нормировку.

$$\frac{U_{ДЭ}}{U_{Б.Р.}} = - \left(\frac{z_{OC}(p) \cdot k_{ДН} \cdot U_{ЯЦ}}{z_{ВХ1}(p) \cdot U_{Б.Р.}} - \frac{z_{OC}(p) \cdot k_{ДТ} \cdot I_{Я}}{z_{ВХ2}(p) \cdot U_{Б.Р.}} \right)$$

$$u_{ДЭ} = - \left(\frac{z_{OC}(p) \cdot k_{ДН} \cdot u_{ЯЦ}}{z_{ВХ1}(p)} - \frac{z_{OC}(p) \cdot k_{ДТ} \cdot i_{Я}}{z_{ВХ2}(p)} \right).$$

Коэффициенты датчиков тока и напряжения.

$$k_{ДН} = k_{ДТ} = 1.$$

Напряжении датчика ЭДС.

$$u_{ДЭ} = - \left(\frac{z_{OC}(p) \cdot u_{ЯЦ}}{z_{ВХ2}(p)} + \frac{z_{OC}(p) \cdot i_{Я}}{z_{ВХ2}(p)} \right).$$

$$\frac{z_{OC}(p)}{z_{ВХ1}(p)} = \frac{1}{T_{ДЭ} + 1};$$

$$\frac{z_{OC}(p)}{z_{ВХ2}(p)} = r_{ЯЦ}.$$

Зададимся $R_{ex.2} = R_{б.р.} = 10$ кОм.

Сопротивление обратной связи.

$$R_{OC} = r_{ЯЦ} \cdot R_{ex.2};$$

$$R_{oc}=0,233 \cdot 10^4 = 2,33 \text{ кОм (стандарт).}$$

$$R_{oc}=R5.$$

Сопротивление датчика ЭДС.

$$\frac{R_{oc}}{2R_{BX1} \cdot \left(1 + \frac{R_{BX1} \cdot C_{BX1P}}{2}\right)} = \frac{1}{(T_{ДЭ}P + 1)};$$

$$\frac{R_{oc}}{R_{BX1}} = 1;$$

$$R_{ex.1} = R_{oc} \cdot 0,5;$$

$$R_{ex.1} = 2,33 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 1,165 \text{ кОм.}$$

Стандартное значение $R_{BX.1} = 1,17 \text{ кОм.}$

$$R_{ex.1} = R3 = R4.$$

Ёмкость датчика ЭДС.

$$R_{ex.1} C_{ex.1} \cdot 0,5 = T_{ДЭ};$$

$$C_{ex.1} = \frac{2T_{ДЭ}}{R_{BX1}}.$$

$$C_{ex.1} = \frac{2 \cdot 0,013}{1,17 \cdot 10^3} = 22,2 \text{ мкФ,}$$

принимаем $C_{ex.1} = 22 \text{ мкФ.}$

$$C_{ex.1} = C1.$$

Сопротивление $R6$.

$$R_3 = \frac{2 \cdot R_{BX1} \cdot R_{BX2} \cdot R_{oc}}{R_{oc} \cdot (R_{BX1} + R_{BX2}) + 2R_{BX1} \cdot R_{BX2}};$$

$$R_3 = \frac{2 \cdot 1,17 \cdot 10 \cdot 2,33}{2,33 \cdot (1,17 + 10) + 2 \cdot 1,17 \cdot 10} = 1,127 \text{ кОм.}$$

4.7.3 Расчёт параметров регулятора ЭДС

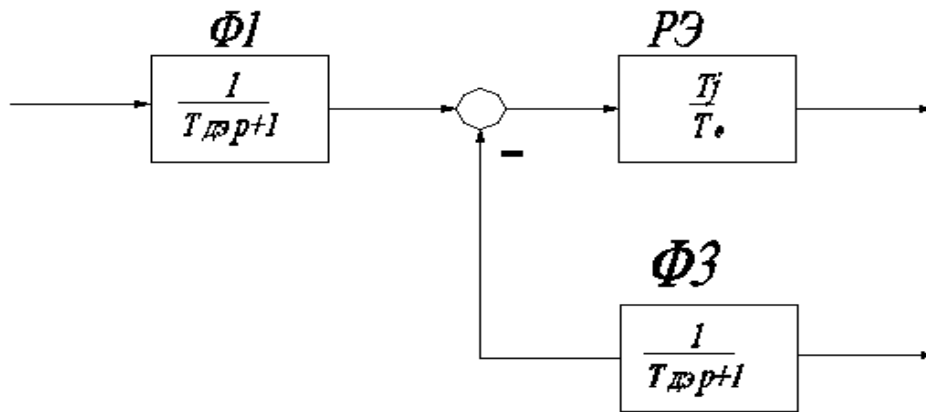


Рисунок 3.14. Функциональная схема регулятора ЭДС

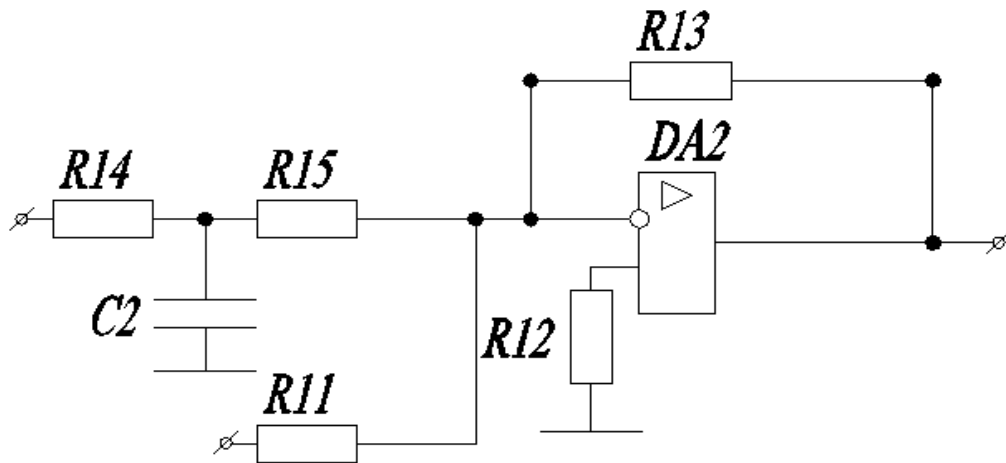


Рисунок 3.15. Электрическая принципиальная схема регулятора ЭДС

$$T_j = 1,336 \text{ с};$$

С учётом инерционности датчика ЭДС постоянная времени контура регулирования ЭДС равна

$$T_e = 2(T_{ДЭ} + T_i),$$

$$T_e = 2(0,013 + 0,004) = 0,034 \text{ с}.$$

$$K_{ДЭ} = 1;$$

$$z_2(p) = \frac{u_{1\max}^*}{x_{1\max}^*} \cdot R_2(p) \cdot z_{Б.Р.}(p) = \frac{u_{ОУ\max}^* \cdot T_j \cdot R_{Б.Р.}}{i_{Я\max}^* \cdot T_e} = \frac{R_{ОС}}{R_{ВХ2}}.$$

Сопротивление обратной связи:

$$R_{oc} = \frac{T_j \cdot R_{BX2}}{Te \cdot \varphi};$$

$$R_{oc} = \frac{1,336 \cdot 10}{0,034} = 392,94 \text{ кОм.}$$

$$R_{OC} = R13.$$

Сопротивления фильтра Ф1.

$$z_{2.1}(p) = \frac{u_{2\max}^*}{x_{2\max}^*} \cdot W_{X2}^{-1}(p) \cdot z_{Б.Р.}(p) = \frac{u_{OY\max}^* \cdot (T_{ДЭ} p + 1) \cdot R_{Б.Р.}}{i_{0Я\max}^*};$$

$$\frac{u_{OY\max} \cdot (T_{ДЭ} p + 1) \cdot R_{Б.Р.}}{i_{0Я\max}} = 2R_{ex1}(1 + 0.5 \cdot R_{ex1} C_{ex1} p);$$

$$2R_{ex1} = \frac{u_{OY\max} R_{Б.Р.}}{i_{0Я\max}};$$

$$R_{ex1} = \frac{u_{OY\max} R_{Б.Р.}}{2 \cdot i_{0Я\max}}.$$

$$R_{ex1} = \frac{1,4 \cdot 10^4}{2 \cdot 2} = 3,5 \text{ кОм}$$

$$R_{ex1} = R14 = R15.$$

Выбираем стандартный МЛТ резистор с $R_{ex1} = 3,48 \text{ кОм}$.

Ёмкость фильтра Ф1.

$$C_{ex1} = \frac{2 \cdot T_{ДЭ}}{R_{BX1}};$$

$$C_{ex1} = \frac{2 \cdot 0,013}{3480} = 7,472 \text{ мкФ.}$$

$$C_{ex1} = C2.$$

$$z_{2.2}(p) = K_{X2} W_{X2}^{-1}(p) z_{Б.Р.}(p) = k_{ДЭ} \cdot W_{X2}^{-1}(p) z_{Б.Р.}(p);$$

$$z_{2.2}(p) = k_{ДЭ} R_{б.р.};$$

$$z_{2.2}(p) = 10 \text{ кОм.}$$

$$z_{2.2}(p) = R_{ex2} = 10 \text{ кОм.}$$

Сопротивление R12.

$$R_3 = \frac{2 \cdot R_{BX1} \cdot R_{BX2} \cdot R_{OC}}{R_{OC} \cdot (R_{BX1} + R_{BX2}) + 2R_{BX1} \cdot R_{BX2}} ;$$

$$R_3 = \frac{2 \cdot 3,48 \cdot 10 \cdot 392,94}{392,94 \cdot (3,48 + 10) + 2 \cdot 3,48 \cdot 10} = 5,09 \text{ кОм.}$$

Стандартное значение: $R_3 = 5,1 \text{ кОм.}$

$$R_3 = R12.$$

4.7.4 Расчёт инвертора в цепи датчика тока

Инвертор в цепи датчика тока нужен для того чтобы обратная связь по току была отрицательной.

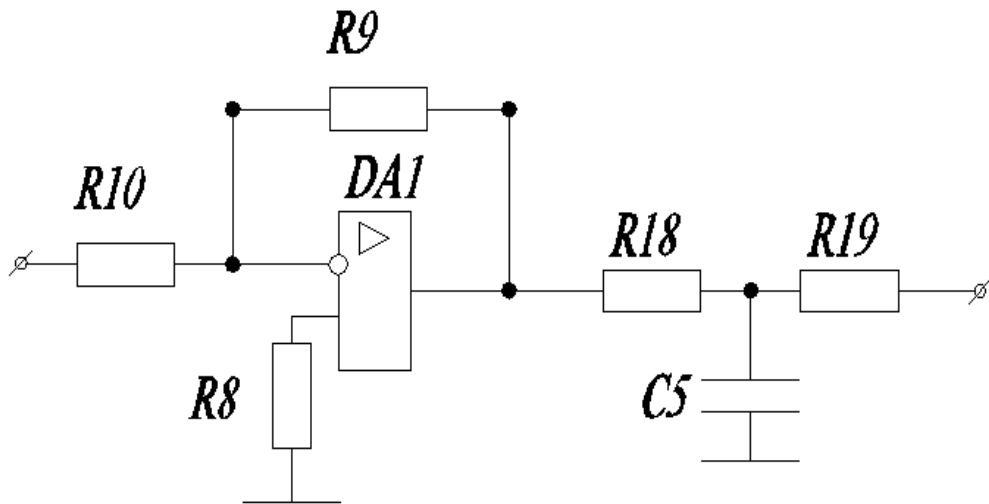


Рисунок 3.16. Электрическая принципиальная схема инвертора

Инвертор является обычным пропорциональным звеном.

$$R9 = R10 = R_{\sigma.p.} = 10 \text{ кОм.}$$

$$R3 = \frac{R9 \cdot R10}{(R9 + R10)} ;$$

$$R3 = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5 \text{ кОм;}$$

$$R3 = R8 = 5 \text{ кОм.}$$

4.7.5. Выбор датчиков

Датчик ЭДС, используемый в нашей системе управления, берёт сигналы с датчиков тока и напряжения.

Коэффициент датчика напряжения:

$$K_{ДН}=1;$$

$$k_{ДН}=K_{ДН} \frac{U_{Б.Р.}}{U_B};$$

$$k_{ДН} = \frac{7}{347,969} = 0,02.$$

Выбираем ячейку датчика напряжения.

Ячейка УБСР-АИ типа РГЗАИ с коэффициентом передачи $k_{ядн}=1$.

$$U_{вх} = 10В, U_{вых} = 10В.$$

Аналогично выбираем ячейку датчика тока.

Ячейка УБСР-АИ типа РГЗАИ с коэффициентом передачи $k_{ядт}=1$.

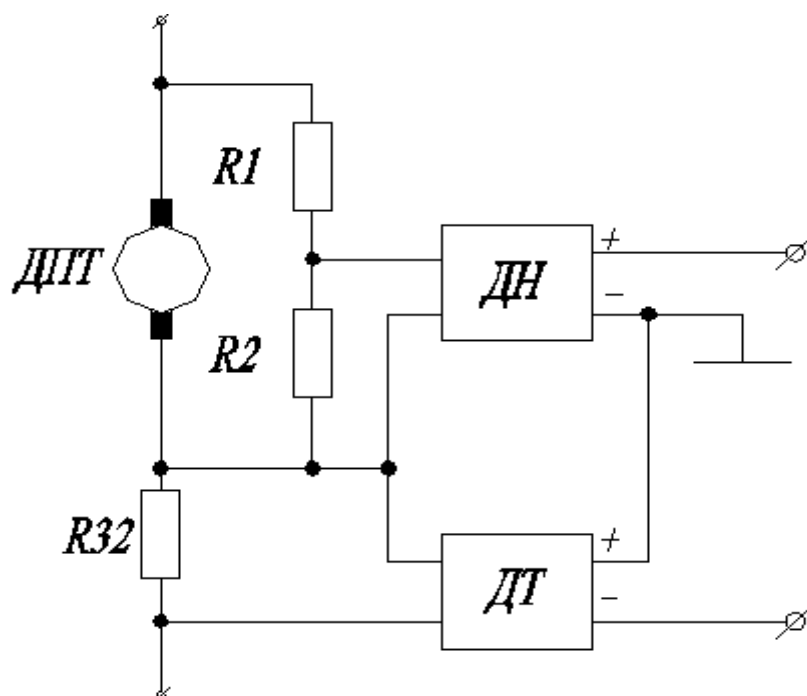


Рисунок 3.17.Схема подключения датчика тока и датчика напряжения

Выбираем сопротивления по мощности и по величине.

$$U_{R2} = U_{я} \cdot k_{дел};$$

$$U_{R2} = 400 \cdot 0,02 = 8 \text{ В};$$

$$U_{R1} = 400 - 8 = 392 \text{ В};$$

$$P_{R1} = P_{R2} = 5 \text{ Вт};$$

Сопротивление R1:

$$R1 = \frac{U_{R1}^2}{P_{R1}};$$

$$R1 = \frac{392^2}{5} = 30,733 \text{ кОм}.$$

Выбираем резистор из стандартного ряда R1=30,7 кОм.

$$R2 = \frac{U_{R2}^2}{P_{R2}};$$

$$R2 = \frac{8^2}{5} = 12,8 \text{ Ом};$$

Выбираем резистор МЛТ на 12 Ом.

Выводы по разделу 4: в данной главе был произведен анализ силовой части электропривода как объекта управления, построена функциональная, структурная схемы системы управления электроприводом, был рассмотрен синтез передаточных функций регуляторов, и рассчитаны параметры электрической принципиальной схемы.

5. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ

5.1. Описание контроллера *SIMATIC S7-400*

5.1.1. Общие данные

S7-400 характеризуется следующими показателями:

- Скоростное выполнение команд.
- Простота настройки параметров.
- Оперативное управление и мониторинг: в операционную систему *S7-400* встроены удобные функции обслуживания устройств человеко-машинного интерфейса.
- Диагностические функции: интеллектуальная система диагностических функций постоянно контролирует состояние центрального процессора, регистрирует возникновение ошибок и появление определенных событий.
- Парольная защита.
- Переключатель режимов работы.
- Системные функции.

5.1.2. Область применения

SIMATIC S7-400 - это мощный программируемый контроллер для построения систем управления средней и высокой степени сложности.

Модульная конструкция, работа с естественным охлаждением, гибкие возможности расширения, мощные коммуникационные возможности, простота создания распределенных систем управления и удобство обслуживания делают *SIMATIC S7-400* идеальным средством для решения практически любых задач автоматизации.

Основными областями применения *SIMATIC S7-400* являются:

- машиностроение
- автомобильная промышленность
- складское хозяйство
- инструментальные средства
- технологические установки
- измерительные и управляющие системы
- текстильные машины
- упаковочные машины
- производство контроллеров
- специальные машины.

Несколько типов центральных процессоров различной производительности и широкий спектр модулей с множеством встроенных функций существенно упрощают разработку систем автоматизации на основе *SIMATIC S7-400*.

Если алгоритмы управления становятся более сложными и требуют применения дополнительного оборудования, контроллер позволяет легко нарастить свои возможности установкой дополнительного набора модулей.

SIMATIC S7-400 отвечает требованиям целого ряда международных и национальных стандартов:

- *DIN; EN; IEC*
- Сертифицирован *UL*
- Сертифицирован *CSA*
- *FM* класс 1, раздел 2; группы *A, B, C* и *D*;
Температурная группа *T4* (135 °C)
- Сертификат соответствия Госстандарта России № РОСС DE.АЯ46.В43188 от 24.01.2000г., подтверждающий соответствие программируемых контроллеров *SIMATIC®* и их компонентов требованиям стандартов ГОСТ Р 50377-92 (стандарт в целом), ГОСТ Р 50948-96 (р.4, т. В1, т. В1, п.п. 4, 5,

7, 8, 10, 17, 18), ГОСТ 29125-91 (п. 2.8), ГОСТ Р 50839-95 (р. 4), ГОСТ 29218-91 (р. 2)

- Сертификаты для судостроения

- *American Bureau of Shipping*

- *Bureau Veritas*

- *Des Norske Veritas*

- *Germanischer Lloyd*

- *Lloyds Register of Shipping*

Допустимый диапазон рабочих температур 0 ... 60°C, сейсмостойкость.

5.1.3. Дизайн

Основные сведения.

Система автоматизации *S7-400* имеет модульную конструкцию. Она может комплектоваться широким спектром модулей, устанавливаемых в любом сочетании.

Система включает в свой состав:

- Модули блоков питания (*PS*): используются для подключения *SIMATIC S7-400* к источникам питания =24/ 48/ 60/ 120/ 230В или ~120/ 230В.
- Модули центральных процессоров (*CPU*): в составе контроллера могут использоваться центральные процессоры различной производительности. Все центральные процессоры оснащены встроенными интерфейсами *PROFIBUS-DP*. При необходимости, в базовом блоке контроллера может быть использовано до 4 центральных процессоров.
- Сигнальные модули (*SM*): для ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов.
- Коммуникационные модули (*CP*): для организации последовательной передачи данных по *PPI* интерфейсу, а также сетевого обмена данными.

- Функциональные модули (*FM*): для решения специальных задач управления, к которым можно отнести счет, позиционирование, автоматическое регулирование и т.д.

При необходимости в составе *S7-400* могут быть использованы:

- Интерфейсные модули (*IM*): для связи базового блока контроллера со стойками расширения. К одному базовому блоку контроллера *SIMATIC S7-400* может подключаться до 21 стойки расширения.
- Модули *SIMATIC S5*: все модули ввода-вывода контроллеров *SIMATIC S5-115U/-135U/-155U* могут устанавливаться в соответствующие стойки расширения *SIMATIC S5*. Кроме того, модули специального назначения IP и WF могут использоваться как в стойках *SIMATIC S5*, так и в базовом блоке контроллера *SIMATIC S7-400* (подключение через адаптер).

SIMATIC S7-400 является универсальным контроллером.

- Он отвечает самым жестким требованиям промышленных стандартов, обладает высокой степенью электромагнитной совместимости, высокой стойкостью к ударным и вибрационным нагрузкам. Модули могут устанавливаться и меняться без отключения питания контроллера (горячая замена).

Конструкция.

Простота конструкции *S7-400* существенно повышает его эксплуатационные характеристики:

- Простота установки модулей.
- Внутренняя шина, встроенная в монтажные стойки.
- Простая и безошибочная замена модулей, благодаря использованию механического кодирования.
- Хорошо зарекомендовавшая себя система соединений.

- TOP соединители: заранее подготовленная система 1-, 2- и 3-проводных соединителей с терминалами, оснащенными контактами с винтовыми зажимами или пружинными контактами.
- Фиксированная монтажная глубина: все терминалы и соединительные проводники располагаются в специальных отсеках модулей и закрываются защитными крышками. Все модули имеют одинаковую монтажную глубину.
- Свободное размещение модулей в разъемах всех монтажных стоек контроллера без ограничений на порядок их размещения.

5.1.4. Расширение

При решении сложных задач автоматического управления система автоматизации *S7-400* может быть расширена.

- До 21 стойки расширения: к базовому блоку контроллера (*CC*) может подключаться до 21 стойки расширения (*EU*). Подключение может выполняться по схемам локальной и распределенной конфигураций системы ввода-вывода.
- Подключение через интерфейсные модули (*IM*): связь между *CC* и *EU* устанавливается с помощью передающих и приемных интерфейсных модулей *IM*. В базовый блок контроллера может устанавливаться до 6 передающих интерфейсных модулей, в каждую стойку расширения устанавливается по одному приемному интерфейсному модулю. Каждый передающий интерфейсный модуль снабжен двумя интерфейсами, к которым может подключаться две линии связи (по одной на интерфейс).
- Расширение локальной системы ввода-вывода: рекомендуется в случаях размещения базового блока и стоек расширения на небольших расстояниях друг от друга, например, в одном шкафу управления. К каждому интерфейсу передающего интерфейсного модуля может подключаться до 4

стоек расширения. При необходимости через интерфейсные модули может подаваться питание $\approx 5\text{В}$ от блока питания базового блока к стойкам расширения. Максимальное расстояние между базовым блоком и последней стойкой расширения на линии может достигать 1.5 м (при питании стоек расширения напряжением $\approx 5\text{ В}$ от базового блока) или 3 м (при питании модулей стоек расширения напряжением $\approx 5\text{ В}$ от собственных блоков питания).

- Распределенная конфигурация ввода-вывода: рекомендуется в случаях разнесенного размещения базового блока и стоек расширения. К каждому интерфейсу передающего интерфейсного модуля может подключаться до 4 стоек расширения. В конфигурации могут применяться как стойки расширения *S7-400*, так и стойки расширения *SIMATIC® S5*. Максимальное расстояние от базового блока контроллера до последней стойки расширения на линии может достигать: для стоек расширения *S7* - 100 м, для стоек расширения *S5* - 600 м. При построении систем расширения должны выполняться следующие правила:
 - К одному базовому блоку (*CC*) может быть подключено не более 21 стойки расширения (*EU*).
 - Каждый базовый блок может содержать не более 6 передающих интерфейсных модулей; не более двух из этих модулей могут содержать цепи 5В питания для стоек расширения.
 - Максимальное расстояние между базовым блоком и стойкой расширения *S7* равно 100 м.
 - Обмен данными по К-шине может быть организован между базовым блоком и только 6 стойками расширения (*EU 1 ... EU 6*).
 - Все модули блоков питания устанавливаются в крайние левые разъемы соответствующих монтажных стоек базового блока и стоек расширения.
- Распределенные конфигурации ввода-вывода со станциями *ET 200*: рекомендуется в случаях размещения оборудования на больших площадях.

К одному встроенному интерфейсу *PROFIBUS-DP* центрального процессора может подключаться линия со 125 сетевыми узлами. Максимальное расстояние между базовым блоком и последней станцией распределенного ввода-вывода *ET 200* может достигать 23 км (через оптоволоконный кабель).

5.1.5. Связь

SIMATIC S7-400 поддерживает множество вариантов организации промышленной связи:

- Комбинированный интерфейс *MPI/ PROFIBUS-DP*, встроенный во все центральные процессоры: для подключения программаторов/ компьютеров, систем человеко-машинного интерфейса, программируемых контроллеров *S7-200*, *S7-300*, других систем автоматизации *S7-400*.
- Дополнительный интерфейс *PROFIBUS-DP*: используется для организации связи со станциями распределенного ввода-вывода *ET 200*. Различные типы центральных процессоров имеют от 1 до 3 дополнительных интерфейсов *PROFIBUS-DP*.
- Коммуникационные модули для организации связи по сетям *PROFIBUS* и *Industrial Ethernet*.
- Коммуникационные модули для организации эффективной связи по PPI соединениям.

Центральные процессоры и коммуникационные модули поддерживают следующие виды связи:

- Связь с процессом: для циклического обслуживания модулей ввода-вывода по сети (*PROFIBUS-DP*).
- Обмен данными: для обмена данными между программируемыми контроллерами, станциями и системами человеко-машинного интерфейса,

другими системами автоматизации. Обмен данными может выполняться циклически или по прерываниям через блоки в программе пользователя.

Связь с процессом через *PROFIBUS-DP*.

SIMATIC S7-400 может подключаться к сети *PROFIBUS-DP* через встроенный интерфейс центрального процессора и выполнять функции ведущего сетевого устройства.

В качестве ведущих устройств *PROFIBUS-DP* могут быть использованы:

- *SIMATIC S7-400 (CPU, CP 443-5, IM 467)*.
- *SIMATIC S7-300 (CPU, CP 342-5 или CP 343-5)*.
- *SIMATIC C7* (через встроенный интерфейс *PROFIBUS-DP*, *CP 342-5* или *CP 343-5*).
- *SIMATIC S5-115U/H, S5-135U и S5-155U/H с IM 308*.
- *S5-95U* с встроенным интерфейсом *PROFIBUS-DP*.
- *SIMATIC 505* с встроенным интерфейсом *PROFIBUS-DP*.

В качестве ведущих сетевых устройств могут быть использованы программаторы/ компьютеры с установленным пакетом *STEP 7* или панели оператора. Однако перечисленные изделия в сети *PROFIBUS-DP* способны выполнять только *MPI* функции.

В качестве ведомых устройств *PROFIBUS-DP* могут применяться:

- Станции распределенного ввода-вывода *ET 200*.
- Устройства полевого уровня.
- *SIMATIC S7-200/ -300*.
- Центральные процессоры *SIMATIC S7-400* с операционной системой от *V3*.
- *C7-633/P DP, C7-633 DP, C7-634/P DP, C7-634 DP, C7-626 DP, C7-635*.
- *SIMATIC S7-400*, подключаемые через *CP 443-5*.

5.2. Алгоритм программы и программа на S7 для электропривода механизма качания кристаллизатора

Механизм предназначен для сообщения кристаллизатору возвратно-поступательного движения по дуге, совпадающей с технологической осью МНЛЗ, с целью предотвращения зависания корочки слитка на стенках кристаллизатора.

В режиме разливки частота качания может задаваться двумя способами:

- вводом заданной частоты качания с компьютера главного пульта управления,
- вводом заданного коэффициента зависимости частоты качания от скорости ручья.

$$F=V\cdot k,$$

где F – частота качаний, 1/мин;

V – скорость разливки, м/мин;

k – задаваемый коэффициент.

В ручном режиме частота качания определяется заданным значением с компьютера пульта управления.

При разливке, когда частота качаний вычисляется через коэффициент по скорости, действуют ограничения максимальной и минимальной частоты. Эти ограничения также задаются с компьютера пульта управления.

В ручном режиме механизм качания кристаллизатора включается и выключается с локального пульта управления, который находится в непосредственной близости от механизма, с пульта разливщика.

В автоматическом режиме механизм качания кристаллизатора включается совместно с тянуще-правильной машиной.

Выводы по разделу 5: была рассмотрена достоинства, дизайн и область применения контроллера *SIMATIC S7-400* и методы его работы для электропривода механизма качания кристаллизатора.

6. РАСЧЁТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

6.1. Введение.

В данном проекте рассматривается замена морально и физически устаревшего оборудования на новое, давно зарекомендовавшее себя во всём мире и в нашей стране. Речь идёт о замене электроприводов постоянного тока испанской фирмы *TEAM MOTOCON* 1987 года выпуска на новые электропривода фирмы *SIEMENS SIMOREG DC MASTER*.

Замена оборудования будет производиться как на проектируемом мной электроприводе механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), так и на тянуще-правильных машинах, что обусловлено технологией производства стали. Замена вызвана моральным и физическим старением испанского оборудования, его неремонтопригодностью и простоями, связанными с авариями и поломками данных агрегатов.

Установка электроприводов постоянного тока типа *SIMOREG DC MASTER 6RA7025-6DV62-0-Z* на 50А , 400В позволит исключить простои оборудования при правильной эксплуатации в течение 10 лет.

Стоит отметить, что и новые, и заменяемые агрегаты являются приводами постоянного тока одной мощности, и оперировать экономией электроэнергии при такой замене мы не можем.

Для того чтобы показать экономический эффект от введения нового оборудования будем оперировать валовой прибылью предприятия от производства металлических заготовок.

6.2. Простои оборудования и потери валовой прибыли.

Рассматриваемый нами производственный комплекс при разливке в полном объёме рассчитан на производство 1млн. тонн металла в год.

Себестоимость 1тонны металла составляет 8000рублей.

Выходная цена 1тонны металла составляет 12000рублей.

Валовая прибыль с продажи 1тонны металла соответственно составит:

$$12000-8000=4000 \text{ (рублей).}$$

Планируемая валовая прибыль за год составляет 4млрд. рублей.

Планируемое производство металла в месяц составляет 83333тонны (при разливке на 6-ти ручьях).

В среднем простои старого оборудования приводят к тому, что мы теряем в среднем 1ручей в месяц. Следовательно, разливка ведётся на 5-ти ручьях круглый год. Недопроизводство металла составит 166667 тонн за год. При таком режиме работы теряется одна шестая запланированной валовой прибыли, что составляет 66667тыс. рублей за год.

Машина имеет 6 ручьёв, на каждом из которых установлены индивидуальные привода механизма качания кристаллизатора и тянуще-правильной машины. При работе на старом оборудовании отказ ручья по вине привода имеет очень большую вероятность, что и подтверждается на практике. Ниже приведена таблица работы машины непрерывного литья заготовок на старом оборудовании.

Время работы старого оборудования.

Таблица 6.1.

| | Январь 2004 | Февраль 2004 | Март 2004 |
|------------------------------|-------------|--------------|-----------|
| Работа на 6-ти ручьях, часов | 120 | 202 | 158 |
| Работа на 5-ти ручьях, часов | 468 | 324 | 408 |
| Работа на 4-х ручьях, часов | 132 | 194 | 154 |

При работе машины непрерывного литья заготовок (далее МНЛЗ) на полную мощность используются все 6 ручьёв. Как видно из таблицы 6.1., недоиспользование МНЛЗ составляет в среднем одну шестую мощности в месяц, то есть круглый год разливка идёт на пяти ручьях.

6.3. Капитальные затраты и сроки выполнения работ.

Во избежание дополнительных простоев оборудования, связанных с растягиванием во времени процесса проектирования, поставки, установки и наладки нового оборудования, а также демонтажа старого, воспользуемся пакетом услуг, включающим в себя все эти работы. Данный пакет услуг предоставляет екатеринбургская фирма Автоматизированные Системы и Комплексы.

Единовременные затраты.

| | |
|--|-----------------------|
| - Приводы постоянного тока (<i>SIEMENS SIMOREG DC MASTER 6RA7025</i>) на 50А, 400В – 12шт. | 43200евро (1512000р.) |
| - Проект, поставка, наладка, демонтаж | 24900евро (871500р.) |
| -Итого | 68100евро (2383500р.) |

Сроки выполнения работ зависят от количества одновременно работающих бригад.

При замене приводов одного ручья требуется один месяц работы одной бригады специалистов, в таком случае замена оборудования будет длиться 6 месяцев, в течение которых будут заменены все привода всех 6-ти ручьёв, но разливка будет вестись на 5-ти ручьях. Можно также рассмотреть варианты работы 2-х бригад (3 месяца, разливка на 4-х ручьях), 3-х бригад(2 месяца, разливка на 3-х ручьях) и 6-ти бригад (полная остановка производства на 1 месяц).

Во всех случаях потери валовой прибыли будут одинаковыми за год, но различие состоит в том, что в течение месяцев(1-го, 2-х, 3-х ...6-ти) простои оборудования будут различными. Для наглядности расчёт потерь валовой прибыли, при различных вариантах замены оборудования, сведён в таблицу 6.2.

Таблица потерь валовой прибыли при замене оборудования при разных вариантах работы .

Таблица 6.2.

| | 1 мес. | 2 мес. | 3 мес. | 4 мес. | 5 мес. | 6 мес. | Итого |
|------|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1бр. | 55555,555 тыс.руб. | 55555,555 тыс.руб. | 55555,555 тыс.руб. | 55555,555 тыс.руб. | 55555,555 тыс.руб. | 55555,555 тыс.руб. | 333333,333 тыс. руб. |
| 2бр. | 111111,111 тыс. руб. | 111111,111 тыс. руб | 111111,111 тыс. руб | 0 | 0 | 0 | 333333,333 тыс. руб |
| 3бр. | 166666,666 тыс. руб. | 166666,666 тыс. руб | 0 | 0 | 0 | 0 | 333333,333 тыс. руб |
| 6бр. | 333333,333 тыс. руб. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 333333,333 тыс. руб |

Как видно из таблицы 6.2. работа 6-ти бригад даст дефицит валовой прибыли только в первый месяц, но это означает полную остановку производства на целый месяц. Первый вариант (работает одна бригада) позволит минимизировать потери валовой прибыли ежемесячно, но останется вероятность отказа более одного привода, что при аварии создаст дополнительные потери.

Самым приемлемым вариантом остаётся работа 3-х бригад в течение 2-х месяцев. Это обуславливается вероятностью отказа устаревшего оборудования. В течение первого месяца, когда будет производиться смена приводов на первых 3-х ручьях, мы получим резерв оборудования на оставшиеся 3 ручья, привода на которых будут заменены в последующий месяц.

6.4. Расчёт экономической эффективности внедрения нового оборудования.

Потери валовой прибыли от простоев старого оборудования составили 666667 тыс. рублей за год.

При принятии варианта замены старого оборудования с работой 3-х бригад одновременно получаем потери валовой прибыли только в первые два месяца, когда производится замена. В остальное время потери валовой прибыли по вине электропривода исключаются (при правильной эксплуатации оборудования) благодаря высокому коэффициенту надёжности работы электроприводов фирмы *SIEMENS*.

Затраты на покупку, транспортировку и установку нового оборудования 2383500р.

Экономический эффект состоит в экономии потерь валовой прибыли от простоев старого оборудования и составляет 333333,333 тыс. рублей в год. Стоит отметить, что данный экономический эффект возможен лишь в идеальном случае, когда бесперебойная работа ручья достигается лишь заменой оборудования, относящегося к электроприводу. На самом же деле бесперебойная работа ручья достигается надёжной работой целого спектра агрегатов и слаженным функционированием различных служб. По независимым от электропривода причинам простои оборудования достигают, если считать в среднем, до 0,5 ручья в месяц. В этом случае в течении года будут иметь место дополнительные потери, которые отражены в таблице 6.3. и составляют 27181,903 рублей ежемесячно.

Реальный экономический эффект составляет 7150,502 тыс. рублей за первый год.

Таблица сравнения потерь валовой прибыли при работе на старом оборудовании и при замене старого оборудования на новое.

Таблица 6.3.

| | Потери валовой прибыли при старом оборудовании, тыс. рублей | Потери валовой прибыли при установке и закупке нового оборудования, тыс. рублей |
|--------------------------|---|---|
| 1мес. | 55555,556 | 193848,570 |
| 2мес. | 55555,556 | 193848,570 |
| 3мес. | 55555,556 | 27181,903 |
| 4мес. | 55555,556 | 27181,903 |
| 5мес. | 55555,556 | 27181,903 |
| 6мес. | 55555,556 | 27181,903 |
| 7мес. | 55555,556 | 27181,903 |
| 8мес. | 55555,556 | 27181,903 |
| 9мес. | 55555,556 | 27181,903 |
| 10мес. | 55555,556 | 27181,903 |
| 11мес. | 55555,556 | 27181,903 |
| 12мес. | 55555,556 | 27181,903 |
| Итого за год, тыс. руб. | 666666,672 | 659516,170 |
| Эффект за год, тыс. руб. | | 7150,502 |

Срок окупаемости в данном случае рассчитывается по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K}{\mathcal{E}},$$

Где K – капитальные затраты, руб.; \mathcal{E} – экономия, руб/год.

$$T_{ок} = \frac{2383500}{7150502} = 0,333 \text{ (года)}.$$

Выводы по разделу 6: по окончании расчётов делаем вывод, что замена морально и физически устаревшего оборудования на новое оборудование фирмы SIEMENS даёт экономию потерь валовой прибыли от производства металлических заготовок. Срок окупаемости составляет 4 месяца. Экономический эффект достигается за счёт уменьшения потерь производства металла путём установки нового оборудования с высоким коэффициентом надёжности.

7. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

7.1. Введение

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка автоматизированного электропривода механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Безопасность и безаварийная эксплуатация систем электроснабжения и многочисленных электроприёмников ставят разнообразные задачи по охране труда. Здоровье и безопасные условия труда электротехнического персонала и работников, эксплуатирующих электрифицированные производственные установки, обеспечиваются научно-обоснованными правилами и нормами, как при проектировании и монтаже, так и при эксплуатации.

В настоящее время на большинство опасных и вредных производственных факторов, на все виды производственного оборудования и все виды технологических процессов разработаны и введены в действие государственные стандарты безопасности труда.

Общие требования безопасности к производственному оборудованию во всех отраслях народного хозяйства установлены стандартами. Согласно стандартам безопасность оборудования обеспечивается:

- конструкцией электроустановок,
- техническими способами и средствами защиты,
- организационными и техническими мероприятиями.

Так же стандарт устанавливает требования, обеспечивающие защиту не только рабочих, но и окружающей природной среды.

Производственное оборудование не должно загрязнять выбросами вредных веществ воздух, почву, водоемы, оно должно иметь встроенные устройства для удаления выделяющихся в процессе работы вредных, пожароопасных и взрывоопасных веществ.

Безупречная организация безопасности труда возможна только при условии постоянного анализа опасных производственных факторов и систематизирования инженерно-технических средств, обеспечивающих безопасность производственных процессов и оборудования. Все эти данные должны содержаться в Паспорте санитарно-технического состояния условий труда в цехе. В Паспорте представлены сведения об оградительных устройствах, блокировках, сигнализирующих устройствах, средствах защиты от электрического тока, различных видов излучений, шума, вибрации и ультразвука, а также о средствах защиты от загрязнения воздушной среды помещений и средствах защиты окружающей среды.

7.2. Краткая характеристика производственного помещения

Механизм качания кристаллизатора находится в подсобном помещении на верхней части МНЛЗ. Привод же данного механизма находится в специальном электропомещении в специально оборудованном шкафу.

Машина непрерывной разливки стали характеризуется следующими основными опасностями и вредностями:

- обрабатываемый металл имеет температуру разливки 1440°С и разливается с большой скоростью;
- обработка горячего металла сопровождается возникновением окалины, которая с парами воды содержится в воздухе в виде пыли;

- для уменьшения трения между обрабатываемым металлом и инструментом используется соль и соду, которые также присутствуют в окружающей среде агрегата;
- большое количество вращающихся тел;
- для участка характерна разветвленная сеть электрических цепей различных напряжений;
- участок имеет развитое маслохозяйство;
- опасность травм при транспортных операциях мостовым электрическим краном;
- высокое значение шума на рабочем месте.

Поэтому при обслуживании электрического оборудования персоналом необходимо принятие технических и организационных мер, сводящихся к минимуму воздействия опасных производственных факторов.

7.3. Требования к оборудованию

- На все технологическое оборудование составлены паспорта и формуляры.
- Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся источником травмоопасности должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикосновения к ним рабочего, или использованы другие средства (например, двухручное управление), предотвращающие травмирования
- Элементы конструкции производственного оборудования не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющими опасность травмирования рабочих, если их наличие не определяется функциональным

- назначением этих элементов. В последнем случае должны быть предусмотрены меры защиты работающих ГОСТ 12.2. 003-91.
- Производственное оборудование, действующее с помощью неэлектрической энергии (например, гидравлической, пневматической, энергией пара), должно быть выполнено так, чтобы все опасности, вызываемые этими видами энергии, были исключены. ГОСТ 12.2 003-91.
 - Конструкция производственного оборудования, приводимого в действие электрической энергией, должна включать устройства (средства) для обеспечения электробезопасности. ГОСТ 12.2. 003-91.
 - Части производственного оборудования, представляющие опасность, окрашены в сигнальные цвета и обозначены соответствующими знаками безопасности в соответствии с действующими стандартами.
 - Инструменты и приспособления, используемые для обслуживания оборудования, соответствуют требованиям безопасности и выполняемой работы. ОПБ п.478.
 - На рабочих местах инструменты и приспособления хранятся в отведенных для этого местах или в специальных инструментальных шкафах
 - Организация рабочего места обеспечивает необходимый обзор зоны наблюдения с рабочего места.

Для устранения опасности травмирования движущимися частями применяют следующие меры:

- вращающиеся части закрывают кожухами и сетками, окрашенными в желтый цвет,
- подход к движущимся частям огражден специальными ограждениями, не менее 1 м высотой. Для исключения возможности травмирования персонала грузами, которые перемещает мостовой

кран, предусмотрены маршруты грузопотоков, выбранные таким образом, что груз не проходит над рабочими местами.

7.4. Меры по электробезопасности

Для устранения опасности поражения электрическим током должны быть приняты следующие меры согласно ГОСТ 12.1.019-79[4]:

- все металлические части электроустановок, не находящиеся под напряжением, но которые в случае аварии или пробоя могут оказаться под напряжением, должны быть надежно заземлены;
- все токоведущие части должны быть закрыты и изолированы, а электропривод выполнен в защищенном или закрытом исполнении;
- пульты управления и шкафы заземляются наглухо сваркой по трубной разводке (проводке) или стальной шиной прямоугольного сечения площадью не менее 24 мм²;
- съемные детали, электродвигатели заземляются под болт стальной шиной или медным проводом диаметром не менее 4 мм или стальной проволокой диаметром не менее 6 мм.;
- шарнирно закрепленные детали электроустановок заземляются гибкими тросиками сечением не менее 4 мм.;
- на всём электрооборудовании должны быть установлены предупредительные плакаты;
- провода и кабели должны быть проложены в стальных трубах;
- двери шкафов оборудуются блокировками, исключающими подачу напряжения при открытых дверях;
- все шкафы с аппаратурой закрываются на замок;

Применяются также специальные меры безопасности:

- Для быстрого отключения электропривода в случае аварии на пульте управления установлена кнопка "общий стоп";
- Отключение преобразователя быстродействующими плавкими вставками и автоматами в случае протекания недопустимого тока через двигатель;
- Предусмотрены электрические блокировки, контролирующие необходимую последовательность технологических операций на стане.

При проектировании особое внимание уделено удобству ремонта и безопасности обслуживания электрооборудования. Все шкафы имеют двухстороннее обслуживание. Все элементы тиристорного электропривода имеют блочное или кассетное разделение. Выведенные на лицевую сторону панелей контрольные точки позволяют без разборки агрегата проверить его исправность.

Обслуживающему персоналу в части требований безопасности необходимо руководствоваться следующими документами:

- правила устройства электроустановок;
- правила технической эксплуатации электроустановок;
- правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

Любые коммутационные операции, подключения, переключения, выемка и установка силовых блоков и ячеек управления должны производиться с учетом требований ПТБ при помощи снятия напряжения с оформлением наряда на производства работ. Наложение переносных заземлений обязательно со всех сторон, откуда может быть подано напряжение к месту работы. Питающая сеть собственных нужд электропривода отключается и включается по мере надобности.

Для обеспечения безопасного ремонта необходимо соблюдать следующие правила:

- К работе с электроустановкой допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний и имеющие группу по электробезопасности не ниже III.
- Электроустановка должна быть обесточена, а коммутирующая аппаратура должна обеспечить визуальный контроль разрыва электрической цепи.
- Обесточенные цепи должны быть заземлены, а необесточенные ограждены.
- На рубильниках должны быть вывешены плакаты "Не включать. Работают люди".
- Работы проводить только проверенным, исправным инструментом.
- Механическая передача должна быть заклинена.
- Бригада, работающая с электроустановкой, должна состоять не менее чем из двух человек

В качестве примера в данной выпускной квалификационной работе приведен расчёт защитного заземления для защиты человека от поражения электрическим током.

Расчёт заземления:

Величина сопротивления заземляющего устройства должна удовлетворять условию:

$R_z < 125 / I_z$, но не более 4 Ом;

$$I_z = \frac{\sqrt{3}U_\phi(35l_k + l_v)}{350}$$

где U_ϕ – фазное напряжение сети, кВ;

l_k, l_v – общая длина подключаемых к сети кабельных и воздушных линий, км.

R_3 – величина сопротивления заземляющего устройства;

I_3 – ток короткого замыкания на землю на стороне 6000В.

По данным отдела главного энергетика для электрооборудования рассматриваемого цеха $I_3 = 80\text{А}$, тогда:

$$R_3 = 125/80 = 1,56 \text{ Ом.}$$

В качестве заземлений используются естественные заземлители, представляющие собой проложенные трубопроводы. Для улучшения условий протекания тока короткого замыкания на землю, вдоль фундамента наружной стены машинного зала выполнено искусственное заземление. Контур защитного заземления выполнен в виде вертикально забитых в землю стальных труб, соединённых между собой стальной полосой.

Сопротивление одного вертикального трубчатого заземлителя определяется по формуле:

$$R_T = \rho / 2\pi l \cdot (\ln(2l/d) + 1/2 \cdot \ln((4M+l)/(4M-l))).$$

$$R_T = \frac{\rho_p}{2\pi l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4M+l}{4M-l} \right),$$

где ρ_p – удельное сопротивление грунта;

$$\rho_p = \rho_{\text{табл.}} \cdot k$$

$k = 1,45$ – климатический коэффициент;

$l = 2,5\text{м}$ – длина трубы;

$d = 0,05\text{м}$ – наружный диаметр трубы;

$M = 1,95\text{ м}$ – глубина залегания трубы.

$$R_T = \frac{145}{2\pi \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 45,58 \text{ Ом}$$

Сопротивление полосы соединяющей трубы:

$$R_{II} = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{2l^2}{b \cdot H}$$

где: $l = 5\text{м}$ – длина полосы;

$H=0,7$ – глубина закладки;

$b = 0,05\text{м}$ - ширина полосы.

$$R_{II} = \frac{145}{2\pi \cdot 5} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5^2}{0,05 \cdot 0,7} = 33,53 \text{ Ом}$$

Сопротивление заземлителя, состоящего из "n" вертикальных заземлителей:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{\eta_{II}}{R_{II}} + \frac{n\eta_\epsilon}{R_T}};$$

где: $n = 40$ – количество вертикальных заземлений;

$\eta_{II}=0,27$ – коэффициент использования соединительной полосы;

$\eta_\epsilon=0,55$ – коэффициент, учитывающий использование вертикальных заземлителей по контуру

$$R_3 = \frac{1}{\frac{0,27}{33,53} + \frac{40 \cdot 0,55}{45,58}} = 2,038 \text{ Ом}$$

Сопротивление такой величины удовлетворяет требованиям, предъявляемым к заземлениям электроустановок. При проведении всех этих мероприятий обеспечивается безопасная работа персонала.

7.5. Чрезвычайные ситуации

7.5.1. Пожарная безопасность

Электросталеплавильный цех по степени пожарной безопасности относится к категории "Г" (ГОСТ 12.1.004-95)[2]. Категория «Г» - производства, в которых используются негорючие вещества и материалы в горячем раскаленном и расплавленном виде. Для ликвидации пожаров и загорания в машинном зале и в цехе предусмотрены:

1. Пожарная сигнализация в помещениях без постоянного персонала.
2. Введена автоматическая система пожаротушения во всех кабельных тоннелях.
3. Телефонная связь в машинных помещениях и постах управления.
4. Все помещения оснащены огнетушителями ОУБ-7А.
5. Установлены пожарные краны и гидранты.
6. Щиты с пожарным инвентарем и ящики с песком.
7. Все помещения имеют выходы шириной не менее 1,5 м.
8. До персонала доведены его действия в случае возникновения пожара.

Все средства пожаротушения должны содержаться в надлежащем порядке. Контроль за состоянием цеха в отношении пожарной безопасности осуществляется пожарной частью предприятия. Ответственность за выполнение мер противопожарной безопасности возлагается на службы цеха. Лица, заметившие пожар, обязаны немедленно сообщить в пожарную часть предприятия и до ее прибытия организовать тушение пожара имеющимися средствами, эвакуировать людей из горящего и соседних помещений и организовать встречу пожарного подразделения.

7.5.2. Возможные чрезвычайные ситуации (ЧС)

Одной из наиболее вероятных чрезвычайных ситуаций в цехе является пожар электроустановки под напряжением. Причины его возникновения рассмотрим на «дереве» причин и опасностей рисунок 7.1.

Дерево причин и опасностей

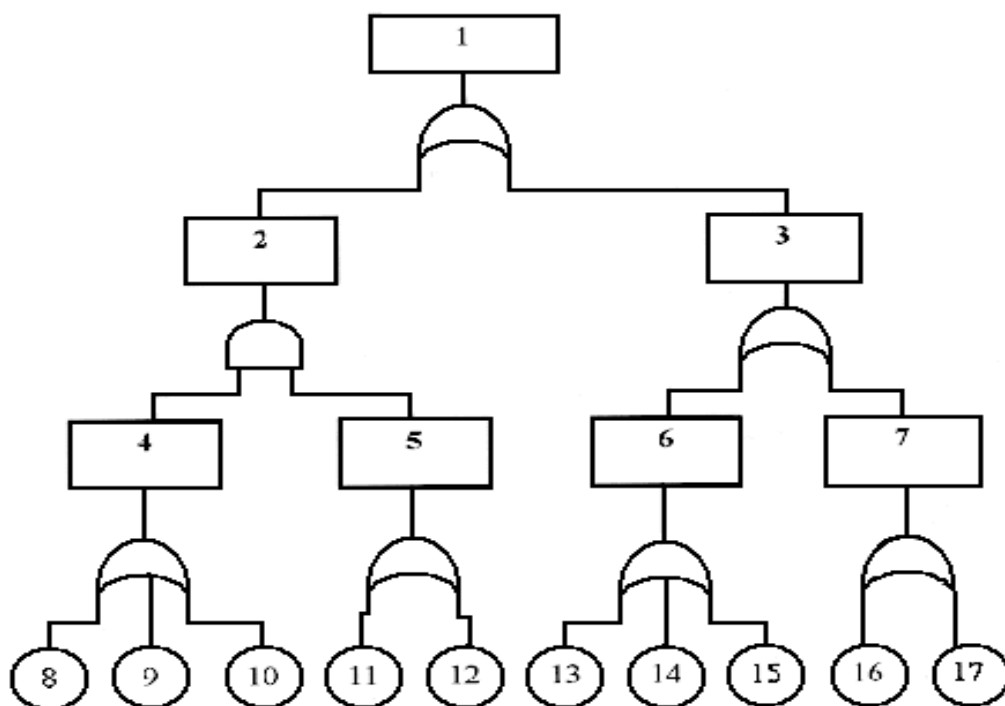


Рисунок 7.1.

Здесь:

1. пожар в машинном отделении;
2. не отключение короткого замыкания;
3. местное возгорание;
4. отказ выключателя;
5. короткое замыкание в шкафу управления;
6. искрение;
7. нагрев проводов;

8. не сработал привод выключателя;
9. не сработала катушка отключения выключателя;
10. пригорели контакты отключения выключателя;
11. нарушение Т.Б. при работе в машинном отделении;
12. старение изоляции;
13. брак сборки или наладки панелей защиты (слабое крепление проводов в клемнике);
14. загрязнение изоляторов;
15. нарушение правил сварочных работ;
16. ошибка в проекте при выборе проводов;
17. подключение нагрузки выше номинальной.

Проанализируем действие персонала в данной чрезвычайной ситуации:

В случае возникновения пожара на территории цеха первый заметивший пожар обязан:

1. немедленно сообщить о пожаре в пожарную часть с любого телефонного аппарата по номеру 01 с указанием точного места пожара;
2. сообщить о пожаре оператору цеха по прямому телефону;
3. до прибытия работников ВПЧ производить тушение пожара с применением первичных средств пожаротушения, привлекая находящихся поблизости работников;
4. принять меры по встрече пожарных машин;
5. оператор, получив с какого либо участка цеха сигнал о пожаре, действует согласно памятке « Действия оператора при пожаре»;
6. администрация цеха в случае возникновения пожара в цехе или в близи его обязана:

- а) проверить, вызвана ли пожарная часть;
- б) поставить в известность о пожаре руководителя предприятия;
- в) возглавить руководство тушением пожара до прибытия пожарной части;
- г) выделить для встречи пожарных лицо, хорошо знающее расположение подъездных путей и водоисточников;
- д) удалить (при необходимости) за пределы цеха или опасной зоны всех рабочих и служащих, не занятых в ликвидации пожара;
- е) при необходимости вызвать медицинскую и другие службы;
- ж) организовать отключение электроэнергии, остановку оборудования, перекрытия паровых и водяных коммуникаций, остановку в системе вентиляции, выполнение других мероприятий, способствующих предотвращению распространения пожара;
- з) при прибытии подразделения пожарной охраны представитель цеха, руководящий тушением пожара, сообщает руководителю подразделений пожарной охраны все необходимые сведения об очаге пожара, консультирует о наличии людей в очаге пожара, о веществах и материалах, находящихся в зоне горения, об обстановке, которая может сложиться при пожаре.

7.6. Анализ опасных и вредных факторов

7.6.1. Шум

Шум – сочетание различных по частоте и силе звуков

а) Источник шума – машина непрерывного литья заготовок, двигатели, машина газовой резки, редукторы.

б) Вредное воздействие шума: на производстве наносит большой экономический и социальный ущерб. Он вызывает психические и физиологические нарушения, воздействуя на организм человека, снижает работоспособность и создает предпосылки к возникновению заболеваний и производственного травматизма. Сильный продолжительный шум может стать причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной систем, также может привести к ухудшению слуха и к глухоте. Воздействуя на кору головного мозга, шум оказывает раздражающее действие, ускоряет процесс утомления, ослабляет внимание, замедляет скорость реакции

в) допустимые уровни шума 80 ДБА ГОСТ 12.1.003-89 [1];

г) фактический уровень производственного шума 80 ДБА;

Шумовые характеристики при работе двигателя от преобразователя не отличаются от случая, когда двигатель работает непосредственно от промышленного источника тока.

д) Для снижения шума в редукторе его корпус выполняется из шумо-изоляционных материалов .

7.6.2. Вибрация

Вибрация – механические колебания материальных точек или тел.

Вредное воздействие – на сердечно-сосудистую систему, нервную систему, эндокринную систему, нарушение терморегуляции и обмена веществ. Местное воздействие может привести к онемению. Более вредная вибрация, близкая к собственной частоте человеческого тела (6-8 Гц) и рук (30-80 Гц).

С точки зрения промышленной санитарии, исследования, проведенные Центральной заводской лабораторией в зоне рабочего места, показали:

Согласно ГОСТ 12.1.012-90 [3] уровень вибрации на рабочем месте не превышает 75 дБ на частотах 16, 31,5 и 63 Гц.

В цехе для снижения вибрации до предельных значений используется эффективное средство защиты от вибраций – виброизоляция. Виброизоляция - упругие элементы, размещенные между вибрирующей машиной и основанием.

В случае возникновения резонанса возможна установка вибропоглощающей резиновой прокладки под основание двигателя.

Стены постов управления выполняются из стали, ДСП. Пол - из железобетонных плит или стальных листов.

7.6.3. Микроклимат

Метеорологические условия в цехе предусмотрено создать отопителем, естественной и искусственной вентиляцией.

В помещениях цеха поддерживаются условия, соответствующие требованиям СанПиН 2.2.4.548-96: температура воздуха вне рабочих мест

зимой не менее 15°C, а летом – не выше 23°C; температура воздуха на рабочем месте не ниже 17°C зимой, летом – не выше 27°C; относительная влажность – 40-60%; скорость движения воздуха не более 0,3 м/с. Для предотвращения утечки тепла через ворота в зимнее время года, они оборудованы тепловыми завесами.

Достижение параметров микроклимата возможно по СНиП 2.04.05-86[15] «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Для отопления производственного помещения предусмотрена система воздушного отопления, совмещенная с вентиляцией. Для этого применяют агрегаты АПВ280-190.

При общеобменной вытяжной вентиляции из верхней зоны цеха удаление воздуха предусмотрено через фонари. Также устанавливаются душирующие установки. Эти установки оборудуются устройствами, обеспечивающими в холодное время года подогрев воздуха, а в жаркое – искусственное охлаждение воздуха. Для защиты рабочих мест от сквозняков в холодное время года у входных дверей, ворот цеха устанавливаются отопливаемые тамбуры и тепловые воздушные завесы.

7.6.4. Освещение

Из общего объема информации человек получает через зрительный канал около 80%. Качество получаемой информации во многом зависит от освещения. Плохое освещение не только утомляет зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Нерациональное освещение может явиться причиной травматизма.

Естественное и искусственное освещение в рассматриваемом цехе соответствует требованиям СНиП 23-05-95[16]. Естественное освещение в цехе осуществляется через остекление наружных стен, светоаэроционные

фонари и через световые проемы в покрытии. Для улучшения условий естественного освещения помещения и техническое оборудование окрашивается в светлые тона, повышающие освещенность рабочих мест за счет отраженного света. Очистка остекления и фонарей производится не реже четырех раз в год.

Искусственное освещение в любую рабочую смену должно быть таким, чтобы можно было выполнить технологические операции и наладку оборудования без производственных дефектов и травматизма, чтобы исключить чрезмерное утомление рабочего в результате зрительного напряжения.

Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное и эвакуационное. Рабочее освещение необходимо для продолжения работы в темное время суток. Аварийное освещение необходимо для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Эвакуационное освещение (аварийное освещение для эвакуации) необходимо для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения.

Рабочее освещение может быть общим или комбинированным. Общее - освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное освещение) или применительно к расположению оборудования (общее локализованное). Комбинированное – освещение, при котором к общему добавляется местное освещение (создаваемое светильниками, концентрирующими световой поток непосредственно на рабочих местах).

Рассматриваемый цех в зависимости от характеристики зрительной работы в соответствии со СНиП 23-05-95 относится к четвертому разряду работы средней точности. Норма освещенности рабочей поверхности в цехе составляет 50 лк, на участке технического контроля – 750 лк.

В рассматриваемом цехе для искусственного освещения используются лампы ЛБ-80. Нормированная минимальная освещенность согласно СНиП 23-05-95 составляет:

- в зоне работы оборудования – 50 лк;
- в бытовых помещениях, раздевалках – 20 лк;
- в конторских кабинетах, рабочих комнатах – 300 лк;
- в проектных и конструкторских бюро – 500 лк.

В цехе предусмотрено дежурное освещение, включающееся автоматически при отключении рабочего освещения.

Светильники стационарного местного освещения питаются электрическим током напряжением не более 42 В. Напряжение для светильников переносного освещения – не более 42 В. Мостовые краны имеют светильники, необходимые для компенсации затемнения рабочих мест при прохождении мостового крана.

Для безопасного обслуживания светильников применяются приспособления (лестницы, стремянки, мостики с перилами и др.), а также мостовые краны.

7.6.5. Вредные вещества в воздухе.

При разливке металла в воздух выделяется определенное количество железной окалины в виде мелкой дисперсной пыли.

Пыль, воздействуя на организм, раздражает кожу, слизистые оболочки, конъюнктиву глаз, а проникая в легкие, вызывает различные болезни.

Содержание окалины в воздухе превышает максимально допустимые 6 мг на кубический метр, и составляет 9 мг/м³.

Исключить данный вредный фактор не представляется возможным в виду особенностей расположения оборудования и производственного

цикла. Снижение его воздействия достигается путём наибольшей автоматизации на данном участке, чем снижается время нахождения рабочего вне кабины.

7.6.6. Вентиляция

В цехе должны обеспечиваться метеорологические условия и чистая воздушная среда, соответствующие гигиеническим требованиям. Для этих целей предусматривается вентиляция.

В связи с отсутствием одинаковой температуры воздуха внутри помещения и снаружи возможна аэрация. Это организованная, управляемая естественная вентиляция, осуществляемая за счет разности температур внутри здания цеха и снаружи, на улице. Необходимый воздухообмен в здании осуществляется за счет открывающихся отверстий определенной площади. Через них снаружи поступает более теплый воздух, а теплый выходит через световые фонари крыше здания. Аэрация возможна, если это допустимо по технологии и если она эффективна, то есть обеспечивает соответствие состояния воздуха требованиям норм и допусков.

Для наблюдения за технологическим процессом и работой оборудования в цехе предусмотрены кабины пультов управления. Работа оператора требует повышенного внимания, он должен принимать оптимальные решения. В связи с этим условия его работы должны быть наиболее благоприятными.

Благодаря кондиционеру температура в кабине управления поддерживается на уровне 18-25 градусов Цельсия, что соответствует СНиП 2.04.05-86[15]. Относительная влажность воздуха 39%, что меньше допустимых 65%. Скорость движения воздуха не превышает 0,3м/с. Таким образом соблюдаются комфортные условия труда.

Выводы по разделу 7: при рассмотрении вопросов безопасности и экологичности проекта можно прийти к следующему выводу: рассмотренный агрегат удовлетворяет всем стандартам, нормам и требованиям.

Проведенный расчет защитного заземления цеха удовлетворяет требованиям норм и безопасности.

Предусмотренные в цехе противопожарные мероприятия также удовлетворяют стандартным нормам и требованиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выпускной квалификационной работы был сделан расчёт автоматизированного электропривода механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок. Все технологические требования в ходе проектирования были выполнены.

Система автоматического регулирования выполнена по однократноинтегрирующей схеме без датчика скорости. Имеет внутренний контур тока и внешний контур, замкнутый по ЭДС. Поскольку регулятор ЭДС является П-регулятором, то неизбежна ошибка по скорости, которая принимает удовлетворяющее технологическим требованиям значение 1,5%.

Технологическая автоматика выполнена на микроконтроллере SIMATIC S7-416.

Модернизация электропривода проведена за счёт замены устаревшего оборудования на привод постоянного тока SIMOREG RA7025.

В ходе модернизации был получен экономический эффект, составляющий экономию потерь валовой прибыли до 7 миллионов рублей в год.

Машина непрерывного литья заготовок описана с точки зрения безопасности производства и удовлетворяет всем предъявленным требованиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 12.1.003-89 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
2. ГОСТ 12.1.004-95 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
3. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибробезопасность.
4. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования.
5. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума.
6. ГОСТ 12.4.008-84 ССБТ. Средства индивидуальной защиты.
7. ГОСТ 26797-85. Защита оборудования проводной связи и обслуживающего персонала от влияния электромагнитных полей. Методы испытаний.
8. Зимин Е. Н., Яковлев В. И. Автоматическое управление электроприводами: Учебное пособие для студентов вузов. М.: Высшая школа, 1979. - 318 с.
9. Ключев В. И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1998.– 704 с.
10. Марголин Ш. М. Электропривод машин непрерывного литья заготовок. М.: Металлургия, 1987. - 324 с.
11. Молочников Н. В., Целиков А. А., Кузнецов Б. Г. и др. Оборудование для доменных сталеплавильных цехов и установок непрерывной разливки стали. М.: НИИ Информтяжмаш, 1969. – 415 с.
12. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
13. Системы управления электроприводами: Методические указания к проекту / М. Ю. Бородин, Е. Г. Казаков, Г. М. Упчер, В. Н. Поляков. Свердловск: УПИ, 1991. - 36 с.
14. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1981. 16 с.
15. СНиП 2.04.05-86. Отопление. Вентиляция и кондиционирование воздуха.
16. СНиП 23-05-95. Освещение производственных помещений.
17. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А.

Елисеева и А. В. Шинявского. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 616 с.

18. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В. И. Круповича, Ю. Г. Барыбина, М. Л. Самовера. изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1982. - 416 с.