

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод перемещения индуктора закалочного станка

УДК 62-83-52:621.785.545.07

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА2	Джумабаев Анвар Рустамович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением Ю.Н. Дементьев

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А2	Джумабаеву Анвару Рустамовичу

Тема работы:

Электропривод перемещения индуктора закалочного станка

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 3244/с от 10.05.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2018г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Ведение; описание технологического процесса; Выбор мощности двигателя, расчет параметров элементов и характеристик силовой цепи, расчет и построение и электромеханических характеристик оптимизация контуров регулирования, тока, скорости, разработка нелинейной модели САУ РЭП постоянного тока в среде Matlab, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	- схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная;

	-схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Заключение

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018г..
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	к.т.н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Джумабаев Анвар Рустамович		05.04.2018г.

РЕФЕРАТ

Объектом исследования данной работы является электропривод перемещения индуктора вертикального закалочного станка.

Цель работы – спроектировать электропривод, удовлетворяющий требованиям технического задания.

Система управления электропривода исследована на ЭВМ методом итерационного моделирования в линеаризованном и нелинейном представлении с использованием прикладных программ.

В работе производились исследования проектируемого электропривода при введении ограничения выходного напряжения регуляторов, зависящего от тока ограничения. Механическая система рассмотрена в одномассовой и двухмассовой представлении.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word . в работе использованы программы Mathcad, . Matlab.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	10
1.1 Технологический процесс цеха	10
1.2 Технологический процесс вертикального закалочного станка. Кинематическая схема механизма перемещения индуктора	11
1.3 Обоснование и выбор системы электропривода	20
1.3.1 Сравнительный анализ приводов постоянного и переменного тока	20
1.3.2 Обоснование и выбор способа регулирования координат	21
1.3.3 Требования к электроприводу	24
1.4. Выбор элементов и расчет параметров силового канала РЭП.	27
1.4.1 Расчет мощности и выбор электродвигателя	27
1.4.2 Расчет параметров механической системы	30
1.4.3 Выбор комплектного электропривода	37
1.4.4 Функциональная схема электропривода и ее основные элементы	38
1.4.5 Выбор трансформатора	41
1.4.6 Выбор сглаживающего реактора	44
1.4.7 Расчет параметров силовой цепи	45
1.4.8 Проверка области существования электромеханических характеристик электропривода	46
1.4.9 Расчет параметров преобразователя	54
1.4.10 Структурная схема и параметры силового канала	57
2 СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	60
2.1 Структурная схема линеаризованной САУ РЭП	60
2.2 Синтез оптимальных настроек линеаризованной САУ РЭП	63
2.3 Расчет статических характеристик и погрешности скорости	64
2.4 ЛАЧХ оптимизированного контура САУ РЭП	68
2.5 Анализ нелинейной САУ РЭП	69
2.5.1 Структурная схема нелинейной САУ РЭП	70
2.5.2 Расчет и анализ динамических показателей привода	72
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	76
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	77
3.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование	78
3.2 Структура пусконаладочных работ	80
3.3 Определение комплектующих и оборудования пуско-наладочных работ	84
3.4 Расчет эксплуатационных затрат	86
3.4.1 Амортизационные отчисления	86
3.4.2 Затраты на эксплуатацию и текущий ремонт	86
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	88
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	89
4.1 Описание рабочего места обслуживающего персонала	89

4.2 Анализ выявленных вредных производственных факторов	90
4.3 Анализ выявленных опасных производственных факторов	93
4.4 Охрана окружающей среды	100
4.5 Защита в чрезвычайных ситуациях	101
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	105
CONCLUSION	107
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	108
ПРИЛОЖЕНИЕ А	110

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Спроектировать электропривод подачи индуктора вертикального закалочного трансформатора, удовлетворяющий следующим требованиям:

1. Обеспечение требуемых скоростей перемещения индуктора.
2. Привод должен обеспечивать бесступенчатое регулирование подачи.
3. Обеспечение необходимой тяговой силы в приводе для перемещения рабочего органа.
4. минимальные и постоянные силы и моменты трения в приводе.
5. Высокая надежность привода.
6. Простота изготовления, сборки и обслуживания привода.
7. Аналоговый сигнал задания, соответствующий максимальной скорости $\pm 10\text{В}$.
8. Электропривод должен быть реверсивным, т.е. обеспечивать движение индуктора вверх и вниз.
9. Электропривод должен иметь следующие виды защит: от короткого замыкания, от токовых перегрузок, от перенапряжений, от исчезновения напряжения сети, от потери информации датчика скорости.
10. Параметры питающей сети: $U_{\text{л}}=380\text{ В}$; $f_{\text{с}}=50\text{Гц}$.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе технического развития существенно возрастает роль автоматизированного электропривода, который в значительной мере стал определять прогресс в областях техники и технологии, связанных с воспроизводством механических движений, получаемых путём электромеханического преобразования энергии. Многообразие технологических требований к качеству механических движений, с одной стороны, обеспечило прогресс в развитии теории и практики электропривода, а с другой стороны, привело к большому разнообразию систем электропривода.

Хотя и возрастает количество комплектно поставляемых потребителю электроприводов, но и в настоящее время компоненты электропривода выпускаются главным образом отдельно и разрозненно и компонуются разработчиками производственных механизмов и технологических комплексов. Это является причиной низкого технического уровня оборудования. Организация комплексной разработки, комплектной поставки и высокой заводской готовности электроприводов, обладающих инвариантностью к изменениям в элементной базе и технологическом процессе, при высокой надёжности систем электропривода и хорошей организации сервиса является важнейшей задачей уже настоящего времени.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в теории и практике ЭП переменного тока, массовым промышленным регулируемым электроприводом (РЭП) продолжает оставаться электропривод постоянного тока. РЭП постоянного тока представляют собой сложную электромеханическую систему, обеспечивающую регулирование скорости в заданном диапазоне с требуемой точностью и быстродействием. В состав РЭП входят: электродвигатель, силовой полупроводниковый преобразователь, силовой трансформатор или коммутационные дроссели, автоматический выключатель или предохранители.

Современный уровень развития техники характеризуется стремлением автоматизировать и рационализировать во всех отраслях промышленности

возможно большее число производственных процессов, используя все новейшие технические достижения и организационные возможности.

Основным средством для приведения в движение рабочего органа машины, управления технологическим процессом, является электромеханическое устройство, называемое электроприводом.

Большой диапазон регулирования скорости, высокая точность позиционирования— вот чем характеризуется современный промышленный электропривод. К нему предъявляются высокие требования по надёжности и производительности.

Рост производительности всех металлургических агрегатов, а так же качества продукции, сильно зависит от совершенствования электропривода. Очень широкое использование в электроприводах металлургического производства уже нашли системы управления последовательной коррекцией, построенные по принципу подчинённого регулирования параметров. Благодаря ряду преимуществ, область применения этих систем всё время расширяется.

Задачей на сегодняшний день, является выпуск качественного проката без роста производства чугуна и сокращения расхода кокса, улучшение структуры металлоконструкций, обеспечение производства проката, расширение производства труб, освоение новых профилей проката, повышение производительности труда, ускорение технического перевооружения комбината, увеличение выплавки качественной стали и выпуск металлических порошков, строительство МНЛЗ (машины непрерывного литья заготовок).

В данное время ведение новых технологических условий позволяет значительно улучшить качество продукции всех цехов ОАО "ЗСМК", что значительно повышает конкурентоспособность ОАО "ЗСМК" как на внутреннем, так и на внешнем рынке сбыта продукции.

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Технологический процесс цеха

Основным поставщиком сырья (металла) для Кузнечно- термического цеха (КТЦ) является Литейный цех (слитки), машина непрерывного литья заготовок и стан 1250 (блюмы). Из слитков на прессовом участке изготавливаются крупногабаритные изделия, а блюмы на заготовительном участке режутся на мелкие заготовки для молотового отделения.

Изделия молотового и прессового участков поступают в термическое отделение где проводится термическая обработка (отпускание, отжиг, и т.д.). После чего изделия отправляют заказчику.

Так же термический участок занимается термообработкой (закалка, отпускание, железнение, воронение и т.д.) деталей после обработки станками.

Качество термообработки в большей степени зависят от точности соблюдения нагрева и охлаждения обрабатываемой детали во времени.

Взаимодействия между подразделениями цеха показаны на рисунке 1.

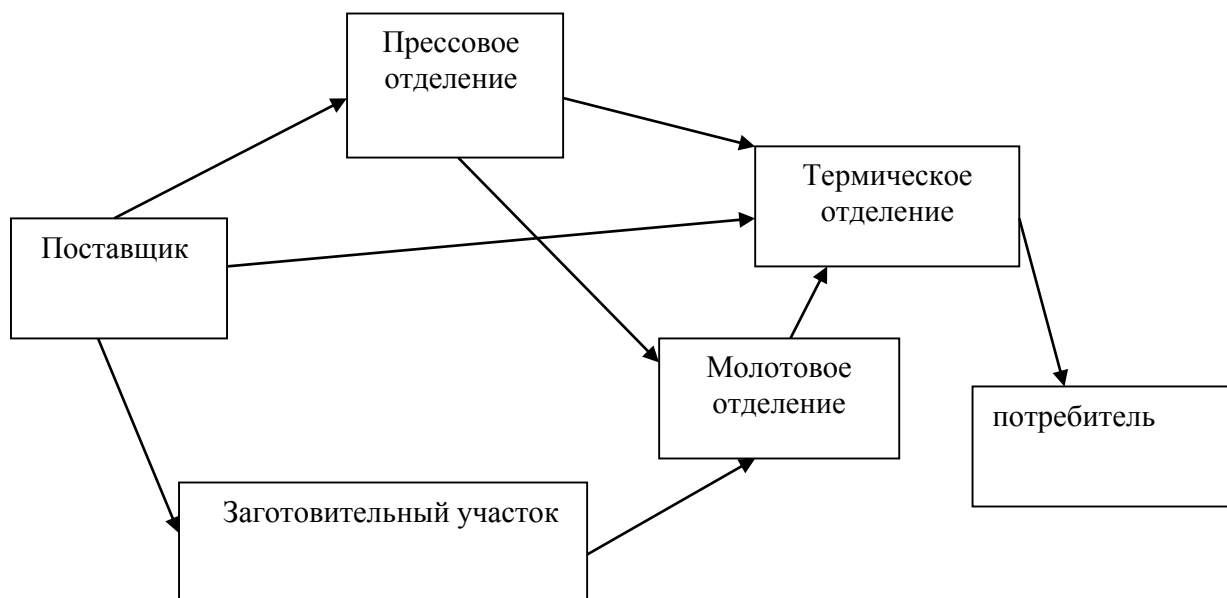


Рисунок 1

1.2 Технологический процесс вертикального закалочного станка.

Кинематическая схема механизма перемещения индуктора

Вертикальный закалочный станок для валов и шестерен предназначен для закалки крупно-габаритных деталей (Наибольшая длина 5м, диаметр 0,8м) нагревом, закаливаемой поверхности, токами высокой частоты с последующим охлаждением водой или другой жидкостью. На станке применена частота 2500 Гц. Наибольшая мощность, снимаемая с закалочного контура, 400 кВт.

Детали, подлежащие закалке, устанавливаются на станке вертикально. Это обеспечивает наиболее благоприятные условия охлаждения нагретой поверхности, вследствие чего достигается минимальная деформация детали и равномерная глубина и твердость закаливаемого слоя.

Работа на станке может производиться в полуавтоматическом цикле- «кнопочный режим» или в автоматическом- «автоматический режим»

Для установки детали и проведения работ, связанных с подбором режимов закалки в станке, предусмотрен «наладочный режим».

- a) Наладочный режим- предназначен для установки изделия, настройки станка и проведения экспериментальных работ по подбору закалочных режимов.

Управление станком производится от маховиков и рукояток вручную и механически с помощью кнопок управления, расположенных на главном и дублирующем пультах управления и кнопочных станциях.

- b) Кнопочный режим- предназначенный для закалки изделий от кнопок управления, расположенных на главном и дублирующем, пультах т.е. в полуавтоматическом цикле, где автоматизирован нагрев и охлаждение.
- c) 3) Автоматический режим- процесс закалки в этом режиме происходит автоматически от кнопки «цикл пуск», расположенный на главном пульте. Режим и цикл работы станка

устанавливается соответственно переключателями 1ПУ и 2ПУ, расположенными на главном пульте управления.

I. работа станка в наладочном режиме.

Изделие транспортируется к станку краном с помощью одного или двух рым-болтов, закрепленных на торце изделия. Сначала изделие устанавливается на нижний центр, затем захватывается люнетом. После чего с площадки подъемника оператор снимает трос и рым-болты, подводит верхний центр на ось нижнего центра и закрепляет изделие, отпуская верхний центр вниз так, чтобы пиноль верхнего центра ушла в корпус на 10-15 мм. Остальной ход пиноли верхнего центра (30-35 мм) предусмотрен для компенсации термического удлинения изделия. Люнет отводят от изделия и поднимают его в верхнее крайнее положение, а затем сводят губки люнета к центру, чтобы обеспечить проход копирного устройства. Снятие изделия производится в обратном порядке.

Затем, согласно технологической карте подбирают емкость конденсаторных батарей, устанавливают время нагрева и охлаждения, паузу предварительного разогрева, ток возбуждения генератора, величину хода индуктора.

После наладки станка все механизмы отводят в исходные положения.

Исходное положение индуктора:

- a) При закалке цилиндрических косозубых и прямозубых шестерен и валов-шестерен, а также нижнего венца шевронных шестерен - индуктор устанавливается ниже венца обрабатываемой шестерни или вала-шестерни.
- b) При закалке верхнего венца шевронной шестерни – индуктор устанавливается выше венца обрабатываемой шестерни.
- c) При закалке валов непрерывно-последовательным способом – индуктор устанавливается ниже закаливаемой поверхности.
- d) При закалке шеек валов – индуктор устанавливается на уровне шейки закаливаемой детали.

Исходное положение зуба механизма поворота – выведен из впадины зуба шестерни.

Исходное положение копирных роликов – введены во впадину зуба шестерни.

II. Работа станка в автоматическом режиме.

Цикл 1. *Закалка цилиндрических прямозубых, косозубых шестерен непрерывно-последовательным способом.*

После настройки станка и установки переключателя 2ПУ на главном пульте в положение 1, а переключателя 1ПУ в положение 3 включаем охлаждение и после нажатия кнопки «цикл пуск» начинается автоматическая работа станка в указанном цикле.

Работа механизмов происходит в следующем порядке:

- a) Начинается движение индуктора вверх с рабочей подачей.
- b) При входе индуктора во впадину зуба шестерни, движение индуктора прекращается и включается нагрев.
- c) Делается пауза в движении (время выдержки определяется настройкой реле времени) для предварительного разогрева зуба шестерни.
- d) Далее от реле времени дается команда на дальнейшее движение вверх каретки закалочного трансформатора с индуктором, с выбранной рабочей подачей.
- e) После выхода индуктора из впадины зуба от конечного выключателя дается команда на выключение нагрева.
- f) Движение индуктора вверх подается до тех пор пока следующий по ходу конечный выключатель не будет нажат кареткой закалочного трансформатора, при этом спрэйер выйдет из впадины зуба.
- g) Происходит реверс двигателя подачи каретки закалочного трансформатора и индуктор ускорено опускается вниз до нижнего крайнего положения.

- h) В этом положении нижний конечный выключатель, нажатый упором каретки закалочного трансформатора дает команду на останов индуктора и поворот стола с изделием на 1 или 2 зуба (в зависимости от положения переключателя на пульте).
- i) После поворота изделия на 1 или 2 зуба конечный выключатель механизма поворота дает команду на повторение цикла.

По окончании закалки всех зубьев шестерен процесс закалки по команде реле счета импульсов, заканчивается.

ЦИКЛ 2. *Закалка нижней части венца цилиндрических шевронных шестерен и валов-шестерен.*

После настройки станка и установки переключателя 2ПУ на главном пульте в положение 2, переключателя 1ПУ в положение 3 включаем охлаждение и затем нажатием кнопки «цикл пуск» включаем станок в работу в указанном цикле.

Работа механизма в цикле 2 происходит в том же порядке, что и в цикле 1, отличаются эти два цикла только тем, что во втором цикле остановка индуктора и выключение нагрева в верхнем крайнем положении происходит одновременно по команде одного и того же верхнего конечного выключателя в отличии от цикла 1, где отключается сначала нагрев, а затем движение каретки закалочного трансформатора.

Процесс закалки заканчивается также по команде реле счета импульсов.

Цикл 3. *Закалка верхней части венца цилиндрических шевронных шестерен и валов-шестерен.*

После окончания закалки нижней части шеврона деталь со станка не снимают и закалку шестерни продолжают в следующем цикле – в цикле №3.

Для этого делают небольшую переналадку станка. Перестраивают зону рабочих ходов индуктора и изменяют расположение копирных роликов, т.к. угол наклона зуба обрабатываемой шестерни изменяется.

Механизм поворота оставляют в прежнем положении. Индуктор, копирные ролики и зуб механизма поворота ставят в исходное положение. После переналадки станка и установки переключателя 2ПУ в положение 3

включаем охлаждение и после нажатия кнопки «цикл пуск» начинается автоматическая работа станка.

Работа механизмов в цикле 3 происходит следующим образом:

- a) Каретка закалочного трансформатора с индуктором ускоренно перемещается вниз до нижнего конечного выключателя.
- b) Каретка останавливается включается нагрев, делается выдержка для разогрева изделия.
- c) Реле времени включает ход индуктора вверх с рабочей подачей.
- d) При выходе индуктора из впадины зуба нагрев от конечного выключателя отключается, движение вверх индуктора продолжается.
- e) При выходе спреера из впадины верхний конечный выключатель дает команду на останов индуктора и на поворот изделия на 1 или 2 зуба.
- f) После окончания поворота, конечный выключатель механизма поворота дает команду на повторение цикла.

По окончании закалки всех зубьев шестерни процесс закалки по команде реле счета импульсов, заканчивается.

ЦИКЛ 4. *Закалка гладких и шлицевых валов непрерывно-последовательным способом.*

Переключатель 1ПУ на главном пульте установлен в положение 3, а переключатель 2ПУ установлен в положение 4. Включаем охлаждение.

После нажатия кнопки «цикл пуск» начинается автоматическая работа станка.

Работа механизмов в цикле 4 происходит следующим образом:

- a) Каретка закалочного трансформатора с индуктором движется вверх с рабочей подачей, одновременно включается вращение изделия.
- b) В момент, когда индуктор пройдет на 2/3 своей ширины выше нижнего торца закаливаемого вала, упор каретки закалочного трансформатора нажмет на конечный выключатель, который дает

команду на останов индуктора и включение нагрева. Пауза в движении индуктора дается для первоначального нагрева и создания запасов тепла. Время пазы контролирует реле времени. По истечении времени, необходимого для предварительного нагрева, от реле времени привод каретки закалочного трансформатора получает команду на дальнейшее перемещение индуктора вверх с рабочей подачей.

- c) После подъема индуктора выше верхнего торца изделия от конечного выключателя нагрев выключается.
- d) Индуктор движется до момента, когда спрейер поднимается выше верхнего торца изделия и останавливается от конечного выключателя. Происходит реверс и индуктор ускоренно перемещается вниз до нижнего крайнего рабочего положения.

ЦИКЛ 5. *Закалка шеек валов и других деталей одновременным способом.*

После настройки станка и установки переключателя 2ПУ на главном пульте в положение 5, а переключателя 1ПУ в положение 3 после нажатия кнопки «цикл пуск» начинается автоматическая работа станка в указанном цикле.

Работа механизмов происходит в следующем порядке:

- a) Включение вращательного движения закаливаемого изделия.
- b) Включение нагрева.
- c) Выдержка нагрева, которая контролируется реле времени.
- d) По истечению времени выдержки нагрева реле времени отключает нагрев и дает команду на подачу закалочной жидкости.
- e) Подача закалочной жидкости и вращение изделия прекращается по команде от реле времени.

На этом процесс закалки заканчивается.

III. Работа станка в кнопочном режиме.

Все 5 циклов могут осуществляться в кнопочном режиме. Для чего после наладки станка переключатель 2ПУ ставиться в положение, соответствующее одному из 5 выбранных циклов.

Процесс закалки в кнопочном режиме производится в той же последовательности, что и в описанных выше соответствующих 5 автоматических циклах. При этом все операции, кроме нагрева, осуществляются от кнопок.

Включение нагрева, пауза или выдержка и отключение нагрева происходит автоматически.

Кинематическая схема механизма перемещения индуктора приведена на рисунке 2 сведения о конструкции его основных узлов и их масса приведена в таблице 1.

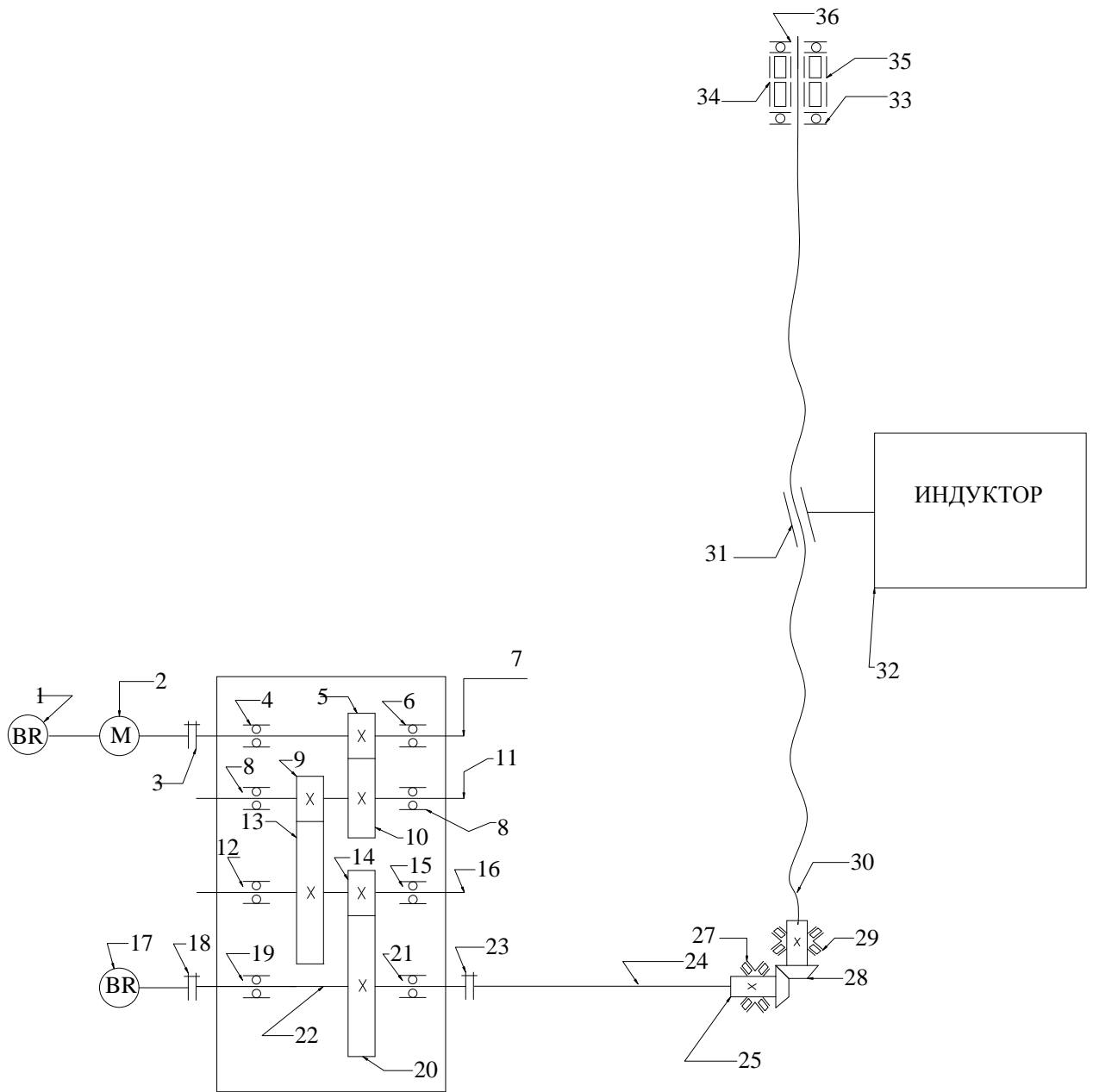


Рисунок 2 Кинематическая схема перемещения индуктора

На рисунке обозначено:

1,17– тахогенератор;

2- электродвигатель;

3,18,23 – муфты соединительные.

Таблица 1 - Технические характеристики элементов приведенных на кинематической схеме.

Наименования							
Подшипники							
№ подшипника по стандарту	Тип подшипника	Габариты в мм			Место установки	№ позиции по схеме	Кол
		d	D	b			
208	Шарикоподшипник радиальный однорядный	40	80	18	Вал № 7	4,6	2
209	Шарикоподшипник радиальный однорядный	45	85	19	Вал № 11	8,10	2
210	Шарикоподшипник радиальный однорядный	50	90	20	Вал № 16	12,15	2
212	Шарикоподшипник радиальный однорядный	60	110	22	Вал № 22	19,21	2
7215	Роликоподшипник конический	75	130	27,5	Вал № 24, винт	27,34	2
8213	Шарикоподшипник упорный	65	100	27	винт	29	1
8314	Шарикоподшипник упорный	70	125	40	винт	33,36	2
4074113К	Шарикоподшипник упорный	65	100	35	винт	35	1
Шестерни							
Наименование узла	№ вала по схеме	№ детали по схеме	Число зубьев	модуль	Угол винтовой линии	Материал	
Редуктор подъема каретки	7	5	24	2,5	12°	40X	
	11	10	60				
	16	13		3			
	11	9	24				
	16	14	18	4			
	22	20	48				
Валы							
№ вала по схеме	диаметр	длинна	Вес, кг	материал			
7	40	560	5,4	40X			
11	45		6,95				
16	50		8,58				
22	60		12,35				
24	70	1100	33				
30	70	5680	170,5				

1.3 Обоснование и выбор системы электропривода.

Выбор системы электропривода является одним из важных этапов процесса проектирования, так как от этого будет зависеть технико-экономический успех проекта, что в условиях жесткой конкуренции является его «путевкой в жизнь». Поэтому необходимо проанализировать различные системы электропривода и выбрать ту, которая в большей степени будет удовлетворять технологическим и экономическим требованиям, предъявленным к электроприводу.

1.3.1 Сравнительный анализ приводов постоянного и переменного тока

Дадим сравнительный анализ приводов постоянного и переменного тока.

Несмотря на то, что асинхронные двигатели не требуют таких больших капиталовложений, как двигателя постоянного тока, в нашем случае следует отдать предпочтение именно электроприводу постоянного тока, так как:

- двигатели постоянного тока имеют большую перегрузочную способность;
- электрическое торможение у двигателей постоянного тока осуществляется проще и дает результаты лучше, чем у асинхронных двигателей;
- двигатели постоянного тока имеют более мягкую механическую характеристику, что дает более короткое время разгона механизма;
- аппаратная реализация и математическое описание законов управления электроприводов постоянного тока значительно проще, чем у приводов, работающих на переменном токе;
- стоимость аппаратуры управления электроприводов переменного тока намного выше аппаратуры постоянного тока.

Сравнивая динамические характеристики приводов с двигателями постоянного тока (ДПТ), асинхронными двигателями (АД) и бесколлекторными двигателями (БКД), можно отметить преимущества приводов с АД и БКД. Так, если полоса пропускания лучших образцов тиристорных приводов с

высокомоментными двигателями постоянного тока (ВМД) составляет 40-45 Гц, то полоса пропускания транзисторных приводов с ВМД и БКД составляет 100-200 Гц. Последнее объясняется применением транзисторов, работающих в режиме широтно-импульсного регулирования (ШИР) на высокой несущей частоте (1-3 кГц).

Собственно АД не имеет ограничений по пусковым токам из-за отсутствия коллекторного узла. В тиристорных приводах постоянного тока динамические токи как правило ограничиваются конструкцией двигателя. Поэтому время пуска приводов на максимальную скорость примерно равны, хотя момент инерции ДПТ больше, чем АД.

Важно отметить, что один из производителей приводов постоянного тока находится в Кемеровской области, а отечественных производителей приводов переменного тока нет.

Таким образом, мы пришли к выводу, что в качестве электропривода передвижения индуктора целесообразно применить электропривод постоянного тока.

1.3.2 Обоснование и выбор способа регулирования координат

Немаловажным аспектом в процессе проектирования является выбор системы регулирования координат. Для питания электропривода постоянного тока обычно используют следующие системы преобразовательных устройств:

- a) система генератор-двигатель (Г-Д);
- b) электромагнитный усилитель – двигатель (ЭМУ-Д);
- c) транзисторный преобразователь – двигатель (ТрП-Д);
- d) система тиристорный преобразователь-двигатель (ТП-Д).

Рассмотрим достоинства и недостатки каждой из систем.

С давних пор и до настоящего времени для возбуждения генераторов в системе Г-Д использовались силовые реверсивные электромагнитные усилители (ЭМУ) – устройства простые, надежные, но несовершенные. Низкий КПД (около 35%), большие габариты, низкое быстродействие, невысокий коэффициент

усиления и самым большим недостатком является то, что электроремонтный цех ОАО «ЗСМК» не берет ЭМУ на ремонт. В последние годы они заменяются на реверсивные тиристорные преобразователи (ТВГ) и обмотку возбуждения синхронного двигателя, которая раньше подключалась к нерегулируемому источнику, обеспечили для целей автоматического регулирования нереверсивным тиристорным возбудителем (ТВС). Применение микроэлектроники в системе управления обеспечивает быстроедействие и точность системы Г-Д на уровне, не уступающем системе ТП-Д. К достоинствам системы Г-Д по сравнению с системой ТП-Д относится отсутствие искажений потребляемого из сети тока и относительно небольшое потребление реактивной мощности даже при асинхронном приводном двигателе. У тиристорного преобразователя эти показатели несколько хуже, так как $\cos\phi$ изменяется в широких пределах, значительно искажается форма потребляемого из сети тока. Для коэффициента мощности применяют регулируемые фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ). Однако, введение этих устройств ухудшает в 1,5-2 раза массогабаритные показатели системы ТП-Д и увеличивает ее стоимость. Важным достоинством системы ТП-Д является ее высокий КПД. Потери энергии в тиристорах при протекании номинального тока составляют 1-2 % номинальной мощности электропривода. Поэтому даже с учетом потерь в реакторе и трансформаторе КПД преобразователя достаточно высок.

Оценивая экономичность систем, можно сказать, что массогабаритные и энергетические показатели системы Г-Д определяются необходимостью присущего этой системе трехкратного электромеханического преобразования энергии в трех входящих в эту систему электрических машин: Д, Г и Д. Как следствие, установленная мощность машин привода возрастает втрое, и благоприятные регулировочные возможности достигаются ценой существенных дополнительных затрат меди, высококачественной стали и труда. Установка вращательного преобразовательного агрегата требует сооружение специального фундамента, центровки агрегата, тщательной настройки коммутации тока коллектором генератора и т.д. В эксплуатации вращающийся преобразовательный агрегат, особенно его подшипники и коллектор генератора

требуют большего внимания и ухода, что увеличивает эксплуатационные расходы.

Таким образом, мы приходим к выводу, что в сравнительном варианте использования реверсивного преобразователя преимущества статического перед вращающимся говорят в пользу ТП-Д.

Система ТрП-Д позволяет реализовать полностью управляемый привод, имеет высокий КПД ($\approx 0,96\%$). Характерной особенностью транзисторных приводов заключается в том, что кратность динамических токов лимитируется преобразователем а не двигателем. По энергетическим характеристикам тиристорный привод постоянного тока существенно уступает транзисторным приводам всех типов, так как значения $\cos\phi$ падают в зависимости от диапазона регулирования от 0,8 до 0,1. Кроме того, звено постоянного тока в многокоординатных транзисторных приводах работает как перераспределитель энергии за счет разной циклограммы работы отдельных приводов (энергия, запасаемая единым источником питания в звене постоянного тока при торможении одного из приводов, «перекачивается» в другой привод, питающийся от этого же источника и работающего в пусковом режиме). По массогабаритным показателям транзисторные преобразователи уступают тиристорным преобразователям. Тиристорный преобразователь не имеет ограничений по мощности, в то время как мощность транзисторных преобразователей ограничена параметрами транзисторов.

Сравнивая преобразователи приводов по сложности, выберем в качестве критерия сравнения количество силовых элементов (тириستоров, транзисторов, диодов, высоковольтных конденсаторов) и количество корпусов интегральных микросхем.

Транзисторный преобразователь сложнее тиристорного в 4 раза по силовым элементам и в 5 раз по управляющим.

На основании приведенного сравнительного анализа выбираем систему ТП-Д, как наиболее удовлетворяющую требованиям технологического процесса.

1.3.3 Требования к электроприводу

1 Электропривод питается от трехфазной промышленной сети переменного тока с линейными напряжениями: 220, 380, 440, 500 В частотой 50(60) Гц (допускаются напряжения питающей сети 230, 400, 415 В в соответствии с ГОСТ 21128-75). Сеть должна обеспечивать возможность заземления электрооборудования.

2 Электроприводы должны обеспечивать работу при:

2.1 отклонениях напряжения питающей сети от номинального от +10 до -15 %;

2.2 отклонениях частоты питающей сети на $\pm 2\%$ от номинального

2.3 соотношении допустимых мощностей питающей сети и электропривода, а также допустимые искажения формы напряжения сети установленных в стандартах или технических условиях на конкретные типы электроприводов.

3 Требования по устойчивости к внешним воздействиям

3.1 Электроприводы должны быть предназначены для работы в следующих условиях:

3.1.1 на высоте над уровнем моря не более 1000м;

3.1.2 при температуре окружающего воздуха:

3.1.3 для электродвигателя и тахогенератора от 5 до 40°C;

3.1.4 для тиристорных преобразователя и их принадлежностей от 5 до 40°C;

3.1.5 от 45 до 55° С с соответствующим уменьшением допустимого длительного тока;

3.1.6 при максимальной относительной влажности воздуха 80% при температуре 30° С; 3.1.7 в невзрывоопасной окружающей среде, не содержащей агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающие металлы и изоляцию ;

3.1.8 в закрытых стационарных помещениях при отсутствии непосредственного воздействия солнечной радиации.

3.2 Составные части электропривода, устанавливаемые в отдельно стоящие шкафы, должны допускать вибрацию с частотой от 1 до 35 Гц при ускорениях не более $4,9 \text{ м/с}^2$.

4 Требования к основным техническим параметрам электропривода

4.1 Сигнал управления – аналоговый $\pm 10 \text{ В}$, соответствующий максимальной скорости.

4.2 Электропривод должен обеспечивать возможность управления по одному или более входам с сопротивлением не менее 2 кОм .

4.3 Длительный момент электроприводов $M_{до}$ при скорости, равной нулю, должен быть не менее величин следующего ряда:

0,35;0,47;07;1,0;1,3;1,7;2,3;3,5;4,7;7,0;10;13;17;23;35;47;70;100;130;170Нм.

4.4 электроприводы должны обеспечивать величину момента, равную $M_{до}$ в режиме S1 по ГОСТ 183-74 в диапазоне частоты вращения от 0 до $0,25 n_{max}$.

4.5 Полоса пропускания замкнутого контура регулирования скорости при дополнительном моменте инерции и амплитуде управляющего напряжения $0,1 \text{ В}$ должна быть не менее 20 Гц .

4.6 Электропривод должен иметь датчик скорости с крутизной характеристики не менее $0,02 \text{ В} \cdot \text{об/мин}$ с высокой линейностью и симметричностью характеристики.

4.7 Время переходного процесса не более $0,2 \text{ с}$.

4.8 Перерегулирование при скачкообразной подачи на вход управляющего напряжения должно быть не более 20% при скорости вращения $0,5 n_{max}$.

4.9 Значение диапазона регулирования скорости электропривода $D = n_{max}/n_{min}$ в зависимости от класса электропривода должна быть не менее:

- 10000 – для класса электропривода 1;

- 1000 - для класса электропривода 2.

5 Требования к системе защиты

5.1 Электроприводы должны быть снабжены аппаратурой защиты, сигнализации и индикации рабочих и аварийных режимов.

5.2 Электроприводы должны быть термически и динамически устойчивы при всех аварийных режимах в течении времени срабатывания установленных в них защитных аппаратов.

5.3 Электроприводы должны иметь следующие виды защиты:

5.3.1 от коротких замыканий;

5.3.2 от токовых перегрузок;

5.3.3 от перенапряжения;

5.3.4 от исчезновения вентиляции;

5.3.5 от исчезновения напряжения сети;

5.3.6 от неправильного чередования фаз.

6 Требования к конструкции

6.1 Силовой трансформатор, токоограничивающий реактор, сглаживающие, уравнивательные и коммутационные дроссели, силовой преобразователь должны быть выполнены в виде самостоятельных конструктивных элементов, предназначенных для размещения в шкафах одностороннего или двухстороннего обслуживания, выполненных в соответствии с СТ СЭВ 1660-79, СТ СЭВ 1661-79.

6.2 Степень защиты электродвигателей с естественной вентиляцией по ГОСТ 14254-80 должна быть IP44. электродвигатели с принудительным охлаждением должна иметь степень защиты IP22 и фильтр очистки охлаждающего воздуха.

6.3 Степень защиты силовых преобразователей, трансформаторов, реакторов и дросселей должна быть IP00.

6.4 Формы исполнения двигателей IM3001, IM3011, IM3031 по ГОСТ 2479-79.

6.5 Уровень вибрации электродвигателей должен соответствовать классу вибрации:

6.5.1 0,7 или 1,8 по ГОСТ 16921-71 для высот оси вращения до 132 мм;

6.5.2 1,1 или 2,8 для высот оси вращения более 132 мм.

6.5.3 уровень вибрации оценивается при $n=0,5n_{\max}$.

6.6 Конструкция компонентов электроприводов должна предусматривать размещение их в шкафах в соответствии с СТ СЭВ 1660-79, СТ СЭВ 1661-79.

6.7 Силовой преобразователь, трансформатор и дроссели должны иметь элемент заземления по ГОСТ 21130-75.

6.8 Требования к технике безопасности электроприводов по ГОСТ 12.2.009-80.

1.4. Выбор элементов и расчет параметров силового канала РЭП.

1.4.1 Расчет мощности и выбор электродвигателя

Потребность совершенствования технических характеристик регулируемых и следящих электроприводов привели к разработке специальных двигателей постоянного тока. Общими особенностями двигателей для станочных электроприводов является возможность длительной работы на малых скоростях при полном моменте, что требует специальных мер для их охлаждения, а так же возможность многократной перегрузки по току в течении не большого времени, что связано с необходимостью достижения высокого быстродействия привода.

В условиях эксплуатации станки работают в разнообразных режимах с различной нагрузкой и в общем случае мощность их приводов следует определять методами средних потерь или эквивалентных величин, используемые при выборе мощности двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме. Основой для расчета служат циклограммы работы приводов. Однако они могут быть построены лишь в ограниченных случаях, где обрабатываются определенного вида детали в условиях массового производства. В станках с большой номенклатурой деталей и режимов обработки, построить циклограмму не представляется возможным. Поэтому для определения мощности двигателя перемещения индуктора предполагается, что он работает длительно.

Исходными данными для выбора мощности электродвигателя привода перемещения индуктора является режим перемещения, кинематика станка

приведенная на рисунке 2 сведения о конструкции его основных узлов
приведенная в таблице 1 и их масса.

Выбор двигателя производится по следующим двум условиям:

$$n_{\text{дв.ном}} \geq n_{\text{дв.быстр.перем}} \quad (\text{условие 1})$$

$$M_{\text{дв.ном}} > M_{\text{тр}} + M_{\text{под}} \geq 1,87 + 15,2 \geq 17,07 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \quad (\text{условие.2})$$

Максимальные быстрые перемещения и минимальная рабочая скорости двигателя:

$$\omega_{\text{дв.ном}} = \frac{n_{\text{макс}} \cdot \pi \cdot i_{\text{ред}}}{30} = \frac{180 \cdot 3,14 \cdot 16,6875}{30} = 314,55 \text{ рад/сек},$$

где $\omega_{\text{дв.ном}}$ - номинальная угловая скорость двигателя.

$n_{\text{макс}}$ - максимальная скорость быстрых перемещений индуктора, $n_{\text{макс}} = 180$ об/мин;

$i_{\text{ред}}$ - передаточное число редуктора.

$$i_{\text{ред}} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = 2,5 \cdot 2,5 \cdot 2,67 = 16,6875$$

где i_1 - передаточное число косозубой передачи, $i_1 = 2,5$;

i_2 - передаточное число первой прямозубой передачи, $i_2 = 2,5$;

i_3 - передаточное число второй прямозубой передачи, $i_3 = 2,67$.

$$\omega_{\text{раб.мин.дв}} = \frac{n_{\text{раб.мин}} \cdot \pi \cdot i_{\text{ред}}}{30} = \frac{0,6 \cdot 3,14 \cdot 16,6875}{30} = 1,0485 \text{ рад/сек},$$

Диапазон регулирования электропривода:

$$D\omega = \frac{\omega_{\text{макс.дв}}}{\omega_{\text{раб.мин.дв}}} = \frac{314,55}{1,0485} = 300,$$

Момент трения перемещения индуктора:

$$M_{\text{тр}} = \frac{m \cdot g \cdot k_{\text{тр}} \cdot t_{\text{в}}}{2\pi \cdot \eta_{\text{пер}}} \cdot 10^{-3} = \frac{3000 \cdot 9,81 \cdot 0,05 \cdot 10}{2\pi \cdot 0,94} \cdot 10^{-3} = 1,87 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

где m - масса поднимаемого груза, кг;

$g = 9,80665$ м/с²; - ускорение свободного падения;

$k_{\text{тр}}$ - коэффициент трения в направляющих скольжения, $k_{\text{тр}} = 0,04 \div 0,1$;

$\eta_{\text{пер}}$ - КПД перемещения механизма, $\eta_{\text{пер}} = 0,94$;

$t_{\text{в}} = 10$ мм; - шаг резьбы винта на оборот.

Масса перемещаемого груза:

$$m = m_1 + m_2 + m_3 = 1150 + 250 + 300 = 3000 \text{ Кг},$$

где $m_1=1150$ кг; - вес каретки закалочного трансформатора;

$m_2=250$ кг; –вес закалочного трансформатора;

$m_3=300$ кг;- вес салазок трансформатора.

Момент подачи индуктора:

$$M_{\text{под}} = \frac{F_{\text{п}} \cdot R}{2\pi \cdot \eta_{\text{пер}}} = \frac{1910,386 \cdot 0,035}{2\pi \cdot 0,7} = 15,2 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

где $F_{\text{п}}$ - максимальная осевая сила , Н;

$R=0,035$ м;- радиус винта.

$$F_{\text{п}}=F_a/(i*\eta)= 29419,95/(22*0,7)= 1910,386 \text{ Н} ,$$

где F_a - сила тяжести перемещаемых масс, Н;

i – передаточное число винт-гайки;

η - КПД винт-гайки, $\eta=0,875$.

$$i=\pi*d_v/t_b=3.14*70/10=22 ,$$

где d_v – диаметр винта, $d_v=70$ мм;

$$F_a=m*g=3000*9.80665= 29419,95 \text{ Н} .$$

Перечисленным критериям выбора удовлетворяет двигатель серии

2ПБ. Параметры двигателей приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Параметры выбранного двигателя

Наименование, размерность	Обозначения физических величин	Численное значение
Тип электродвигателя	-	2ПБ160МУХЛ4
Мощность, кВт	$R_{\text{дн}}$	7,1
Напряжение якоря, В	$U_{\text{ндв}}$	220
Номинальная частота вращения, об/мин	$n_{\text{ндв}}$	3000
КПД	η	85,5
Сопротивление якоря +15°С. Ом	$R_{\text{я}(+15)}$	0,081
Сопротивление дополнительных полюсов, +15°С. Ом	$R_{\text{дп}(+15)}$	0,056
Индуктивность якорной цепи, мГн	$L_{\text{я}}$	2,6
Момент инерции, кг•м ²	$J_{\text{д}}$	0,083

Для электродвигателей серии 2ПБ применяют тахогенератор типа ТС1 параметры которого приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Параметры тахогенератора

Наименование, размерность	Обозначения физических величин	Численное значение
Тахогенератор	-	ТС1
Напряжение, В	U _{ТГ}	33
Частота вращения, об/мин	n _{ТГ}	1000
Коэффициент передачи, В•с/рад	K _{ТГ}	0,315

1.4.2 Расчет параметров механической системы

Механическая часть проектируемого электропривода, представляет собой сложную электромеханическую систему, состоящую из инерционных тел (якоря электродвигателя, соединительной муфты, редуктора и т.д.), которые связаны между собой в общем случае упругими элементами. При анализе механической части привода, реальный механизм обычно заменяется динамически эквивалентной приведенной расчетной схемой замещения, состоящей из сосредоточенных инерционных элементов, которые соединены между собой упругими связями и обладающей таким же энергетическим запасом, как и исходный механизм.

Звенья кинематической цепи привода обладают конечной жесткостью и поэтому при передаче вращающего момента все элементы цепи подвергаются деформациям. Одними деформациями, вследствие их малости, пренебрегают, другие, имеющие значительные величины, приводятся к эквивалентным.

В упругих элементах возникает момент, обусловленный внутренним вязким трением, вследствие деформации упругого элемента. Моменты сопротивления определяются силами трения (вязкое, сухое, смешанное), силами тяжести элементов кинематической цепи, полезными моментами и силами, которые могут зависеть от времени, скорости вращения, угла поворота.

Пренебрегая массами соединительных муфт, кинематическую схему представим в виде двух движущихся масс: массы якоря двигателя, вращающийся с угловой скоростью ω_1 ; массы винта с гайкой, вращающийся с угловой скоростью ω_2 .

В результате приведения моментов сопротивления, моментов инерции, жесткостей к выбранной скорости, будет получена расчетная схема двухмассовой кинематической цепи привода индуктора.

Двухмассовая расчетная схема приведена на рисунке 2

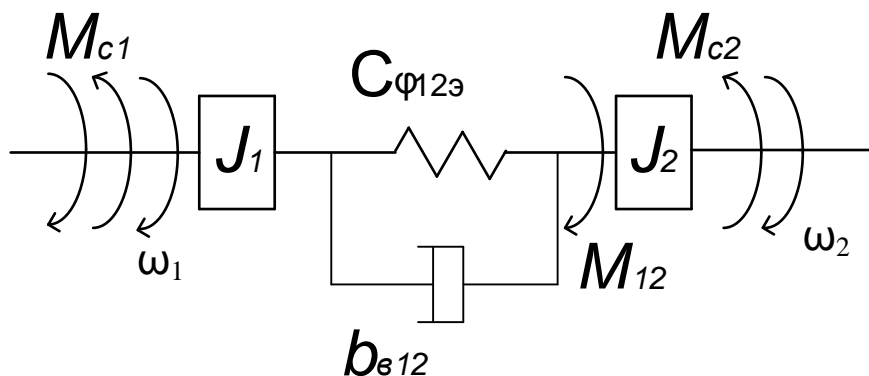


Рисунок 2. Расчетная схема двухмассовой механической системы привода

Принятые на рисунке 2 обозначения:

J_1 – момент инерции первой массы;

J_2 – момент инерции второй массы;

C_{12} – эквивалентная угловая жесткость механизма, приведенная к угловой скорости вала двигателя;

B_{12} – коэффициент внутреннего вязкого трения;

ω_1, ω_2 – соответственно угловая скорость первой и второй массы;

M – движущий момент;

M_{12} – упругий момент;

M_{c1} – момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы;

$M_{тр}$ – момент от силы трения винта;

$M_{пер}$ – момент от силы тяжести.

Представленная ДМС имеет три входа: крутящий момент M на валу первой массы, возмущающий момент сопротивления на валу первой массы M_{c1} и на валу второй массы M_{c2} и два выхода: ω_1 – скорость вращения первой массы и ω_2 – скорость вращения второй массы.

В приведенной расчетной схеме все инерционные элементы имеют одно движение – вращательное, т.е. приведение производится к валу

электродвигателя. Такая расчетная схема называется приведенной схемой вращательной системы. В этой системе нагрузки характеризуются крутящим моментом M , момент инерции J , коэффициент угловой жесткости C_{12} .

Приведенный момент инерции первой массы:

$$J_1' = J_{дв} + J_7 + J_5 + \frac{J_{11}}{i_1^2} + \frac{J_9}{i_1^2} + \frac{J_{10}}{i_1^2} + \frac{J_{13}}{i_2^2} + \frac{J_{14}}{i_2^2} + \frac{J_{16}}{i_2^2} + \frac{J_{20}}{i_3^2} + \frac{J_{22}}{i_3^2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

где $J_7, J_{11}, J_{16}, J_{22}$ – моменты инерции валов редуктора в соответствии с кинематической схемой, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$J_5, J_9, J_{10}, J_{13}, J_{14}, J_{20}$, – моменты инерции шестерен редуктора в соответствии с кинематической схемой, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

i_1, i_2, i_3 – передаточные числа редуктора на ступенях соответственно.

Моменты инерции для винта и валов:

$$J_в = m \cdot \frac{D^2}{8}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

где m – масса изделия, кг ;

D – диаметр изделия, м .

Соответственно моменты инерции для валов:

$$J_{22} = 12,35 \frac{0,06^2}{8} = 0,0056, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{16} = 8,58 \frac{0,05^2}{8} = 0,0027, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{11} = 6,95 \frac{0,045^2}{8} = 0,0018, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_7 = 5,4 \frac{0,04^2}{8} = 0,001, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Моменты инерции для шестерен:

$$J_{ш} = m \frac{R^2 + r^2}{2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Соответственно кинематической схеме моменты инерции для шестерен:

$$J_5 = 1,2 \cdot \frac{0,03^2 + 0,02^2}{2} = 0,00078, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_9 = 3,1 \cdot \frac{0,075^2 + 0,025^2}{2} = 0,00969, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{10} = 5,3 \cdot \frac{0,09^2 + 0,03^2}{2} = 0,02385, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{13} = 0,6 \cdot \frac{0,036^2 + 0,02^2}{2} = 0,0005, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{14} = 0.7 \cdot \frac{0.036^2 + 0.0225^2}{2} = 0.00063, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{20} = 2.7 \cdot \frac{0.096^2 + 0.0325^2}{2} = 0.01387, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_1^I = 0,083 + 0,001 + 0,00078 + \frac{0,0018}{2,5^2} + \frac{0,0005}{2,5^2} + \frac{0,00969}{2,5^2} + \frac{0,0027}{6,25^2} + \frac{0,02385}{6,25^2} + \frac{0,00063}{6,25^2} + \frac{0,0056}{16,6875^2} + \frac{0,01387}{16,6875^2} = 0,0875, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведенный момент инерции второй массы:

$$J_2^I = \frac{J_{\text{ВИНТ}}}{i_{\text{РЕД}}^2} + \frac{m \cdot p^2}{i_{\text{РЕД}}^2} = \frac{0.1044}{16.6875^2} + \frac{3000 \cdot 0.00159155^2}{16.6875^2} = 0.0004022, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

где $J_{\text{ВИНТ}}$ – моменты инерции винта, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

p – радиус приведения узла винт-гайка, м/рад.

Момент инерции винта:

$$J_{\text{ВИН}} = 170,5 \cdot \frac{0,07^2}{8} = 0,1044, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$p = \frac{t_B}{2\pi} = \frac{0.01}{2\pi} = 0.00159155, \frac{\text{м}}{\text{рад}}$$

Реальные звенья кинематической цепи и элементы конструкции привода обладают конечной жесткостью и поэтому при подаче вращающих моментов подвергаются деформациям. Для элементов привода эти деформации являются упругими, т.е. подчинены закону Гука.

Все элементы механической системы привода испытывают в той или иной степени упругие деформации. Прежде всего, это линейные, угловые и изгибные деформации. Деформация элементов привода при передаче движущих моментов и сил приводит к дополнительной ошибке воспроизведения приводом заданной траектории движения и возникновению колебательных процессов в механической системе, что может быть причиной возникновения автоколебаний в электроприводе в целом. Строго говоря, оценка степени влияния упругих деформаций элементов привода с целью принятия обоснованного решения об учете или не учете их при расчете и настройке электропривода механизма, является обязательной.

В связи с тем, что крутильная деформация винта на порядок больше сумме деформаций остальных элементов кинематической схемы, будем учитывать только деформации винта.

При кручении стержня вращающим моментом приложенным в плоскости, перпендикулярной оси стержня, угловую жесткость вала в соответствии с законом Гука определяется выражением:

$$C_{\varphi} = \frac{G \cdot J_P}{0.9 \cdot l} = \frac{8.1 \cdot 10^{10} \cdot 2.357 \cdot 10^{-6}}{0.9 \cdot 5.68} = 37347 \frac{H \cdot m}{рад},$$

где l – длина стержня, м;

G – модуль сдвига, для стали равный $G=8,1 \cdot 10^{10}$ Н/м²;

J_P – полярный момент инерции сечения вала, м⁴.

$$J_P = \frac{\pi \cdot D^4}{32} = \frac{\pi \cdot 0,07^4}{32} = 2,357 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Угловая жесткость винта приведенная к валу двигателя:

$$C_{\varphi}^1 = \frac{C_{\varphi}}{i_{RED}^2} = \frac{37347}{16,6875^2} = 135 \frac{H \cdot m}{рад}.$$

Осевая податливость винта закрепленного с двух концов максимальна при среднем положении гайки:

$$\delta_l = \frac{0.5 \cdot l}{S \cdot E} = \frac{0.5 \cdot 0.9 \cdot 5,68}{0,00385 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 3.32 \cdot 10^{-9} \frac{m}{H},$$

где S – площадь поперечного сечения стержня, м²;

l – длина стержня, м;

E – модуль продольной упругости, для стали равный $E=2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м².

Она же приведенная к угловому перемещению:

$$\delta_{\varphi} = \frac{\delta_l}{p^2} = \frac{3,32 \cdot 10^{-9}}{0,00159155^2} = 0,001184 \frac{H}{m}.$$

Угловая жесткость винта:

$$C_{\varphi\varphi} = \frac{1}{\delta_{\varphi}} = \frac{1}{0,001184} = 845 \frac{H \cdot m}{рад}.$$

Она же приведенная к валу двигателя:

$$C_{\varphi\varphi}^1 = \frac{C_{\varphi\varphi}}{i_{RED}^2} = \frac{845}{16,6875^2} = 3.038 \frac{H \cdot m}{рад}.$$

Результирующая жесткость приведенная к валу двигателя:

$$C_{12} = \frac{1}{\left(\frac{1}{C_{\varphi}^1} + \frac{1}{C_{\varphi\varphi}^1}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{135} + \frac{1}{3.038}\right)} = 2.98 \frac{H \cdot m}{рад}.$$

Коэффициент внутреннего вязкого трения:

$$b_{12} = \frac{0.2 \cdot C_{12}}{\pi \cdot \omega_{12}} = \frac{0.2 \cdot 2.98}{\pi \cdot 86,27} = 0,0022$$

где ω_{12} - резонансная частота колебаний полученной двухмассовой упругой системы, рад/с.

$$\omega_{12} = \sqrt{\frac{J_1 + J_2}{J_1 \cdot J_2} \cdot c_{\phi 12}} = \sqrt{\frac{0.0875 + 0.0004022}{0.0875 \cdot 0.0004022}} \cdot 2,98 = 86,27 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Крутящий момент примем равным номинальному моменту двигателя

:

$$M = M_H = \frac{P_{ДВН}}{\omega_{ДВН}} = \frac{7100}{314,16} = 22,6, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы:

$$M_{C1} = (C \cdot I_H - M_H) + \left(\frac{1 - \eta_{ред}}{2 \cdot \eta_{ред}} \cdot M_H \right) = (0,6799 \cdot 37,73 - 22,6) + \left(\frac{1 - 0,8}{2 \cdot 0,8} \cdot 22,6 \right) = 5,891 \text{ Н}.$$

Момент от силы трения винта:

$$M_{TP} = \frac{1 - \eta_B}{2 \cdot \eta_B} \cdot M_H = \frac{1 - 0,875}{2 \cdot 0,875} \cdot 22,6 = 1,62$$

Момент от силы тяжести поднимаемого груза:

$$M_{GP} = m \cdot g \cdot \frac{t_B}{2 \cdot \pi \cdot i_{ред}} = 3000 \cdot 9,81 \frac{0,001}{2 \cdot \pi \cdot 16,68} = 2,77 \text{ Н}$$

Резонансная частота колебаний полученной двухмассовой упругой системы:

$$f_{П2} = \frac{\omega_{12}}{2 \cdot \pi} = \frac{86,27}{2 \cdot \pi} = 13,73 \text{ Гц}.$$

Полученное значение резонансной частоты двухмассовой системы приблизительно равна полосе пропускания контура скорости, что позволяет в первом приближении считать механическую систему привода подачи одномассовой с эквивалентным моментом инерции

$$J_{\text{э}} = J_1 + J_2 = 0.0875 + 0.0004022 = 0.0879022, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Эквивалентный момент сопротивления типа сухого трения:

$$M_c = M_{c1} + M_{c2} = 5,891 + 1,62 = 7,511 \text{ Н}$$

Структурная схема одномассовой механической системы приведена на рисунке 3 .

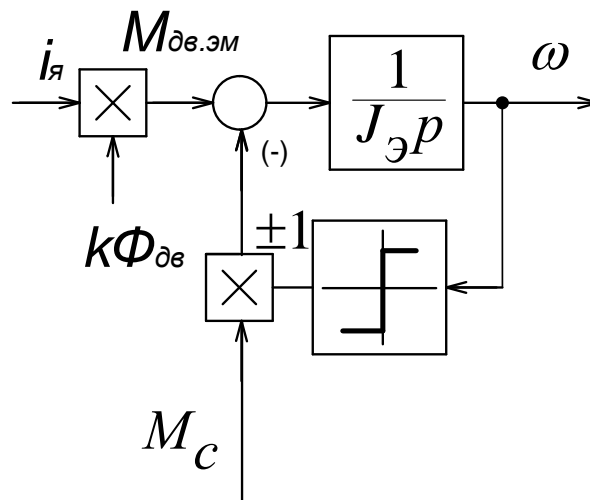


Рисунок 3 . Структурная схема одномассовой механической системы.

На рисунке обозначены:

M – момент развиваемый двигателем;

M_c – сумма моментов трения и подачи;

J – эквивалентный момент инерции;

ω – угловая скорость.

Расчетные данные механической системы сведены в таблице 4.

Таблица 4 - Технические данные ТП.

Наименование, размерность	Обозначения физических величин	Численное значение
Приведенный момент инерции первой массы, кг•м ²	J_1	0,0875
Приведенный момент инерции второй массы, кг•м ²	J_2	0,0004022
Результирующая жесткость	C_{12}	2,98
Коэффициент внутреннего вязкого трения	B_{12}	0,0022
Момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы, Н	M_{c1}	5,891
Момент сопротивления типа сухого трения на валу второй массы, Н	M_{c2}	1,62
Момент от силы тяжести поднимаемого груза, Н	$M_{ГР}$	2,77
Эквивалентный момент инерции, кг•м ²	J_{Σ}	0,0879022
Эквивалентный момент сопротивления типа сухого трения, Н	$M_{c\Sigma}$	7,511

1.4.2 Выбор комплектного электропривода

Для правильного выбора ТП для питания электродвигателя должны выполняться следующие условия:

- а) Номинальное выпрямленное напряжение преобразователя якорной цепи должно быть равно номинальному напряжению двигателя

$$U_{дн} = U_{дв.н} = 220 \text{ В.}$$

- b) Номинальный ток преобразователя должен быть равен или больше номинального тока двигателя

$$I_{дн} \geq I_{двн}$$

- с) Ток допустимой перегрузки преобразователя должен быть равен или больше тока допустимой перегрузки двигателя

$$I_{дмакс} \geq I_{двмакс}$$

При условии, что продолжительность перегрузки преобразователя равна или больше продолжительности перегрузки двигателя.

На основании данных условий выбираем ТП типа ЭПУ1-2..П данные которого приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Технические данные ТП.

Наименование, размерность	Обозначения физических величин	Численное значение
Тип ТП	-	ЭПУ-1-2-3727ПУХЛ4
Исполнение по реверсу	-	Реверсивный
Ток блока управления, А	$I_{дн}$	50
Выпрямленное напряжение блока управления, В	$U_{дн}$	230
Напряжение трехфазной питающей сети, В	U_{ϕ}	380
Частота трехфазной питающей сети, Гц	f_{ϕ}	50
Диапазон регулирования	D	10000
Перегрузка по моменту	-	До 6

1.4.3 Функциональная схема электропривода и ее основные элементы

Электропривод представляет собой электромеханическое устройство, служащее для регулирования и стабилизации скорости вращения ДПТ в диапазоне 1:1000.

Для электропривода применена структура с ПИ-регулятором скорости, адаптивным устройством для линеаризации характеристик электропривода и обратной связи по току на вход управляющего органа СИФУ.

Функциональная схема приведена на рисунке 4 где:

ТП – реверсивный тиристорный преобразователь.

СИФУ – система импульсно-фазового управления.

L – сглаживающий реактор.

M – ДПТ со встроенным тахогенератором BR.

РС – регулятор скорости.

УЗТ – узел зависимого токоограничения.

НЗ – нелинейное звено.

ФПЕ – функциональный преобразователь ЭДС двигателя.

ПХ – переключатель характеристик.

ЛУ – логическое устройство.

УО – управляющий орган.

БЗ – блок защиты.

ДТ – датчик тока.

ДПВ – датчик проводимости вентиляей.

Назначение каждого элемента функциональной схемы:

ТП – состоит из согласующего силового трансформатора и двух управляемых выпрямительных мостов выполненных по трёхфазной мостовой схеме, включенных встречно - параллельно и работающих по принципу раздельного управления.

СИФУ – общая для двух групп вентиляей реверсивного преобразователя, выполнена по вертикальному принципу управления и

состоит из трёх одинаковых каналов, каждый из которых поочерёдно, в зависимости от полуволны питающего напряжения, формирует управляющие импульсы на тиристоры анодной и катодной группы соответствующей фазы.

L – предназначен для уменьшения зоны прерывистых токов, а также для ограничения пиков тока в якорной цепи электродвигателя

РС – выполнен на операционных усилителях DA1, DA2; регулятор скорости сделан двухканальным. Первый канал – усилитель DA1 обеспечивает усиление сигнала и быстроедействие, второй усилитель DA2 осуществляет компенсацию температурной и временной нестабильности регулятора.

УЗТ – обеспечивает, в зависимости от подключения, ограничение тока якоря на заданном уровне («токовая отсечка») и зависимое ограничение в функции скорости вращения. Принцип работы схемы токоограничения основан на ограничении выходного напряжения регулятора скорости, которое определяет максимальный заданный ток якоря.

НЗ – предназначено для работы в режиме прерывистых токов и имеет характеристику, обратную регулировочной характеристике управляемого выпрямителя.

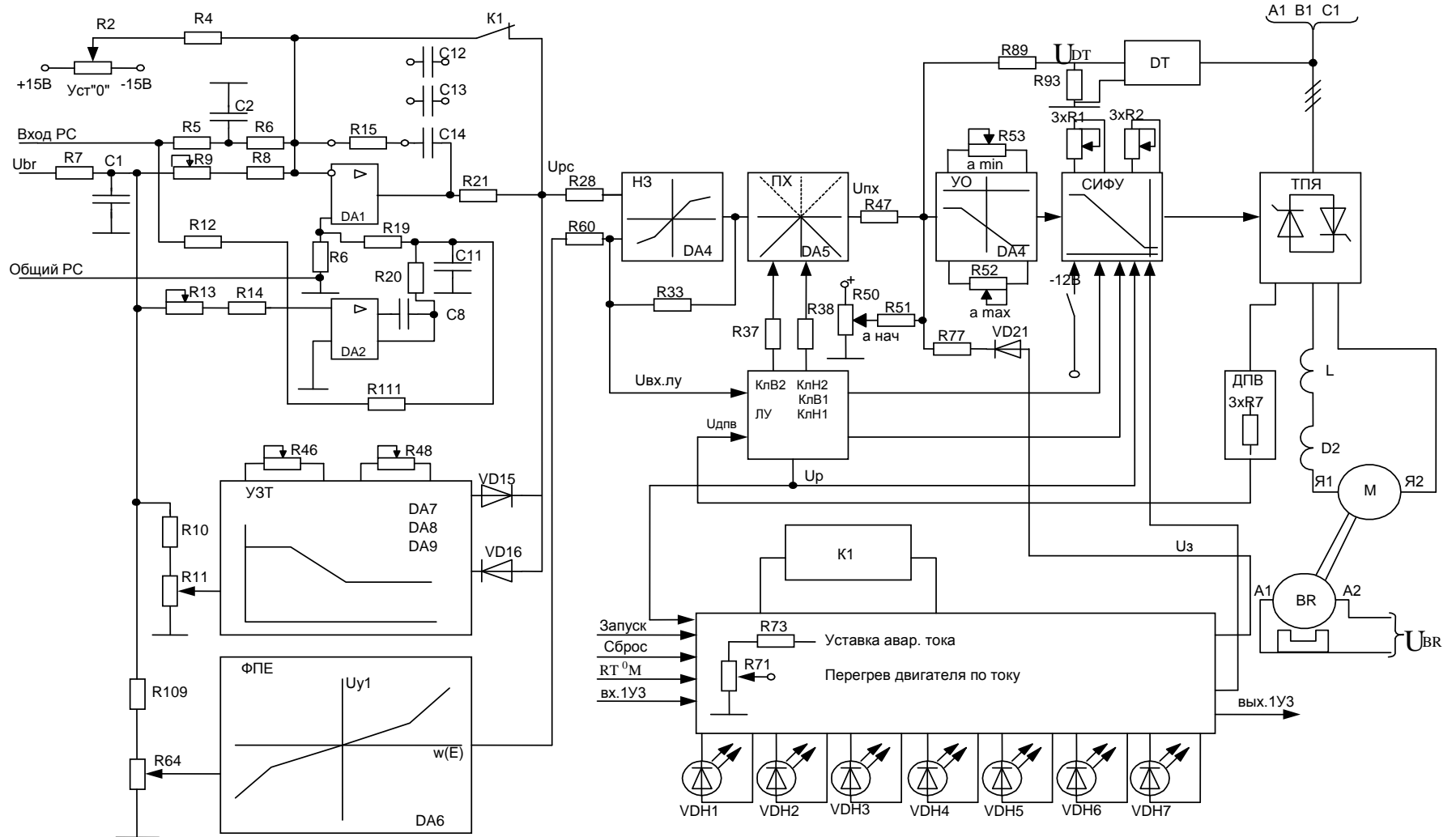


Рисунок 4. Функциональная схема

1.4.4 Выбор трансформатора

Трехфазные преобразовательные трансформаторы являются специализированными устройствами, предназначенными для питания тиристорных преобразователей систем электропривода постоянного тока с трехфазной мостовой схемой выпрямления.

В общем случае выбор согласующего силового трансформатора для тиристорного преобразователя производится по расчетным значениям тока и напряжения вентильной (вторичной) обмотки и типовой мощности трансформатора. Расчет ведется для предполагаемого соединения вентильной обмотки Y. В этом случае $I_{2\Phi} = I_{2Л}$, $U_{2\Phi} = \frac{U_{2Л}}{\sqrt{3}}$.

Расчетное значение фазной ЭДС вентильной обмотки трансформатора может быть выбрано из следующих трех условий:

- Обеспечение заданной максимальной скорости электропривода при пониженном напряжении сети и номинальном токе двигателя

$$E_{2\Phi, \text{РАСЧ}} = k_{U2\Phi} \cdot k_{\alpha} \cdot \frac{1}{k_{UC}} \cdot (1 + k_R) \cdot U_{ДВМАКС} = 0,428 \cdot 1,015 \cdot \frac{1}{0,85} (1 + 0,1) \cdot 220,27 = 124 \text{ В}$$

где $k_{U2\Phi}$ – коэффициент схемы, $k_{U2\Phi} = E_{2\Phi} / E_{d0} = 0,428$;

k_{α} – коэффициент запаса, учитывающий неполное открывание тиристорных преобразователя;

k_{UC} – коэффициент запаса по напряжению, учитывающий возможное снижение напряжения питающей сети, $k_{UC} = 0,85$ – для сети 380 В;

k_R – коэффициент запаса, учитывающий падение напряжения в тиристорах, обмотках трансформатора, а также за счет коммутаций, $k_R = 0,05 \div 0,1$;

$U_{ДВ.МАКС.}$ – максимальное значение напряжения на двигателе при номинальном токе и максимальной скорости привода, В.

$$k_{\alpha} = \frac{1}{\cos \alpha_{\text{МИН}}} = \frac{1}{\cos 10^{\circ}} = \frac{1}{0,9848} = 1,015$$

$$U_{ДВ.МАКС.} = c \cdot \omega_{ЭПМАКС} + I_{ДВН} \cdot R_{ДВГОР} = 0,6799 \cdot 314,55 + 37,75 \cdot 0,16988 = 220,27 \text{ В}$$

где c – коэффициент ЭДС вращения двигателя, В•с/рад;

$\omega_{ЭПМАКС}$ – максимальная скорость привода, $\omega_{ЭПМАКС}=314,55\text{рад/с}$;

$I_{ДВН}$ – номинальный ток двигателя, А;

$R_{ДВГОР}$ – сопротивление двигателя в горячем состоянии, Ом.

$$c = \frac{U_{ДВН} - I_{ДВН} \cdot R_{ДВГОР}}{\omega_{ДВНОМ}} = \frac{220 - 37,75 \cdot 0,16988}{314,159} = 0,6799 \frac{В \cdot с}{\text{рад}}$$

$\omega_{ДВНОМ}$ – номинальная скорость двигателя, $\omega_{ДВНОМ}=314,159\text{рад}\cdot\text{с}$;

$$I_{ДВН} = \frac{P_H}{\eta_H \cdot U_{ДВН}} = \frac{7100}{0,855 \cdot 220} = 37,75 А$$

где P_H – номинальная мощность электродвигателя, $P_H=7,1$ кВт;

η_H – номинальное КПД двигателя, $\eta_H=0,855$

$$R_{ДВГОР} = 1,24 \cdot (R_{ОЯ+15\text{с}} + R_{ДП+15\text{с}}) = 1,24(0,081 + 0,056) = 0,16988 \text{ Ом}$$

- Обеспечение предельных динамических характеристик электропривода при номинальном напряжении сети

$$E_{2ФРАСЧ} = k_{U2Ф} \cdot k_{\alpha} \cdot \left(1 + k_R \cdot \frac{I_{ДОП}}{I_{ДВН}} \right) \cdot U_{ДВМАКС} = 0,428 \cdot 1,015 \left(1 + 0,1 \frac{94,4}{37,75} \right) \cdot 230 = 125 В$$

где $I_{ДОП}$ – максимальный ток двигателя, А;

$U_{ДВМАКС}$ – максимальное напряжение двигателя, В.

$$I_{ДОП} = 2,5 \cdot I_{ДВН} = 2,5 \cdot 37,75 = 94,4 А$$

$$U_{ДВМАКС} = c \cdot \omega_{ЭПМАКС} + I_{ДОП} \cdot R_{ДВГОР} = 0,6799 \cdot 314,55 + 94,4 \cdot 0,16988 = 230 В$$

- Сохранение предельных динамических характеристик привода при пониженном напряжении сети

$$E_{2ФРАСЧ} = \frac{k_{U2Ф} \cdot k_{\alpha}}{k_{UC}} \cdot \left(1 + k_R \frac{I_{ДОП}}{I_{ДВН}} \right) \cdot U_{ДВМАКС} = \frac{0,428 \cdot 1,015}{0,85} \cdot \left(1 + 0,1 \frac{94,4}{37,75} \right) \cdot 230 = 146,99 В$$

исходя из требований к динамическим характеристикам привода, выбирается необходимое значение $E_{2ФРАСЧ}$.

- Расчетное действующее значение фазного тока вентильной обмотки

$$I_{2ФРАСЧ} = k_I \cdot k_{I2Ф} \cdot I_{ДВН} = 1,05 \cdot 0,815 \cdot 37,75 = 32,3 А$$

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

$k_{I2\Phi}$ – коэффициент схемы выпрямления по току вторичной обмотки,

$$k_{I2\Phi}=I_{2\Phi}/I_d=0.815.$$

- Расчетная типовая мощность трансформатора

$$S_{TTPPACЧ} = k_S \cdot \frac{E_{2\Phi PACЧ}}{k_{U2\Phi}} \cdot k_I \cdot I_{ДВН} = 1,045 \cdot \frac{146,99}{0,428} \cdot 1,05 \cdot 37,75 = 14225, B \cdot A$$

где k_S - коэффициент схемы выпрямления по мощности, $k_S=S_T/P_d=1.045$.

Выбираем трансформатор имеющий параметры:

$$S_{TP} \geq S_{TTPPACЧ} \geq 14215,79 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$U_{2H} \geq E_{2\Phi PACЧ} \geq 146,89 \text{ В};$$

$$I_{2H} \geq I_{2\Phi PACЧ} \geq 32,3 \text{ А}.$$

Выбираем трансформатор типа ТСТ параметры которого приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Параметры трансформатора.

Наименование, размерность	Обозначения физических величин	Численное значение
Тип трансформатора		ТСТ – 16
Сетевая обмотка		
Мощность, кВА		16
Напряжение, В		380
Вентильная обмотка		
Мощность, кВА		15,4
Напряжение, В		104/208
Потери короткого замыкания, Вт		310
Напряжение короткого замыкания, %		6,1
Активное сопротивление, Ом	R _ф	0,057
Индуктивное сопротивление, Ом	X _ф	0,161
Индуктивность фазы L _ф , Гн		0,51•10 ⁻³

1.4.5 Выбор сглаживающего реактора

Включение сглаживающего дросселя в якорную цепь позволяет ограничить величину переменных составляющих и, тем самым, улучшить использование двигателя, его коммутацию и электромеханические характеристики, однако одновременно вызывает увеличение габаритов и веса привода, его стоимости и ухудшение динамических свойств.

В РЭП индуктивность сглаживаемого дросселя выбирается из условия уменьшения зоны прерывистых токов при раздельном управлении преобразователя до уровня минимального значения тока нагрузки (или тока холостого хода двигателя) и ограничения пульсаций тока двигателя до допустимых значений.

Определение необходимой величины индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения зоны прерывистых токов.

Наибольшая ширина зоны прерывистых токов при раздельном управлении имеет место при угле $\alpha=90^\circ$, тогда минимальное значение индуктивности цепи выпрямленного тока (тока нагрузки) для получения граничного – непрерывного режима определяется выражением:

$$L_{\text{кн1}} = \frac{1}{\omega c} \cdot K_{\text{тр.макс}} \cdot \frac{E_{\text{д0}}}{I_{\text{дгр}}} = \frac{1}{314} 0,093 \frac{281}{5,6625} = 0,0147 \text{ Гн}$$

где $I_{\text{дгр}}$ – значение начального – непрерывного тока, А;

$E_{\text{д0}}$ – максимальная выпрямленная ЭДС преобразователя, В.

$$I_{\text{дгр}} = (0,1 - 0,15) I_{\text{н}} = 0,15 \cdot 37,75 = 5,6625 \text{ А}$$

$$K_{\text{тр.макс}} = 1 - \frac{\pi}{m\alpha} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{m\alpha} = 1 - \frac{\pi}{6} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{6} = 0,093$$

$$E_{\text{д0}} = \frac{U_{2\pi}}{K_{U_{2\pi}}} = \frac{208}{0,74} = 281 \text{ В}$$

Индуктивность добавочного дросселя определяется:

$$L_{\text{др1}} = L_{\text{кн1}} - \sum L_{\text{тр.н}} - L_{\text{дв}} = 14,7 - 2 \cdot 0,51 - 2,6 = 11,08 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

где $\sum L_{\text{тр.н}}$ – суммарная индуктивность обмоток трансформатора

Определение необходимой величины сглаживающего дросселя из условия ограничения пульсаций выпрямленного тока.

Пульсации выпрямленного напряжения приводит к пульсациям выпрямленного тока, которые ухудшают его нагрев. Кривая выпрямленного напряжения содержит две составляющие – постоянную, равную среднему значению выпрямленного напряжения и переменную, состоящую из спектра гармоник. Ограничиваемая с учетом влияния первой гармоники необходимая величина индуктивности цепи тока определяется из выражения:

$$L_{кн2} = \frac{Ed_{1\max} \cdot 100}{m \cdot \omega \cdot P\% \cdot Id} = \frac{68.125 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 15 \cdot 37,75} = 6.39 \cdot 10^{-3}, \text{Гн}$$

где $Ed_{1\max}$ -действующее значение первой гармоники пульсирующего выпрямленного напряжения при угле управления $\alpha=90^\circ$, В;

$$Ed_{1\max} = E_{d0} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot m \cdot v}{(m^2 - 1)} = 281 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot 6}{(6^2 - 1)} = 68.125, \text{В}$$

$P(1)\%$ - допустимое действующее значение первой гармоники выпрямленного тока в процентах, $P(1)\%=2-15\%$;

Индуктивность добавочного дросселя определяется по следующему выражению:

$$L_{др2} = L_{кн2} - \sum L_{трн} - L_{дв} = 6,39 - 2 \cdot 0,51 - 2,6 = 2,77 \cdot 10^{-3}, \text{Гн}$$

Выбираем два дросселя типа РТП-9 со следующими параметрами:

$$R_{др} = 0.04 \text{ Ом}$$

$$L_{др} = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

1.4.6 Расчет параметров силовой цепи

Расчетное сопротивление силовой цепи:

$$R_{яц} = R_{д.гор} + R_{ТП} + R_{к} = 0,16988 + 0,1535 + 0,154 = 0,47738 \text{ Ом}$$

где $R_{ТП}$ - эквивалентное сопротивление тиристорного преобразователя, Ом;

$R_{к}$ – сопротивление, вносимое за счет коммутации анодных токов, Ом;

$$R_{к} = \frac{m \cdot \omega_c \cdot X_{mp} \cdot \phi}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,161}{2 \cdot \pi} = 0,154, \text{ Ом}$$

$$R_{ТП} = \frac{R_{УВ} + R_{ДР}}{2} = \frac{0,267 + 0,04}{2} = 0,1535 \text{ Ом}$$

где $R_{УВ}$ – эквивалентное сопротивление силовой цепи управляемого выпрямителя в режиме непрерывного тока, Ом;

$$R_{УВ} = 2 \cdot R_{2\phi} + \frac{3 \cdot \omega_c \cdot L_{2\phi}}{\pi} = 2 \cdot 0,057 + \frac{3 \cdot 314 \cdot 0,51 \cdot 10^{-3}}{\pi} = 0,267, \text{ Ом}$$

Расчетное значение индуктивности силовой цепи

$$L_{яц} = L_{ДВ} + L_{ТП} = 2,6 + 3,91 = 6,51 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

где $L_{ТП}$ – эквивалентная индуктивность тиристорного преобразователя, Гн;

$$L_{ТП} = \frac{L_{УВ} + L_{ДР}}{2} = \frac{1,02 \cdot 10^{-3} + 6,8 \cdot 10^{-3}}{2} = 3,91 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн}$$

где $L_{УВ}$ – эквивалентная индуктивность силовой цепи управляемого выпрямителя в режиме непрерывного тока, Гн;

$$L_{УВ} = 2 \cdot L_{2\phi} = 2 \cdot 0,51 \cdot 10^{-3} = 1,02 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн}$$

Электромагнитная постоянная силовой цепи:

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{6,51 \cdot 10^{-3}}{0,47738} = 0,0136, \text{ С}$$

1.4.7 Проверка области существования электромеханических характеристик электропривода

Заданная область существования электромеханических характеристик электропривода замкнутой системы должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой разомкнутой системы преобразователь – двигатель. Последняя, в свою очередь, ограничена предельными характеристиками, соответствующими работе проводящей группы тиристоров в режиме предельного инвертирования, а в выпрямительном режиме – при минимальном угле управления. Выполнение этого условия требует большого запаса по напряжению и мощности преобразователя и силового трансформатора. При этом должны выполняться следующие условия: при пониженном напряжении сети и работе преобразователя в выпрямительном режиме с минимальным углом управления должна быть обеспечена скорость $\omega = \omega_{ЭП.МАКС}$ при токе $I = I_{ДВ.Н}$, а при реверсировании электропривода должна обеспечиваться безопасное инвертирование при допустимом токе перегрузки.

Определяем значение минимального угла управления преобразователя $\alpha_{МИН}$ в выпрямительном режиме при пониженном напряжении сети по формуле:

$$\alpha_{МИН} = \arccos \frac{c \cdot \omega_{ЭПМАКС} + I_{ДОП} \cdot R_{ЯЦ}}{k_{UC} \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{0.6799 \cdot 314.16 + 37.75 \cdot 0.47738}{0.85 \cdot 281} = 14^\circ$$

Принимаем $\alpha_{МИН} = 14^\circ$

При выбранном $\alpha_{МИН}$ рассчитывается и строится электромеханическая характеристика разомкнутой системы электропривода при работе преобразователя в выпрямительном режиме :

$$\omega_{МАКС}(I) = \frac{1}{c} (k_{UC} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{МИН} - R_{ЯЦ} \cdot I_{Я}), \frac{рад}{с}$$

Данные расчетов приведены в таблице №6

Рассчитывается и строится предельная характеристика безопасного инвертирования при работе преобразователя в инверторном режиме:

$$\omega_{МАКС}(I) = \frac{1}{c} [k_{UC} \cdot E_{d0} \cos \delta + (R_{ТП} - R_{ДВ}) \cdot I_{Я}] \frac{рад}{с}$$

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = 0,28 + 3 = 3,28^\circ$$

где δ_1 - угол, соответствующий времени восстановления запирающих свойств вентиля тв, град;

δ_2 – предельно допустимое значение асимметрии импульсов управления, $\delta_2 = 3^\circ$;

$$\delta_1 = \frac{180 \cdot \omega c \cdot t_{в}}{\pi} = \frac{180 \cdot 314 \cdot 15 \cdot 10^{-6}}{\pi} = 0,28, \text{ град}$$

Данные расчетов приведены в таблице №6

Для максимального тока определяется значение максимального угла управления из условия предельного безопасного инвертирования:

$$\alpha_{МАКС} = \arccos \left(\frac{2 \cdot R_{ТП} \cdot I}{k_{UC} \cdot E_{d0}} - \cos \delta \right) = \arccos \left(\frac{2 \cdot 0,1535 \cdot 94,4}{0,85 \cdot 281} - \cos 3,28^\circ \right) = 152^\circ$$

Для найденного значения угла $\alpha_{МАКС}$ рассчитывается и строится электромеханическая характеристика разомкнутой системы электропривода при работе преобразователя в инверторном режиме:

$$\omega_{МАКС}(I) = \frac{1}{c} (-k_{UC} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{МАКС} - R_{ЯЦ} \cdot I_{Я}) \frac{рад}{с},$$

Данные расчетов приведены в таблице 7.

Таблица 7 - результаты расчетов области существования электромеханических характеристик электропривода.

		$\alpha,^\circ$	$I_{Я}=0A$	$I_{Я}=94,4A$
ω	Выпрямительный режим	14	340,87	274,58
	Инверторный режим		350,73	373,5
	Инверторный режим	152	307,3	373,5

По данным из таблицы строим электромеханические характеристики при работе преобразователя в выпрямительном и инверторном режимах. Характеристики приведены на рисунке 5.

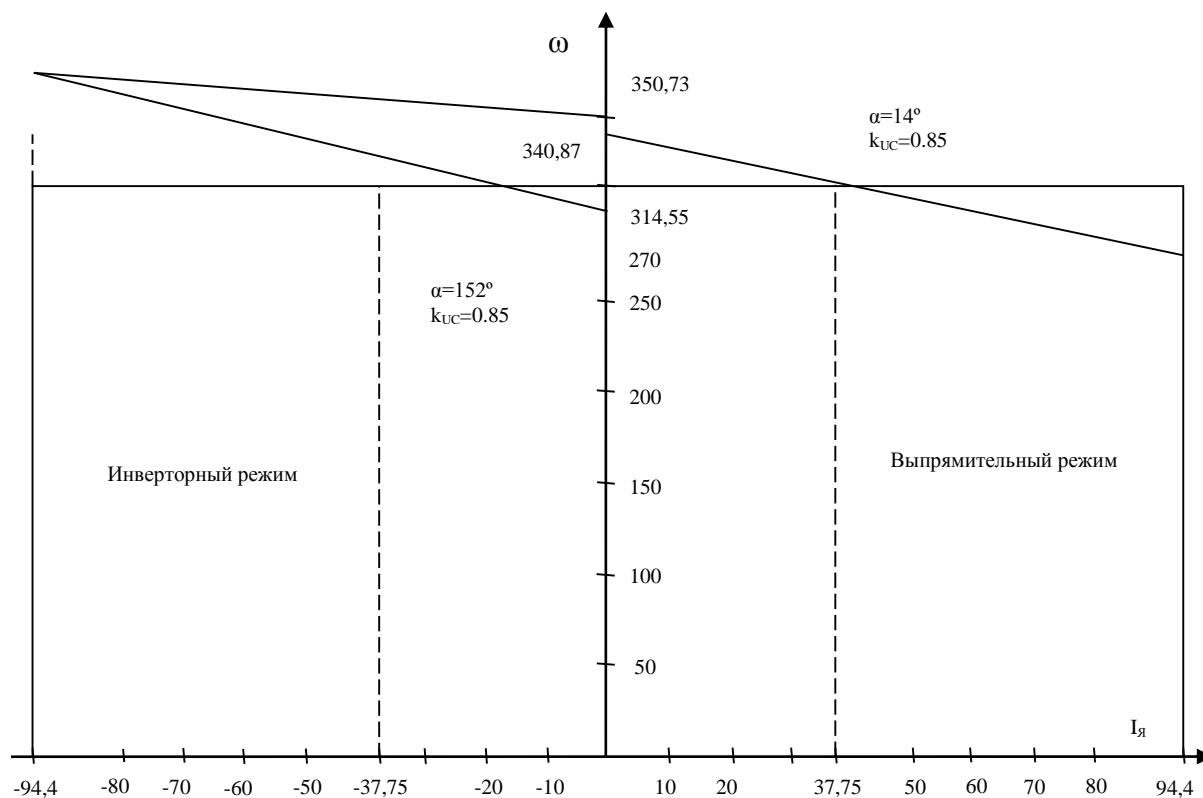


Рисунок 5. Область существования электромеханических характеристик электропривода.

Скорость двигателя в установившемся режиме определяется величиной среднего значения выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя и падением напряжения в цепи, образованной вторичной обмоткой трансформатора, тиристором, обмоткой якоря и дросселями.

В области малых нагрузок электромеханические характеристики существенно нелинейные с изменяющейся жёсткостью. С уменьшением нагрузки имеет место резкий подъём скорости из-за явлений, связанных с прерывистым характером тока якоря. В режиме прерывистого тока в преобразователе тиристор прекращает проводить ток до момента отпирания тиристора следующей фазы. Скорость двигателя в установившемся режиме определяется величиной среднего значения выпрямленного напряжения

тиристорного преобразователя и падением напряжения в цепи, образованной тиристором, обмоткой якоря и дросселями.

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$\omega = \frac{E_d - I_d \cdot R_{яц} - \Delta U_\epsilon}{c},$$

где: $E_d = E_{d0} \cdot \cos(\alpha)$ – среднее значение выпрямленной ЭДС в режиме непрерывного тока;

α – угол включения тиристора, отсчитываемый от точки естественной коммутации;

ΔU_ϵ – прямое падение напряжение на тиристоре.

Для получения соответствующей скорости вращения вала двигателя произведем ряд преобразований и получим выражение для нахождения угла управления в функции скорости:

$$\alpha(\omega) = \arccos \left(\frac{\omega \cdot c + I_d \cdot R_{яц} + \Delta U_\epsilon}{E_{d0}} \right).$$

Для построение электромеханических характеристик в зоне непрерывного тока воспользуемся итоговым выражением:

$$\omega(I) = \frac{E_{d0} \cdot \cos(\alpha(\omega)) - I \cdot R_{яц} - \Delta U_\epsilon}{c}.$$

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол α . Появление зоны прерывистого токов обусловлено тем, что в определенные промежутки времени мгновенное значение выпрямленного

напряжения преобразователя становится меньше встречно действующей ЭДС двигателя, и, как следует из уравнения равновесия ЭДС становится отрицательной. Ток должен изменить направление на противоположное. Но поскольку вентили обладают односторонней проводимостью, ток становится равным нулю. При больших нагрузках несмотря на то, что в определенные промежутки времени мгновенное значение напряжения становится меньше ЭДС двигателя, ток не прерывается, является непрерывным. Объясняется это тем, что при больших нагрузках запас электромагнитной энергии в цепи выпрямленного тока значительный. Переходу от режима непрерывного тока к прерывистому соответствует режим начально-непрерывного тока, являющегося граничным. Величина граничного тока зависит от угла α и параметров схемы.

Проведем расчет и построение характеристик в зоне прерывистых токов. Для этого найдем угол открывания, измеренный от начала положительной полуволны синусоиды фазной ЭДС:

$$\theta_0(\alpha) = \frac{180}{\pi} \cdot \left(\alpha(\omega) + \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m_e} \right) \right).$$

Значение ЭДС в относительных единицах в зависимости от угла управления α в зоне прерывистых токов:

$$e(\alpha) = \cos\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{\sin\left(\left(\theta_0(\alpha) - \theta\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \sin\left(\left(\theta_0(\alpha) + \lambda - \theta\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot e^{\lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}{1 - e^{\lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}$$

где угол $\lambda = \frac{2 \cdot 180}{m_e} = 60$ град – угол проводимости тиристоров;

угол θ – угол отставания тока в якоре от напряжения . Он обусловлен присутствием в цепи якоря индуктивности $L_{яц}$. Угол θ найдем по выражению:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\omega_0 \cdot L_{яц}}{R_{яц}}\right) \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(\alpha) = \frac{m_\epsilon}{2 \cdot \pi} \left(\cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left((\lambda + \theta_0(\alpha)) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot e_{cp}(\alpha) \right),$$

Характеристики режима прерывистого тока можно построить в абсолютных единицах $\omega = f(I)$ по следующим выражениям:

$$\omega(\alpha) = e(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right) - \Delta U_\epsilon}{c},$$

$$I(\alpha) = i(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right)}{R_{яц}}.$$

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристорov α (в диапазоне $0 \dots 180$) и угол проводимости λ ($0 \dots 60$), то получим семейство электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 13:

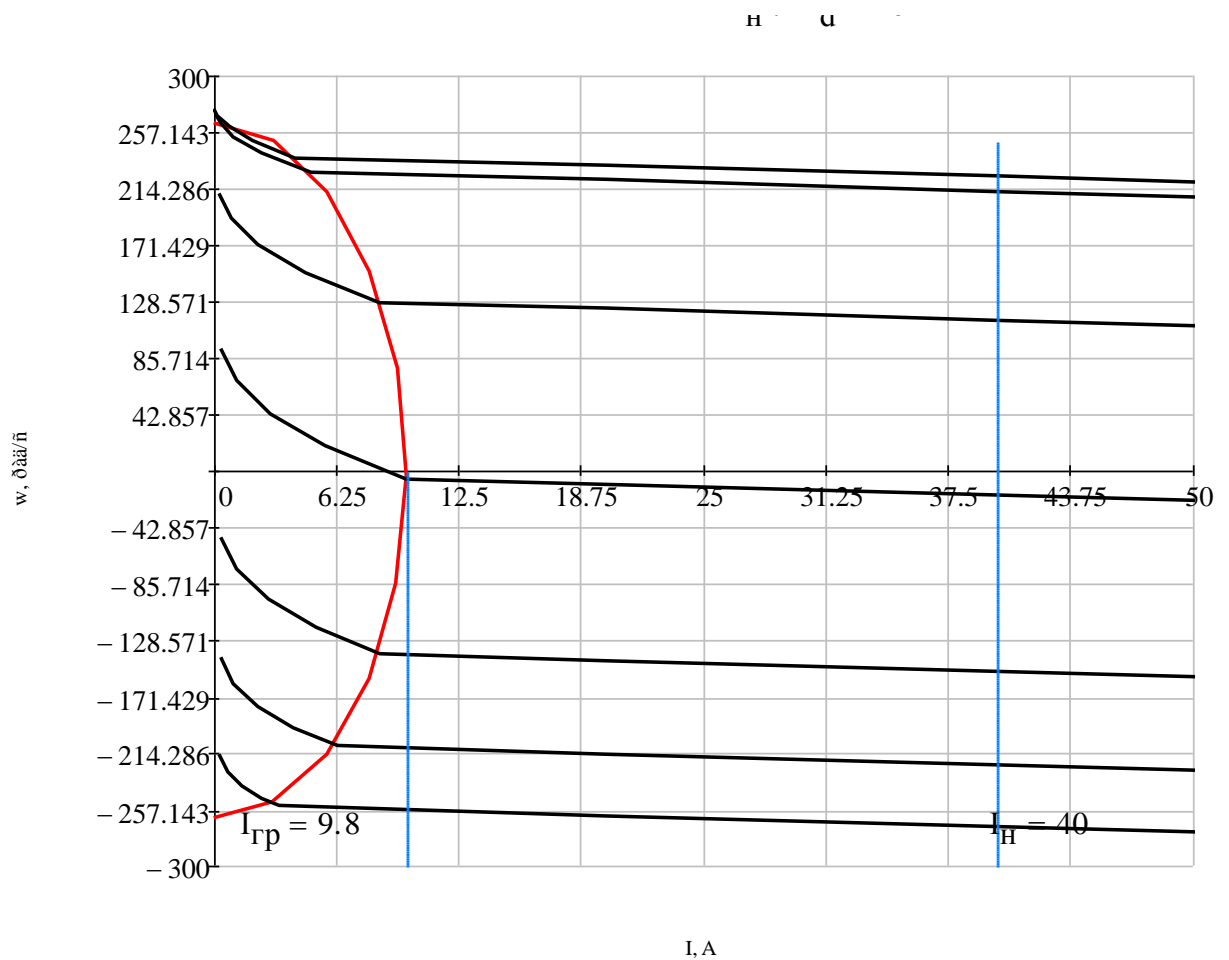


Рисунок 13 – Электромеханические характеристики системы УВ–Д с
раздельным управлением

Для получения граничной характеристики можно воспользоваться выражениями для скорости и тока в зоне прерывистого тока, задавая угол $\lambda = 60$ град и меняя угол управления α .

Как видно из графиков рисунка 13 отношение $\frac{I_{дгрmax}}{I_{дн}} = \frac{9,8}{40} = 0,245$, что

является приемлемым.

1.4.8 Расчет параметров преобразователя

В практике применения тиристорных преобразователей для электроприводов постоянного тока имеет место большое разнообразие систем управления как по принципу работы, так и по схемной реализации. Для реверсивных электроприводов дополнительно задаётся закон управления группами вентилей. В нашем случае имеем СИФУ с линейным опорным напряжением, отдельным управлением вентильными группами и, соответственно, для него будем производить расчёт:

Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя $E_d(\alpha)$ в режиме непрерывного тока определяется выражением:

$$E_d = E_{d0} \cdot \cos \alpha, B,$$

Задаваясь значениями угла управления тиристоров рассчитываем значения ЭДС. Данные расчетов приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Данные расчетов регулировочная характеристика управляемого выпрямителя в режиме непрерывного тока

α	15	30	45	60	90	120	150	152
E_d	271,4	243,4	198,7	140,5	0	-140,5	-243,4	-248,1

Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя $E_d(\alpha)$ в режиме непрерывного тока приведена на рисунке 7.

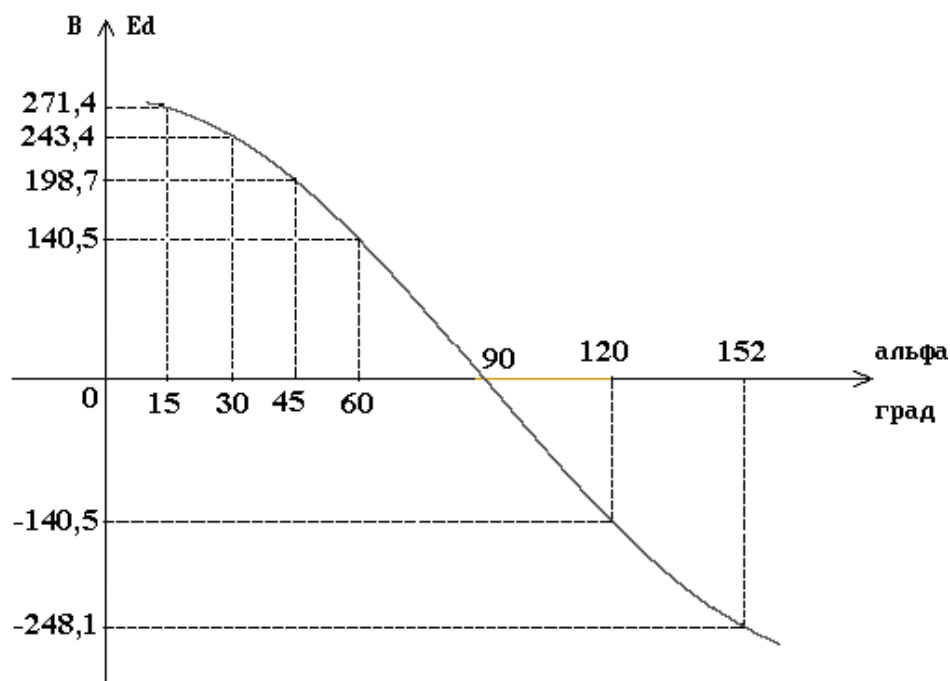


Рисунок 7. Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя $E_d(\alpha)$ в режиме непрерывного тока

Регулировочная характеристика тиристорного преобразователя $E_{ТП}(U_{УП})$ в режиме непрерывного тока определяется выражением:

$$E_{ТП} = E_{d0} \cdot \cos\left(\alpha_{нач} - \frac{\pi \cdot k_{yo} \cdot U_{УП}}{2 \cdot U_{ОПМАКС}}\right), В$$

где $\alpha_{нач}$ – начальный угол управления, $\alpha_{нач}=120^\circ$;

k_{yo} – коэффициент управляющего органа;

$U_{УП}$ – управляющее напряжение, В;

$U_{ОПМАКС}$ – максимальное опорное напряжение, $U_{ОПМАКС}=5$ В.

$$k_{yo} = \frac{(\alpha_{нач} - \alpha_{мин})}{\pi} \cdot \frac{2U_{опмакс}}{U_{упмакс}} = \frac{(120 - 10)}{180} \cdot \frac{2 \cdot 5}{0,611} = 1$$

где $U_{упмакс}$ – максимальное значение напряжения управления преобразователем, принимаем $U_{упмакс}=0,611$ В.

Задаваясь значениями управляющего напряжения рассчитываем значения ЭДС тиристорного преобразователя. Данные расчетов приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Данные расчетов значений ЭДС тиристорного преобразователя.

U_{yII}	-6,11	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6,11
E_{TII}	-281	-281	-281	-279	-257	-209	-140,5	-58	29	114	188	243	277

Регулировочная характеристика тиристорного преобразователя $E_{TII}(U_{yII})$ в режиме непрерывного тока приведена на рисунке №8

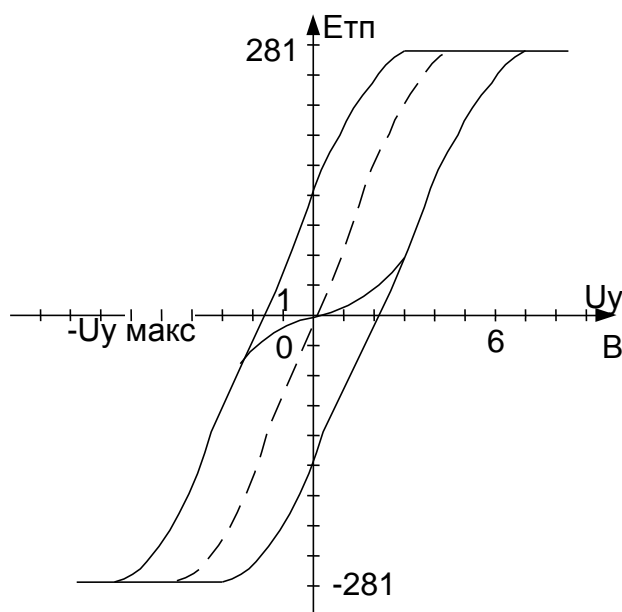


Рисунок 8 Регулировочная характеристика ТП $E_{TII}(U_{yII})$

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя в режиме непрерывного тока может быть определен по выражению:

$$k_{TII} = k_{TII \text{ МАКС}} \cdot \cos \left[\frac{\pi \cdot k_{yO} \cdot U_{yII}}{U_{OII \text{ МАКС}}} - \sin \left(\alpha - \frac{\pi}{2} \right) \right]$$

где $k_{TII \text{ МАКС}}$ – максимальный коэффициент усиления тиристорного преобразователя в режиме непрерывного тока.

$$k_{TII \text{ МАКС}} = \frac{\pi \cdot k_{yO} \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{OII \text{ МАКС}}} = \frac{\pi \cdot 1 \cdot 281}{10} = 88,278$$

Постоянная времени тиристорного преобразователя:

$$T_{TII} = \frac{0,5}{m_B \cdot f_C} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с}$$

1.4.9 Структурная схема и параметры силового канала

В настоящее время широкое практическое применение получил РЭП постоянного тока с ТП, выполненный, в общем случае, по многоконтурной структурной схеме с последовательной коррекцией. Привод ЭПУ1 выполнен по структуре 2А. Он представляет собой двухконтурную структуру с ПИ – РС и дополнительной жесткой положительной обратной связью по току на вход ТП. С помощью дополнительной жесткой положительной обратной связи по скорости на вход ТП компенсируется влияние отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя.

Структурная схема электропривода представлена на рисунке 9.

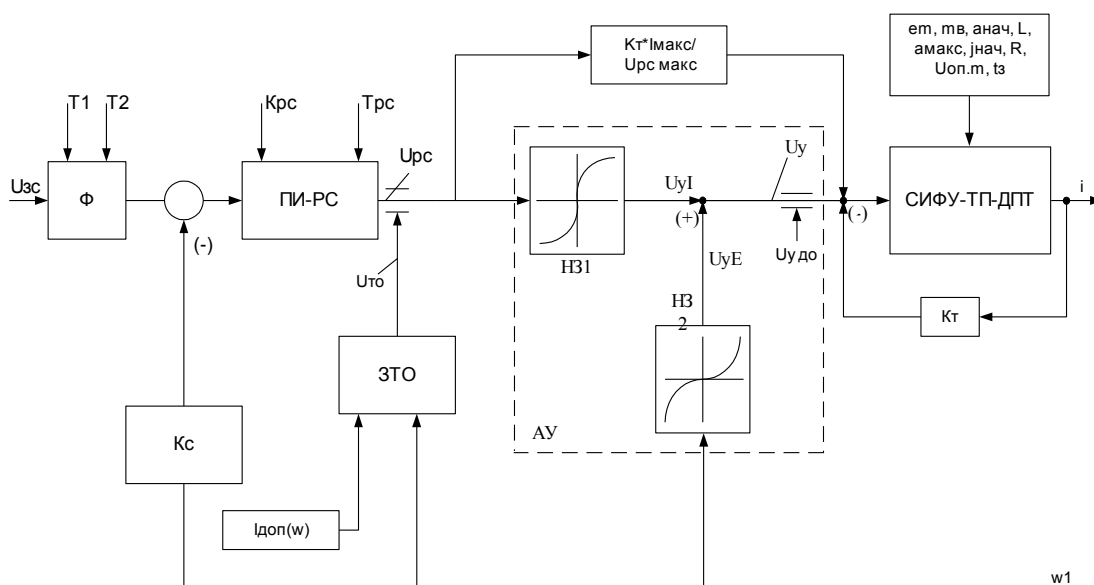


Рисунок 9 Структурная схема электропривода

В структурной схеме приняты следующие обозначения:

$W(p) \phi := \frac{T1p + 1}{T2p + 1}$ передаточная функция фильтра, оптимизирующего реакцию РЭП на ступенчатое управляющее воздействие.

$W(p) pc := Kpc \cdot \frac{Trpc + 1}{Trc}$ передаточная функция ПИ-РС

$W(p)$ мехчасти := $\frac{C}{Jp}$ передаточная функция механической части двигателя

$W(p)$ яц := $\frac{1}{\frac{R_{яц}}{T_{яц}p + 1}}$ передаточная функция электрической части двигателя

где $K_{тп}$ – коэффициент усиления ТП

C – конструктивная постоянная двигателя

K_t – коэффициент обратной связи по току

K_c – коэффициент обратной связи по скорости

Φ – фильтр на входе РЭП

ПИ-РС – пропорционально-интегральный регулятор скорости

K_t^1 – коэффициент передачи обратной связи по току, реализующий ограничение в соответствии с действием функционального преобразователя. С помощью блока, включенного в цепь обратной связи с K_t^1 обеспечивается ограничение тока на уровне допустимого $I_{доп}(w)$.

Надежность и технико-экономические показатели тиристорных электроприводов в значительной степени зависят от применяемых силовых схем. Сложность силовых схем зависит от мощности преобразователя – чем больше мощности тем сложнее силовая техника. Силовые схемы отличаются по числу и способу включения тиристоров, предохранителей, автоматических выключателей и реакторов. Основной схемой выпрямления тиристорных преобразователей для электроприводов является трехфазная мостовая.

Упрощенная силовая схема приведена на рисунке 10.

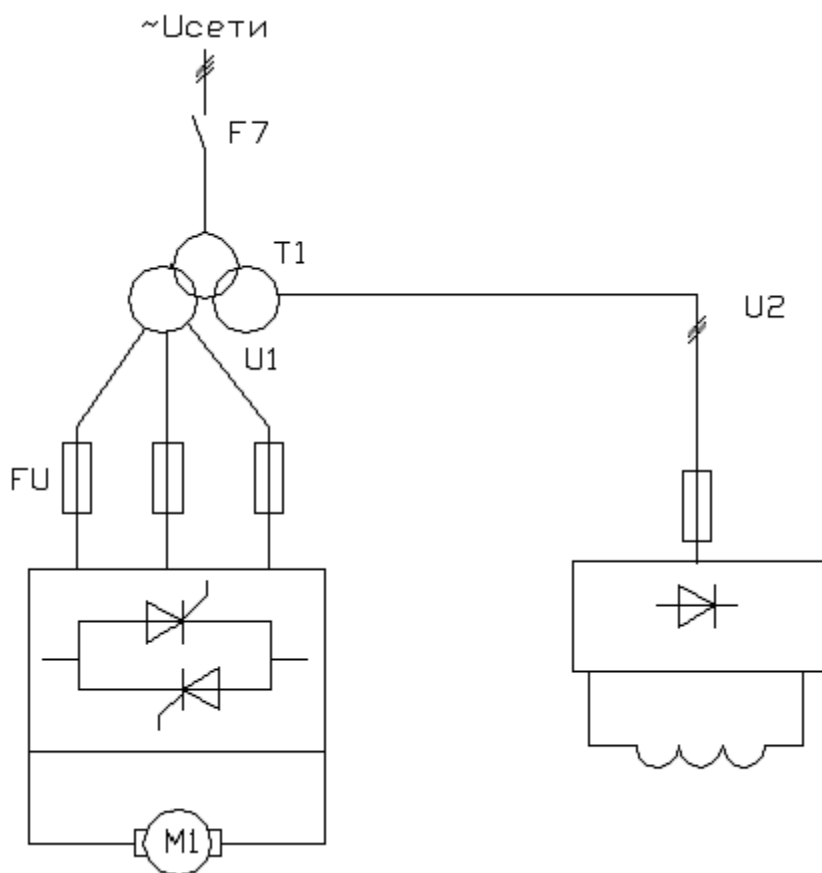


Рисунок 10 Схема электрическая принципиальная упрощённая

Современные тиристорные преобразователи имеют развитую систему защиты:

- для уменьшения перенапряжений, обусловленной коммутацией вентилей, применяют RC – цепочки, шунтирующие тиристоры;
- защита от внутренних коротких замыканий осуществляется быстродействующим автоматическим выключателем на стороне переменного тока;
- защита от внешних коротких замыканий на входе выпрямителя осуществляется быстродействующим автоматическим выключателем на стороне переменного тока;

2 СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Задачей синтеза САУ РЭП является, в первую очередь, задача динамического синтеза, под которым подразумевается определение параметров элементов, обеспечивающих требуемые динамические свойства всей системы. В случаях, когда заданы структурная схема САУ и параметры механической системы и силовой части электрической системы электропривода, задача сводится к определению параметров корректирующих цепей. Эта задача не является однозначной, поэтому важен выбор метода расчёта, который, обладая простотой и наглядностью, позволял бы рассмотреть несколько вариантов и выбрать наиболее рациональный. Этим требованиям удовлетворяют методы расчёта, базирующиеся на использовании ЛАЧХ.

На этапе предварительного синтеза САУ РЭП используются линеаризованные характеристики системы и её элементов, и, соответственно, методы синтеза линейных систем. При синтезе по заданным показателям качества определяют желаемые частотные характеристики корректирующих цепей. Эти методы синтеза хорошо развиты в ТАУ. При проектировании электроприводов, выполненных по многоконтурной структуре с последовательной коррекцией, для построения желаемых ЛАЧХ разомкнутых контуров получили распространение настройки на модульный оптимум (технический оптимум) и симметричный оптимум.

2.1 Структурная схема линейризованной САУ РЭП

Структурная схема линейризованной САУ РЭП приведена на рисунке 11.

На схеме обозначено:

Вх.Ф – входной фильтр;

РИ-РС – ПИ регулятор скорости;

Кос – коэффициент обратной связи по скорости;

Кдс – коэффициент датчика скорости;

Ктп – коэффициент усиления тиристорного преобразователя;

Кот - коэффициент обратной связи по току;

Кдт - коэффициент датчика тока;

С – конструктивная постоянная двигателя;

Кпос – коэффициент положительной обратной связи;

Уф – напряжение с выхода фильтра;

Уос – напряжение обратной связи по скорости;

Урс – напряжение с выхода регулятора скорости;

Уот – напряжение обратной связи по току;

$e_{тп}$ – ЭДС тиристорного преобразователя;

$e_{дв}$ – ЭДС двигателя;

$i_{я}$ – ток якоря двигателя;

М – номинальный момент двигателя;

Мс – статический момент.

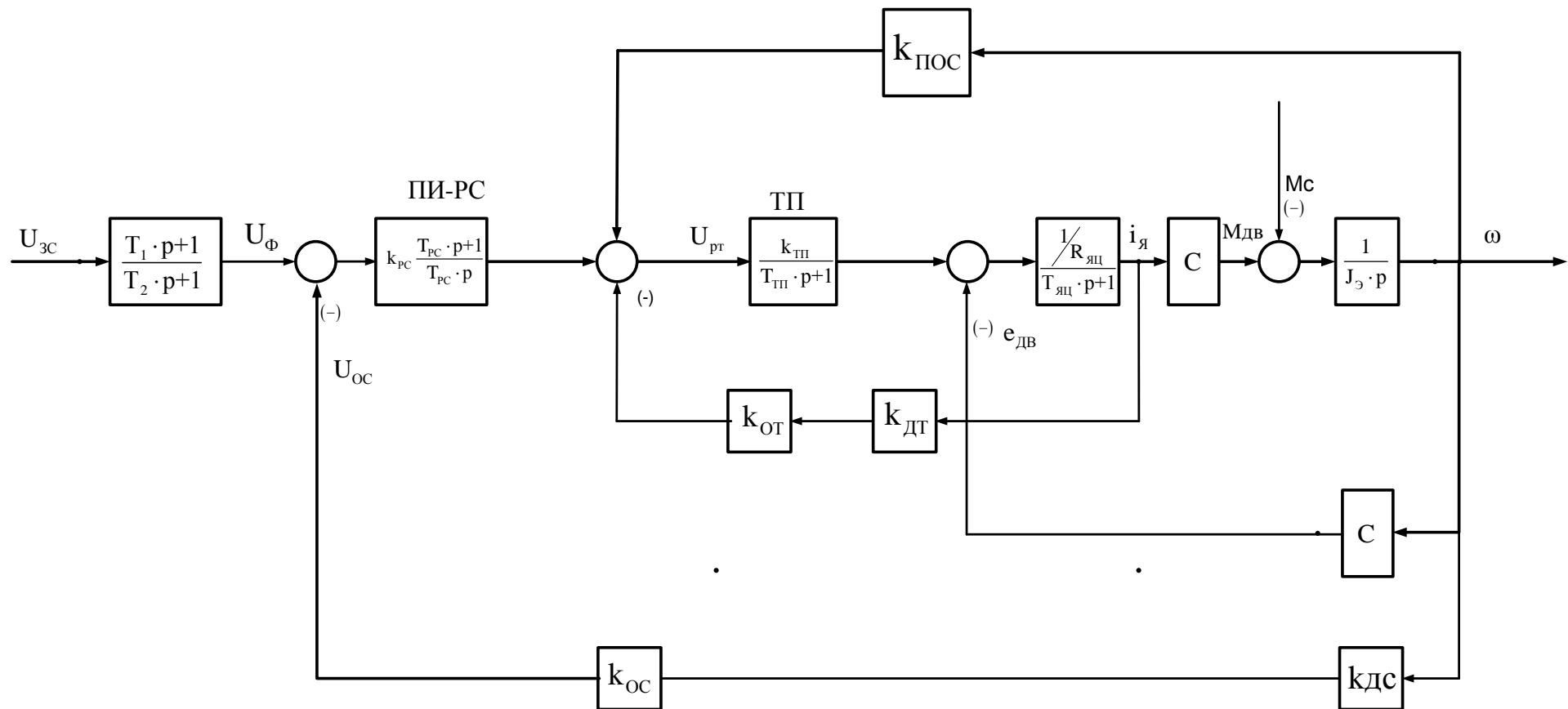


Рис 11 Структурная схема линейризованной САУ РЭП

2.2 Синтез оптимальных настроек линеаризованной САУ РЭП

Из шести точек настройки САУ РЭП была выбрана точка №2 со следующими коэффициентами оптимизации:

$$A = 0.823, B = 0.2, C = 0.7, A-1/\tau_{опт} = 0,388$$

Используя эти данные и учитывая настройку системы на $\omega_p = 2 \cdot \pi \cdot f_{прэп} = 2 \cdot \pi \cdot 20 = 125.664 \text{ с}^{-1}$, для структуры 2а рассчитываем оптимальные параметры настройки системы.

Коэффициент положительной обратной связи на вход преобразователя:

$$k_{пос} = \frac{c}{K_{ТП}} = \frac{0,6799}{88,278} = 0,0077 \frac{B \cdot c}{рад}$$

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$K_c = \frac{U_{зз, доп}}{\omega_{МАКС}} = \frac{10}{314,159} = 0,03183 B \cdot c$$

Коэффициент обратной связи по току:

$$K_T = \frac{R_{яц}}{K_{ТП}} \cdot \left(T_{яц} \cdot \frac{\omega_p}{C^*} - 1 \right) = \frac{0,47738}{88,278} \left(0,0136 \cdot \frac{125,664}{0,7} - 1 \right) = 0,00783 \frac{B}{A}$$

Коэффициент усиления регулятора скорости:

$$K_{PC} = \frac{A^* \cdot J \cdot R_{яц} \cdot T_{яц}}{K_{ТП} \cdot K_c \cdot c} \cdot \frac{\omega_p^2}{C^{*2}} = \frac{0,823 \cdot 0,089022 \cdot 0,47738 \cdot 0,0136}{88,278 \cdot 0,03183 \cdot 0,6799} \cdot \frac{125,664}{0,7^2} = 7,9443$$

Постоянная времени регулятора скорости:

$$T_{PC} = \frac{A^* \cdot C^*}{B^* \cdot \omega_p} = \frac{0,823}{0,2} \cdot \frac{0,7}{125,664} = 0,02292 c$$

Постоянные времени фильтра:

$$T_1 = \frac{1}{B^*} \cdot \frac{C^*}{\omega_p} \cdot \left(A^* - \frac{1}{\tau_{опт}} \right) = \frac{1}{0,2} \cdot \frac{0,7}{125,664} \cdot 0,388 = 0,010807, c$$

$$T_2 = T_{PC} = 0,02292 c$$

$$T_T = \frac{C^*}{\omega_p} = \frac{0,7}{125,664} = 0,00557 c$$

$$K_{T1} = K_T + \frac{R_{яц}}{K_{ТП}} = 0,0078 + \frac{0,47738}{88,278} = 0,0132$$

$$U_{ВХРСМАКС} = 2,5 \cdot I_H \cdot K_T = 2,5 \cdot 37,75 \cdot 0,00783 = 0,5108 B$$

2.3 Расчет статических характеристик и погрешности скорости

Режим стабилизации скорости

Структурная схема системы электропривода для расчета электромеханических характеристик приведена на рисунке 12.

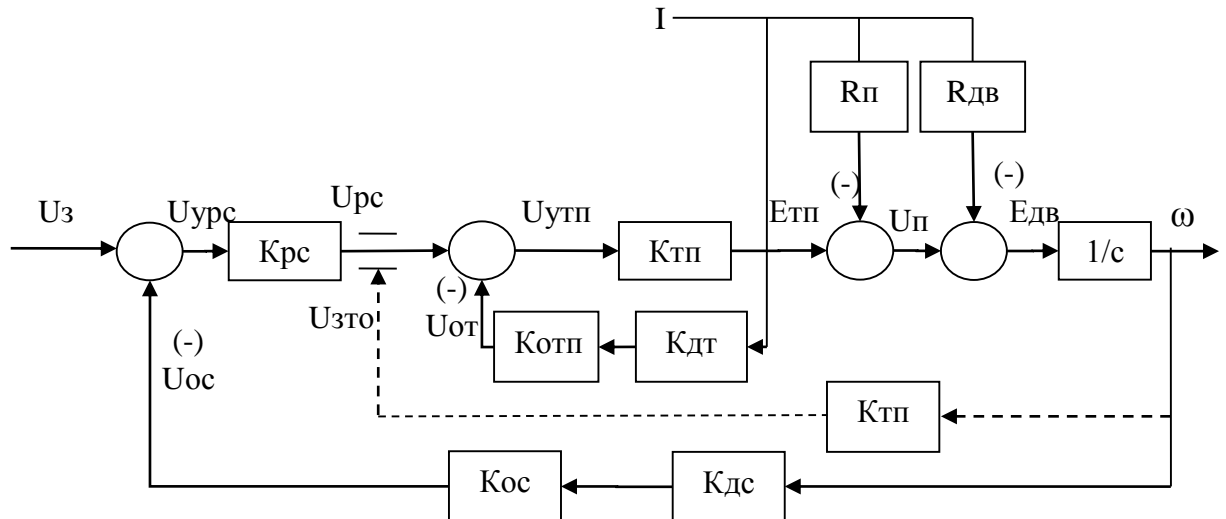


Рисунок 12 – Модель анализа статических характеристик в режиме стабилизации скорости.

Составим систему уравнений, описывающих элементы и связи в электроприводе.

$$\begin{cases} U_{урс} = U_3 - U_{ос} \\ U_{ос} = K_{ос} \cdot K_{дс} \cdot \omega \\ U_{рс} = U_{урс} \cdot K_{рс} \\ U_{утп} = U_{рс} - U_{от} \\ U_{от} = I \cdot K_{от} \cdot K_{дт} \\ E_{тп} = U_{утп} \cdot K_{тп} \\ U_{п} = E_{тп} - I \cdot R_{п} \\ U_{п} = U_{дв} \\ E_{дв} = C \cdot \omega \\ U_{дв} = E_{дв} + I \cdot R_{дв} \end{cases}$$

Решим систему уравнений относительно угловой скорости:

$$\omega = U_3 \cdot \frac{K_D \cdot K_{ТП} \cdot K_{РС}}{\left(1 + K_{ТП} \cdot K_{РС} \cdot K_{ОС} \cdot K_{ДС}\right)} - I \cdot K_D \cdot \frac{\left(K_{ТП} \cdot K_{ОТ} \cdot K_{ДТ} + R_{П} + R_{Д}\right)}{\left(1 + K_{ТП} \cdot K_{РС} \cdot K_{ОС} \cdot K_{ДС}\right)}$$

где $K_D=1/c$ – коэффициент передачи двигателя, управляемого по цепи обмотки якоря изменением напряжения.

Особенностью расчета характеристик в статике в режиме стабилизации скорости является то, что значения коэффициента астатического регулятора скорости принято равным коэффициенту усиления использованного операционного усилителя типа КР551УД 1А, т.е. коэффициент усиления регулятора скорости равен 10000.

$$\omega = U_3 \cdot \frac{1,471 \cdot 88,278 \cdot 10000}{\left(1 + 88,278 \cdot 10000 \cdot 0,101 \cdot 0,315\right)} - I \cdot 1,471 \cdot \frac{\left(88,278 \cdot 0,13 \cdot 0,06 + 0,1535 + 0,16988\right)}{\left(1 + 88,278 \cdot 10000 \cdot 0,102 \cdot 0,315\right)}$$

или

$$\omega = U_3 \cdot 31,518 - I \cdot 3,57 \cdot 10^{-5}$$

Данные расчетов статических характеристик сводим в таблицу 11.

Таблица 11 - Результаты расчетов статических характеристик.

$U_3, В$ \ $I, А$	0	37,75	94,4	$\delta, \%$
10	315,18	315,1786523	315,1766299	0,000428
5	157,59	157,5886523	157,5866299	0,000855
1	31,518	31,51665233	31,51462992	0,004276
0,3	9,4554	9,454052325	9,45202992	0,014253

Электромеханические характеристики в статике приведены на рисунке 14.

Режим стабилизации тока

Структурная схема системы электропривода для расчета электромеханических характеристик приведена на рисунке 13.

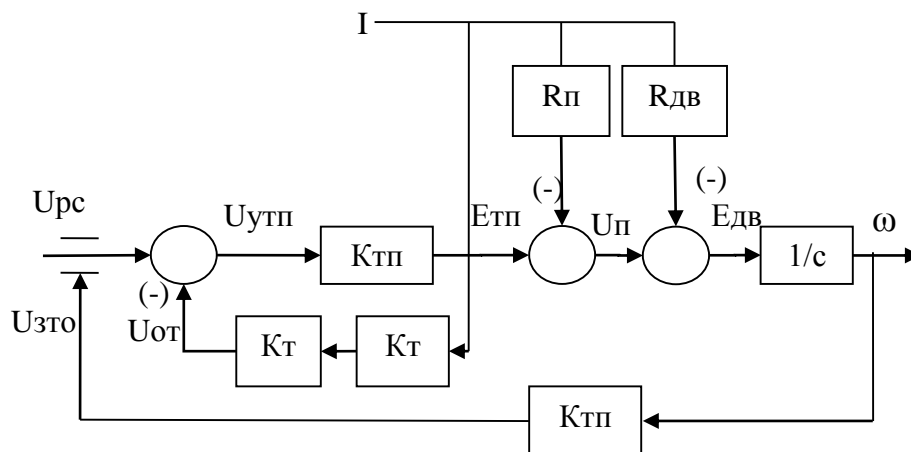


Рисунок 13 – Модель анализа статических характеристик в режиме стабилизации тока.

На основании модели составим систему уравнений:

$$\begin{cases} U_{стп} = U_{pc} - U_{от} \\ U_{от} = K_{от} \cdot K_{дт} \cdot I \\ E_{стп} = U_{стп} \cdot K_{тп} \\ U_{п} = E_{стп} - I \cdot R_{п} \\ U_{п} = U_{д} \\ U_{д} = E_{д} + I \cdot R_{д} \\ E_{д} = C \cdot \omega \end{cases}$$

решаем систему уравнений относительно тока:

$$I = \frac{K_{тп} U_{pc} - C \omega}{K_{от} K_{дт} K_{тп} + R_{п} + R_{д}}$$

$$I = \frac{88,278 \cdot 10 - 0,6799 \cdot \omega}{0,13 \cdot 0,06 \cdot 88,278 + 0,1535 + 0,16988}$$

или

$$I = 95 - 0,00672 \cdot \omega$$

Данные расчетов статических характеристик сводим в таблицу 12.

Таблица 12 - Результаты расчетов статических характеристик.

ω , рад/с	0	100	315,16
I, А	95	94,228	92,88

Электромеханические характеристики в статике приведены на рисунке 14.

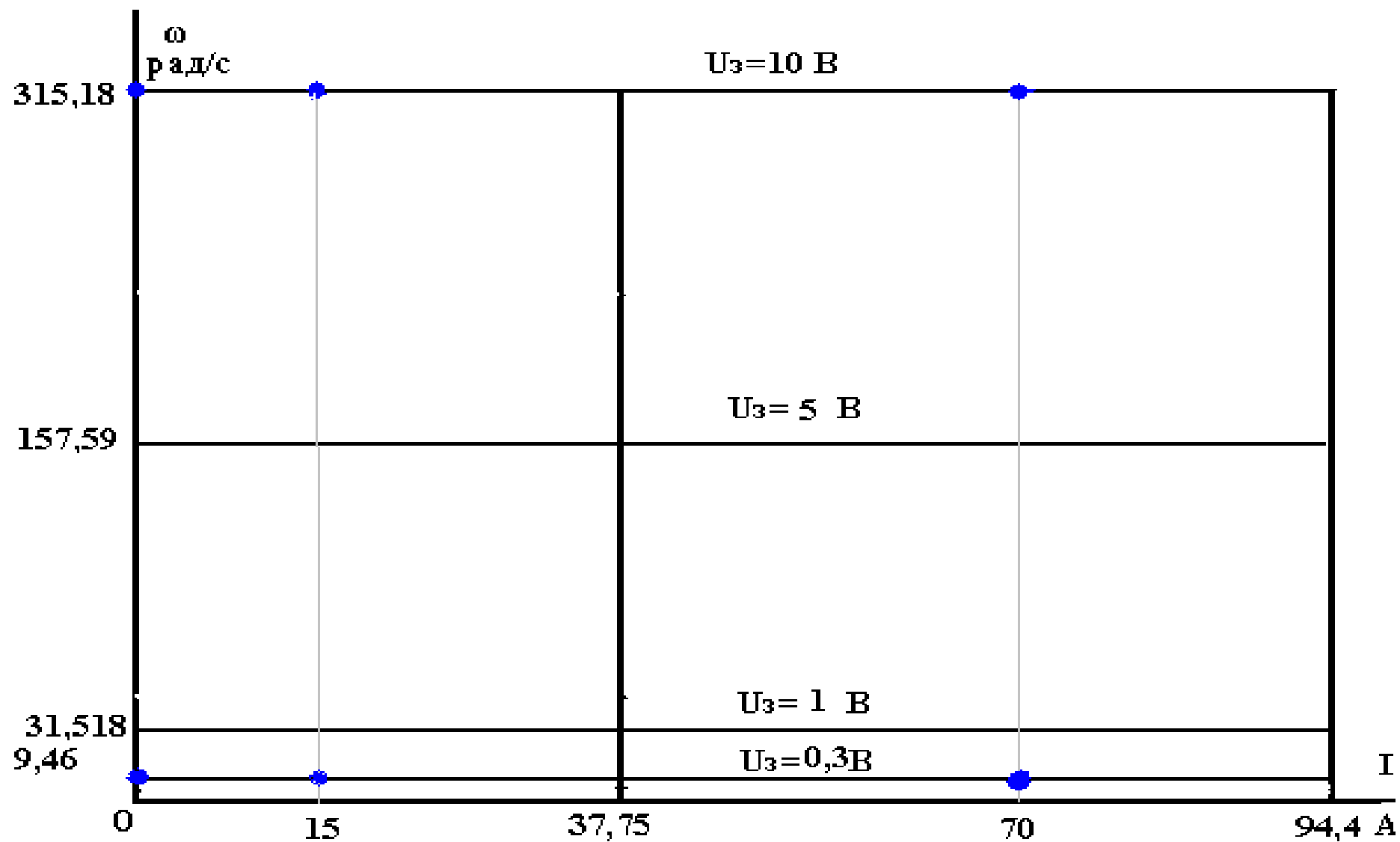


Рисунок 14 Электромеханические характеристики в статическом режиме.

Ожидаемые показатели качества переходных процессов в оптимизированной в т. 2 двухконтурной линеаризованной системы автоматического управления электропривода определяется следующим образом.

При обработке ступенчатого управляющего воздействия:

$\sigma=5$ – перерегулирование, %;

$t_{PV1}^{(5)} = 3,5 \cdot T_T = 3,5 \cdot 5,34 \cdot 10^{-3} = 0,0187$ - время первого вхождения в 5% зону, с;

$t_{PV2}^{(5)} = 3,5 \cdot T_T = 3,5 \cdot 5,34 \cdot 10^{-3} = 0,0187$ - время переходного процесса

(окончательного вхождения в 5% зону), с;

$\Delta\omega_{УСТ}=0$ – статическая ошибка по управлению, рад/с.

При обработке ступенчатого возмущающего воздействия:

$\Delta\omega_{ВМАКС} = 1,34 \cdot T_T \cdot \frac{\Delta M_c}{J_{\Sigma}} = 1,34 \cdot 5,34 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Delta M_c}{0,09844} = 0,0727 \cdot \Delta M_c$ - динамический

провал (всплеск) скорости вращения при набросе (сбросе) нагрузки ΔM_c , рад/с;

$t_{PB} = 6,25 \cdot T_T = 0,0334$ - время восстановления скорости (окончательного

вхождения в зону $0,05 \cdot \Delta\omega_{ВМАКС}$), с;

$\Delta\omega_{УСТ}=0$ – статическая ошибка по возмущению (нагрузке), рад/с.

2.4 ЛАЧХ оптимизированного контура САУ РЭП

Оценить пригодность привода с заданными характеристиками для целей автоматизации технологического процесса позволяет построение ЛЧХ оптимизированных контуров системы управлению по возмущению. Для построения ЛЧХ рассчитаем передаточные функции контуров и введём данные в программу Матлаб.

Передаточная функция замкнутого контура тока:

$$W_{PT(p)} = \frac{K_{III} \cdot \omega_p}{R_{яц} \cdot T_{яц} \cdot C^*} = \frac{88,278}{0,47738 \cdot 0,0136} \cdot \frac{125,664}{0,7} = \frac{2440968}{0,00557 p + 1}$$

Передаточная функция замкнутого контура скорости по возмущению:

$$W(p) = \frac{\frac{C \cdot T_T^2}{B \cdot J} p(T_T p + 1)}{\left[\frac{T_T^2}{B} p^2 (T_T p + 1) \right] + (T_{PC} p + 1)} = \frac{\frac{0,7 \cdot (5,57 \cdot 10^{-3})^2}{0,2 \cdot 0,0879022} p(5,57 \cdot 10^{-3} p + 1)}{\left[\frac{(5,57 \cdot 10^{-3})^2}{0,2} p^2 (5,57 \cdot 10^{-3} p + 1) \right] + (0,022934 p + 1)} = \frac{6,88 \cdot 10^{-6} p^2 + 1,235 \cdot 10^{-3} p}{8,64 \cdot 10^{-7} p^3 + 1,55 \cdot 10^{-4} p^2 + 0,022934 p + 1}$$

Передаточная функция замкнутого контура скорости с фильтром на входе РЭП

$$W_{\text{зсф}(p)} = \frac{\frac{1}{K_C} (T_1 p + 1)}{\left[\frac{T_T^2}{B} p^2 (T_T p + 1) \right] + (T_{PC} p + 1)} = \frac{\frac{1}{0,032} (10,807 \cdot 10^{-3} p + 1)}{\left[\frac{(5,57 \cdot 10^{-3})^2}{0,2} p^2 (5,57 \cdot 10^{-3} p + 1) \right] + (0,023 p + 1)} = \frac{0,338 p + 31,25}{8,64 \cdot 10^{-7} p^3 + 1,55 \cdot 10^{-4} p^2 + 0,023 p + 1}$$

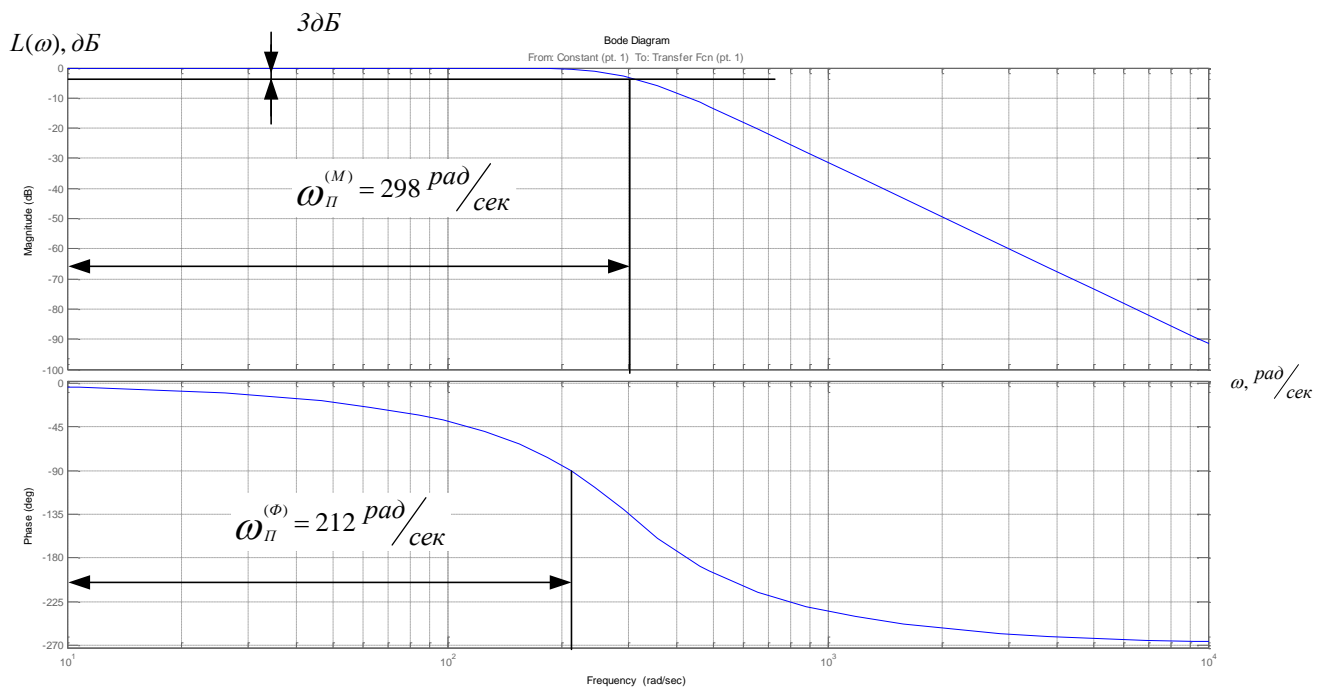


Рисунок 15 ЛАЧХ замкнутого контура скорости по управлению с фильтром на входе РЭП.

2.5 Анализ нелинейной САУ РЭП

Получение достоверных качественных и особенно количественных характеристик поведения реальной системы автоматизированного электропривода конкретного производственного механизма требует максимального учёта особенностей работы, как в целом ЭП, так и его отдельных элементов. В первую очередь это учёт особенностей тиристорного преобразователя (дискретное полууправляемое устройство с раздельным способом управления) и элементов системы ЭП с нелинейными характеристиками, параметров электрической и механической систем, зависящих от времени или других параметров (индуктивность силовой цепи, момент инерции и коэффициент жесткости механической системы, зависящие от положения рабочего органа) и т.п.

2.5.1 Структурная схема нелинейной САУ РЭП

Основными нелинейностями САУ электропривода, влияющими на работу системы при отработке средних и больших входных заданий являются:

- насыщение регуляторов;
- ограничение углов управления тиристорного преобразователя, которое в первом приближении может быть учтено как насыщение;
- реактивный характер нагрузки;
- ограничение тока электропривода на уровне допустимого значения.

На рисунке 16 приведена структурная схема нелинейной САУ электропривода.

Напряжение насыщения регуляторов принимаем на уровне 10В.

Ограничение тока электропривода осуществляется ограничением выходного напряжения регулятора РЭ на уровне

Максимальное значение ЭДС преобразователя определяется минимальным углом управления $\alpha_{\min}=10^\circ$

$$E_{\text{ТПmax}} = E_{d0} \cdot \cos\alpha_{\min} = 513 \cdot \cos 10 = 505\text{В.}$$

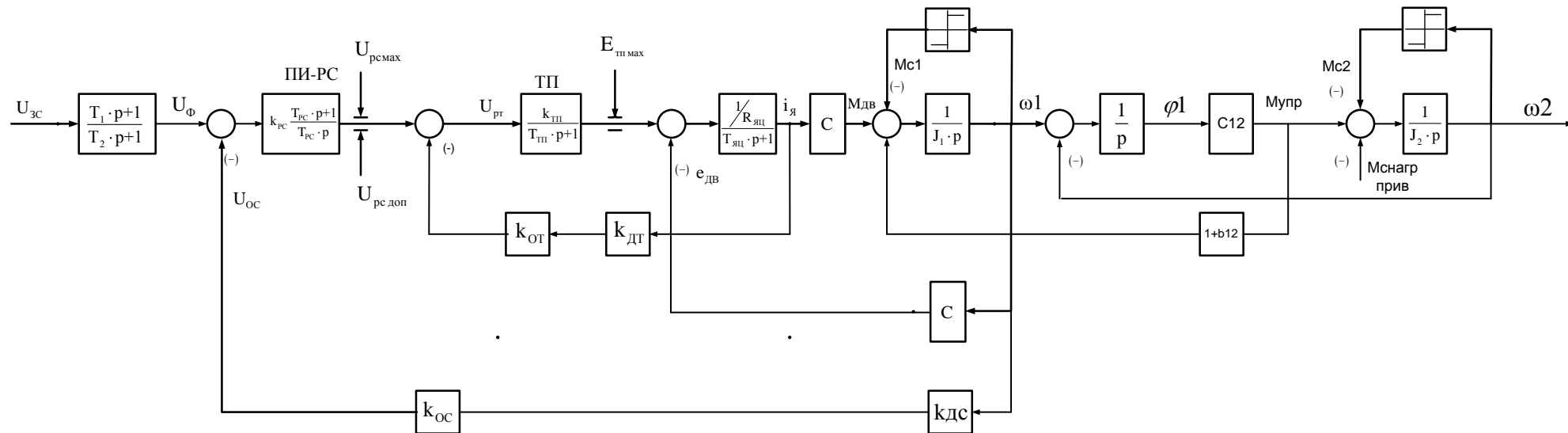


Рисунок 16 Структурная схема нелинейной двухмассовой САР РЭП.

2.5.2 Расчет и анализ динамических показателей привода

Цель исследований – проверка работоспособности электропривода во всех основных технологических режимах работы.

Исследования сводились к проверке работы САУ электропривода в следующих режимах:

- пуск привода на максимальную скорость;
- пуск привода на минимальную скорость;
- пуск привода на максимальную скорость и реверс.

Имитационная модель составлена на основе структурной схемы рисунка 17.

Переходные процессы нелинейной САУ РЭП представлены на рисунках 18-20. Расчет переходных процессов выполняется на ЭВМ по программе Matlab.

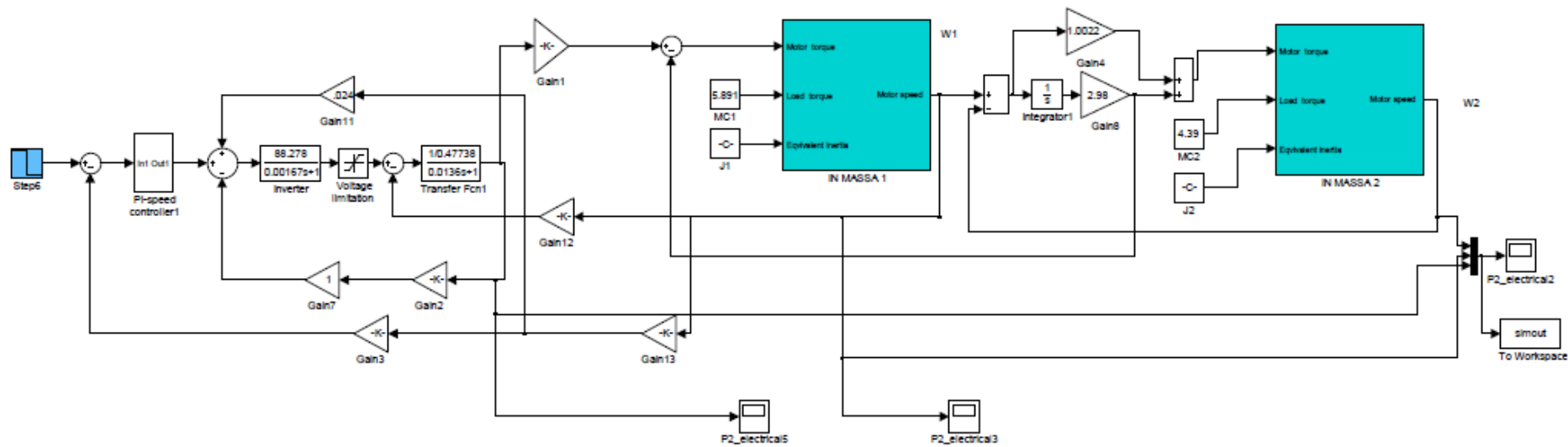


Рисунок 17 Схема имитационной модели в программной среде Matlab нелинейной двухмассовой САР РЭП.

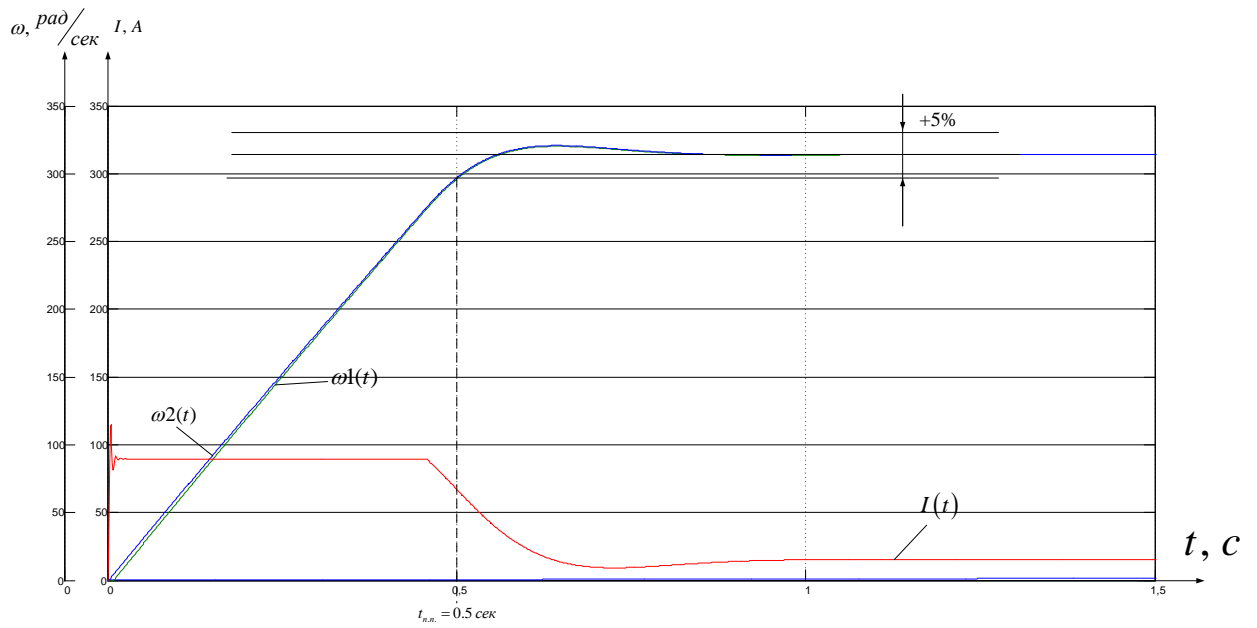


Рисунок 18 – Переходный процесс пуска на максимальную скорость

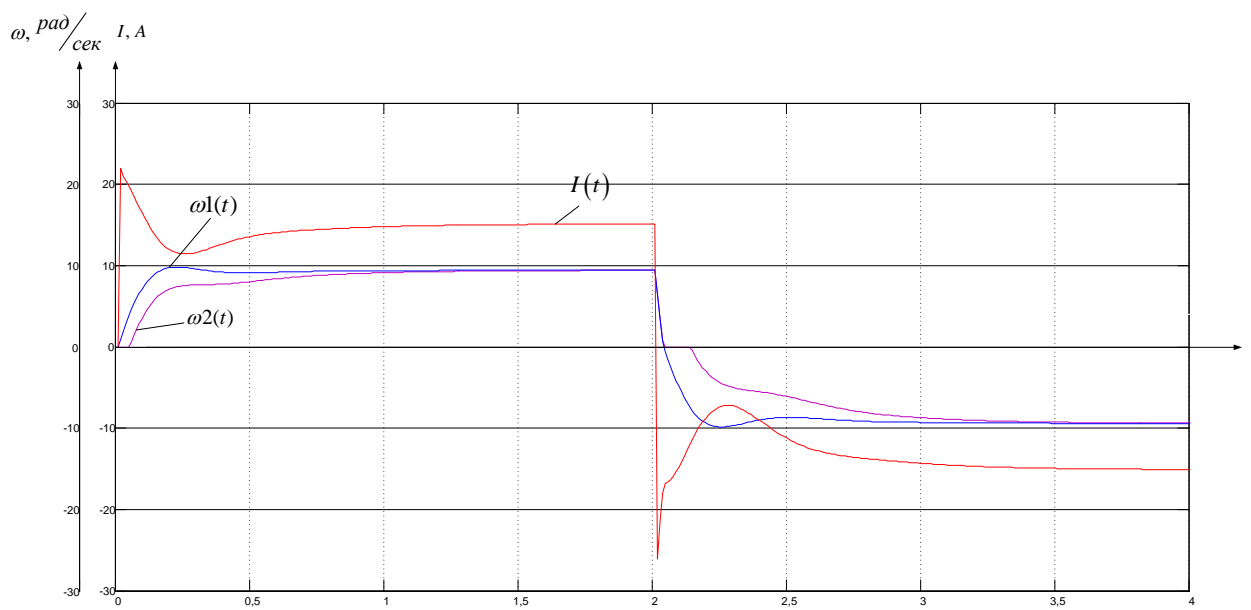


Рисунок 19 – Переходный процесс пуска минимальную скорость

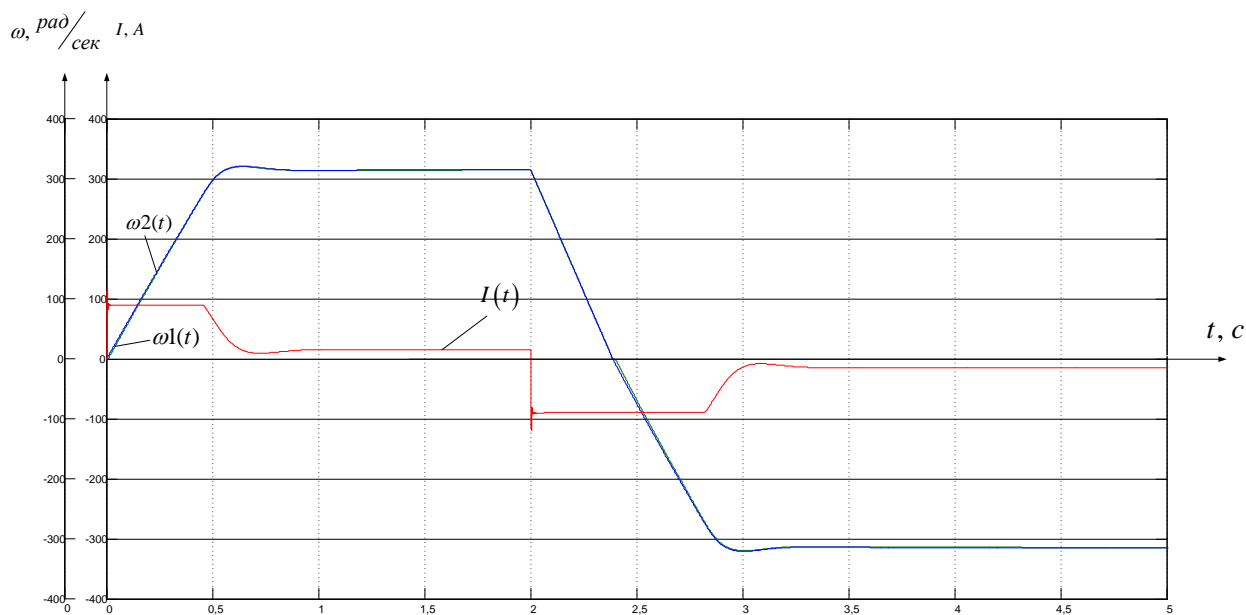


Рисунок 20 – Переходный процесс пуска и реверса на максимальной скорости.

В результате исследований установлено, что время переходных процессов скорости составляет 0,5с , перерегулирование не превышает 5%, что соответствует требованиям технического задания.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А2	Джумабаев Анвар Рустамович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость проектных ПНР работ</i>	<i>Стоимость материалов ПНР, содержание и сроки ПНР, информационных и человеческих ресурсов</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»</i>
<i>3. Используемая система налогообложения</i>	<i>Отчисления в бюджетно-страховые формы (30,2% от заработной платы)</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Планирование и формирования графика работ по реализации технического проекта</i>	<i>Для составления графика работ по реализации технического проекта используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя.</i>
<i>2. Формирование сметы технического проекта</i>	<i>В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Материальные затраты; • Полная заработная плата исполнителей; • Отчисления во внебюджетные фонды; • Накладные расходы;

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Доцент	Попова Светлана Николаевна	К.э.н		
--------	----------------------------	-------	--	--

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
35Г3А2	Джумабаев Анвар Рустамович		

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Темой дипломного проекта является «Электропривод перемещения индуктора закалочного станка». Комплектный электропривод ЭПУ1-1-2-3727ПУХЛ4, электродвигатель 2ПБ160МУХЛ4 7,1кВт 220В с оборотом 3000-4000 об/мин, тахогенератор типа ТС1. В условиях конкурентной борьбы производство немислимо без ресурсосбережения, своевременной замены и модернизации средств труда, лучшего использования материальных, трудовых и финансовых ресурсов, повышения качества продукции, внедрения новых разработок. Особую актуальность проблемы ресурсоэффективности и ресурсосбережения, представляет для машиностроения в силу его особого положения в экономике страны. Таким образом, целью раздела является определение перспективности и успешности проектно-конструкторского проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта;
- планирование и формирование графика работ по реализации ТП;
- формирование сметы.

В связи с этим данный проект решает вопрос о модернизации системы управления и электропривода.

Целевым рынком сбыта для разрабатываемого устройства являются предприятия металлургической промышленности. Вместе с тем, аналогичные схемные решения отдающего устройства с компенсатором, включенного в технологическую линию.

3.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в теории и практике ЭП переменного тока, массовым промышленным регулируемым электроприводом (РЭП) продолжает оставаться электропривод постоянного тока. РЭП постоянного тока представляют собой сложную электромеханическую систему, обеспечивающую регулирование скорости в заданном диапазоне комплектный электропривод ЭПУ1-1-2-3727ПУХЛ4 с требуемой точностью и быстродействием. В состав РЭП входят: электродвигатель, силовой полупроводниковый преобразователь, силовой трансформатор или коммутационные дроссели, автоматический выключатель или предохранители.

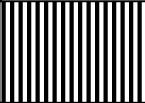

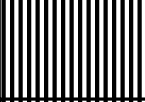

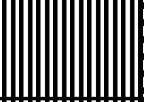
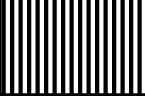
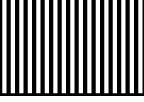

Современный уровень развития техники характеризуется стремлением автоматизировать и рационализировать во всех отраслях промышленности возможно большее число производственных процессов, используя все новейшие технические достижения и организационные возможности. Основным средством для приведения в движение рабочего органа машины, управления технологическим процессом, является электромеханическое устройство, называемое электроприводом. Большой диапазон регулирования скорости, высокая точность позиционирования— вот чем характеризуется современный промышленный электропривод. К нему предъявляются высокие требования по надёжности и производительности. Рост производительности всех металлургических агрегатов, а так же качества продукции, сильно зависит от совершенствования электропривода. Очень широкое использование в электроприводах металлургического производства уже нашли системы управления последовательной коррекцией, построенные по принципу подчинённого регулирования параметров. Благодаря ряду преимуществ, область применения этих систем все время расширяется. Задачей на сегодняшний день, является выпуск качественного проката без роста

производства чугуна и сокращения расхода кокса, улучшение структуры металлоконструкций, обеспечение производства проката, расширение производства труб, освоение новых профилей проката, повышение производительности труда, ускорение технического перевооружения комбината, увеличение выплавки качественной стали и выпуск металлических порошков, строительство МНЛЗ (машины непрерывного литья заготовок).

В данное время ведение новых технологических условий позволяет значительно улучшить качество продукции всех цехов ОАО "ЗСМК", что значительно повышает конкурентоспособность ОАО "ЗСМК" как на внутреннем, так и на внешнем рынке сбыта продукции.

При прохождении испытаний и положительной эффективности данного проекта, экономической и практической выгоде от внедрения данного проекта в цехах проката, его коммерческий потенциал возрастает и в дальнейшем может быть реализован на другие производства, где возможно использование данной технологии.

На сегодняшний день данная разработка по внедрению автоматического электропривода асинхронного двигателя с ЧП, является ресурс эффективной и ресурсосберегающей передовой системой не имеющая аналогов.

		Изменения в конструкции		
		Настройка существующего электропривода	Замена электропривода, их настройка	Замена устройства, настройка электропривода
Длительность эксплуатации, лет	1-3			
	3-7			
	Более 7			

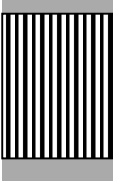


	Ремонтная служба предприятия		Сервисная компания по ремонту производственного оборудования		Фирма - производитель оборудования
---	------------------------------	---	--	---	------------------------------------

Рисунок 21- Карта сегментирования рынка услуг по разработке и внедрению в производстве электропривода:

3.2 Структура пусконаладочных работ

Структуру пусконаладочных работ определяем исходя из сложности серийно-выпускаемых, освоенных промышленностью электротехнических устройств в соответствии с требованиями СНиП «Организация, производство и приемка работ», с требованиями «Правил устройства электроустановок», а также исходя из технических условий на изготовление и поставку электротехнических устройств.

Комплекс работ разобьём на этапы и определим в процентном соотношении объём выполнения работ по каждому этапу. Результаты сведены в таблицу 12.

Таблица 12– Содержание этапов ПНР

%	Содержание этапов работы	Объём работы, %
1	Подготовительные работы	10

1.1	Организационная и инженерная подготовка работ	4
1.2	Изучение электрической части проекта и ознакомление с технической документацией предприятия-изготовителя оборудования	5
1.3	Подготовка приборов, приспособлений и комплекса форм протоколов	3
2	Монтаж электрооборудования	35
2.1	Внешний осмотр электрооборудования на предмет соответствия проекту	3
2.2	Установка электрооборудования, сборка силовых цепей электропривода	24
2.3	Сборка схемы сигнализации	4
3	Наладка электрооборудования под напряжением	35
3.1	Снятие и настройка необходимых характеристик и сопоставление их с расчетными данными проекта	10
3.2	Испытание и наладка системы РЭП питателя вхолостую и под нагрузкой	20
4	Обеспечение на электроустановке электрических параметров и режимов, предусмотренных проектом, а также обеспечение устойчивой работы в эксплуатационных режимах	23
4.1	Оформление отчетной и приемно-сдаточной документации	10
4.2	Оформление в одном экземпляре протоколов пусконаладочных работ и испытаний электропривода	7
4.3	Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта, данных измерений, выполненных в процессе пусконаладочных работ	7
	Итого	100

При выборе состава и численности бригады следует руководствоваться условиями:

- бригада не должна быть специализированной, т.е. состоять из рабочих разных профессий, выполняющих технологически разные работы;
- работа сменная – в одну смену;
- техникой безопасности запрещено производить работы на оборудовании под напряжением менее чем двум человекам.

Из вышеперечисленного следует приблизительный состав бригады:

Электробезопасность не ниже II группы

- Инженер-наладчик не ниже VI разряда (бригадир).
- Электрослесарь V разряда.
- Слесарь по ремонту оборудования V разряда.

Распределение работ среди членов бригады производится бригадиром в соответствии с профессиональной специализацией каждого. Продолжительность выполнения отдельных этапов работ определяется из профессионального опыта проведения аналогичных видов работ бригадой. Сроки исполнения и исполнители отдельных видов работ приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Сроки исполнения ПНР

№ этапа	Продолжительность этапа, часы	Исполнители
1	8	Весь состав бригады
1.1	2,5	Весь состав бригады
1.2	4	Весь состав бригады
1.3	1,5	Весь состав бригады
2	24	Весь состав бригады
2.1	3,5	Весь состав бригады

2.2	17,5	Весь состав бригады
2.3	3	Весь состав бригады
3	24	Инженер-наладчик, электрослесарь
3.1	8	Инженер-наладчик, электрослесарь
3.2	16	Инженер-наладчик, электрослесарь
4	16	Инженер-наладчик
4.1	8	Инженер-наладчик
4.2	4,5	Инженер-наладчик
4.3	3,5	Инженер-наладчик
Итого	72	

Таблица 2 – Сроки исполнения ПНР

На основе вышеперечисленных этапов и сроков их исполнения построим линейный график ПНР представленный на рисунке 22.

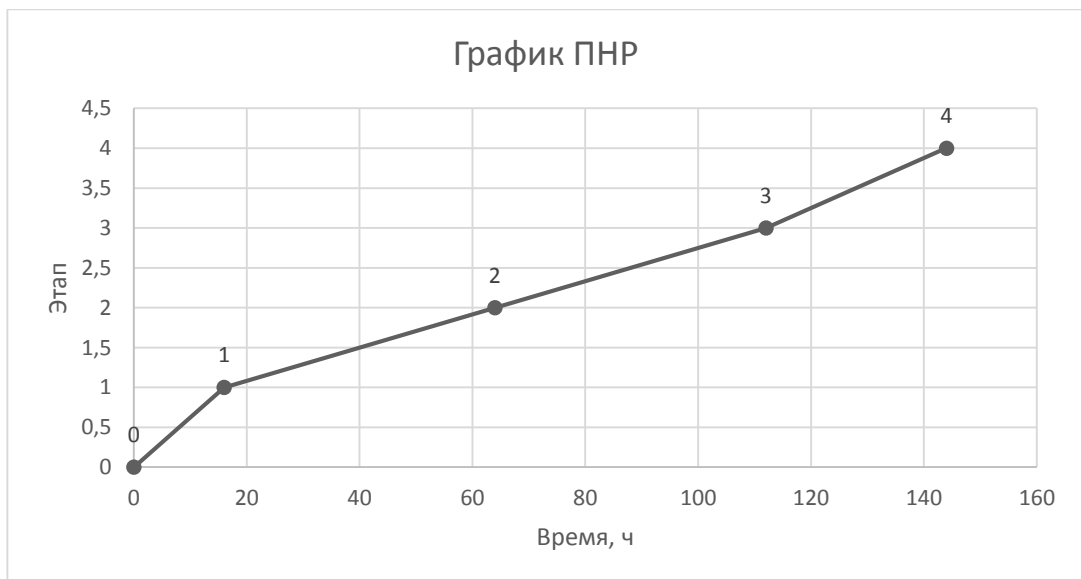


Рисунок 22 – График выполнения ПНР

1. этапе весь состав. 2 .этап весь состав 3.Инженер-наладчик, электрослесарь.
4.Инженер-наладчик

3.3 Определение комплектующих и оборудования пуско-наладочных работ

Таблица 14 – Стоимость комплектующих и оборудования

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.	
				За ед.	Всего
1	Комплектный электропривод ЭПУ1-1-2-3727ПУХЛ4	шт.	1	36000	36000
2	Электродвигатель 2ПБ160МУХЛ4	шт.	1	90000	90000
3	Тахогенератор ТС1	шт.	1	8000	8000
4	Кабель силовой ВВГнг 3×4	м	50	83	4150
5	Кабель контрольный КВВГ 14×1	м	10	82	820
	Итого				138970

Цены на пусконаладочные работы содержат только основную заработную плату пусконаладочного персонала, рассчитанную на основе тарифных ставок и среднемесячных должностных окладов, без премий.

При выполнении пусконаладочных работ в условиях вредного производств к заработной плате применяются следующие поправочные коэффициенты.

- выполнение пусконаладочных работ с надбавкой в размере районного коэффициента – $K_1=1,3$;
- надбавка к ценам пусконаладочных работ при работающем оборудовании – $K_2=1,1$;

- надбавка к ценам пусконаладочных работ в установках находящихся под напряжением – $K_3=1,3$.

Заработная плата составит:

$$З = Т \cdot Ч \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

где Т – тарифная ставка, руб.;

Ч – количество отработанного времени, час.

Затраты на основную заработную плату представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Основная заработная плата

Состав бригады	Разряд	Часовая ставка, руб.	Количество отработанных часов	Заработная плата, руб.
Инженер-наладчик	6	130	72	17400,24
Электрослесарь	5	120	72	16061,76
Слесарь	5	120	32	7138,56
Итого				40600,56

Дополнительная заработная плата производится на оплату отпусков за не проработанное время и составляет 15% от основной заработной платы:

$$З_{дон} = 0,15 \times З = 0,15 \times 40600,56 = 6090,08 \text{ руб.}$$

Отчисления в социальные фонды составляет 30,2% от основной и дополнительной заработной платы:

$$О_{сф} = (З + З_{дон}) \times 0,302 = (40600,56 + 6090,08) \times 0,302 = 14107,57 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составляют 60% от основной заработной платы:

$$Н = З \times 0,6 = 40600,56 \times 0,6 = 24360,33 \text{ руб.}$$

Прочие затраты составят 2% от основной заработной платы:

$$П = З \times 0,02 = 40600,56 \times 0,02 = 812,01 \text{ руб.}$$

Сметная стоимость на проведение пусконаладочных работ регулируемого электропривода перемещение индуктора закалочного станка представлена в таблице 16.

Таблица 16 - Смета затрат на проведение ПНР

№ п/п	Статья затрат	Сумма, руб.
1	Материалы, оборудование и комплектующие	138970
3	Основная заработная плата	40600,56
4	Дополнительная заработная плата	6090,08
5	Отчисления в социальные фонды	14107,57
6	Накладные расходы	24360,33
7	Прочие расходы	812,01
8	Итого	224933,55

3.4 Расчет эксплуатационных затрат

Эксплуатационные затраты рассчитываются по изменяющимся статьям себестоимости, к ним относят: амортизационные отчисления, затраты на эксплуатацию и текущий ремонт.

3.4.1 Амортизационные отчисления

$$A_{год} = \frac{K \cdot H}{100\%}, \text{ руб.},$$

где K- капитальные затраты;

3.4.2 Затраты на эксплуатацию и текущий ремонт

$$Z_{год} = \frac{K \cdot H_p}{100\%}, \text{ руб.},$$

где H_p - норма отчислений на эксплуатацию и текущий ремонт, H_p составляет 6% от стоимости оборудования, комплектующих и материалов ($H_p=6\%$)

Вывод:

В данном разделе были рассмотрены мероприятия необходимые для введения в эксплуатацию электропривода закалочного станка, определена сметная стоимость на пусконаладочные работы, проводимые бригадой входящей в состав цеха.

Весь комплекс работ разбит на отдельные этапы и определено время выполнения каждого этапа пусконаладочных работ. Согласно полученным данным был построен линейный график проведения пусконаладочных работ, а также составлена сметная стоимость.

Затраты на ПНР составили –224933,55 руб.

Эксплуатационные затраты составили – 224933,55 руб.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
3-5Г3А2	Джумабаев Анвар Рустамович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является электроприводзакалочного станка. Используется для производства закалочных работ под воздействием токов высокой частоты.</i>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды;	1. Анализ вредных факторов проектируемой производственной среды; <i>1. Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций); 2. Шум и вибрация 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны</i>
1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды;	1. Опасными факторами являются; <i>1. Опасность поражения человека электрическим током 2. Опасность воздействие механического и термического характера</i>

2. Экологическая безопасность:	<i>Анализ на воздействия -атмосферы и на гидросферу</i>
3. Защита в чрезвычайных ситуациях:.	<i>-Возможные ЧС на объекте, меры по предупреждению - устойчивость объекта и разработка мер по ликвидации</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Джумабаев Анвар Рустамович		

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

4.1 Описание рабочего места обслуживающего персонала

Данный раздел посвящен анализу опасных и вредных производственных факторов при выполнении пуско-наладочных работ и эксплуатации электропривода перемещения индуктора вертикального закалочного станка, а так же ставятся задачи определения необходимых мер защиты от этих факторов, оценки условий труда, микроклимата рабочей среды и представления рекомендаций по созданию оптимальных условий труда. Объектом исследования является рабочее место обслуживающего персонала.

Электропривод перемещения индуктора создан на базе комплектного электропривода постоянного тока типа ЭПУ1-2, питающегося от трехфазной сети переменного тока 380В, 50Гц. Электропривод находится в генераторной станции в непосредственной близости от станка. Питание к станку подается по кабельным туннелям.

Обслуживающий персонал поддерживает исправное состояние, безаварийную и надлежащую работу обслуживаемых устройств и электрооборудования.

- настройку, ремонт механического и электрооборудования.
- контроль работы основных и вспомогательных узлов станка в порядке текущей эксплуатации.

При пуско-наладочных работах для обслуживающего персонала опасность представляет не только электрооборудование станка, но и сам технологический процесс. Электрические установки, с которыми приходится иметь дело работающим на производстве, представляют для человека большую потенциальную опасность, которая усугубляется тем, что органы чувств человека не могут определить ее наличие.

4.2 Анализ выявленных вредных производственных факторов

Реальные производственные условия характеризуются, как правило, наличием некоторых вредных производственных факторов. Анализ данных факторов необходим с целью их дальнейшего предупреждения.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеваниям или снижению трудоспособности.

Анализ запыленности.

Производственная пыль не только отрицательно воздействует на организм человека, но и ухудшает производственную обстановку (видимость, ориентирование) в пределах рабочей зоны и одновременно приводит к быстрому разрушению трущихся частей машины. Кроме того, пыль может быть взрывоопасной, являться источником статических зарядов электричества. Пыль подразделяется на органическую, неорганическую и смешанную. К органической относится пыль животного и растительного происхождения, например, хлопчатобумажная, древесная. К неорганической относится минеральная пыль, например, цементная, кварцевая, асбестовая, а также металлическая. Пыль по степени ее измельчения (дисперсности) делят на две группы: видимую, с размером частиц более 10 мкм и микроскопическую, менее 10 мкм.

Анализ микроклимата.

Значительным физическим фактором является микроклимат рабочей зоны, особенно температура и влажность воздуха.

Таблица 16 – Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха.

Период года	Категория работы	Температура, С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха,
Холодный и переходный	Легкая	20–23	60–40	0,2
Теплый	Легкая	22–25	60–40	0,2

Анализ уровня шума и вибрации.

Шумом является всякий нежелательный, неприятный для восприятия человека шум. Шум ухудшает условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека. При длительном воздействии шума на организм человека происходят нежелательные явления:

- снижается острота зрения, слуха;
- повышается кровяное давление;
- понижается внимание.

Сильный продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной систем, что приводит к заболеваниям сердца и повышенной нервозности.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в Дб в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Допустимым уровнем звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочем месте следует принимать данные из таблицы 17.

Таблица 17 – Допустимые уровни звукового давления.

Среднегеометрические частоты, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Нормативные значения, Дб	71	61	54	49	45	42	40	38

Малые механические колебания, возникающие в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменного физического поля, называются вибрацией. Причиной возбуждения вибраций являются возникающие при работе машин и агрегатов неуравновешенные силовые воздействия. При действии на организм общей вибрации страдает в первую очередь нервная система.

Анализ освещения.

Освещение рабочего места это важнейший фактор создания оптимальных условий труда.

Действие на человека недостаточной освещенности рабочей зоны и пониженной контрастности. Неудовлетворительное освещение утомляет не только зрение, но и вызывает утомление всего организма в целом. Неправильное освещение часто является причиной травматизма (плохо освещенные опасные зоны, слепящие лампы и блики от них). Резкие тени ухудшают или вызывают полную потерю ориентации работающих, а также вызывают потерю чувствительности глазных нервов, что приводит к резкому ухудшению зрения.

Таблица 18– Нормы естественного и искусственного освещения.

Характеристика зрительной работы	Максимальны объем различения, мм	Искусственное освещение, лк	
		Комбинированное	Общее
Высокая очность	0,5–1,0	500	200

Анализ электромагнитного поля.

Электромагнитное поле обладает биологическим и тепловым воздействием на организм, что может повлечь следующие последствия: биологическое действие, влияние на нервную систему, влияние на эндокринную систему. В следствии перехода ЭМП в тепловую может наблюдаться повышение температуры тела, локальный нагрев тканей.

Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03, Предельно допустимые уровни напряженности периодического магнитного поля 50 Гц.

Таблица 19 - ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц.

Таблица 19 - воздействия периодического магнитного поля

Время пребывания, час	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии	
	Общем	локальном
<= 1	1600 / 2000	6400/8000
2	800 / 1000	3200 / 4000
4	400 / 500	1600 / 2000
8	80 / 100	800 / 1000

4.3 Анализ выявленных опасных производственных факторов

Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному ухудшению здоровья.

При проведение работ по пуску и наладке привода перемещения индуктора вертикального закалочного станка возможны следующие опасные факторы:

Поражение электрическим током в результате: прикосновения к токоведущим частям электрооборудования; повреждении заземляющего устройства при пробое изоляции кабеля или электродвигателя; в результате

работы с неисправным электроинструментом и приборами с поврежденной изоляцией;

Опасность поражения человека электрическим током определяется факторами электрического (напряжение, сила, род и частота тока, электрическое сопротивление человека) и неэлектрического характера (индивидуальные особенности человека, продолжительность действия тока и его путь через человека), а также состоянием окружающей среды.

Факторы электрического характера. Сила тока является основным фактором, обуславливающим степень поражения человека, и в зависимости от этого установлены категории воздействия: пороговый ощутимый ток, пороговый не отпускающий ток и пороговый фибрилляционный ток.

Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и силы токов выше отпускающих установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения представлены в таблице 20.

Таблица 20- Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения

Ток	Нормируемая величина	Предельно допустимые уровни, не более, при длительном воздействии тока, с.						
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1	>1
Переменный (50 Гц)	U, В	500	165	100	70	55	50	36
	I, мА	500	165	100	70	55	50	6
Постоянный	U, В	500	350	250	230	210	200	40
	I, мА	500	350	250	230	210	200	15

Механические травмы в результате воздействия:

Незащищенные подвижные элементы производственного оборудования;

Отлетающие частицы обрабатываемого материала и инструмента;

Тепловые ожоги при производстве электромонтажных работ, связанных со сваркой или пайкой;

При проведении тех же работ возможны следующие вредные факторы:

Запыленность и загазованность рабочей зоны;

Повышенные уровни шума, вибрации и различных излучений;

Повышенная напряженность труда;

Недостаточная освещенность рабочего места.

Значительные отклонения параметров микроклимата от нормируемых значений.

Электробезопасность на производстве обеспечивается соответствующей конструкцией электроустановок, применением технических способов и средств защиты, организационными и техническими мероприятиями.

Конструкция электроустановок должна соответствовать условиям их эксплуатации и обеспечивать защиту персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями, а оборудования - от попадания в внутрь посторонних тел и воды.

В соответствии с классификацией помещений по степени опасности поражения людей электрическим током, Кузнечно-термический цех, в котором расположен станок с проектируемым приводом, относится, относится к особо опасным помещениям. Проектируемый привод является электроустановкой до 1000 В для II - группы, а работы, связанные с ремонтом и обслуживанием этого электропривода не исключают как возможности поражения электрическим током персонала, так и возможности получения механической травмы. Поэтому соблюдение правил техники безопасности при работе с электроприводом и станком является важнейшей обязанностью, как самого обслуживающего персонала, так и лиц, организующих эти работы.

С целью обеспечения безопасности при наладке и ремонте станка выделяют организационные и технические мероприятия.

К организационным мероприятиям относятся:

Оформление работы нарядом или распоряжением;

Допуск к работе;

Надзор во время работы;

Оформление перерыва в работе, перевода на другое рабочее место, окончания работы.

К техническим мероприятиям относятся:

Производство необходимых отключений и принятие мер, препятствующих подачи напряжения к месту работы в следствии ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры;

Вывешивание плакатов: «не включать - работают люди», «не включать работа на линии», «не открывать - работают люди» и при необходимости установка ограждений;

Присоединение к «земле» переносных заземлений. Проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях, на которые должно быть наложено заземление;

Наложение заземлений;

Ограждение рабочего места и вывешивание плакатов: «не влезай – убьет», «работать здесь». При необходимости произвести ограждение оставшихся под напряжением токоведущих частей.

Наиболее распространенным техническим средством защиты от поражения электрическим током является защитное заземление.

Заземление какой – либо части электроустановки преднамеренное электрическое соединение этой части с заземляющим устройством.

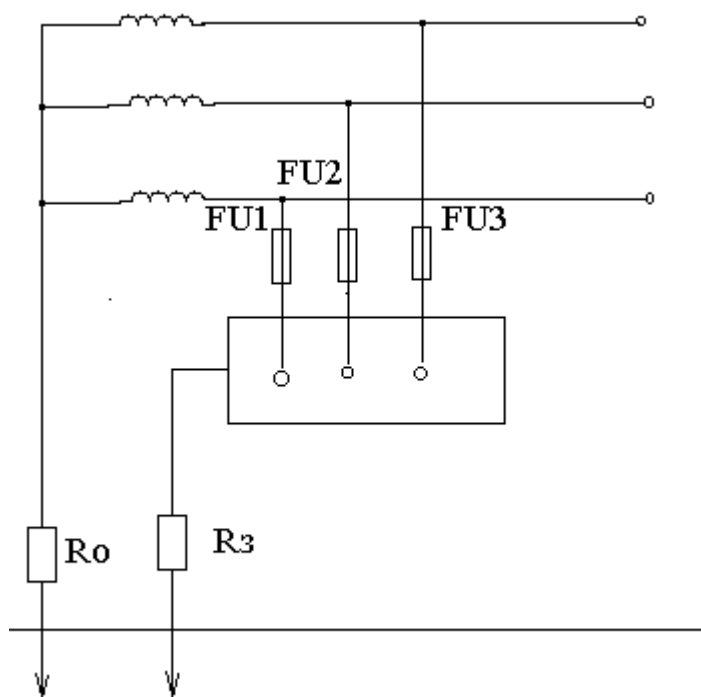


Рисунок 23 - Схема защитного заземления

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников. Схема защитного заземления представлена на рисунке 21.

FU1 – FU3 – плавкие предохранители

R_0, R_3 – сопротивления рабочего и защитного заземления.

Определим удельное электрическое сопротивление грунта в зоне размещения заземления:

$$f = f_{\Gamma} \cdot K_{\text{св}}, \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

где – $f_{\Gamma} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – удельное сопротивление грунта (суглинка);

$K_{\text{св}} = 1,3$, $K_{\text{сг}} = 2,5$ – коэффициент сезонности для вертикального и горизонтального электродов.

$$f_{\text{в}} = 100 \cdot 1,3 = 130 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$f_{\Gamma} = 100 \cdot 2,5 = 250 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Выбираем нормативное сопротивление заземления для установок до 1000В.

$$R_{\text{н}} = 4 \text{ Ом}$$

Определяем сопротивление растеканию тока, заземлителем для вертикального стержня $d = 0.06 \text{ м}$, заглубленного в грунт на 3м.

$$R_e = 3 \frac{P}{2\pi} \ln \left(4 \frac{l}{d} \right) = 3 \frac{130}{2\pi} \ln \left[4 \frac{3}{0.06} \right] = 36.54 \text{ Ом.}$$

Определяем допустимое сопротивление искусственного заземлителя;

$$R_{ннд0} = \frac{R_e \cdot R_n}{R_e - R_n} = \frac{36,54 \cdot 4}{36,54 - 4} = 4,5 \text{ Ом}$$

Выбираем тип заземляющего устройства: электроды расположены по контуру цеха.

$$R_3 = \frac{f_B}{2 \pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right), \text{ Ом.}$$

Определяем сопротивление одиночного вертикального электрода:

$$R_3 = 34,48 \text{ Ом.}$$

Определяем результирующее сопротивление искусственного заземления:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_3 \cdot N}{(R_3 \cdot \eta_n + N \cdot \eta_3)} = \frac{34,48 \cdot 8}{(34,48 \cdot 0,64 + 8 \cdot 0,86)} = 4,45 \text{ Ом.}$$

Где $\eta_n = 0,64$ - коэффициент использования горизонтальной полосы.

Определим общее сопротивление всего заземляющего устройства:

$$R_3 = \frac{R_e \cdot R_n}{R_e - R_n} = \frac{36,54 \cdot 4,45}{36,54 + 4,45} = 3,97 \text{ Ом.}$$

$R_3 = 3,97 \text{ Ом.}$ Удовлетворяет требованиям ПУЭ.

Термические опасности.

Рабочее место пайки должно быть оборудовано местной вытяжкой вентиляцией, обеспечивающей концентрацию свинца в рабочей зоне не превышающую предельно-допустимой - 0.01 мг/м³.

Для предотвращения ожогов и загрязнения свинцом кожи рук, работающим должны быть выданы салфетки, для удаления лишнего припоя сжала паяльника, а также пинцеты для поддержания припаиваемого провода и для подачи припоя к месту пайки, если отсутствует его автоматическая подача.

Поскольку еще значительное количество паяльных работ проводится вручную - паяльником, по окончании этих работ в целях предупреждения заболеваний необходимо споласкивать руки однопроцентным раствором уксусной кислоты, мыть их горячей водой с мылом, прополаскивать рот, чистить зубы и принимать теплый душ.

При монтажных работах, связанных с опасностью засорения или ожога глаз, предусмотрена выдача рабочим защитных очков.

Пожарная безопасность

Это состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей.

Конструкция здания должна предусматривать безопасную эвакуацию людей на случай пожара. План эвакуации приведен на рисунке №2. число эвакуационных выходов должно быть не менее двух. Ширина путей эвакуации не менее 1 метра.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Система предотвращения пожара – комплекс организационных мероприятий и технических средств, исключающих возможность возникновения пожара. Система пожарной защиты – комплекс организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечения защиты материальных ценностей.

Источниками пожара могут оказаться искры, перегретые узлы станка, открытый огонь и т.д.

При возникновении пожара нужно обесточить электрооборудование и вызвать пожарную команду. До ее прибытия пожар следует тушить собственными силами, пользуясь цеховыми средствами тушения.

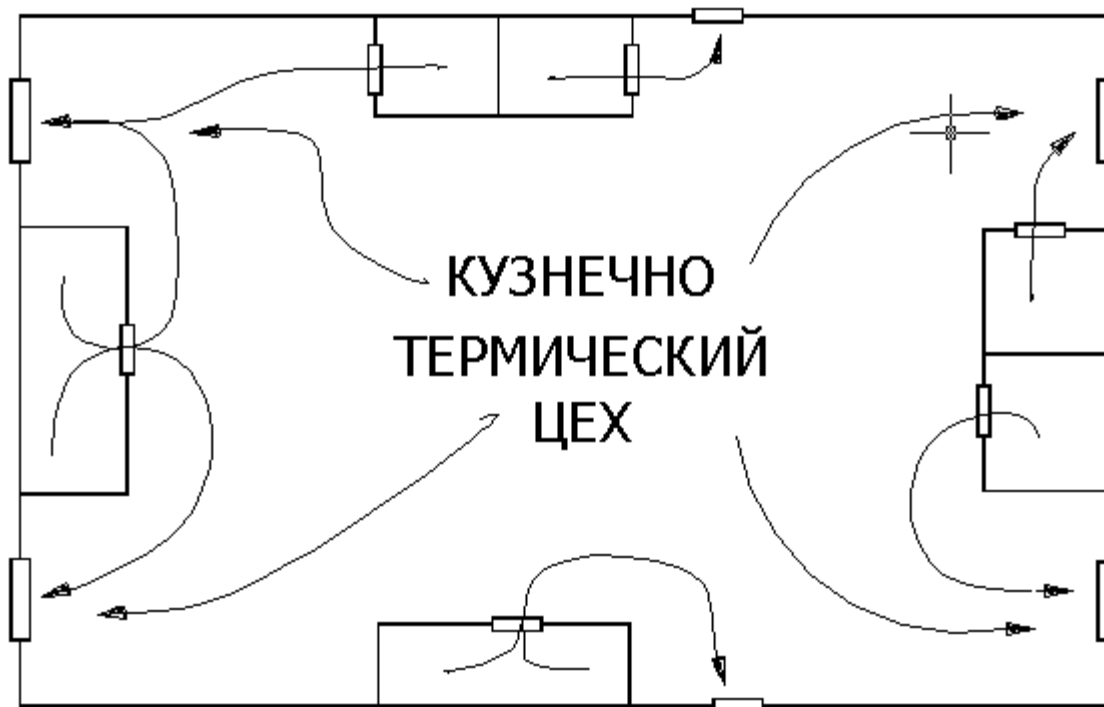


Рисунок 22 – План эвакуации Кузнечно-термического цеха при пожаре.

4.4 Охрана окружающей среды

В процессе производства неизбежно образование больших объемов отходящих газов, пыли и т.п. В целях предупреждения загрязнения воздуха и почвы нефтепродуктами технологической частью проекта предусмотрены следующие мероприятия:

Образующиеся отходы в период эксплуатации, в основном, являются нелетучими, нерастворимыми в воде.

ПДК окиси углерода среднесуточная составляет 0,05 мг/м³, максимальная равна – 0,15 мг/м³.

В комплекс мероприятий по защите биосферы одну из первостепенных полей играет очистка промышленных газов.

Отходы производства, например шлак, вывозится на шлаковый двор, где охлаждается, дробится и транспортируется на шлаковый отвал.

Вода, используется для охлаждения, имеет замкнутый цикл использования. Горячая вода охлаждается в котлах – охладителях и опять подается на охлаждение.

Для очистки сточных вод используют в основном радиальные отстойники. Для интенсификации их работы применяют реагентный метод сточных вод.

4.5 Защита в чрезвычайных ситуациях

Перечень возможных ЧС на объекте: авария, пожар, террористический акт.

Опасными событиями, которые могут оказать влияние на безопасность обслуживающего персонала это пожары и аварии на электрооборудовании. Характер объекта не предполагает хранение, обращение и использование взрывчатых веществ, легковоспламеняющихся, ядовитых и радиоактивных веществ и материалов.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 порождающими факторами являются:

- пламя и искры;
- повышенная температура окружающей среды;
- токсические продукты горения и термического разложения;
- дым и понижение концентрации кислорода.

Более подробно рассмотрим противопожарные мероприятия.

Основные противопожарные мероприятия

Проектом соблюдены требования пожарной безопасности в соответствии со СНиП 21.01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»:

- расположение эвакуационных выходов соответствует нормам;

- отделочные материалы имеют необходимый предел огнестойкости. Класс ответственности сооружения –II.

Степень огнестойкости - III

Ограждающие и несущие конструкции ДЭС выполнены не ниже II степени огнестойкости.

Сечение проводов и кабелей выбрано с учетом токовых нагрузок согласно ПУЭ. Выбор кабелей и проводов, а также способ прокладки соответствует условиям окружающей среды и конструкции сооружения.

Автоматические выключатели предусматриваются согласно расчетных токов.

Все электрооборудование выбрано согласно среды и характеристики помещения в соответствии с номинальным напряжением сети и рабочему току.

Принятое проектом электрооборудование имеет сертификат пожарной безопасности. Заземление и защитные нормы безопасности выполнены в соответствии с ПУЭ.

Пожаротушение предусматривается от существующей сети водопровода из пожарных гидрантов.

Проектом предусмотрены следующие мероприятия по пожарной безопасности:

- у бытовых помещений установить щиты с противопожарным инвентарем, ящиком с песком, бочки с водой.

В случае возникновения пожара, лица уполномоченные владеть, пользоваться или распоряжаться имуществом, руководители и должностные лица организаций, лица, в установленном порядке назначенные ответственными за обеспечение пожарной безопасности, по прибытии к месту пожара должны:

- сообщить о возникновении пожара в пожарную охрану, поставить в

известность руководство и дежурные службы объектов;

- в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение, используя для этого имеющиеся силы и средства;

- проверить включение в работу автоматических систем противопожарной защиты (оповещение людей о пожаре, пожаротушения, противодымной защиты);

- при необходимости отключить электроэнергию (за исключением систем противопожарной защиты), остановить работу транспортирующих устройств, агрегатов, аппаратов, перекрыть сырьевые, газовые, паровые и водяные коммуникации, остановить работу систем вентиляции в аварийном и смежном с ним помещениях, выполнить другие мероприятия, способствующие предотвращению развития пожара и задымления помещений здания;

- прекратить все работы, кроме работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара;

- осуществить общее руководство по тушению пожара (с учетом специфических особенностей объекта) до прибытия подразделения пожарной охраны;

- обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара;

- одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию и защиту материальных ценностей;

- организовать встречу подразделений пожарной охраны и оказать помощь в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара;

- сообщать подразделениям пожарной охраны, привлекаемым для тушения пожаров и проведения, связанных с ними, первоочередных

аварийно- спасательных работ, сведения о перерабатываемых или хранящихся на объекте опасных (взрывоопасных), взрывчатых, ядовитых сильнодействующих веществах, необходимые для обеспечения безопасности личного состава.

Сегодня существует большая опасность, что похищенные взрывчатые материалы могут быть использованы преступниками.

В качестве предупредительных мер рекомендуется:

- ужесточение пропускного режима при входе и въезде на территорию объекта, установку систем сигнализации, аудио- и видеозаписи;

- ежедневные обходы территории предприятия и осмотр мест сосредоточения опасных веществ на предмет своевременного выявления взрывных устройств или подозрительных предметов;

- периодическую комиссионную проверку складских помещений;

- более тщательный подбор и проверку кадров;

- организацию и проведение совместно с сотрудниками правоохранительных органов инструктажей и практических занятий по действиям при чрезвычайных происшествиях;

- при заключении договоров на сдачу складских помещений в аренду в обязательном порядке включать пункты, дающие право администрации предприятия при необходимости осуществлять проверку сдаваемых помещений по своему усмотрению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование и разработка электропривода перемещения индуктора вертикального закалочного станка Кузнечно – термического цеха ОАО "ЕВРАЗ".

В результате выполненной выпускной квалификационной работы спроектирован электропривод, полностью отвечающий требованиям технического задания. Так, электромеханические характеристики электропривода, ограниченные значениями $\omega = \omega_{\text{макс}}$ и $I = I_{\text{доп}}$, удовлетворяют номинальным значениям области существования характеристик проектируемой системы преобразователь—двигатель.

Статические характеристики привода, при настройке на ПИ—регулятор скорости при минимальной скорости имеют наибольшую погрешность и удовлетворяют заданным условиям, $\Delta\omega = 2,18\%$.

При исследовании переходных процессов, динамические показатели качества САУ РЭП во всём диапазоне регулирования скорости, полностью удовлетворяют требованиям технического задания. Время пуска электропривода до максимальной рабочей скорости составляет: при номинальной нагрузке двухмассовой механической системе $t_{\text{п}} = 0,46\text{с}$, при перерегулировании $\delta = 0\%$. Время реверсирования электропривода с максимальной скорости $t_{\text{р}} = 0,79\text{с}$. Время восстановления скорости при набросе и сбросе нагрузки, при минимальном задании, не превышает $0,0022\text{с}$.

Электропривод перемещения индуктора, кроме того, снабжён системой защит и сигнализации, обеспечивающей безопасную и безаварийную работу.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы планирования, финансирования и проведения пуско—наладочных

работ электропривода перемещения индуктора вертикального закалочного станка..

В разделе «Социальная ответственность» освещены вопросы: промышленной безопасности; техники безопасности; анализ опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; рассмотрены мероприятия по охране окружающей среды.

CONCLUSION

The purpose of this final qualification work is design and development of the electric drive of movement of the inductor of the vertical hardening machine Forge – thermal shop JSC EVRAZ.

As a result of the performed final qualification work the electric drive which is completely meeting the requirements of the specification is designed. So, the electromechanical characteristics of the electric drive limited to values $\omega = \omega_{\text{max}}$ and $I = I_{\text{dop}}$, satisfy to nominal rates of area of existence of characteristics of the designed system the converter — the engine.

Static characteristics of the drive, at control for PI — the speed regulator at the minimum speed have the greatest error and meet the set conditions, $\Delta \omega = 2,18\%$.

At research of transition processes, dynamic indicators of quality of SAU the RAP in all the range of regulation of speed, completely meet requirements of the specification. Time of launch of the electric drive to the maximum working speed makes: at a rated load in the two-mass mechanical t_p system $= 0,46\text{s}$, at reregulation $\delta = 0\%$. Electric drive reversal time from the maximum speed of $t_p = 0,79\text{s}$. Time restoration of speed at a nabrosa and dumping of loading, at the minimum task, doesn't exceed $0,0022\text{s}$.

The electric drive of movement of the inductor, besides, is supplied with system of protection and the alarm system ensuring safe and trouble-free functioning.

In the section "Financial Management, Resursoeffektivnost and Resource-saving" to final qualification work questions of planning, financing and carrying out start-up — adjustment operation of the electric drive of movement of the inductor of the vertical hardening machine are considered.

In the section "Social Responsibility" questions are taken up: industrial safety; safety measures; analysis of dangerous and harmful production factors; fire safety; actions for environmental protection are considered.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

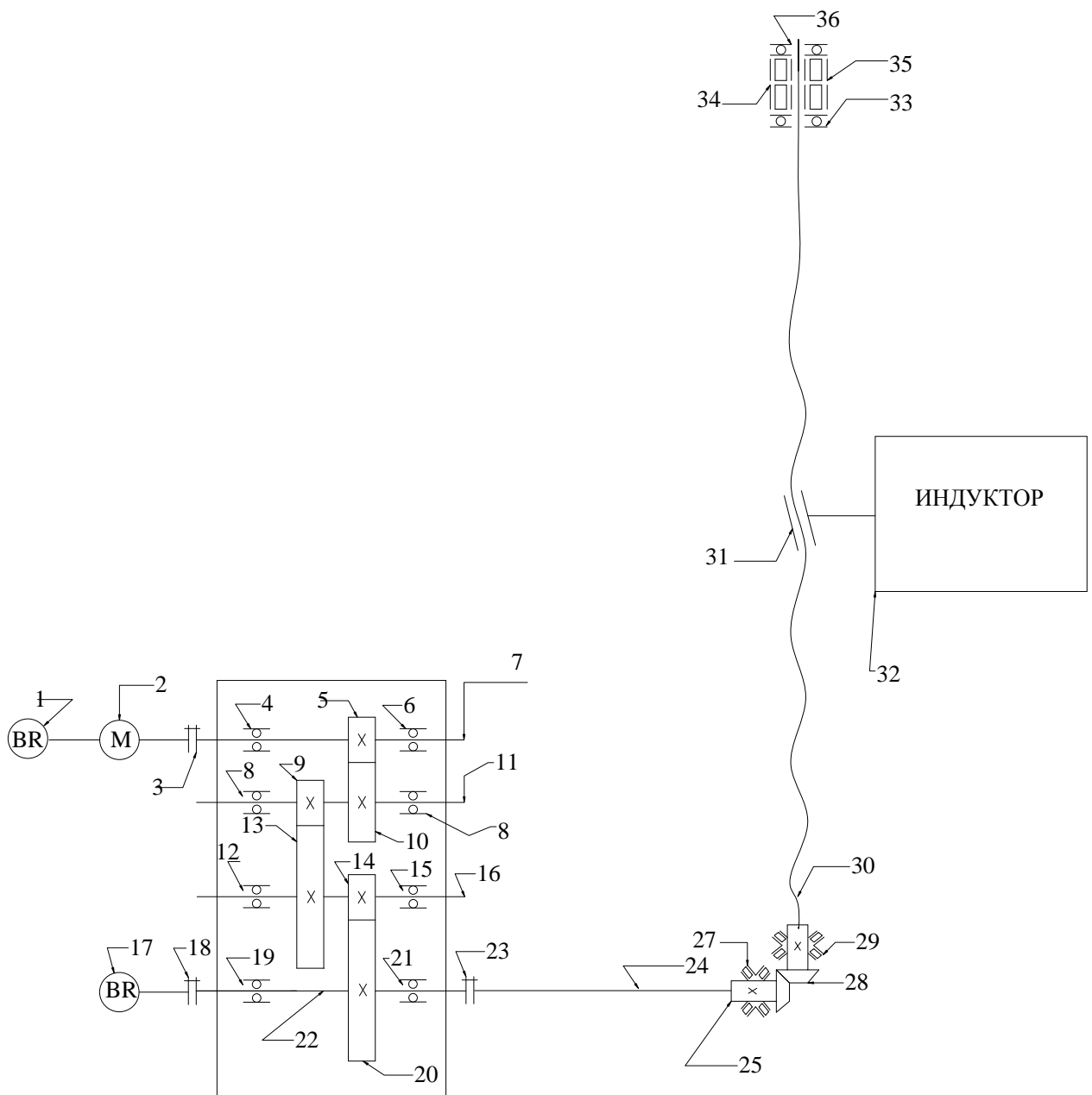
- 1 Башарин А.В. и др. Управление электроприводами. Л.-энергоиздат 1982г.
- 2 Вишеневский С.И. Характеристики двигателей в электроприводе.-М.-Л.: Энергия: 1966г.
- 3 В помощь радиолюбителю: Сборник. Вып. 109/В80 Сост. И. Н. Алексеева. – М.: Патриот, 1991.- 80с.
- 4 Ключев В. И. Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов.
- 5 Крупович В. И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами.
- 6 Ловрчиновский Э. В. Вагин В. С. Машины и механизмы сталеплавильного производства.
- 7 Фотиев М. М. Электропривод и электрооборудование металлургических цехов.

- 8 Удут Л.С. Мальцев О.П. Колин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие. Томск 1991г.
- 9 Типовое положение о ТО и Р электрооборудования предприятий горной металлургии. – Харьков, 1988.
- 10 Правила технической эксплуатации электроустановок и потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. --М.: Энергоатомиздат 1988г.
- 11 ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление .
- 12 Правила устройства электроустановок/ Минэнерго СССР – М.: Энергоатомиздат, 1985-640с.
- 13 Техническая документация к электроприводу ЭПУ1-2.
- 14 ГОСТ 27242 – 87. Вибрация. Виброизоляция. Общие требования безопасности.
- 15 ГОСТ 12.1.012 – 90. Вибрационная безопасность.
- 16 ГОСТ 12.1.003 – 83. Шум. Общие требования безопасности.
- 17 СНИП 12.1.005 – 88. Санитарные нормы промышленных предприятий.
- 18 ГОСТ 12.1.005 – 88. Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 19 СНИП 2.04.05 – 91. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
- 20 СНИП 2.04.03 – 85. Канализация. Наружные сети и сооружения.

- 21 СНИП 2.04.01 – 85. Внутренний водопровод и канализация зданий.
- 22 СНИП 23 – 05 – 95. Нормы освещенности производственных помещений.
- 23 СНИП 2.04.02 – 84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
- 24 ГОСТ 2.755 – 87. УГО в электрических схемах.
- 25 ГОСТ 2.710 – 81. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах
- 26 Методические указания “Базовые структуры ЭП и методы их оптимизации”.
- 27 Волкова Л. Методика проведения SWOT-анализа // http://market.narod.ru/S_StrAn/SWOT.html.
- 28 Криницына З.В. Ресурсоэффективность отрасли: Учебное пособие /З.В.Криницына. – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2013. – 182 с.
- 29 Криницына З.В., И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Графический материал.



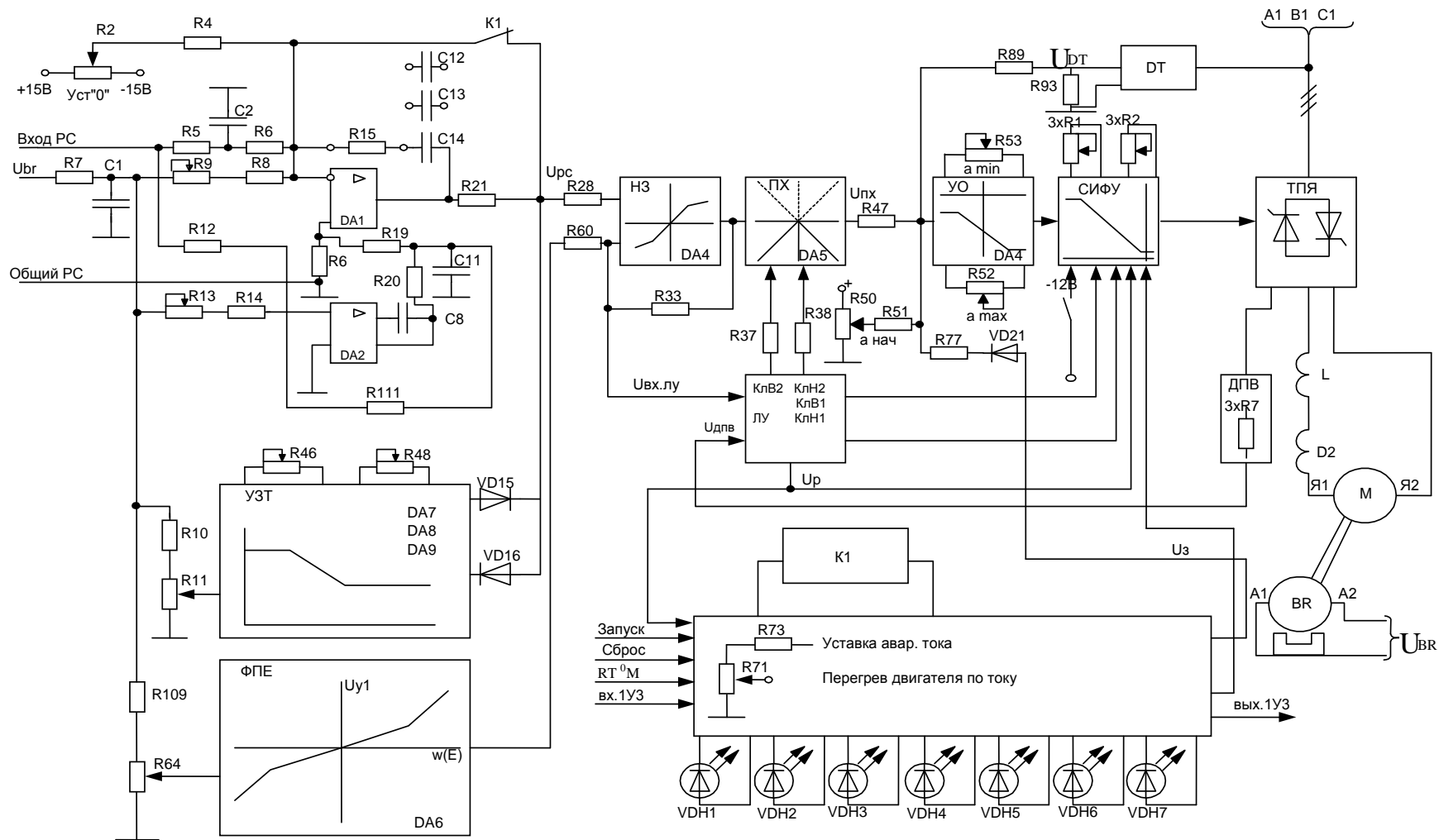
На рисунке обозначено:

1,17– тахогенератор;

2- электродвигатель;

3,18,23 – муфты соединительные.

Функциональная схема



Структурная схема нелинейной двухмассовой САР РЭП.

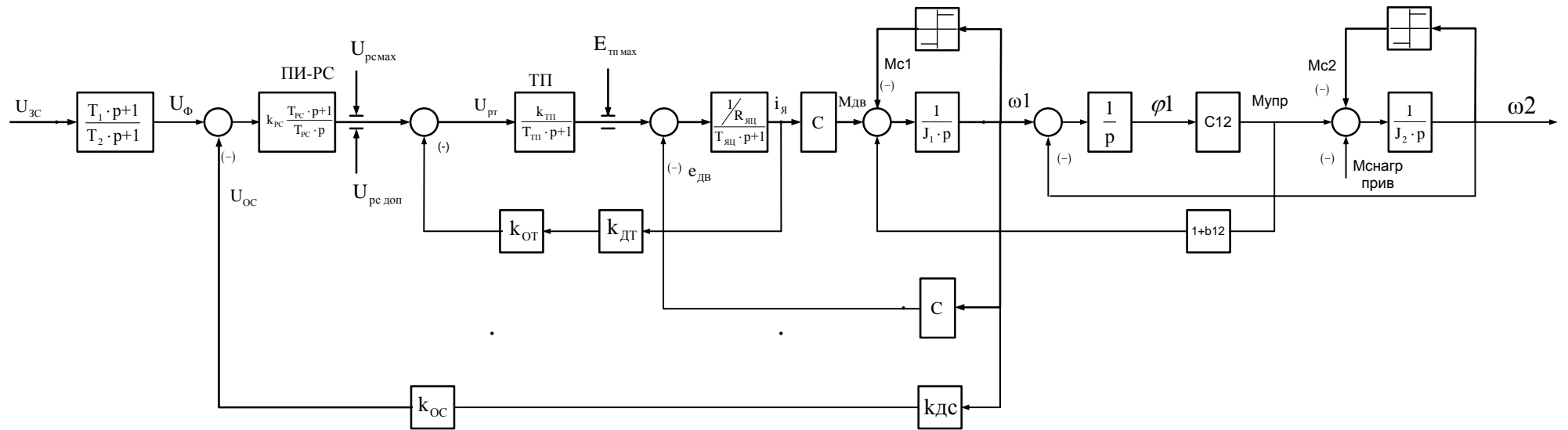
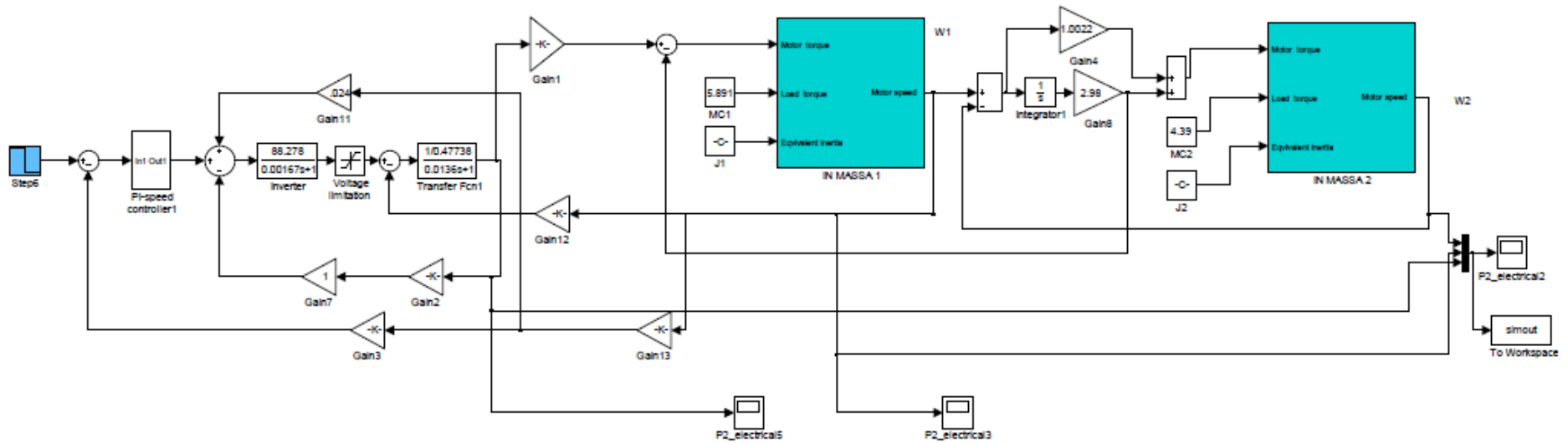
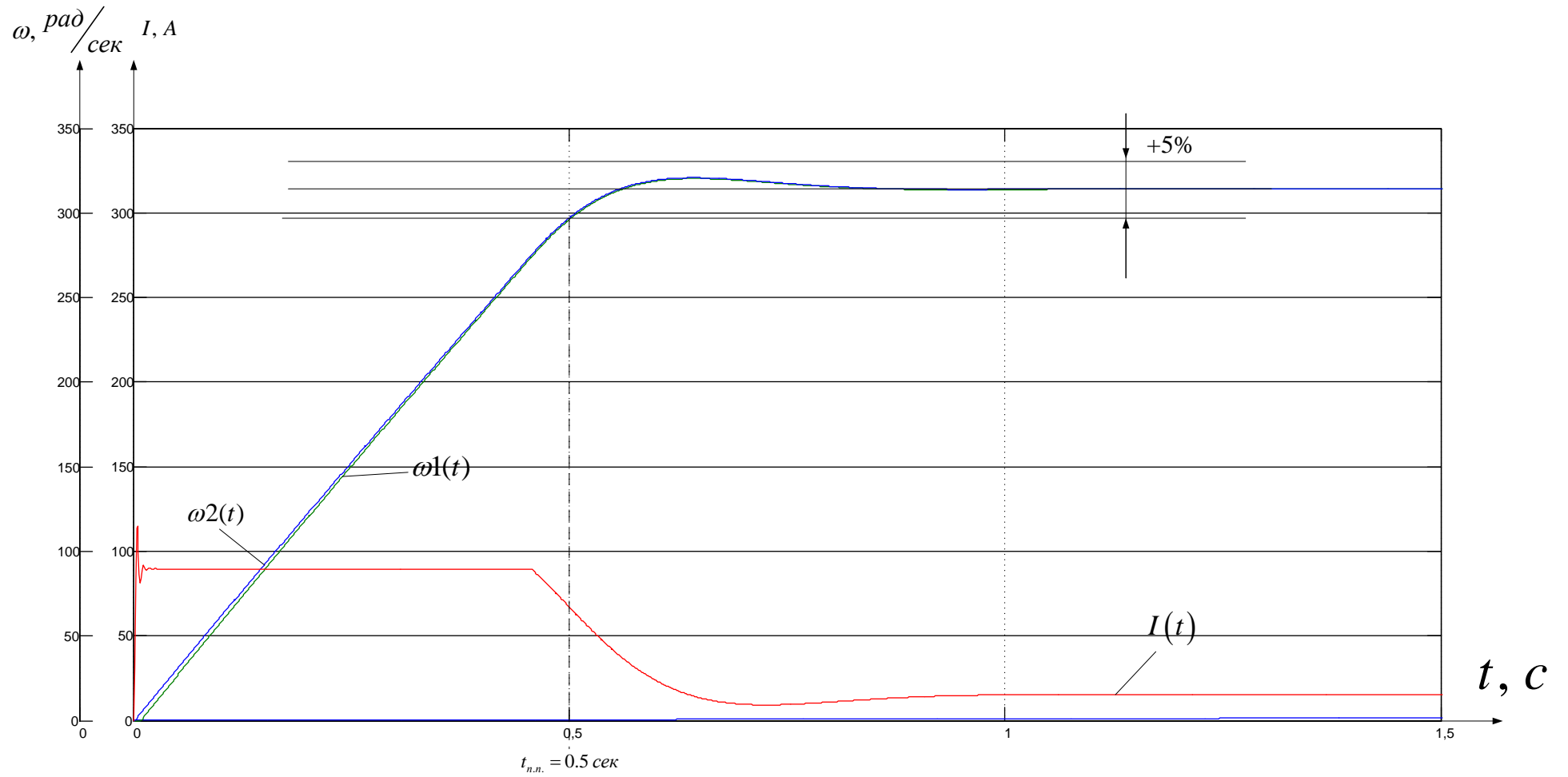


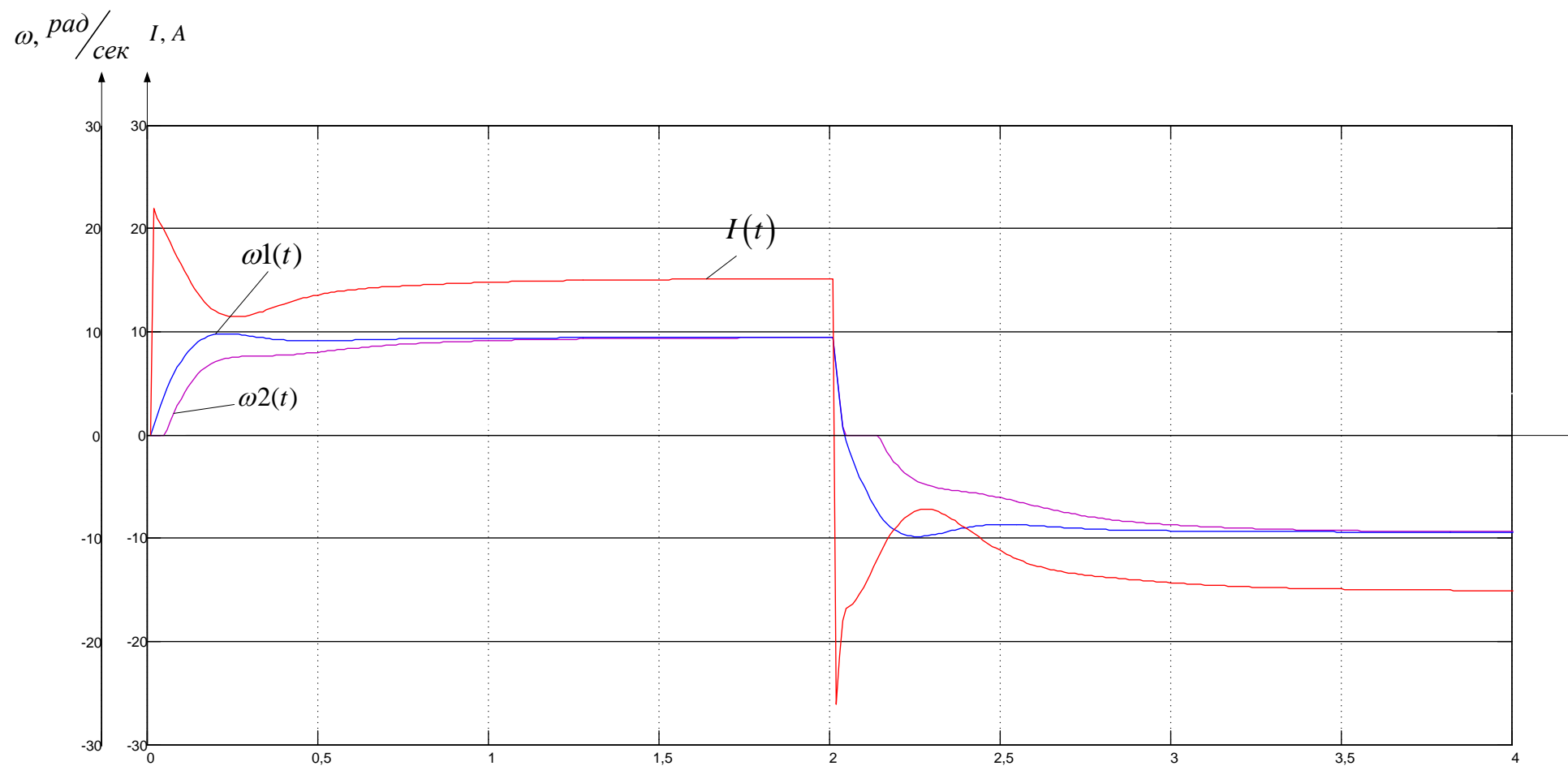
Схема имитационной модели в программной среде Matlab нелинейной двухмассовой САР РЭП.



Переходный процесс пуска на максимальную скорость



Переходный процесс пуска минимальную скорость



Переходный процесс пуска и реверса на максимальной скорости.

$\omega, \text{рад/сек}$ I, A

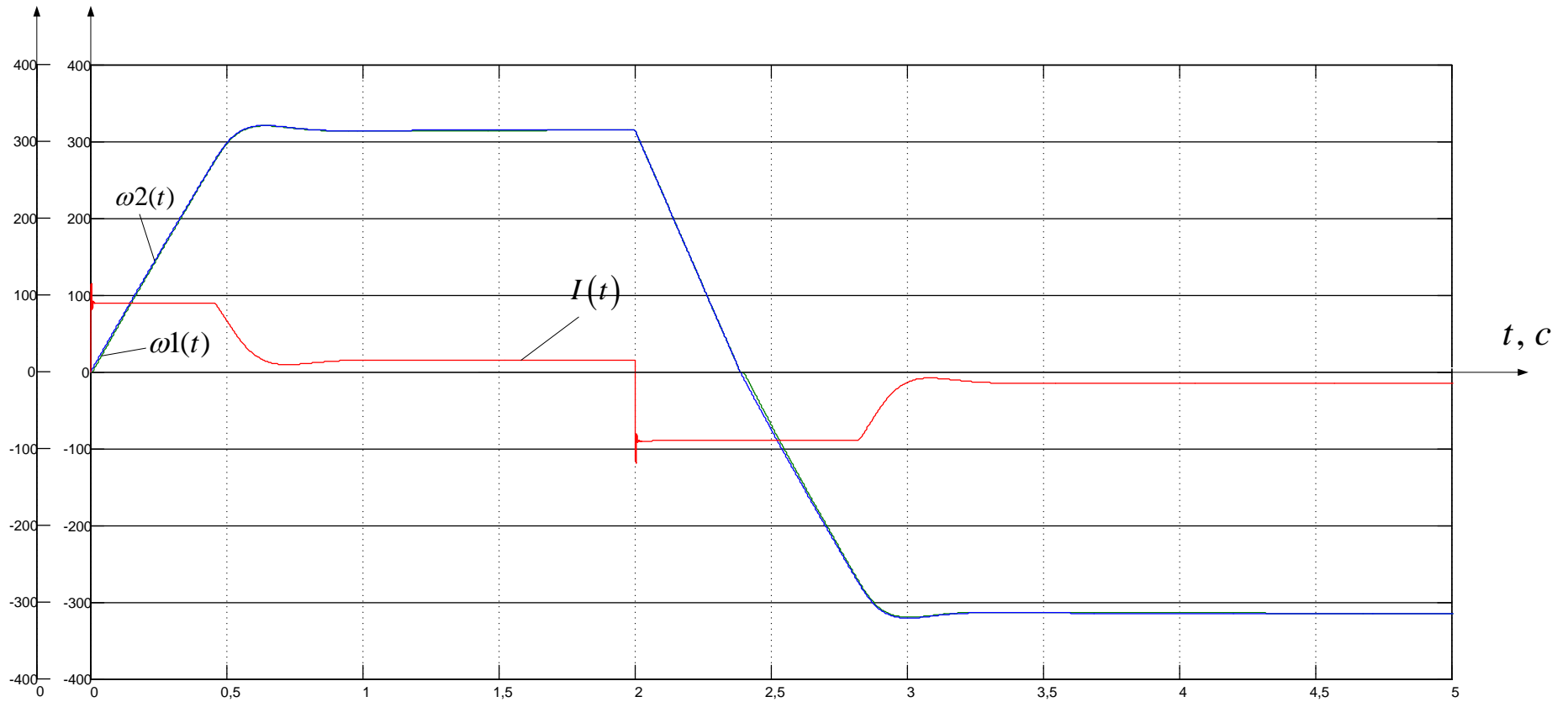


Диаграмма Ганта

Этап работ	Вид работ	Исполнители *	Продолжительность одной работы дн.	Продолжительность выполнения работ по декадам												
				Фев.	Март			Апрель			Май			Июнь		
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1		
1	Составление технического задания	Р	1	-												
2	Изучение технической литературы	Д	22		—————											
3	Сбор необходимых данных по проекту	Д	16				—————									
4	Ввод данных в среду разработки MATLAB	Д	1						-							
		Р	1						-							
5	Расчет в среде MATLAB нагрузок привода	Д	1						-							
		Р	1						-							
6	Выбор электрооборудования	Д	15						—————							
7	Расчет элементов электропривода	Д	1								-					
		Р	1								-					
8	Проверка выбора электрооборудования	Д	12								—————					
		Р	1									-				
9	Оформление расчётно-пояснительной записки	Д	16									—————				
10	Сдача проекта	Д	6											—————		
		Р	1													.

* - условное обозначение исполнителей: Р – руководитель; Д – дипломник.

