TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электрооборудование и электропривод барабанных ножниц

УДК 621.31:62-83:621.771.22

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4Б2	Каримов Элмурод Эргашевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С. Н.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Умурзакова А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ООЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа *электрических устройств, объектов* и *систем*.
Р 2	Уметь формулировать задачи в области *электроэнергетики и электротехники*, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать *электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты*.
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния *электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники*, интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области *электроэнергетики и электротехники*.
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий *электроэнергетической и электротехнической* отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области *электроэнергетики и электротехники*
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях *электроэнергетики и электротехники*.
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области *электроэнергетики и электротехники*.
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области *электроэнергетики и электротехники* с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области *электроэнергетики и электротехники*.

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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:
И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ
_____ _____ А.С. Ивашутенко
(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**
З-5Г4Б2	Каримову Элмуроду Эргашевичу

Тема работы:

Электрооборудование и электропривод барабанных ножниц	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода; синтез и анализ нелинейной САУ РЭП; принципиальная электрическая схема, защита и сигнализация;

	социальная ответственность проекта; Финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	1. схема кинематическая; 2. - схема электрическая функциональная; 3. - схема электрическая структурная; 4. - схемы электрические принципиальные; 5. - демонстрационный лист; 6. - технико-экономические показатели;

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

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

Заключение

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2019г.

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н.		05.04.2019г.
Старший преподаватель	Умурзакова А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4Б2	Каримов Элмурод Эргашевич		05.04.2019г.

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:
Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С. Н.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Умурзакова А. Д.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ООЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Спроектировать электропривод барабанных ножниц, удовлетворяющий следующим условиям:

1 .Напряжение питающей сети трехфазного переменного тока напряжением 380 В;

2.Отклонение напряжения питающей сети от номинального значения + 10%, -15%;

3.Частота питающей сети 50 Гц + 2 %, качество подаваемого напряжения должно соответствовать ГОСТ 13109-87;

4.Сигнал управления - аналоговый + 10 В;

5.Тиристорный преобразователь - реверсивный, предназначенный для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающей среды от 5 - 45° и относительной влажности не более 80%;

6.Нагрузка - реактивная, ударного типа;

7.Точность регулировки, зависящая от номинального значения величины регулирования + 0,5 %;

8.Выбранный электропривод должен быть реверсивный и предназначен для работы в непрерывном режиме в условиях повышенной температуры, влажности, запыленности, иметь закрытое исполнениеи высокий класс изоляции;

9.Электропривод должен обладать максимальным КПД, минимальным моментом инерции, большой перегрузочной способностью;

10.Диапазон регулирования скорости 1 : 10;

11. Обеспечивать плавный пуск и надежное ограничение ускорения и рывка автоматическое ограничение момента при возможных перегрузках;

12.Электропривод должен иметь следующие виды защит: от токов короткого замыкания, от токов перегрузки, от перенапряжений, от исчезновения напряжения сети, от потери информации с датчика положения и ЭДС;

13.В процессе работы необходимо согласование скорости ножниц со скоростью головной части раската для уменьшения количества отходов металла;

14.Система управления электропривода должна обеспечивать высокую скорость и быстрое протекание переходных процессов при отработке возмущений по нагрузке.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает в себя 115 листа печатного текста, 28 рисунков, 29 таблиц и 1 приложении.

В квалификационной работе произведена модернизация электропривода барабанных ножниц 150 тонн, непрерывно-заготовочного стана (НЗС) обжимного цеха. Выполненная квалификационная работа состоит из четырех разделов: описание технологического процесса, выбор элементов и расчет параметров силового канала следящего электропривода, экономика, безопасность и экологичность проекта. В разделе описание технологического процесса описан технологический процесс участка НЗС, электропривод и механизм барабанных ножниц, приведена кинематическая схема, а также дано обоснование выбора рода тока. В разделе выбор элементов и расчет параметров силового канала следящего электропривода произведен выбор электрооборудования, расчет параметров и характеристик элементов силовой цепи. В соответствии с кинематической схемой и параметрами раската был выбран двигатель постоянного тока МП 2000-315 УХЛ4.

Был произведен выбор тиристорного преобразователя,выбран преобразователь цепи возбуждения.

В выпускной квалификационной работе произведен расчет ЛАЧХ замкнутой и разомкнутой систем тока, скорости, положения, определена область существования характеристик, расчет статических

электромеханических характеристик, расчет переходных процессов в нелинейной САУ.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ 10
1.ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ 13
1.4 Требования к электроприводу барабанных ножниц 22
1.5 Разработка технического задания 22
2. ВЫБОР СИСТЕМЫ И
ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛАЭЛЕКТРОПРИВОДА 24
2.1 Выбор электродвигателя 24
2.2 Выбор тиристорного преобразователя 27
2.3 Выбор трансформатора 28
2.4 Выбор сглаживающего реактора 30
2.5 Определение параметров якорной цепи 31
2.6 Определение области работы электропривода 33
2.7 Механическая система электропривода 37
2.8 Расчет параметров цепи возбуждения 40
2.9 Силовой канал электропривода как объект управления 44
2.10 Расчет электромеханических характеристик реверсивного
тиристорного преобразователя 46
3СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА 50
3.1 Линеаризованная САУ электропривода барабанных ножниц 50
3.2 Оптимизация контура тока 51
3.3 Оптимизация контура ЭДС 53
3.4 Оптимизация контура положения 56
3.5 Оптимизация контура тока возбуждения 59
3.6Статические электромеханические характеристики замкнутой
САУ электропривода барабанных ножниц 61
3.7 Настройка САУ электропривода на имитационной модели 65
3.8Анализ нелинейной САУ электропривода.Структурная схема нелинейной
САУ электропривода 66
4. РАСЧЕТ И ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ И КОММУТАЦИИ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОЖНИЦ 67
5. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА 73
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» 74
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 75
6.1 SWOT-анализ по разработки проекта регулируемого электропривода
барабанной ножницы 75
6.2 Структура работ в рамках технического проектирования 78
6,3 Определение трудоемкости выполнения работ 80
6.4 Разработка графика проведения технического проекта 82

6.5 Составление сметы затрат на разработку ТП 84
6.5.1 Расчет материальных затрат 84
6.5.2 Расчет полной заработной платы исполнителей темы 85
6.5.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) 86
6.5.4 Накладные расходы 87
6.5.5 Формирование сметы затрат технического проекта 87
6.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), эффективности технического проекта 88
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» 91
7 Социальная ответственность 93
7.1 Анализ условий труда 94
7.2 Опасность поражения электрическим током 96
7.3 Производственная санитария 96
7.4 Экологическая безопасность 98
7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 99
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 103
The concluding 105
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 106
ПРИЛОЖЕНИЕ А 108

ВВЕДЕНИЕ

Западно-Сибирский металлургический комбинат проектировался как передовое, высокотехнологичное предприятие с высокопроизводительными производственными агрегатами и с полным металлургическим циклом.

В ноябре 1992 года комбинат был преобразован в акционерное общество открытого типа.

По объёму производства и в сравнении с аналогичными предприятиями Росси ОАО “ЗСМК” занимает четвёртое место после таких комбинатов как Новолипецкий, Череповецкий и Магнитогорский.

ОАО “ЗСМК” включает в себя следующие технологические подразделения:

- коксохимическое производство;
- аглоизвестковое производство;
- доменное производство;
- сталеплавильное производство;
- прокатное производство;
- метизное производство.

Современное металлургическое производство является крупным потребителем электрической энергии. Энергетическую основу металлургической промышленности составляет электрический привод, технический уровень развития которого определяет эффективность работы технологического оборудования цехов и производств.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в теории и практике электропривода переменного тока, массовым промышленным регулируемым электроприводом продолжает оставаться электропривод постоянного тока.

Регулируемый электропривод постоянного тока представляет собой сложную электромеханическую систему, обеспечивающую регулирование скорости в заданном диапазоне с требуемой точностью и быстродействием и в общем случае является системой двух взаимодействующих каналов – силового (энергетического), состоящего из участка электрической сети, электрического,

электромеханического и механического преобразователей и информационного канала.

Современный автоматизированный электропривод – это высоконадёжная и экономичная электромеханическая система, способная полностью обеспечить автоматизацию любого технологического процесса, достигнуть высокого быстродействия и точности при своей работе, улучшить условия труда обслуживающего персонала.

Основными направлениями развития являются повышение экономичности и надёжности работы. Однако решающим фактором в оценке электропривода является его влияние на производительность рабочей машины и себестоимость продукции. Это достигается путём усовершенствования электродвигателей преобразователей, аналоговых и цифровых средств управления, коммутационной аппаратуры и элементов защиты.

Тиристорный электропривод позволяет уменьшить энергоёмкости работ, увеличить быстродействие за счёт сокращения времени переходных процессов и времени на настройку, повысить качество продукции – за счёт улучшения таких показателей, как плавность регулирования, повышение коэффициента использования оборудования.

Электродвигатель и преобразователь представляет собой силовую часть электропривода, и являются объектом регулирования в системе автоматического управления.

Барабанные ножницы предназначены для поперечного резания на ходу движущегося материала. Поддержание определенного соотношения между числом оборотов вращающихся ножей и скоростью проходящего металла обеспечивает определенную длину отрезаемой заготовки, а современные методы синхронизации обеспечивают высокую точность резания.

Целью выпускной квалификационной работы является анализ работы технологического процесса и модернизация электропривода барабанных ножниц непрерывно-заготовочного стана. Проект разработан на основании задания на дипломное проектирование и отчёта по преддипломной практике..

1.ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1 Описание технологии прокатного производства

Прокатное производство ОАО “ЗСМК включает в себя обжимной, сортопрокатный, среднесортный и вальцетокарный цеха; 7 станов горячей прокатки: заготовочный стан 1250; мелкосортный станы 250-1 и 250-2; проволочный стан 250-1; среднесортный стан 450; шаропрокатные станы 1 и 2. Прокатное производство строительной площадки ЕВРАЗ ЗСМК выпускает 9 видов продукции: арматурный прокат, круги, квадрат, полосу, уголки, швеллеры, балки, шахтную стойку, горячекатаные слябы.

Блюминг 1250 перерабатывает слитки весом до 12 т. В технологической линии с машиной огневой зачистки для удаления поверхностных браков блюмса находятся барабанные ножницы 1250 т и непрерывно-заготовочный стан. Станы сортопрокатного цеха производят: круг, арматуру, уголок, швеллер, балку, шахтную стойку.

Прокатный комплекс ЗСМК состоит из обжимного цеха с отделением нагревательных колодцев, и цеха сортового проката с четырьмя прокатными станами: «250-1» и «250-2», среднесортным «450» и проволочным «250-1». В отделении нагревательных колодцев производится разогрев слитков, доставленных из отделения "раздевания"слитков, под прокатку, на блюминг.

Отделение располагает ячейками (нагревательные колодцы) рекуперативного типа с одной верхней горелкой. Отопление производится коксодоменной смесью. Блюма сечением от 300х300 до 400х400 мм и слябы размером от 140х580 до 200х1000. Основным сортаментом являются блюмы. Блюмы, с целью устранения поверхностных дефектов, подвергаются огневой зачистке в потоке, на специальной машине огневой зачистки. Далее

производится обрезь головной и хвостовой частей раскатов на барабанных ножницах, после чего обрезь отправляется на переплавку в кислородно-конверторный цех.

Непрерывно-заготовочный стан производит из блюмов квадратные заготовки сечением 80х80, 100х100 и 150х150, для сортовых станов. Непрерывный мелкосортный стан "250-1" предназначен для проката заготовок, сечением 80х80 и длиной 1050 - 11800 мм, на мелкий сорт (т. е. уголок различных размеров и круг диаметром 1214 мм). Прокатка на стане осуществляется в дне стадии. Для прокатки используются 23 клети. Металл перед прокаткой нагревается в 2-х методических печах с шагающим подом, отапливаемых коксодоменной смесью. Заготовки с шагающих балок печи передаются на внутрипечной рольганг, по которому через боковые окна выдаются на стан. После прокатки металл транспортируется рольгангом на холодильник реечного типа, а затем подвергается резке на товарные длины. Технология прокатки на мелкосортном стане "250-1" в целом мало отличается от стана "250-2". Хотя сортамент готового проката несколько иной: сталь круглая и квадратная диаметром 10-30 мм, сталь арматурная 10-38 мм, сталь полосовая и шестигранная.

Для нагрева заготовок для стана "250-2" применяются методические печи с монолитным наклонным подом, отапливаемые коксодоменной смесью. Число клетей участвующих в прокатке зависит от вида и номера прокатываемого профиля. Исходная заготовка для среднесортного стана "450" имеет размеры 150х150 мм, 150х200 мм, а сортамент производимых профилей включает круг диаметром 32 - 60 мм, уголок от 50х50 до 125х125 мм, швеллер от №8 до №16.

Технология нагрева металла перед прокаткой и процесс прокатки в целом сходны с таковыми на станах "250-1" и "250-2" Число печей на стане "450" три и рабочих клетей 16. Исходная заготовка для прокатки на непрерывном проволочном стане "250-1" является квадратным сечением 80х80, 100х100, а

продукция катанка диаметром от 6,5 до 9 мм, мелкий сорт диаметром 10 мм и т.д. Прокатка металла на стане осуществляется в четыре стадии. Общее количество рабочих клетей 37 штук.

Нагрев исходной заготовки осуществляется в двух методических печах с наклонным подом. За каждой чистовой группой стана смонтирована установка для ускоренного охлаждения металла в потоке, где катанка подвергается обработке водой под высоким давлением. Далее раскат подается на моталки, 1710 сматывается в мотки с наружным диаметром 1350- 1450 мм.

1.2 Краткое описание технологического процесса

Барабанные ножницы - просты по устройству и надежны в эксплуатации. Широко применяются для горячей резки сортового проката. Состоят из двух барабанов цилиндрической формы 1, вдоль образующих которых закреплены ножи 2 (рис.1).

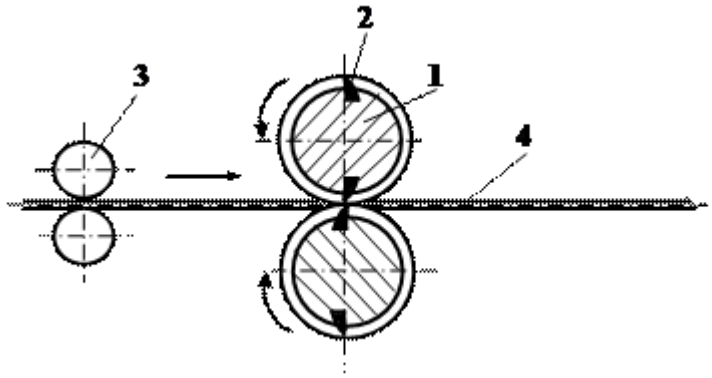


Рисунок 1 – Барабанные ножницы

Подающие ролики 3 (или валки последней клети непрерывного стана) направляют полосу 4 в зазор между барабанами. При встрече верхнего и нижнего ножей происходит процесс резания. Поскольку окружная скорость барабанов устанавливается равной скорости движения полосы, то при резании горизонтальная составляющая скорости ножей равна скорости полосы и

относительно нее на некотором участке они неподвижны. Здесь используется тот факт, что малая дуга окружности большого радиуса практически не отличается от прямой линии.

Для создания отрыва между отрезанными кусками и остальной полосой скорость рольганга за ножницами делают несколько большей скорости полосы перед ножницами. Окружная скорость барабанов должна быть приблизительно равна скорости полосы из-за того, что при опережении полосой ножей они будут изгибаться, а при отставании будет возникать повышенная нагрузка на ножах из-за растягивающих напряжений в полосе. Тем не менее для небольшого изменения длины отрезаемых кусков соотношение скорости полосы $V_п$ и ножниц $V_н$ изменяют в интервале: $V_н = (0,75 \div 1,5)V_п$.

Для большего изменения длины отрезаемых кусков устанавливают барабаны разного диаметра и с разным числом ножей, в результате чего рез происходит не при каждом обороте (рис. 2).

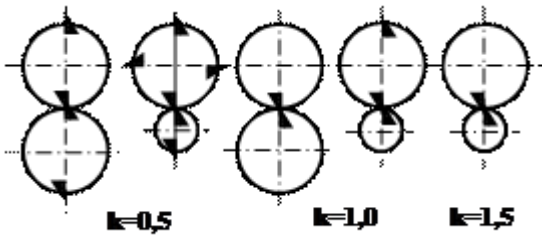


Рисунок 2 – Способы изменения коэффициента пропуска реза

Число оборотов барабанов за время между двумя последовательными резами называется коэффициентом пропуска реза k. Если барабаны имеют по два ножа, то рез будет происходить через каждые пол-оборота барабанов и k будет равен 0,5.

Аналогичный результат получается при 4-х ножах на верхнем барабане и 2-х на нижнем, если диаметр нижнего барабана в два раза меньше верхнего. Т.е.

изменяя соотношение между диаметрами барабанов и числом ножей, можно изменять длину отрезаемых кусков в широких пределах.

Т.к. барабаны вращаются с постоянной скоростью и вращающиеся массы полностью уравновешены, то эти ножницы позволяют резать металл, движущийся со скоростью до 15м/с и выше.

Блюмы, прокатанные на стане «1250» после обрезки на ножницах транспортируется рольгангами к НЗС.

Полученный раскат сечением шлепперным устройством подается на обводную линию и транспортируется рольгангами к летучим ножницам «400 т» для порезки на заготовки длиной 4-12 м на ходу при скорости движения раската 2,5 м/с, обрезки переднего и заднего концов раската длиной 150-300 мм.

Заготовки, предназначенные для дальнейшего переката на квадрат, после 1-й (черновой) группы клетей прокатывается во 2-ой группе, перед которой, в случае необходимости, производится обрезка головной части раскатов на маятниковых ножницах.

После прокатки раскат разрезается барабанными ножницами «150 т» на заготовки длиной 10500 - 11800мм, которые клеймятся в торец клеймовочным устройством, собираются в пакеты на пакетирующем рольганге 2-ой группы с косорасположенными роликами и транспортируются по рольгангам на холодильники.

Барабанные ножницы установлены на расстоянии 9 м от клети и предназначены для порезки раската сечением 100х100 мм, 80х80 мм, 125х125 мм с зачисткой головной и донной части при скоростях движения раската 3,3 - 6,5 м/сек. Мерная длина отрезаемой заготовки определяется поддержанием заданного соотношения скоростей вращения ножниц и движения раската.

Ножницы предназначены для работы в режиме непрерывного вращения со скоростью, синхронной скорости движения раската.

Согласование положения ножей с положением раската при зачистке концов заготовки достигается изменением скорости вращения ножниц

(снижением, либо повышением относительно синхронной рабочей скорости) на время отработки величины рассогласования.

1.3 Технологическая характеристика механического оборудования

Барабанные (двухбарабанные) ножницы весьма просты по конструкции и надежны в эксплуатации. На двух барабанах по их образующим радиально закреплены ножи (по одному или по несколько на каждом барабане). Полоса движется непрерывно и подается к ножницам подающими роликами (или валками последней клети непрерывного стана) с постоянной скоростью. При встрече верхнего и нижнего ножей происходит резание полосы. Для создания разрыва между отрезанными кусками полосы скорость выходного рольганга должна быть больше скорости полосы перед ножницами.

Так как барабаны вращаются равномерно с постоянной угловой скоростью и вращающиеся массы полностью уравновешены, то эти ножницы позволяют резать металл со скоростью 15 м/с и более.

При резе металла необходимо чтобы угол наклона ножей к разрезаемой поверхности не менялся в процессе резания. Поэтому в этих случаях применяются ножницы с параллельным, т.е. поступательным движением ножей друг к другу.

К такому типу относятся планетарные ножницы, предназначенные для установки за непрерывно-заготовочным станом.

Барабанные ножницы «150 т» состоят из следующих основных узлов:

- механизма резания;
- главного привода;
- механизма пропуска реза;

- механизма включения пропуска реза;
- механизма поворота.

Кинематическая схема ножниц представлена на рисунке 1.

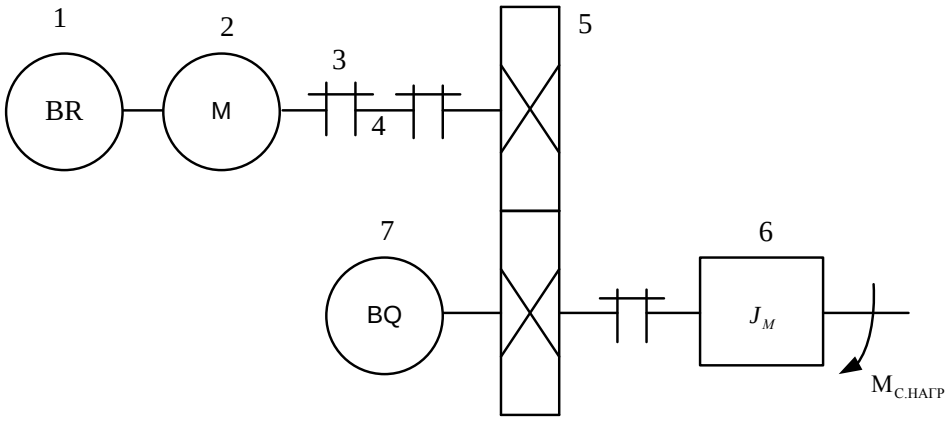


Рисунок 1 - Кинематическая схема барабанных ножниц «150 т»

1 - BR- тахогенератор; 2 - M - двигатель; 3 - муфта; 4 - вал;
5 - редуктор; 6 - механизм; 7 - BQ- датчик положения

Механизм резания (рисунок 2) состоит из двух несущих барабанов (нижнего и верхнего), смонтированных в станине на подшипниках качения и вращающихся в разные стороны.

Внутри каждого барабана смонтирован планетарный механизм, состоящи й из солнечной, промежуточной и планетарной шестерён.

Солнечная шестерня закреплена на неподвижном валу, а с планетарной шестерней жёстко связаны барабаны с закреплёнными на них ножами.

При вращении несущих барабанов 4 (рисунок 2) и неподвижных солнечных шестернях 6, промежуточная шестерня 7 будет обкатывать вокруг солнечной шестерни, планетарные шестерни 8 будут совершать плоскопараллельное движение по окружности.

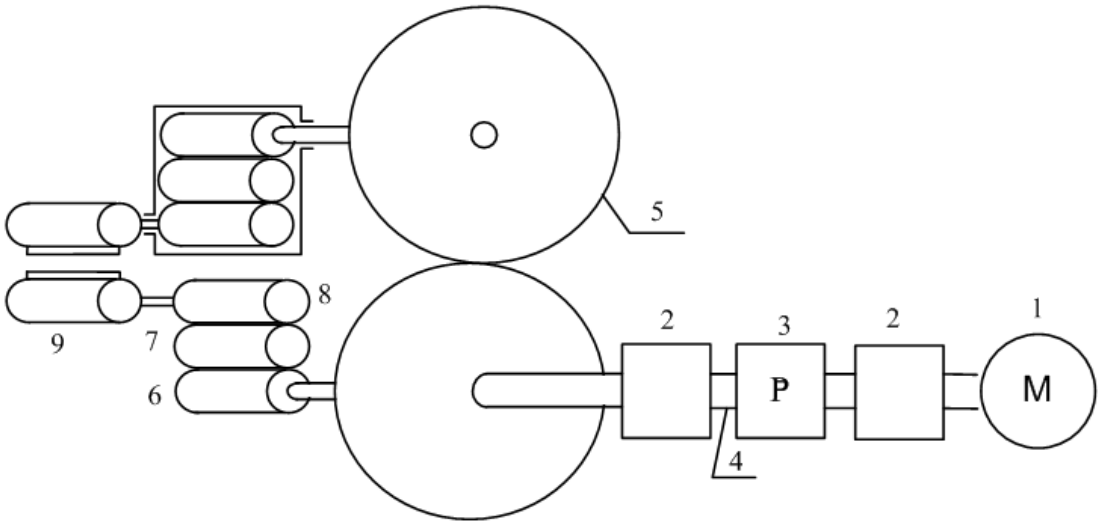


Рисунок 2 - Кинематическая схема барабанных ножниц с поступательно движущимися ножами. 1 - двигатель; 2 - муфта; 3 - редуктор; 4 - вал; 5 -большая шестерня; 6 -солнечная шестерня, 7 - промежуточная шестерня; 8 - планетарная шестерня; 9 - ножи

Шестерня 6 жестко закреплена на неподвижном валу, а шестерня 8 жестко связана с барабаном, на котором установлен нож 9. При этом ножи всегда будут перпендикулярны к разрезаемой полосе, и рез будет происходить за каждый оборот несущих барабанов.

Ножницы позволяют получить мерную длину в диапазоне 5-6 м за счёт изменения синхронной с раскатом скорости движения ножей на величину, определяемую допустимым изменением коэффициента обгона в диапазоне 1,0-1,24. При этом Коб=1 соответствует длине заготовке 6 м при работе без пропуска реза и 12 м - с пропуском реза.

Для получения мерных заготовок двойной длины необходим пропуск реза, для чего необходимо провернуть на некоторый угол с тем, чтобы ножи при встрече планетарных шестерён не задевали проходящий через ножницы металл.

Поворот шестерён производится механизмом пропуска реза, состоящего из двух рычагов, соединённых тягой, причём нижний рычаг поворачивается с помощью кривошипно-шатунного механизма.

При работе без пропуска реза вал кривошипа застопорен в мёртвой точке, а при работе с пропуском реза этот вал должен делать один оборот на два оборота барабана. В редукторе привода ножниц выполнена двухступенчатая передача с передаточным числом i=2 к механизму пропуска реза.

Для осуществления пропуска механизм пропуска реза сочленяется с приводным зубчатым колесом с помощью зубчатого венца, который в этом случае перемещается в крайнее левое положение.

В случае, когда ножницы должны работать без пропуска реза, зубчатый в енец перемещается в крайнее правое положение.

Переключение механизма пропуска реза осуществляется при остановленных ножницах, причём барабаны устанавливаются в положение максимального сведения ножей.

Технические параметры и характеристики механической части приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические параметры механической части барабанных ножниц

Наименование	Обозначения	Величина
Приведённый момент инерции механизма,	J_M	1150
Длина вала, мм	L	3480
Диаметр вала, мм	D	280
Радиус большой шестерни, мм	$R_{б}$	1515
Число зубьев большой шестерни	$Z_{б}$	150
Радиус реза, мм	$R_{рез}$	760
Максимальное усилие реза, т	M	150
Передаточное число редуктора	$i_{ред}$	3,714
Мерная длина отрезаемой заготовки, м	l	4-12
Скорость движения раската, м/с	u	3,3 - 6,5

Мерная длина отрезаемой заготовки, м	l	4-12
Скорость движения раската, м/с	u	3,3 - 6,5

Продолжение таблицы 1

Толщина разрезаемой заготовки, мм	h	100х100
Максимальная угловая скорость барабанов, рад/с	$w_б = \frac{u}{R_б}$	8,125
Максимальная скорость двигателя, рад/с	$w_{дв} = w_б \times i_{ред}$	30,18

1.4 Требования к электроприводу барабанных ножниц

Данный электропривод реверсивный. Основными требованиями, предъявляемыми к электроприводу ножниц являются:

- непрерывный режим работы;
- работа в регулируемом режиме;
- диапазон регулирования скорости 1:10;
- плавный пуск и надежное ограничение ускорения и рывка;
- согласование скорости ножниц со скоростью головной части раската;
- ударное приложение нагрузки;
- высокая скорость и быстрое протекание переходных процессов при отработке возмущений по нагрузке;
- автоматическое ограничение момента при возможных перегрузках;

1.5 Разработка технического задания

Разработать регулируемый электропривод барабанных ножниц, удовлетворяющий следующим заданным техническим условиям и требованиям:

- род тока - постоянный;
- тиристорный преобразователь - реверсивный;

- напряжение питающей сети трехфазного переменного тока напряжением 380 В;

- отклонение напряжения питающей сети от номинального значения + 10%, -15%;

- частота питающей сети 50 Гц ± 2 %, качество подаваемого напряжения должно соответствовать ГОСТ 13109-87;

- нагрузка - реактивная, ударного типа;

- работа в длительном режиме;

- максимальная линейная скорость барабана - 6,5 м/с;

- минимальная линейная скорость барабана - 3,3 м/с;

- точность регулировки, зависящая от номинального значения величины регулирования ± 0,5 %;

- сигнал управления - аналоговый ± 10 В;

- по защищенности от проникновения твердых тел и воды технические средства электропривода должны иметь степень защиты IP23S, согласно ГОСТ 14254-80;

- Все элементы, находящиеся под напряжением должны иметь защиту от случайного прикосновения, а также заземление и зануление в соответствии с ГОСТ 12.1030-81;

- система электропривода должна обеспечивать безотказную работу в помещениях со следующими условиями: температура окружающей среды от 1 до 40 С; относительная влажность от 40 до 80 % (при температуре + 25°С); атмосферное давление от 630 до 800 мм рт ст; высота над уровнем моря до 1000 м;

- требования безопасности использования электропривода должны соответствовать ГОСТ 25.861-83;

- уровень воздушного шума при работе системы не должен превышать 70 дБ;

- электрооборудование должно выдерживать высокие температуры от разрезаемого горячего металла.

2. ВЫБОР СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛАЭЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Выбор электродвигателя

По технологическим условиям для осуществления качественной порезки раската на мерные длины, электропривод барабанных ножниц должен работать в повторно-кратковременном режиме.
Расчет мощности электродвигателя барабанных ножниц, ведём по методике, изложенной в литературе [6].

Правильный выбор мощности электродвигателя имеет большое значение, так как этим обеспечиваются минимальные затраты и потери электроэнергии при эксплуатации, высокая производительность и надежность работы механизма.

Занижение мощности электродвигателя вызывает его перегрев при работе, преждевременный выход из строя, повышенную стоимость ремонта.

Завышение мощности ухудшает энергетические показатели электродвигателя. При этом снижается коэффициент полезного действия, увеличиваются капитальные затраты и эксплуатационные расходы.

Выбор мощности электродвигателя должен быть произведен в полном соответствии с нагрузкой на валу и режимом работы [11].

Правильно выбранный электродвигатель должен при работе развивать наибольшую мощность, при которой он не нагревается выше допустимого предела.

Выбор двигателя по моменту производим по выражению[6]

$$M_{\text{дв}} \geq \frac{M_{\text{рез.макс}}}{I_{\text{дв}}} = \frac{150780}{2.25} = 67013 \quad \text{Н} \times,$$

где $I_{дв} = 2.25$ - перегрузочная способность двигателя постоянного тока;

$$M_{\text{рез.макс}} = \frac{F \times R_{\text{рез}}}{i_{\text{ред}}} = \frac{700000 \times 0.76}{3.714} = 150780 \quad \text{Н} \times \text{м}$$ - момент реза максимальный;

$$F = \text{t}_{ср} \times S = 70 \times 10^6 \times 0.01 = 700000 \quad \text{Н}$$ - усилие реза,

где $\text{t}_{\text{ср}} = 70$ МПа - сопротивление резанию 1 мм^2 сечения металлапри t = 800°С[11];

$S = 100 \times 100\text{мм} = 0.01 \quad \text{м}^2$ - площадь разрезаемой заготовки.

По литературе [5] выбираем двигатель серии МП-2000/315У4 . Параметры выбранного электродвигателя приведено в таблице 2.

Таблица 2 - Параметры электродвигателя МП-2000/315У4

Наименование	Обозначение	Величина
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	$P_{\text{н}}$	2х1000
Номинальное напряжение электродвигателя, В	$U_{\text{н}}$	2х440
Номинальный ток электродвигателя, А	$I_{\text{н}}$	2460
Номинальный момент электродвигателя, Н×м	$M_{\text{н}}$	2х30411
Частота вращения номинальная, об/мин	$n_{\text{н}}$	315
Частота вращения максимальная, об/мин	$n_{\text{макс}}$	800
Число пар полюсов	p	8
Сопротивление обмотки якоря при t=15°С,Ом	$R_{\text{оя}}$	0,00331
Сопротивление компенсационной обмотки, Ом	$R_{\text{ко}}$	0,002
Сопротивление обмотки дополнительных полюсов, Ом	$R_{\text{дп}}$	0,001

Продолжение таблицы 2

Сопротивление обмотки возбуждения, Ом	$R_{ов}$	3.27
Число параллельных ветвей обмотки якоря	$2a$	8
Момент инерции, $кг \times м^2$	$J_{дв}$	1150
Номинальный ток возбуждения, А	$I_{вн}$	1150
Поток электродвигателя номинальный, Вб	$\Phi_{дв.н}$	0.23

Расчетные параметры двигателя

Сопротивление двигателя в холодном состоянии

$$R_{дв} = R_{оя} + R_{ко} + R_{дп} = 0.00331 + 0.002 + 0.001 = 0.00631 \text{ Ом.}$$

Сопротивление двигателя в горячем состоянии

$$R_{дв.гор} = b \times R_{дв} = 1.38 \times 0.00631 = 0.0095 \text{ Ом,}$$

где $b = 1 + 0.004t = 1.38$ - температурный коэффициент.

Номинальная скорость вращения двигателя

$$w_н = \frac{p \times n_н}{30} = \frac{3.14 \times 315}{30} = 32.97 \frac{рад}{с}.$$

Максимальная скорость вращения двигателя

$$w_{макс} = \frac{p \times n_{макс}}{30} = \frac{3.14 \times 800}{30} = 83.73 \frac{рад}{с}.$$

Коэффициент ЭДС $\left(\frac{В \times с}{рад}\right)$ и электромагнитного момента двигателя $\left(\frac{Н \times м}{А}\right)$.

$$c_{дв} = \frac{U_н - I_н \times R_{дв.гор}}{\omega_н} = \frac{440 - 2460 \times 0.0095}{32.97} = 12.63 \left(\frac{В \times с}{рад}\right).$$

Индуктивность двигателя

$$L_{дв} = \frac{g \times U_н}{I_н \times w_н \times p} = \frac{0.1 \times 440}{2460 \times 32/97 \times 4} = 0.135 \text{ мГн,}$$

где $g = (0.1, 0.2)$ для компенсированных машин. Принимаем $g = 0.1$.

2.2 Выбор тиристорного преобразователя

Основными техническими данными тиристорных преобразователей является номинальный выпрямленный ток $(I_{d\text{н}}, \text{А})$ и номинальное выпрямленное напряжение $(U_{d\text{н}}, \text{В})$. Методику выбора преобразователя берем из справочной литературы [3].

Выбор преобразователя осуществляем по номинальному напряжению и току двигателя с учетом коэффициентов перегрузки двигателя и преобразователя.

Поскольку коэффициент перегрузки двигателя и преобразователя равны $I_{\text{дв}} = I_{\text{тп}} = 2.25$, то достаточными условиями выбора при $U_{\text{н}} = 930\,\text{В}$ и $I_{\text{н}} = 2460\,\text{А}$ являются: $U_{d\text{н}} = 1050\,\text{В}$ и $I_{d\text{н}} = 2500\,\text{А}$ преобразователя.

По литературе [3] выбираем комплектный тиристорный электропривод сериикТЭ 2500/930Е-100-04-00000- УХЛ4, в состав которого входит преобразователь с параметрами приведенными в таблице 3.

Таблица 3 - Параметры преобразователя серии КТЭ 2500/930Е

Наименование	Обозначение	Величина
Схема выпрямления	Трехфазная мостовая с раздельным управлением	
Номинальный выпрямленный ток, А	$I_{d\text{н}}$	2500
Номинальное выпрямленное напряжение, В	$U_{d\text{н}}$	1050
Номинальная выходная мощность, кВт	$P_{d\text{н}}$	2625
Напряжение управления, В	$U_{\text{у}}$	10
Перегрузочная способность по току длительностью 10 с	$\frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{ном}}}$	2.25

Продолжение таблицы 3

Угол управления начальный, град	$\alpha_{нач}$	110
Угол управления минимальный, град	$\alpha_{мин}$	30^0
Угол управления максимальный, град	$\alpha_{макс}$	160^0
Размах опорного напряжения на входе СИФУ, В	$2U_{ОП.макс}$	10
Коэффициент передачи управляющего органа на вход СИФУ	$\kappa_{уо}$	0,5
Временная пауза при реверсировании, с	$t_з$	0.005

2.3 Выбор трансформатора

Основанием для выбора трансформатора является номинальный ток преобразователя $I_{dн} = 2500$ А и напряжение $U_{dн} = 1050$ В.

По литературе [3] выбираем масляный трансформатор ТМП-4000/10 параметры которого приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Параметры трансформатора ТМП-4000/10

Наименование	Обозначение	Величина
Схема соединения обмоток	$Y/D-11$	
Напряжение первичной обмотки, кВ	$U_{1л}$	I=10,5 II=10,0 III = 9,5
Напряжение вторичной обмотки, В	$U_{2л}$	915
Ток вторичной обмотки, А	$I_{2л}$	2040
Ток первичной обмотки, А	$I_{1л}$	186
Мощность, кВА	P_1	3230

Продолжение таблицы 4

Номинальное выпрямленное напряжение преобразователя, В	$U_{d\text{н}}$	1050
Номинальный выпрямленный ток, А	$I_{d\text{н}}$	2500
Потери от протекания токов короткого замыкания, кВт	$\Delta P_{\text{к.з}}$	19,5
Потери в меди, кВт	$\Delta P_{\text{м}}$	32,7
Напряжение короткого замыкания, %	$U_{\text{к.з}}$	6

Расчетные параметры трансформатора ТМП-4000/10

Активное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$R_{\text{тр.ф}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{m_2 \times I_{2\text{ф}}^2} = \frac{19500}{3 \times 2040^2} = 0.00156 \ \text{Ом}.$$

Полное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$Z_{\text{тр.ф}} = \frac{U_{\text{кз}} \times U_{2\text{ф}}}{100 \times I_{2\text{ф}}} = \frac{6 \times 528.48}{100 \times 2040} = 0.0155 \ \text{Ом}.$$

Индуктивное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$X_{\text{тр.ф}} = \sqrt{Z_{\text{тр.ф}}^2 - R_{mp.\phi}^2} = \sqrt{0.0155^2 - 0.00156^2} = 0.0154 \ \text{Ом}.$$

Индуктивность обмотки фазы трансформатора

$$L_{\text{тр.ф}} = \frac{X_{\text{тр.ф}}}{\omega_c} = \frac{0.0154}{314} = 0.049 \ \text{мГн},$$

где $\omega_c = 2\pi \times f_c = 2 \times 3.14 \times 50 = 314 \ \text{с}^{-1}$ - угловая частота питающей сети.

2.4 Выбор сглаживающего реактора

Сглаживающий реактор выбираем из двух условий - ограничение зоны прерывистых токов и сглаживания пульсаций выпрямленного тока[1].

Из условия ограничения зоны прерывистых токов необходимое значение индуктивности якорной цепи:

$$L_{\text{кн1}} = \frac{U_{2\text{ф}} \times \kappa_{\text{гр.макс}}}{\omega_{\text{с}} \times \kappa_{U2} \times I_{\text{гр.макс}}} = \frac{528.48 \times 0.093}{314 \times 0.428 \times 246} = 1.49 \text{ мГн},$$

где $I_{\text{гр.макс}} = 0.1 \times I_{\text{н}} = 246\text{A}$ - допустимое значение граничного тока;

$$\kappa_{\text{гр.макс}} = 1 - \frac{\pi}{m_{\text{в}}} ctq \frac{\pi}{m_{\text{в}}} = 1 - \frac{3.14}{6} ctq \frac{3.14}{6} = 0.093.$$

Требуемое значение индуктивности сглаживающего реактора

$$L_{\text{др1}} = L_{\text{кн1}} - 2L_{\text{тр.ф}} - 2L_{\text{дв}} = 1.49 - 2 \times 0.049 - 2 \times 0.135 = 1.12\text{мГн}.$$

Необходимое значение индуктивности якорной цепи из условия ограничения пульсаций выпрямленного тока:

$$L_{\text{кн2}} = \frac{E_{d(1)\max} \times 100}{\omega_{\text{с}} \times m_{\text{в}} \times I_d \times P_{1(\%)}} = \frac{299.24 \times 100}{314 \times 6 \times 2460 \times 7} = 0.91 \text{ мГн},$$

где $$E_{d(1)\max} = \frac{U_{2\text{ф}} \times \sqrt{2} \times m_{\text{в}}}{\kappa_{U2} \times \left(m_{\text{в}}^{\,2} - 1\right)} = \frac{528.48 \times \sqrt{2} \times 6}{0.428 \times \left(6^2 - 1\right)} = 299.24 \text{ В},$$ -

действующее значение первой гармоники выпрямленного тока.

$P_{1(\%)} = (2\ ,\ 7)\%$

допустимое действующее значение первой гармоники выпрямленного тока в процентах, принимаем $P_{1(\%)} = 7$ при угле управления $\alpha = 90^0$ и номинальном токе $I_{d\text{н}}$ преобразователя.

Требуемое значение индуктивности дросселя

$$L_{\text{др2}} = L_{\text{кн2}} - 2L_{\text{тр.ф}} - 2L_{\text{дв}} = 0.91 - 2 \times 0.049 - 2 \times 0.135 = 0.542\text{мГн}.$$

По литературе [3] выбираем сглаживающий реактор типа ТРОС -1600/УХЛ4 с естественным воздушным охлаждением, открытого исполнения.

Параметры реактора приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Параметры реактора ТРОС - 1600/УХЛ4

Наименование	Обозначение	Величина
Номинальный постоянный ток, А	$I_{\text{др}}$	2500
Номинальная индуктивность, мГн	$L_{\text{др}}$	0,8
Потери в реакторе, кВт	$\Delta P_{\text{др}}$	13,6
Активное сопротивление реактора, Ом	$R_{\text{др}} = \frac{\Delta P_{\text{др}}}{I_{\text{др}}^{2}}$	0,00212

2.5 Определение параметров якорной цепи

Эквивалентное сопротивление якорной цепи

$$R_{\text{яц}} = 2R_{\text{дв.гор}} + 2R_{\text{тр.ф}} + R_{\text{др}} + R_{\text{к}} + R_{\text{ш}} =$$
$$= 2\times 0.0095 + 2\times 0.00156 + 0.00121 + 0.015 + 0.00095 = 0.0401 \quad \text{Ом},$$

где $R_{\text{ш}} = 0.1R_{\text{дв.гор}} = 0.00095$ Ом - сопротивление соединительных проводов;

$$R_{\text{к}} = \frac{m_{\text{в}} \times X_{\text{тр.ф}}}{2p} = \frac{6\times 0.0154}{2\times 3.14} = 0.0147 \quad \text{Ом},$$ -

сопротивление, учитывающее коммутацию токов вентилей.

Эквивалентная индуктивность якорной цепи

$$L_{\text{э}} = 2L_{\text{дв}} + 2L_{\text{тр.ф}} + L_{\text{др}} = 2\times 0.135 + 2\times 0.049 + 0.8 = 0.00117 \text{Гн}.$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

$$T_{\text{яц}} = \frac{L_{\text{яц}}}{R_{\text{яц}}} = \frac{0.00117}{0.0401} = 0.03 \quad \text{с}.$$

Электромагнитная постоянная цепи двигателя

$$T_{\text{дв}} = \frac{2L_{\text{дв}}}{2R_{\text{дв}}} = \frac{2\times 0.135\times 10^{-3}}{2\times 0.0095} = 0.0142 \quad \text{с}.$$

Так как двигатель двухякорный, то в дальнейших расчётах принимаем

$$c = 2c_{\text{дв}} = 2\times 12.63 = 25.26 \quad \left[\frac{\text{В}\times\text{с}}{\text{рад}}\right].$$

Электромеханическая постоянная времени

$$T_{\text{м}} = \frac{J_{\text{э}} \times R_{\text{яц}}}{c^2} = \frac{1150 \times 0.0401}{25.26^2} = 0.0722 \quad \text{с}.$$

Коэффициент усиления (максимальное значение) тиристорного преобразователя [3]

$$\kappa_{\text{тп.макс}} = \frac{\pi \times \kappa_{\text{у0}} \times E_{d0}}{2U_{\text{тп.макс}}} = \frac{3.14 \times 0.5 \times 1235.75}{10} = 194.1,$$

где

$$E_{d0} = \frac{U_{2\text{ф}}}{\kappa_{U2}} = \frac{915}{\sqrt{3} \times 0.428} = 1235.75 \quad \text{В}$$

- ЭДС холостого хода преобразователя [1] при $\alpha = 0$;

- $\kappa_{U2} = 0.428$

коэффициент схемы выпрямлениядля трехфазной мостовой схемы [1].

Сопротивление тиристорного преобразователя

$$R_{\text{тп}} = 2 \times R_{\text{тр.ф}} + R_{\text{т}} = 2 \times 0.00156 + 0.015 = 0.01812 \quad \text{Ом}.$$

Индуктивность тиристорного преобразователя

$$L_{\text{тп}} = 2L_{\text{тр.ф}} = 2 \times 0.049 = 0.098 \text{мГн}.$$

Упрощенная схема силовой цепи системы ТП-Д приведена на рисунке 3.

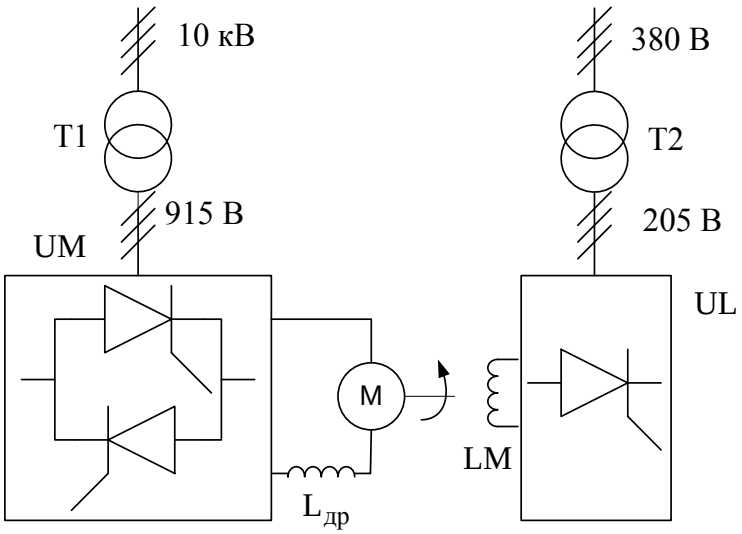


Рисунок 3 - Схема силовой цепи системы ТП-Д

Т- силовой трансформатор, UM- тиристорный преобразователь якоря; М - электрическая машина; LM-

обмотка возбуждения электрической машины; UL– выпрямитель возбуждения.

2.6 Определение области работы электропривода

Заданная область существования электромеханических характеристик привода, ограниченная значениями $w = \pm w_{эл.макс}$ и $I(w) = \pm I_{доп}(w)$, должна полностью располагаться внутри области существования характеристи к проектируемой системы преобразователь - двигатель [1]. Последняя в свою очередь ограничена предельными характеристиками, соответствующей ра боте проводящей группы вентилей в режиме предельного инвертирования, а в выпрямительном режиме при минимальном угле управления.

Выполнение этого условия требует значительного запаса по напряжению и мощности преобразователя, поэтому такой подход может быть рекомендован то лько при проектировании электроприводов, от которых требуется реализация предельных динамических возможностей исполн ительных двигателей.

В остальных случаях возможно без значительного снижения быстродействия об еспечить требования к запасу по напряжению и мощности. Однако и в этом случае должны быть выполнены следующие условия: при пониженном на пряжении сети и работе преобразователя в выпрямительном режиме с минимальным углом управления электромеханическая характеристика разомкн утой системы должна быть выше точки с координатами $w = w_{эп.макс}$ и $I = I_н$, а при реверсировании электропри-

вода должно обеспечиваться безопасное инвертирование при допустимом токе двигателя. Для электроприводов с повышенными требованиями к динамическим показателям следует стремиться обеспечить, $I_{макс} = I_{доп}(\omega)$, а в остальных случаях ограничится условием $I_{макс} \geq I_н$.

Область работы электропривода задана в 4-х квадрантах координат где $w_{эп.макс} = 32.97 \frac{рад}{с}$ - максимальная угловая скорость электропривода,

$I_{\text{макс}} = 5000\,A$ - максимально допустимый ток электропривода.

Работа электропривода в I и III квадрантах

Электрическая машина работает в двигательном режиме. Группа «Вперед» (Iквадрант) или группа «Назад» (IIIквадрант) преобразователяработают в выпрямительном режиме (угол управления a <90).

Характеристики рассчитаем при пониженном напряжении сети $\kappa_{Uc} = 0.9$. Минимальный угол управления преобразователем

$$a_{\text{мин}} \geq \arccos\left(\frac{c \times w_{\text{эп.макс}} + I_{\text{дв.н}} \times R_{\text{яц}}}{k_{Uc} \times E_{d0}}\right)$$

$$a_{\text{мин}} \approx \arccos\left(\frac{25.26 \times 32.97 + 2460 \times 0.0401}{0.9 \times 1235.75}\right) = 33.12\,\text{град}.$$

Принимаем $a_{\text{мин}} = 30\,\text{град}$.

Электромеханическая характеристика разомкнутой системы преобразователь - двигатель при $a_{\text{min}} = 30\,\text{град}$ (характеристика 1 на рис.4) рассчитывается по выражению

$$w(I_{\text{я}}) = \frac{1}{c} \times (k_{Uc} \times E_{d0} \times \cos a_{\text{мин}} - R_{\text{яц}} \times I_{\text{я}}) = \frac{1}{25.26} \times (0.9 \times 1235.75 \times \cos 30 - 0.0401 \times I_{\text{я}}).$$

Результаты расчета сводим в таблицу 6.

Таблица 6 - Электромеханическая характеристика при $a_{\text{мин}} = 30^0$

$I_{\text{я}}$, А	$I_{\text{я}} = 0$	$I_{\text{я.ном}}$	$I_{\text{я.макс}}$
$w, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	38.13	34.22	30.19

Работа электропривода в IIи IVквадрантах

Электрическая машина работает в генераторном режиме. Группа «Назад» (IIквадрант) или группа «Вперед» (IVквадрант) преобразователяработают в инверторном режиме (угол управления $\alpha > 90^0$).

Предельная характеристика безопасного инвертирования при работе преобразователя в инверторном режиме (характеристика 2 на рис.4) рассчитывается по выражению

$$\omega(I_я) = \frac{1}{c} \times [\kappa_{Uc} \times E_{d0} \times \cos\delta - (R_{тп} - R_{цюдв}) \times I_я] =$$

$$= \frac{1}{25.26} [0.9 \times 1235.75 \times \cos 5 - (0.01812 - 0.02198) \times I_я],$$

где $R_{ц.дв} = R_{яц} - R_{тп} = 0.0401 - 0.01812 = 0.02198$ Ом,

$\delta = 5$ град.

Результаты расчета сводим в таблицу 7.

Таблица 7 - Характеристика предельного инвертирования (IIквадрант)

$I_я$, А	$I_я = 0$	$-I_{я.ном}$	$-I_{я.макс}$
$\omega, \frac{рад}{с}$	43.86	44.23	44.62

Максимальный угол управления преобразователем при работе в инверторном режиме определяется по выражению

$$\alpha_{макс} = \arccos\left(\frac{2 \times R_{тп} \times I_{эп.макс}}{k_{Uc} \times E_{d0}} - \cos\delta\right) =$$

$$= \arccos\left(\frac{2 \times 0.01812 \times 5000}{0.9 \times 1235.75} - \cos 5^0\right) = 146.4 \text{ град}.$$

Принимаем $\alpha_{макс} = 150$ град.

Электромеханическая характеристика разомкнутой системы преобразователь - двигатель при $\alpha_{макс} = 150$ град (характеристика 3 на рис. 4).

$$\omega(I_я) = \frac{1}{c} \times (-k_{Uc} \times E_{d0} \times \cos\alpha_{мин} - R_{яц} \times I_я) =$$

$$= \frac{1}{25.26} \times (-0.9 \times 1235.75 \times \cos 150 - 0.0401 \times I_я).$$

Результаты расчета сводим в таблицу 8.

Таблица 8 - Электромеханическая характеристика при $\alpha_{макс} = 150$ град

$I_я$, А	$I_я = 0$	$-I_{я.ном}$	$-I_{я.макс}$
$\omega, \frac{рад}{с}$	38.13	42.03	46.06

По результатам таблиц 6 – 8 строим характеристики системы ТП-Д, представленные на рисунке 4.

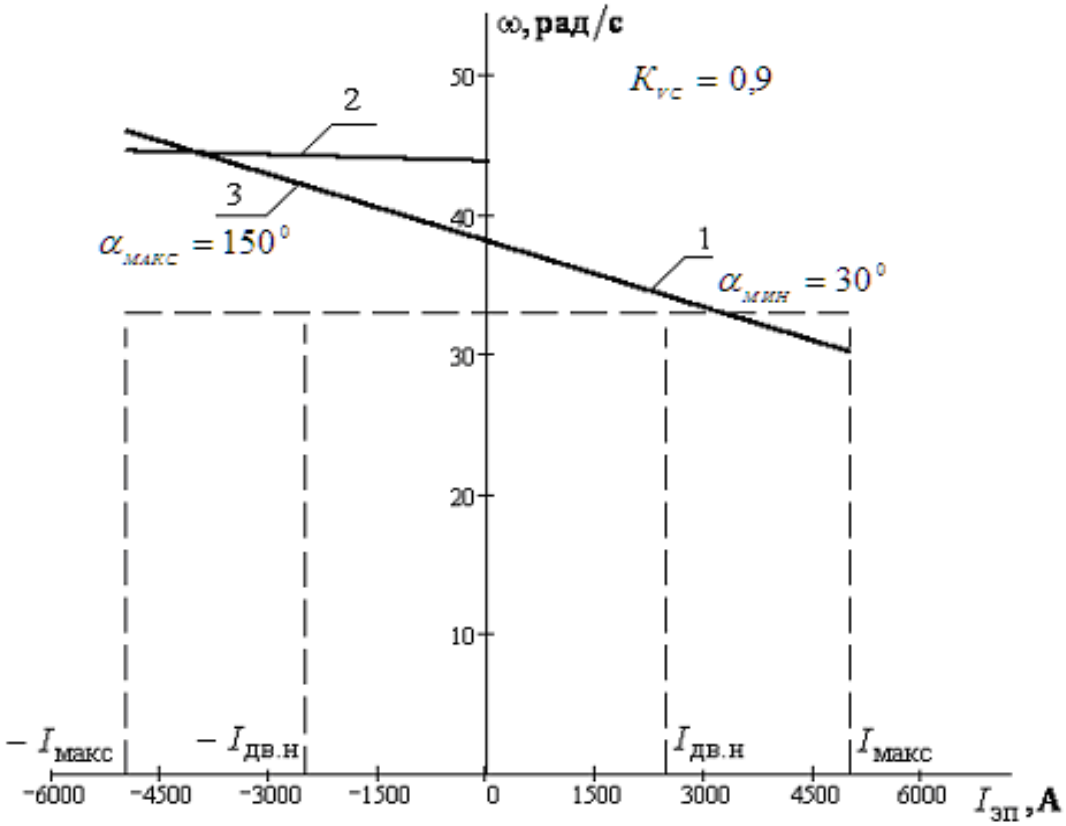


Рисунок 4 – Область работы и предельные характеристики электропривода

Выводы: Характеристика 1 расположена выше точки с координатами $w = w_{эп.макс}$ и $I = I_н$, характеристика предельного инвертирования 2 не пересекает заданную область существования электромеханических характеристик привода, это условие достаточное для безопасного инвертирования, если скорость привода $w \le w_{эп.макс}$.

2.7 Механическая система электропривода

Кинематические схемы механической части электроприводов промышленных агрегатов могут быть весьма сложными, состоящими из нескольких инерционных масс и соединяющих их упругих связей. На практике упругую механическую систему удается свести к двухмассовой.

Расчетная схема механической системы барабанных ножниц может быть представлена в виде простейшей двухмассовой на рисунке 5.

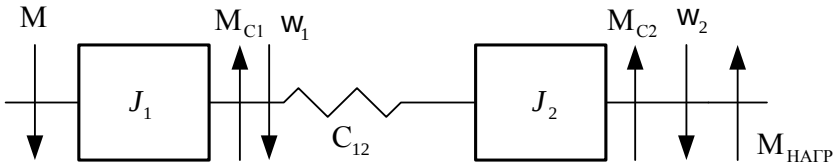


Рисунок 5 - Расчетная схема замещения механической системы

Параметры расчетной схемы

Момент инерции вала 4 (см. рисунок 2)

$$J_{вала} = \kappa \times \rho \times \frac{R^4}{2} \times L \times g = 1.5 \times 3.14 \times \frac{0.14^4}{2} \times 6.96 \times 7800 = 49.12 \quad кг \times м^2.$$

Момент инерции муфт 2 (см. рисунок 2) [12]

$$J_{муфт} = (0.5\ ,\ 0.6) \times J_{вала} = 0.6 \times 49.12 = 30 \quad кг \times м^2.$$

Момент инерции первой массы

$$J_1 = J_{\text{дв}} + 0.5 \times \left(J_{\text{вала}} + J_{\text{муфт}}\right) = 910 + 0.5 \times (49.12 + 30) = 950 \quad \text{кг} \times \text{м}^2.$$

Момент инерции второй массы

$$J_2 = J_{\text{м}} - 0.5 \times \left(J_{\text{вала}} + J_{\text{муфт}}\right) = 240 - 0.5 \times (49.12 + 30) = 200 \quad \text{кг} \times \text{м}^2.$$

Коэффициент угловой жесткости вала 4 [12]

$$C_{\text{j}\,12} = \frac{\text{p} \times d_{\text{в}}{}^4 \times G}{32 \times \kappa \times L} = \frac{3.14 \times 0.28^4 \times 8.1 \times 10^{10}}{32 \times 1.5 \times 6.96} = 467946.6 \quad \frac{\text{Н} \times \text{м}}{\text{рад}},$$

где $G = 8.1 \times 10^{10} \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ - модуль сдвига для стали.

На рисунке 6 приведена структурная схема двухмассовой механической системы (ДМС) привода барабанных ножниц.

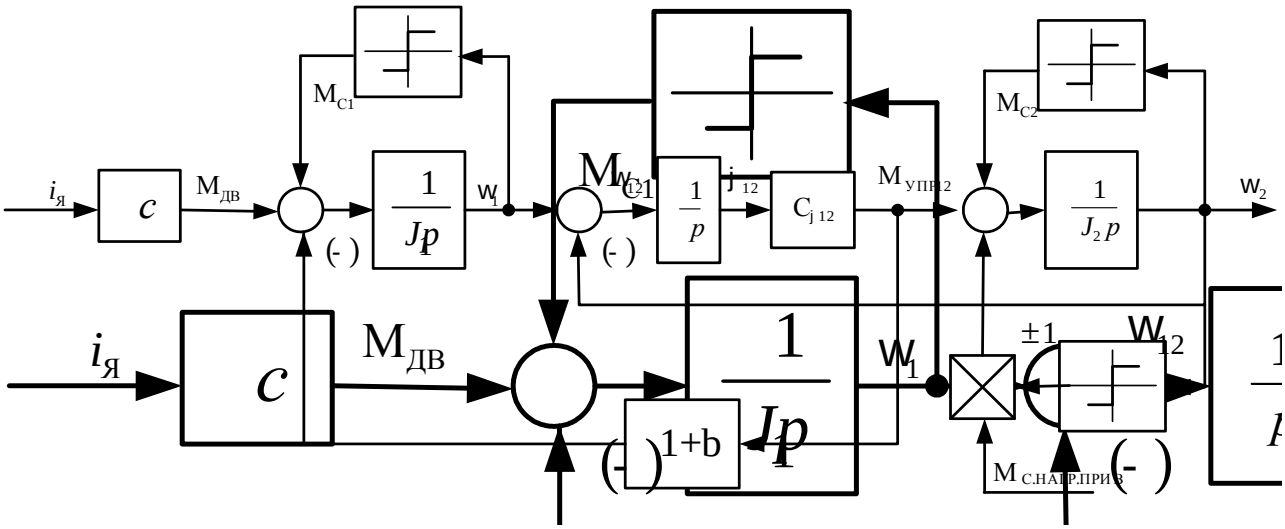


Рисунок 6 - Структурная схема ДМС привода барабанных ножниц

Параметры двухмассовой механической системы

Момент сопротивления на валу первой массы

$$M_{\text{с1}} = M_{\text{с.дв}} = M_{\text{эм.н}} - M_{\text{дв.н}} = 63139.6 - 60661.2 = 1478.4 \ \text{Н} \times \text{м},$$

где $M_{\text{эм.н}} = c \times I_{\text{дв.н}} = 25.26 \times 2460 = 63139.6 \ \text{Н} \times \text{м}$, - электромагнитный момент двигателя.

Момент сопротивления постоянных потерь на трение на валу второй массы

$$M_{c2} = M_{пост} = a \times M_{пер} = 0.088 \times 60823.4 = 5352.46 \text{ Н} \times \text{м},$$

где

$a = b = \frac{1 - h_{пер}}{2h_{пер}} = \frac{1 - 0.85}{2 \times 0.85} = 0.088$, - коэффициент постоянных и переменных потерь в механизме.

Момент нагрузки (реза) максимальный

$$M_{с.нагр} = (0.15 \div 1) M_{дв.н} = 9123.3 \div 60822 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Угловая частота собственных колебаний двухмассовой системы

$$w_{12} = \sqrt{\frac{J_1 + J_2}{J_1 \times J_2}} \times c_{12} = 53.219 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ или } f_{12} = \frac{w_{12}}{2 \times \pi} = 8.47 \text{ Гц}.$$

В линеаризованных системах с целью упрощения расчетов используется одномассовая механическая схема (ОМС) (рисунок 7), тогда эквивалентный момент инерции одномассовой системы

$$J_{\Sigma} = J_1 + J_2 = 950 + 200 = 1150 \text{ кг} \times \text{м}^2.$$

Момент сопротивления типа сухого трения

$$M_с = M_{с1} + M_{с2} = 1478.4 + 5352.46 = 6830.86 \text{ Н} \times \text{м}.$$

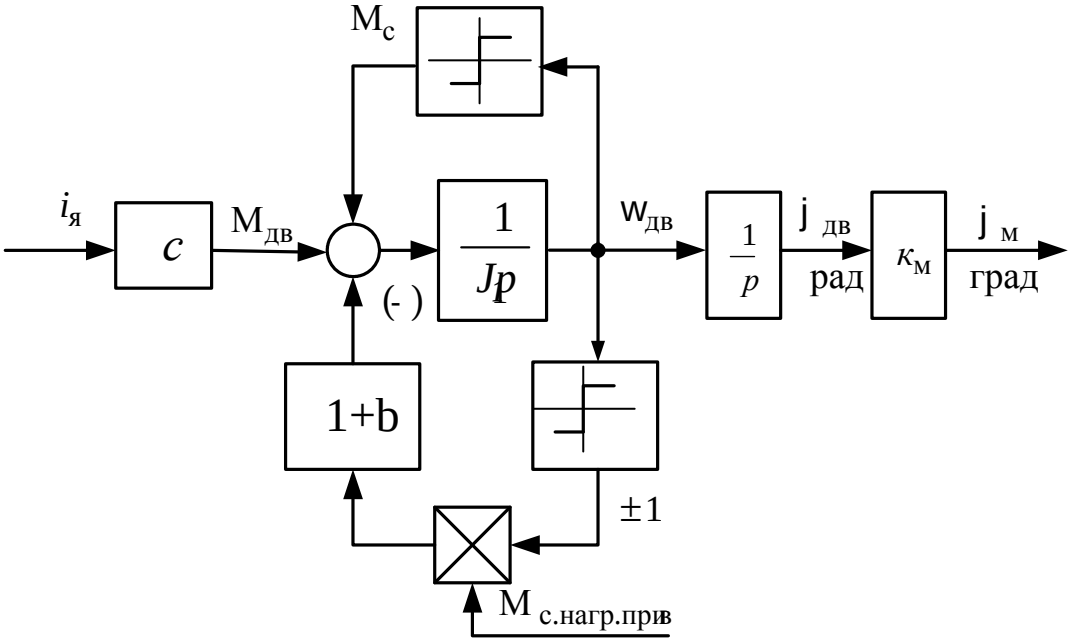


Рисунок 7 - Структурная схема ОМС привода барабанных ножниц

Коэффициент передачи механизма

$$\kappa_{\text{м}} = \frac{360}{i_{\text{ред}} \times 2\text{p}} = \frac{360}{3.714 \times 6.28} = 15.43 \frac{\text{град}}{\text{рад}}.$$

2.8 Расчет параметров цепи возбуждения

Кривая намагничивания двигателя [12] приведена на рисунке 8.

Сопротивление обмотки возбуждения в горячем состоянии

$$R_{\text{ов.гор}} = 1.3 R_{\text{ов}} = 1.3 \times 3.27 = 4.25 \quad \text{Ом}.$$

Напряжение возбуждения

$$U_{\text{ов.гор}} = I_{\text{ов.н}} \times R_{\text{ов.гор}} = 32 \times 4.25 = 136 \quad \text{В}.$$

Индуктивность цепи основного потокосцепления в точке номинального режима

$$L_{\text{ов.мин}} = 2 \times p \times \text{w}_{\text{ов}} \times \frac{\text{D}\Phi_{\text{н}}}{\text{D}I_{\text{ов.н}}} = 2 \times 4 \times 170 \times \frac{0.23}{32} = 9.7 \quad \text{Гн}.$$

Индуктивность потока рассеяния

$$L_s = 2 \times p \times w_{ов} \times \frac{0.18 \Phi_н}{I_{ов.н}} = 2 \times 4 \times 170 \times \frac{0.18 \times 0.23}{32} = 1.76 \text{ Гн}.$$

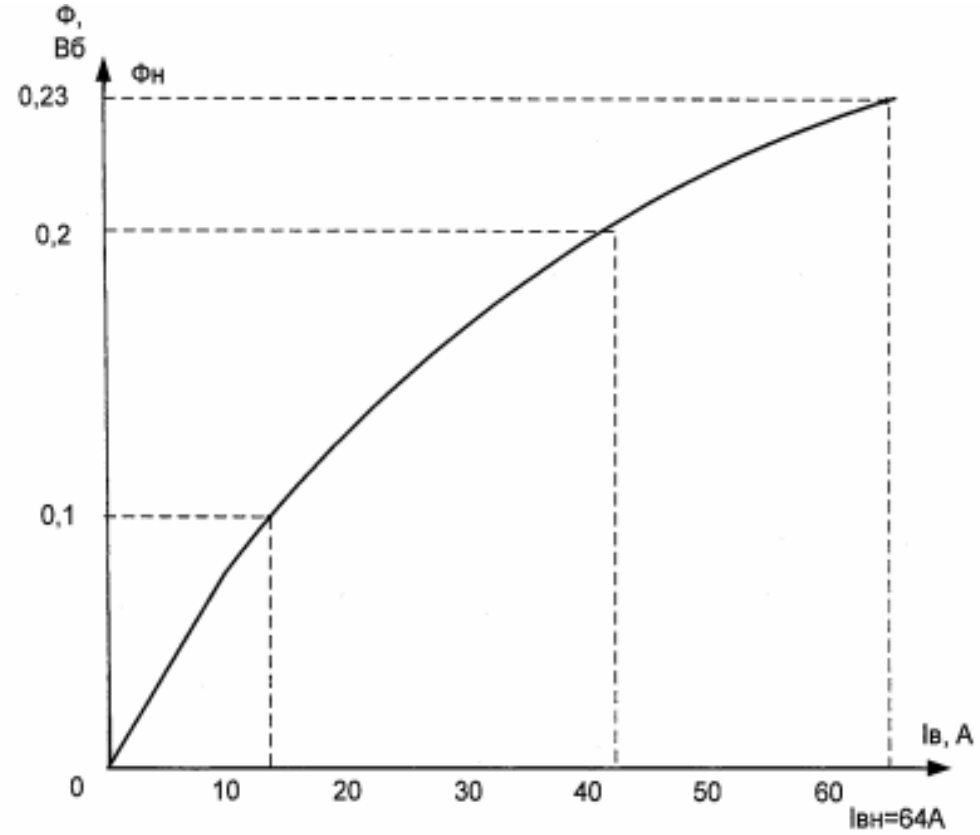


Рисунок 8 - Кривая намагничивания двигателя МП 2000/ 315 У4

Для питания обмотки возбуждения выбираем, тиристорный возбудитель серии КТЭ 100/230М-01Т-00-00000-УХЛ4 [3] , параметры возбудителя приведены в таблице 9.

Исходя из значений тока и напряжения обмотки возбуждения выбираем сухой трехфазный двухобмоточный трансформатор типа ТСП 25/0.7- УХЛ4 [3], параметры трансформатора приведены в таблице 10.

Таблица 9 - Параметры тиристорного преобразователя цепи возбуждения

Наименование	Обозначение	Величина
Схема выпрямления		Трехфазная мостовая реверсивная
Напряжение сети, В	$U_{\text{сн.тпв}}$	3х380
Номинальный ток, А	$I_{\text{н.тпв}}$	100
Номинальная выходная мощность, кВт	$P_{\text{н.тпв}}$	23
Номинальное напряжение,В	$U_{\text{н.тпв}}$	230
Угол управления начальный, град	$\alpha_{\text{нач}}$	150
Угол минимальный, град	$\alpha_{\text{мин}}$	30
Угол максимальный, град	$\alpha_{\text{макс}}$	160
Размах опорного напряжения на входе СИФУ, В	$2U_{\text{оп.макс}}$	10

Таблица 10 - Параметры трансформатора цепи возбуждения ТСП 25/0.7

Наименование	Обозначение	Величина
Группа соединения обмоток трансформатора	Y/Δ-11	
Напряжение первичной обмотки, В	$U_{1\text{л}}$	380
Напряжение вторичной обмотки, В	$U_{2\text{л}}$	205
Ток вторичной обмотки, А	I_2	82
Мощность, кВА	S	29,1
Номинальное выпрямленное напряжение,В	$U_{d\text{н}}$	230
Номинальный выпрямленный ток, А	$I_{d\text{н}}$	100
Потери от протекания токов короткого замыкания, кВт	$\Delta P_{\text{к.з}}$	1,1
Напряжение короткого замыкания, %	$U_{\text{к.з}}$	5,5

Расчетные параметры трансформатора ТСП 25/0.7

Активное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$R_{\text{òð.ô}} = \frac{\text{DÐ}_{\hat{e}\varsigma}}{m_2 \times I_{2\hat{o}}^2} = \frac{1100}{3 \times 82^2} = 0.054 \ \ \hat{I}\ \grave{i}\ .$$

Полное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$Z_{\text{тр.ф}} = \frac{U_{\kappa з} \times U_{2\text{ф}}}{100 \times I_{2\text{ф}}} = \frac{5.5 \times 145}{100 \times 82} = 0.097 \ \ \text{Ом}\ .$$

Индуктивное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$X_{\text{тр.ф}} = \sqrt{Z_{\text{тр.ф}}^2 - R_{\text{тр.ф}}^2} = \sqrt{0.097^2 - 0.054^2} = 0.08 \ \text{Ом}\ .$$

Индуктивность обмотки фазы трансформатора

$$L_{\text{тр.ф}} = \frac{X_{\text{тр.ф}}}{w_{\text{с}}} = \frac{0.08}{314} = 0.254 \ \text{мГн}\ .$$

Расчётные параметры цепи обмотки возбуждения

Сопротивление цепи обмотки возбуждения

$$R_{\text{ц.в}} = 1.1 \times \frac{R_{\text{ов.гор}}}{2} + 2R_{\text{тр.ф}} + R_{\text{к}} = 1.1 \times \frac{4.25}{2} + 2 \times 0.054 + 0.076 = 2.52\text{Ом},$$

где $R_{\text{к}} = \frac{m_{\text{в}} \times X_{\text{тр.ф}}}{2\rho} = \frac{6 \times 0.08}{2 \times 3.14} = 0.076 \ \text{Ом}$, - сопротивление, учитывающее коммутацию токов вентилей.

Индуктивность цепи возбудителя

$$L_{\text{тпв}} = 2 \times L_{\text{тр.ф}} = 2 \times 0.254 = 0.508 \ \ \text{мГн}\ .$$

Постоянная времени основного потокосцепления обмоткивозбуждения дв игателя

$$T_{\text{ов}} = \frac{L_{\text{ов}}}{R_{\text{ов.ц}}} = \frac{9.7}{2.52} = 3.85 \ \text{с}\ .$$

Постоянная времени потока рассеяния цепи возбуждения

$$T_S = \frac{L_S + L_{\text{тпв}}}{R_{\text{ов.ц}}} = \frac{1.76 + 0.508 \times 10^{-3}}{2.52} = 0.698 \quad \text{с}.$$

Постоянная времени контура вихревых токов

$$T_{\text{к}} = 0.1 \times T_{\text{ов}} = 0.1 \times 3.85 = 0.385 \quad \text{с}.$$

Большая постоянная времени контура тока возбуждения

$$T_1 = \frac{T_{\text{ов}} + T_S + T_{\text{к}}}{2} + \sqrt{\left(\frac{T_{\text{ов}} + T_S + T_{\text{к}}}{2}\right)^2 - T_S \times T_{\text{к}}} =$$

$$= \frac{3.85 + 0.698 + 0.385}{2} + \sqrt{\left(\frac{3.85 + 0.698 + 0.385}{2}\right)^2 - 0.696 \times 0.385} = 4.87 \quad \text{с}.$$

Малая постоянная времени контура тока возбуждения

$$T_1 = \frac{T_{\text{ов}} + T_S + T_{\text{к}}}{2} - \sqrt{\left(\frac{T_{\text{ов}} + T_S + T_{\text{к}}}{2}\right)^2 - T_S \times T_{\text{к}}} =$$

$$= \frac{3.85 + 0.698 + 0.385}{2} - \sqrt{\left(\frac{3.85 + 0.698 + 0.385}{2}\right)^2 - 0.696 \times 0.385} = 0.0551 \quad \text{с}.$$

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя в цепи обмотки возбуждения, выполненным по трёхфазной мостовой схеме с нулевым вентелем.

$$\kappa_{\text{тпв}} = \frac{0.5 \times p \times \kappa_{\text{у}0} E_{d0}}{U_{\text{упв.макс}}} = \frac{0.5 \times 3.14 \times 0.5 \times 277}{10} = 21.74,$$

где $$E_{d0} = \frac{U_{2Л}}{\sqrt{2} \times \kappa_{U2}} = \frac{205}{\sqrt{3} \times 0.428} = 277 \quad \text{В},$$ -

ЭДС холостого хода тиристорного преобразователя цепи обмотки возбуждения.

Постоянная времени тиристорного преобразователя цепи возбуждения

$$T_{\text{тпв}} = T_{\mu\text{т}} = 0.00167 \quad \text{с}.$$

2.9 Силовой канал электропривода как объект управления

Структурная схема силового канала электропривода барабанных ножниц приведена на рисунке 9.

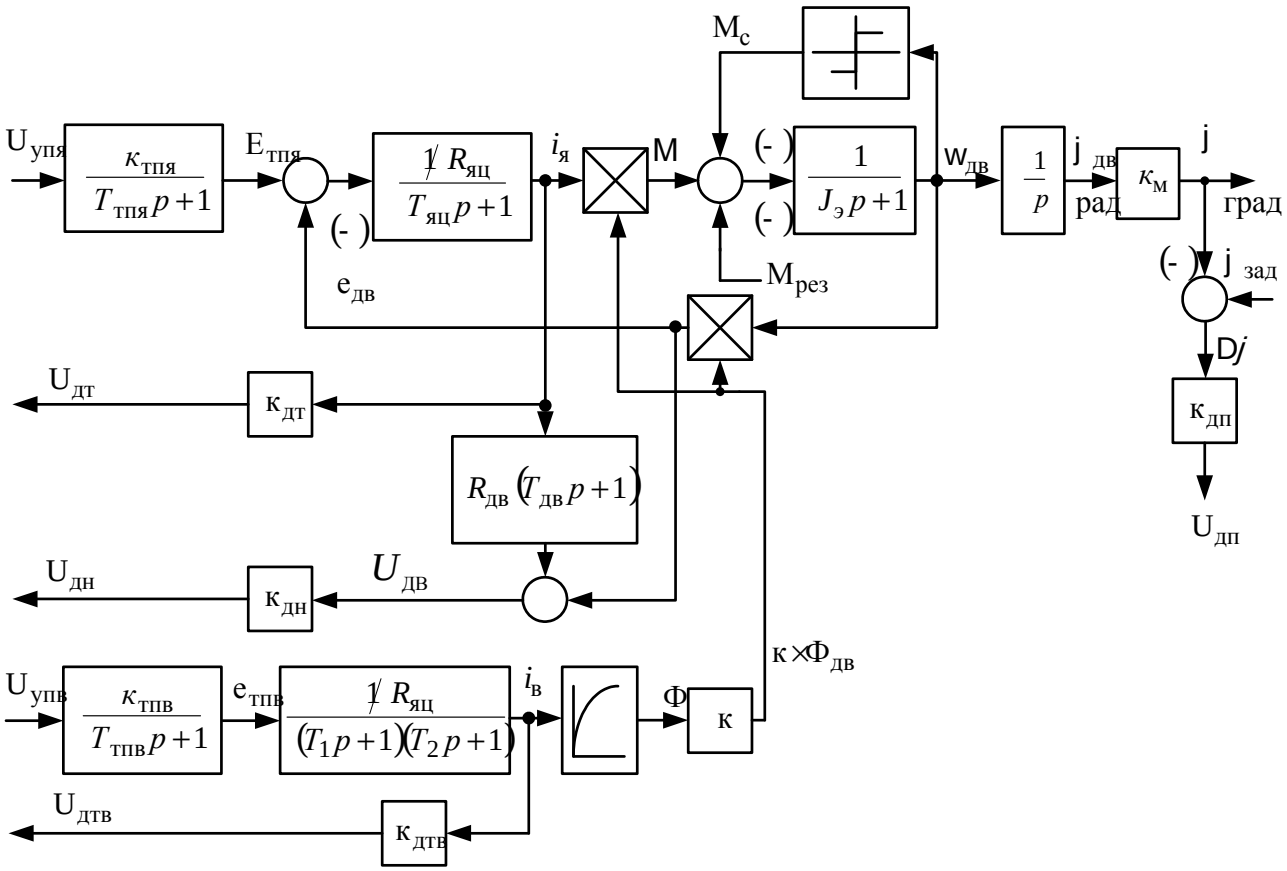


Рисунок 9 - Структурная схема силового канала электропривода

Параметры силового канала

Коэффициент передачи датчика тока якоря

$$\kappa_{\text{дтя}} = \frac{U_{\text{дт.макс}}}{I_{d\text{н}}} = \frac{10}{2500} = 0.004 \ \ \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Коэффициент передачи датчика напряжения

$$\kappa_{\text{дн}} = \frac{U_{\text{дн.макс}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{10}{1000} = 0.01, \text{ - где } U_{\text{вх}} = 1000 \ \ \text{В}.$$

Коэффициент передачи датчика тока возбуждения

$$\kappa_{\text{дтв}} = \frac{U_{\text{дт.макс}}}{I_{d\text{нв}}} = \frac{10}{100} = 0.1 \ \ \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Характеристика датчика положения приведена на рисунке 10.

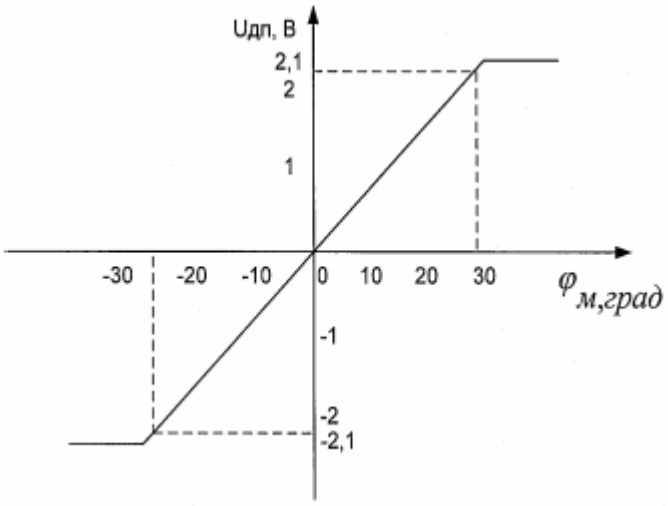


Рисунок 10 - Характеристика датчика положения

Параметры всех элементов силового канала сведем в таблицу 11.

Таблица 11 - Параметры элементов силового канала

$\kappa_{я}$	$R_{яц}$, Ом	$J_{э}$, кг×м^2	$T_{тп}$, с	$T_{яц}$, с	$T_{дв}$, с	$R_{дв}$, Ом	$\kappa_{дтя}$, В/А
194.1	0.0401	1150	0.00167	0.03	0.0142	0,019	0,004

$\kappa_{дн}$	$\kappa_{дтв}$, В/А	$\kappa_{м}$	$\kappa_{тпв}$	$R_{цв}$, Ом	T_1, с	T_2, с	С	$\Phi_{дв}$, Вб
0.01	0,1563	15,43	21.74	2.52	4.87	0.0551	25,26	0,23

2.10 Расчет электромеханических характеристик реверсивного тиристорного преобразователя

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$w = \frac{E_d - I_d \times R_{яц} - \Delta U_в}{c},$$

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

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

$\Delta U_в$ – 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:

$$\alpha(\omega) = arc\cos\left(\frac{\omega \times c + I_d \times R_{яц} + \Delta U_в}{E_{d0}}\right).$$

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

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

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, ч ем больше угол α. Появление зоны прерывистого токов обусловлено тем, что в определенные промежутки времени мгновенное значение выпрямленного напря жения преобразователя становится меньше встречно действующей ЭДС двигате ля, 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 становит ся меньше ЭДС двигателя, ток не прерывается, является непрерывным. Объясняется это тем, что при больших нагрузках запас электромагнитной энерг ии 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:

$$q_0(a) = \frac{180}{p} \times \left(a(w) + \left(\frac{p}{2} + \frac{p}{m_в} \right) \right).$$

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

$$e(a) = \cos\left(q \times \frac{p}{180} \right) \times$$

$$\times \frac{\sin\left((q_0(a) - q) \times \frac{p}{180} \right) - \sin\left((q_0(a) + l - q) \times \frac{p}{180} \right) \times e^{l \times \frac{p}{180} \times \cot\left(q \times \frac{p}{180} \right)}}{1 - e^{l \times \frac{p}{180} \times \cot\left(q \times \frac{p}{180} \right)}}$$

где угол $l = \frac{2 \times 180}{m_в} = 60$ 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:

$$q = \arctan\left(\frac{w_0 \times L_{яц}}{R_{яц}} \right) \times \frac{180}{p}.$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(a) = \frac{m_в}{2 \times p} \left(\cos\left(q_0(a) \times \frac{p}{180} \right) - \cos\left((l + q_0(a)) \times \frac{p}{180} \right) - l \times \frac{p}{180} \times e_{гр}(a) \right),$$

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

$$w(a) = e(a) \frac{\sqrt{2} \times U_н \times \cos\left(q_0(a) \times \frac{p}{180} - \frac{p}{2} \right) - DU_в}{c},$$

$$I(a) = i(a) \frac{\sqrt{2} \times U_н \times \cos\left(q_0(a) \times \frac{p}{180} - \frac{p}{2} \right)}{R_{яц}}.$$

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристоров α (в диапазоне 0…180) и угол проводимости λ (0…60), то получим семейство электромеханических характеристик в

зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 11:

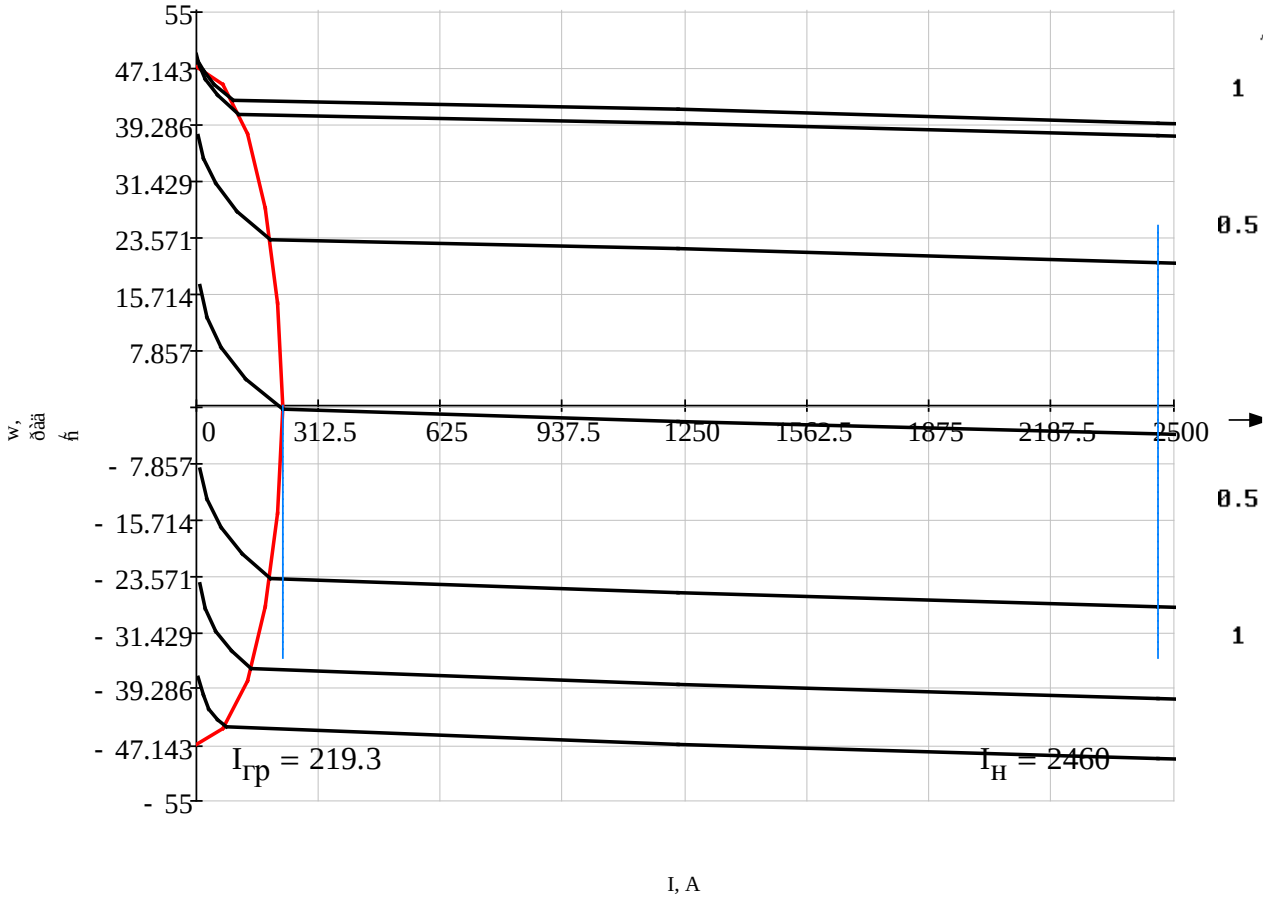


Рисунок 11 − Электромеханические характеристики системы УВ–Д с раздельным управлением

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.

3СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Линеаризованная САУ электропривода барабанных ножниц

В настоящее время широкое применение получил СЭП постоянного тока с тиристорным преобразователем, выполненный в общем случае по многоконтурной структурной схеме с последовательной коррекцией.

При создании современных систем автоматизированного электропривода применяют главным образом принцип последовательной коррекции или так на зываемого подчиненного регулирования.

Сущность принципа последовательной коррекции заключается в следующем. Объект управления - силовая часть электропривода - представляется в виде последовательно соединенных звеньев, выходными параметрами которых являются существенные координаты объекта, например, напряжение, ток, моме нт, ЭДС, скорость, положение, ток возбуждения.

Для управления каждой из этих координат организуется отдельный регулятор, образующий с соответствующими звеньями объекта и цепью обратной связи по регулируемой координате, замкнутый контур регулирования. Регуляторы соединяются последовательно, так что выход одного является входо м другого, а замкнутые контуры регулирования образуют много-контурную систему.

Выходной сигнал регулятора каждого внешнего контура является задаю щим для последующего, заключенного внутри его контура. Другими словами, каждый внутренний контур регулирования подчинен соотве тствующему внешнему.

Система автоматического регулирования должна быть представлена в виде структурной схемы. Структурная схема автоматизированного управления приведена на рисунке 24.

Линеаризованная структура следящего электропривода барабанных ножниц представляет собой трехконтурную систему подчиненного регулирования. Каждый контур содержит последовательно включенный регулятор, не более двух инерционных звеньев 1 -го порядка с большими постоянными времени T_1 и T_2 или одно интегрирующее звено с постоянной времени T_0 и ряд инерционных звеньев первого порядка с малыми постояннымивремени T_m, включая в общем случае и внутренний оптимизированный контур.

Для получения структурной схемы линеаризованной системы необходимо сделать предположение, что кинематические цепи привода являются идеальными и все функциональные элементы схемы работают в зоне изменения параметров, не выходящих за пределы ограничений.

3.2 Оптимизация контура тока

Контур тока настраивается на модульный оптимум (МО) по методике синтеза, изложенной в [13] при коэффициенте оптимизации $a_{\text{т}} = 2$.

Структурная схема контура приведена на рисунке 11, где пунктирной линией показана неучтенная обратная связь по ЭДС двигателя. Оптимизацию контура тока осуществляем без учета обратной связи по ЭДС двигателя, что соответствует режиму работы с заторможенным двигателем.

Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными времени $T_{\text{яц}} = 0.03\text{с}$ и $T_{\text{тп}} = 0.00167$ с.

Соотношение $\frac{T_{\text{яц}}}{T_{\text{тп}}} = 17.9$ - значительно больше единицы, следовательно принимаем:

- $T_{\text{цт}} = T_{\text{тп}} = 0.00167\text{с}$ - малая постоянная времени контура;

- $T_{\text{яц}} = 0.03\text{с}$ - большая постоянная контура, которую следует компенсировать.

Влияние ЭДС двигателя на работу контура тока оценивается отношением постоянных времени $\frac{T_{\text{м}}}{T_{\text{яц}}} = \frac{0.0726}{0.03} = 2.6$, в нашем случае это соотношение больше 2.5, значит влияние ЭДС будет слабое.

Для повышения быстродействия и улучшения других показателе качества в переходных режимах выбираем регулятор тока пропорционально-интегрального (ПИ) типа.

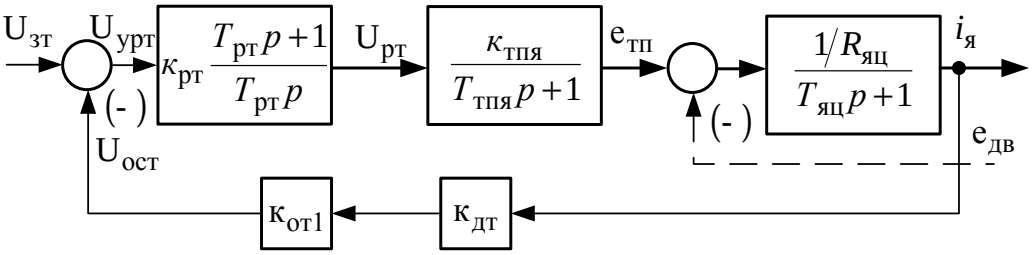


Рисунок 12 - Структурная схема контура тока в режиме заторможенного двигателя

Параметры регулятора тока и цепи обратной связи по току

Коэффициент обратной связи по току двигателя

$$\kappa_{\text{т}} = \frac{U_{\text{рт.макс}}}{I_{\text{эп.макс}}} = \frac{10}{5000} = 0.002 \ \ \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ

$\kappa_{\text{от1}} = \frac{\kappa_{\text{т}}}{\kappa_{\text{дт}}} = \frac{0.002}{0.004} = 0.5 \ \ \frac{\text{В}}{\text{А}}$, - где коэффициент датчика тока $\kappa_{\text{дт}} = 0.004$.

Постоянная времени регулятора тока

$$T_{\text{рт}} = T_{\text{яц}} = 0.03\,\text{с}.$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$\kappa_{\text{рт}} = \frac{T_{\text{яц}} \times R_{\text{яц}}}{\kappa_{\text{я}} \times \kappa_{\text{т}} \times a_{\text{т}} \times T_{\mu\text{т}}} = \frac{0.03 \times 0.0401}{194.1 \times 0.002 \times 2 \times 0.00167} = 0.927.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока

$$W(p)_{\text{кт.з}} = \frac{1/\kappa_{\text{т}}}{a_{\text{т}} \times T_{\mu\text{т}}{}^2 \times p^2 + a_{\text{т}} \times T_{\mu\text{т}} \times p + 1} =$$

$$= \frac{1/0.002}{2 \times 0.00167^2 \times p^2 + 2 \times 0.00167\, p + 1} = \frac{500}{0.0000056\, p^2 + 0.00334\, p + 1}.$$

Передаточная функция разомкнутого контура тока

$$W(p)_{\text{кт.р}} = \frac{1/\kappa_{\text{т}}}{a_{\text{т}} \times T_{\mu\text{т}}{}^2 \times p^2 + a_{\text{т}} \times T_{\mu\text{т}} \times p} = \frac{500}{0.0000056\, p^2 + 0.00334\, p}.$$

Ожидаемые показатели качества работы контура тока:

- перерегулирование $\mathrm{s} = 4.3\%$;

- время первого согласования при отработке ступенчатого входного сигнала и время переходного процесса (окончательного вхождения в 5% зону) $t_{\text{ру1}} = t_{\text{ру2}} = 4.1 \times T_{\mu\text{т}} = 0.0069$ с;

-полоса пропускания по модулю и фазе

$$\mathrm{w}_{\text{п}}^{(\text{м})} = \mathrm{w}_{\text{п}}^{(\text{ф})} = \frac{0.71}{T_{\mu\text{т}}} = 425.15 \ \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ или } f_{\text{п}} = \frac{\mathrm{w}_{\text{п}}}{2\mathrm{p}} = 67.7 \ \text{Гц}.$$

3.3 Оптимизация контура ЭДС

Электроприводы с обратной связью по ЭДС реализуются по двум структурным схемам, отличающимся способом суммирования входных сигналов, пропорциональных току и падению напряжения в якорной цепи двигателя для измерения ЭДС согласно [6].

Суммирование сигналов (рисунок12) производится непосредственно на входе датчика ЭДС, на

вход которого подается две обратные связи: отрицательная обратная связь по току и по напряжению якорной цепи.

Требования к электроприводу барабанных ножниц допускают выбор регулятора ЭДС пропорционального типа (II) типа. Структурная схема контура ЭДС приведена на рисунке 13.

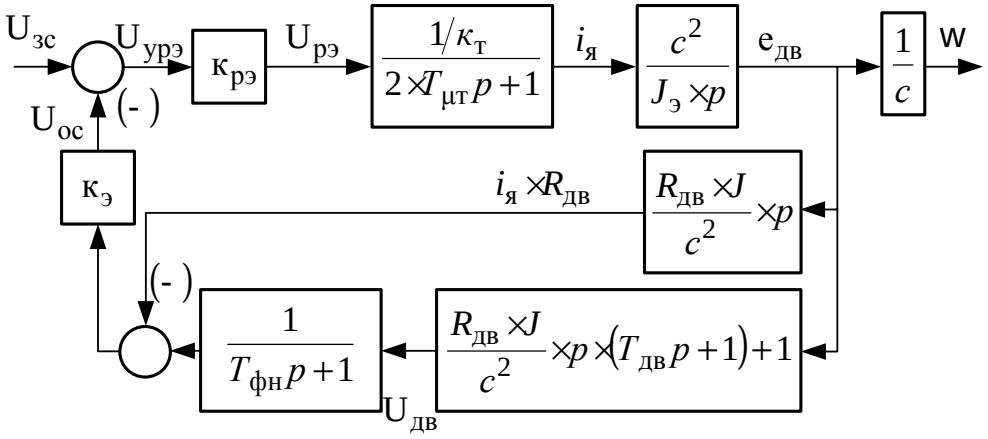


Рисунок 13 - Структурная схема контура ЭДС

Контур ЭДС настраивается на модульный оптимум по методике синтеза, изложенной в [13] при коэффициенте оптимизации $a_э = 2.$

Исходя из принципов измерения ЭДС постоянная фильтра должна быть равна электромагнитной постоянной времени $T_{дв}$ участка якорнойцепи, с которого снимается обратная связь, т.е. должно быть выполнено условие $T_{дв} = T_{ф.н}.$

Параметры регулятора ЭДС и цепи обратной связи по ЭДС

Коэффициент обратной связи по ЭДС двигателя

$$\kappa_э = \frac{U_{эр.макс}}{E_{дв.макс}} = \frac{10}{832.82} = 0.012 \text{ В},$$

где $E_{ДВ.МАКС} = c \times w = 25.26 \times 32.97 = 832.82$ В - максимальное значение ЭДС двигателя.

Коэффициент обратной связи по ЭДС

$$\kappa_{\text{оэ}} = \frac{\kappa_{\text{э}}}{\kappa_{\text{дн}}} = \frac{0.012}{0.01} = 1.2.$$

Коэффициент обратной связи по току для формирования ЭДС

$$\kappa_{\text{от2}} = R_{\text{дв}} \times \frac{\kappa_{\text{дн}}}{\kappa_{\text{дт}}} = 2 \times 0.0095 \times \frac{0.01}{0.004} = 0.047.$$

Коэффициент усиления регулятора ЭДС

$$\kappa_{\text{рэ}} = \frac{J_{\text{э}} \times \kappa_{\text{т}}}{\kappa_{\text{э}} \times c^2 \times T_{\text{оэ}}} = \frac{1150 \times 0.002}{0.012 \times 25.26^2 \times 0.0543} = 5.53,$$

где $T_{\text{цэ}} = T_{\text{цт}} + \frac{1}{2} \times \sqrt{\left(2 \times T_{\text{цт}} + T_{\text{дв}}\right)^2 + T_{\text{дв}}{}^2} =$

$$= 0.00167 + \frac{1}{2} \times \sqrt{(2 \times 0.00167 + 0.0142)^2 + 0.0142^2} = 0.01295 \text{ с};$$

$$T_{\text{оэ}} = 2 \times \left(T_{\text{цэ}} + T_{\text{дв}}\right) = 2 \times (0.01295 + 0.0142) = 0.0543 \text{ с}.$$

Передаточная функция замкнутого контура ЭДС

$$W(p)_{\text{кэ.з}} = \frac{1/\kappa_{\text{э}} \times c}{a_{\text{э}} \times T_{\text{цэ}}{}^2 \times p^2 + a_{\text{э}} \times T_{\text{цэ}} \times p + 1} == \frac{3.299}{0.000335\,p^2 + 0.0259\,p + 1}.$$

Передаточная функция разомкнутого контура ЭДС

$$W(p)_{\text{кэ.р}} = \frac{1}{a_{\text{э}} \times T_{\text{цэ}}{}^2 \times p^2 + a_{\text{э}} \times T_{\text{цэ}} \times p} = \frac{1}{0.000335\,p^2 + 0.0259\,p}.$$

В программе Matlab были построены ЛАЧХ и ФЧХ замкнутого контура ЭДС:

- перерегулирование $\mathrm{s} = 4.3\%$;

- время первого согласования при отработке ступенчатого входного сигнала и время переходного процесса (окончательного вхождения в 5% зону) $t_{\text{ру1}} = t_{\text{ру2}} = 4.1 \times T_{\text{цэ}} = 4.1 \times 0.01295 = 0.053$ с;

- полоса пропускания по модулю и фазе

$$\mathrm{w}_{\text{п}}^{(\text{ф})} = \mathrm{w}_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{1}{\sqrt{2} \times T_{\text{цэ}}} = \frac{1}{\sqrt{2} \times 0.01295} = 54.6 \ \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ или}$$

$$f_{\text{п}}^{(\text{ф})} = f_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{\omega_{\text{п}}}{2\pi} = \frac{54.6}{2\pi} = 7.98 \ \text{Гц}.$$

- установившееся значение провала или всплеска угловой скорости приво да при набросе или сбросе нагрузки $\Delta M_{\text{с}} = M_{\text{дв.н}} = 60842$ Н×м .Эта ошибка определяется статизмом регулятора.

Поскольку $\frac{T_{\mu\text{э}}}{2 \cdot T_{\mu\text{т}}} \geq 1$, то это значит контур замкнутый по ЭДС, оказывается менее быстродействующий, чем при обратной связи по скорости.

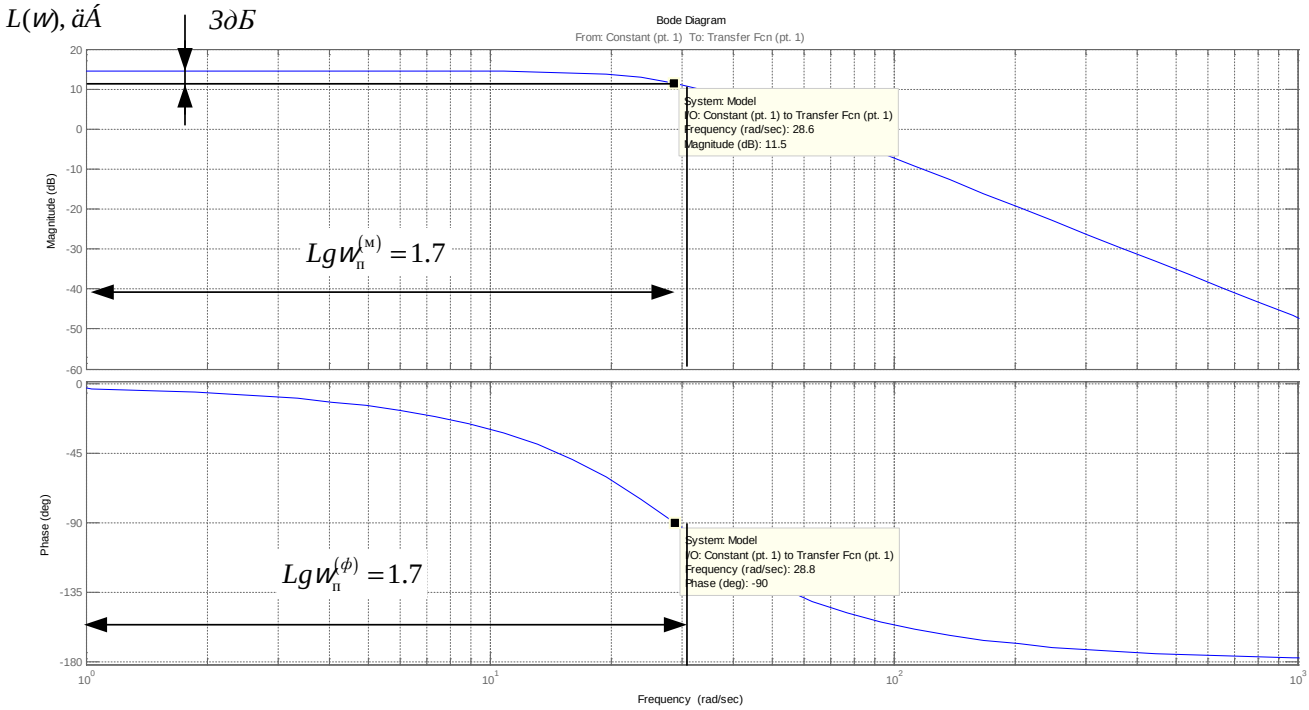


Рисунок 14 – ЛЧХ замкнутого контура ЭДС

3.4 Оптимизация контура положения

Контур положения настраивается на модульный оптимум по методике синтеза, изложенной в [13] с коэффициентом оптимизации $a_{\text{п}} = 2$.

Регулятор положения выбираем пропорционального (II) типа.Структурная схема контура положения приведена на рисунке 15.

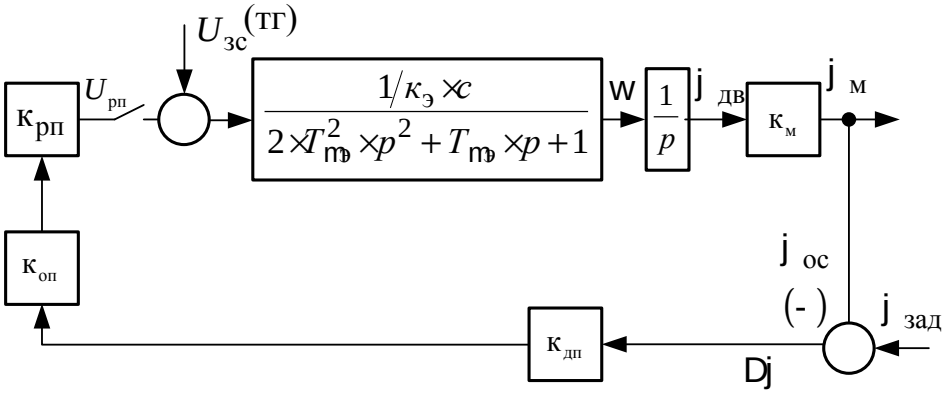


Рисунок 15 - Структурная схема контура положения

Параметры регулятора положения и цепи обратной связи

Коэффициент передачи датчика положения определяем по характеристике сельсина-приемника (СП) приведенной на рисунке 10,где

- $U_{сп} = \pm 2.1$ В - размах напряжения СП;

- $j_м = \pm 28$ град - изменение угла регулирования СП.

Коэффициент передачи датчика положения

$$к_п = \frac{U_{сп}}{j_м} = \frac{2.1}{28} = 0.075 \ \frac{В}{град}.$$

Коэффициент усиления регулятора положения

$$к_{рп} = \frac{c \times к_э}{к_м \times к_п \times a_п \times T_{оэ}} = \frac{25.26 \times 0.012}{15.43 \times 0.075 \times 2 \times 0.0543} = 5.086.$$

Передаточная функция замкнутого контура положения [13].

$$W(p)_{\text{кп.з}} = \frac{1/\kappa_{\text{п}}}{a_{\text{п}} \times a_{\text{э}}^2 \times T_{\text{мэ}}{}^3 \times p^3 + a_{\text{п}} \times a_{\text{э}}^2 \times T_{\text{мэ}}{}^2 \times p^2 + a_{\text{п}} \times a_{\text{э}} \times T_{\text{мэ}} \times p + 1} =$$

$$= \frac{13.33}{0.000017\,p^3 + 0.0013\,p^2 + 0.0518\,p + 1}.$$

Передаточная функция разомкнутого контура положения

$$W(p)_{\text{кп.з}} = \frac{1}{a_{\text{п}} \times a_{\text{э}}^2 \times T_{\text{мэ}}{}^3 \times p^3 + a_{\text{п}} \times a_{\text{э}}^2 \times T_{\text{мэ}}{}^2 \times p^2 + a_{\text{п}} \times a_{\text{э}} \times T_{\text{мэ}} \times p} =$$

$$= \frac{13.33}{0.000017\,p^3 + 0.0013\,p^2 + 0.0518\,p}.$$

В программе Matlab были построены ЛАЧХ и ФЧХ замкнутого положения:

- перерегулирование $\mathrm{s} = 4.3\%$;

- время первого согласования при отработке ступенчатого входного сигна ла

$$t_{\text{ру1}} = 13.6 \times T_{\text{оэ}} = 13.6 \times 0.0543 = 0.738 \ \text{с};$$

- время переходного процесса (окончательного вхождения в 5% зону)

$$t_{\text{ру2}} = 20.3 \times T_{\text{оэ}} = 20.3 \times 0.0543 = 1.1 \ \text{с};$$

- полоса пропускания по модулю

$$\mathrm{w}_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{0.284}{T_{\text{оэ}}} = \frac{1}{0.0543} = 5.23 \ \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

- полоса пропускания по фазе

$$\mathrm{w}_{\text{п}}^{(\text{ф})} = \frac{0.18}{T_{\text{оэ}}} = \frac{1}{0.0543} = 3.315 \ \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

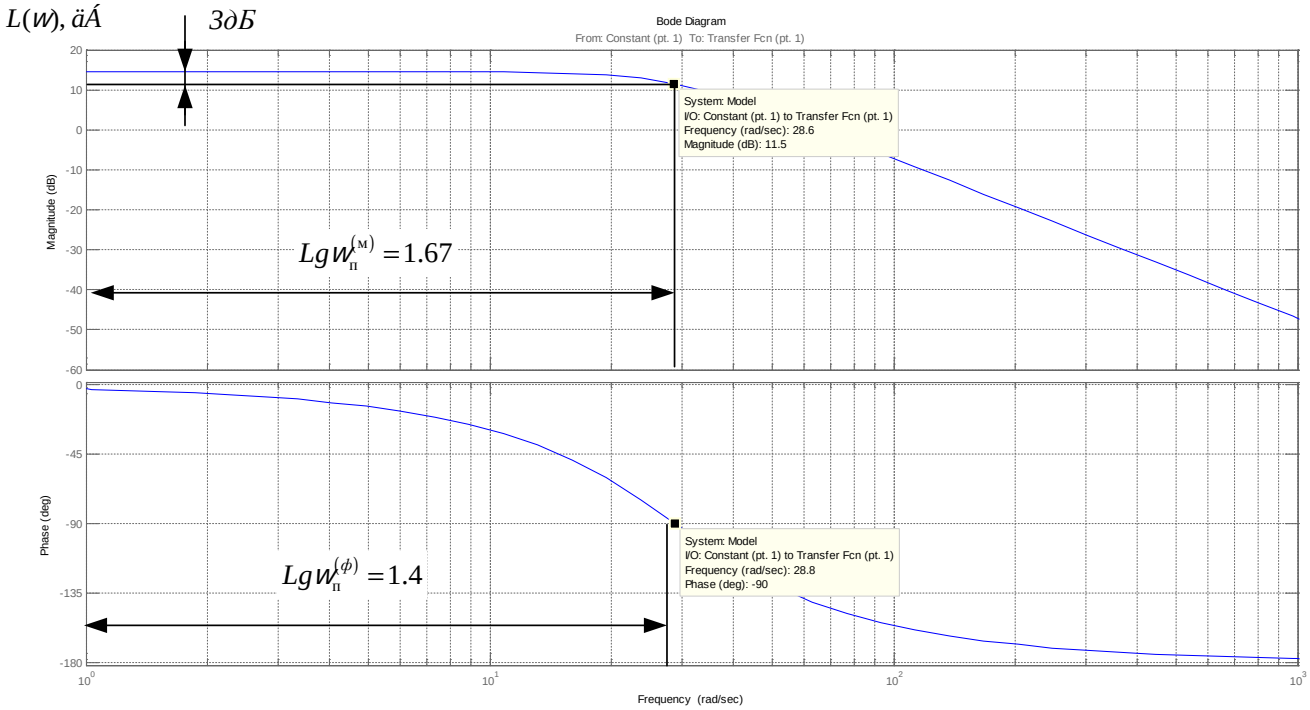


Рисунок 16 – ЛЧХ замкнутого контура положения

3.5 Оптимизация контура тока возбуждения

Структурная схема контура возбуждения приведена на рисунке 17 и включает в себя регулятор возбуждения, тиристорный преобразователь цепи возбуждения, обмотку возбуждения двигателя, отрицательную обратную свя зь по току возбуждения.

Контур содержит три инерционных звена первого порядка (апериодических), причем имеет место следующее соотношение постоянных времени T_1 ® $\left(T_{\text{тпв}} + T_2\right)$.

Поэтому за малую постоянную времени примем

$T_{\text{ттт}} = \left(T_{\text{тпв}} + T_2\right) = 0.0567\text{с}$, а $T_1 = 4.87\text{с}$ -

будем считатьбольшой постоянной времени контура, которую необходимо комп енсировать.

Настройка контура произведена на МО, регулятор тока возбуждения пропорционально-интегрального (ПИ) типа.

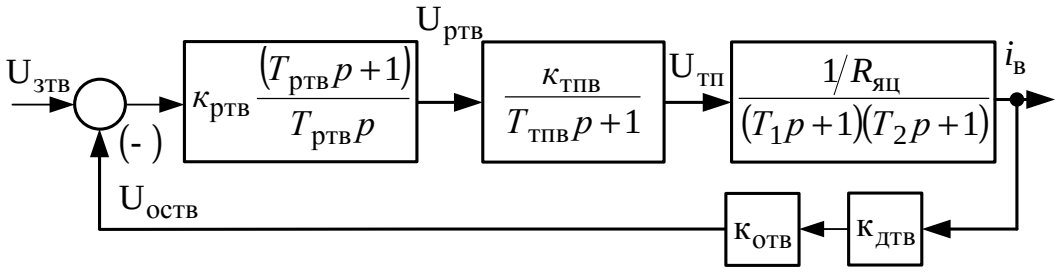


Рисунок 17 - Структурная схема контура возбуждения

Параметры регулятора тока возбуждения и цепи обратной связи

Коэффициент обратной связи по току возбуждения

$$\kappa_{\text{тв}} = \frac{U_{\text{зтв.макс}}}{I_{\text{в.н}}} = \frac{10}{32} = 0.3125 \ \ \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Коэффициент датчика тока возбуждения

$$\kappa_{\text{дтв}} = \frac{U_{\text{у}}}{U_{\text{дт}}} = \frac{10}{100} = 0.1.$$

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТВ

$$\kappa_{\text{отв}} = \frac{\kappa_{\text{тв}}}{\kappa_{\text{дтв}}} = \frac{0.3125}{0.1} = 3.125 \ \ \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Коэффициент регулятора тока возбуждения

$$\kappa_{\text{ртв}} = \frac{T_1 \times R_{\text{ц.в}}}{\kappa_{\text{тпв}} \times \kappa_{\text{тв}} \times a_{\text{тв}} \times T_{\mu\text{тт}}} = \frac{4.87 \times 2.52}{21.74 \times 0.3125 \times 2 \times 0.0567} = 15.92,$$

где $T_{\mu\text{тт}} = T_{\text{тпв}} + \text{Т}_2 = 0.00167 + 0.0551 = 0.0567\text{с}$.

Постоянная времени регулятора тока возбуждения

$$T_{\text{ртв}} = T_1 = 4.87\text{с}.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока возбуждения

$$W(p)_{\text{тв.з}} = \frac{1/\kappa_{\text{тв}}}{a_{\text{тв}} \times T_{\mu\text{тт}}{}^2 \times p^2 + a_{\text{тв}} \times T_{\mu\text{тт}} \times p + 1} =$$

$$= \frac{1/0.3125}{2 \times 0.0567^2 \times p^2 + 2 \times 0.0567\, p + 1} = \frac{6.398}{0.00642\, p^2 + 0.1134\, p + 1}.$$

Передаточная функция разомкнутого контура тока возбуждения

$$W(p)_{\text{тв.р}} = \frac{1}{a_{\text{тв}} \times T_{\mu\text{тт}}{}^2 \times p^2 + a_{\text{тв}} \times T_{\mu\text{тт}} \times p} =$$

$$= \frac{1}{2 \times 0.0567^2 \times p^2 + 2 \times 0.0567 p} = \frac{1}{0.00642 p^2 + 0.1134 p}.$$

Ожидаемые показатели качества работы контура возбуждения:

- перерегулирование $\sigma = 4.3\%$;

- время первого согласования при отработке ступенчатого входного сигнала и время переходного процесса (окончательного вхождения в 5% зону) $t_{\text{ру1}} = t_{\text{ру2}} = 4.1 \times T_{\mu\text{тт}} = 4.1 \times 0.0567 = 0.232$ с;

- полоса пропускания по модулю и фазе

$$\omega_{\text{п}}^{(\text{ф})} = \omega_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{0.71}{T_{\mu\text{тв}}} = \frac{0.71}{0.0567} = 15.52 \ \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$f_{\text{п}}^{(\text{ф})} = f_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{\omega_{\text{п}}}{2\pi} = \frac{15.52}{2 \times 3.14} = 2.47 \ \text{Гц}.$$

- ошибка отработки заданного значения тока возбуждения $\Delta I_{\text{в}} = 0$.

3.6Статические электромеханические характеристики замкнутой САУ электропривода барабанных ножниц

Уравнение статической электромеханической характеристики замкнутой системы получим, составив систему уравнений описывающих работу электропривода в статике в режиме стабилизации скорости и тока.

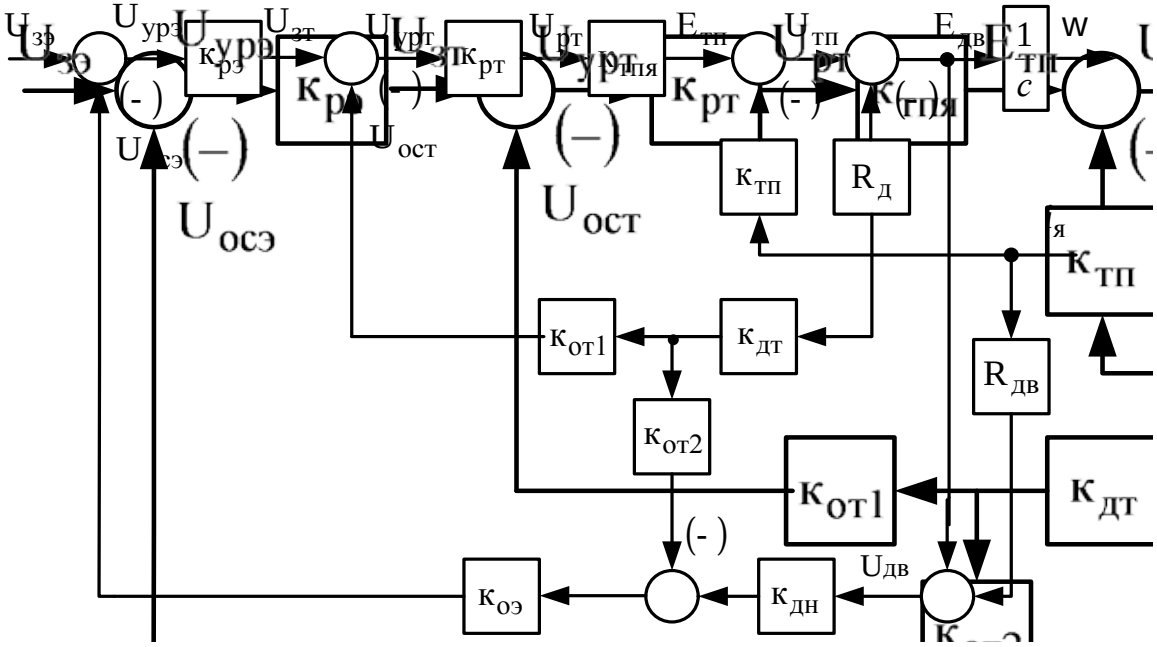


Рисунок 18 - Структурная схема привода барабанных ножниц в статике в режиме стабилизации скорости

Система уравнений, составленная на основе данной структурной схемы.

$$U_{\text{урэ}} = U_{\text{зэ}} - U_{\text{ос.э}};$$

$$U_{\text{ос.э}} = \kappa_{\text{оэ}} \times E_{\text{дв}};$$

$$E_{\text{дв}} = U_{\text{дв}} - I \times \kappa_{\text{дт}} \times \kappa_{\text{от2}};$$

$$U_{\text{дн}} = \kappa_{\text{дн}} \times U_{\text{дв}};$$

$$U_{\text{дв}} = E - I_{\text{дв}} \times R_{\text{дв}};$$

$$U_{\text{зт}} = \kappa_{\text{рэ}} \times U_{\text{урэ}};$$

$$U_{\text{урт}} = U_{\text{зт}} - U_{\text{ос.}i};$$

$$U_{\text{ос.}i} = \kappa_{\text{от1}} \times \kappa_{\text{дт}} \times I;$$

$$U_{\text{рт}} = \kappa_{\text{рт}} \times U_{\text{урт}};$$

$$E_{\text{тп}} = \kappa_{\text{тп}} \times U_{\text{рт}};$$

$$U_{\text{тп}} = E_{\text{тп}} - I \times R_{\text{тп}};$$

$$U_{\text{дв}} = U_{\text{тп}};$$

$$U_{\text{дв}} = E_{\text{д}} + I \times R_{\text{дв}}, \quad E_{\text{дв}} = c \times w.$$

Решив систему уравнений относительно угловой скорости w, получим уравнение статической электромеханической характеристики замкнутой систем ы.

$$w(I) = U_з \times \frac{к_{тп} \times к_{рт} \times к_{рэ}}{c \times \left(1 + к_{тп} \times к_{рт} \times к_{рэ} \times к_{оэ} \times к_{дн}\right)} -$$

$$- I \times \frac{к_{тп} \times к_{рт} \times к_{рэ} \times к_{оэ} \times \left(к_{дн} \times R_{дв} + к_{дт} \times к_{от2}\right) + R_{яц} \times к_{тп} \times к_{от1} \times к_{дт} \times к_{рт}}{c \times \left(1 + к_{тп} \times к_{рт} \times к_{рэ} \times к_{оэ} \times к_{дн}\right)}.$$

В этом выражении все константы определены в таблице 11, переменными являются ток Iи напряжение задания $U_з$.Коэффициент усиления ПИ регулятора тока в статике стремится к бесконечности и принят равными коэффициенту усиления применяемых операционных усилите лей и составляет величину порядка 30000. Подставляя численные значения в уравнение получим

$$w(I) = 3.2972 \times U_з - 1.544 \times 10^{-3} \times I .$$

Таблица 12 - Верхняя электромеханическая характеристика электроприводапри напряжении з адания 10 В

I,A	0	2460
$w, \frac{рад}{с}$	32,99	32.97

Таблица 13 - Нижняя электромеханическая характеристика электропривода при напряжении задания 1 В

I,A	0	2460
$w, \frac{рад}{с}$	3,299	3.297

Электромеханические характеристики приведены на рисунке 19.

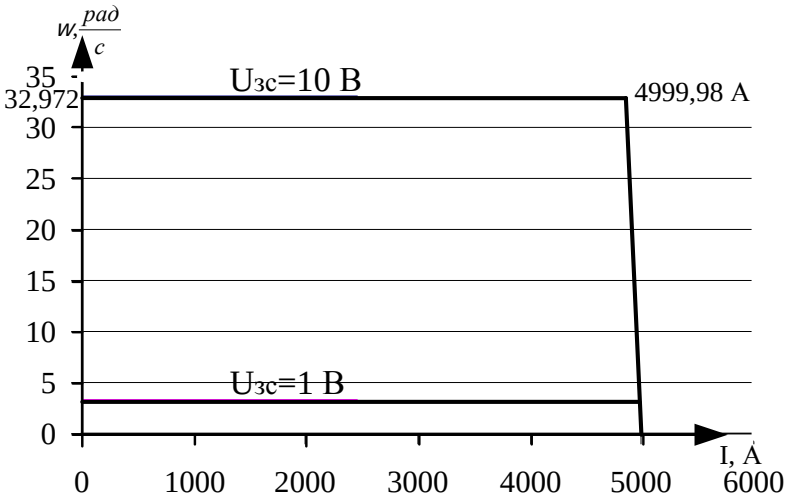


Рисунок 19 - Статические электромеханические характеристики замкнутой системы электропривода барабанных ножниц

Структурная схема привода барабанных ножниц в статике в режиместабилизации тока приведена на рисунке 20.

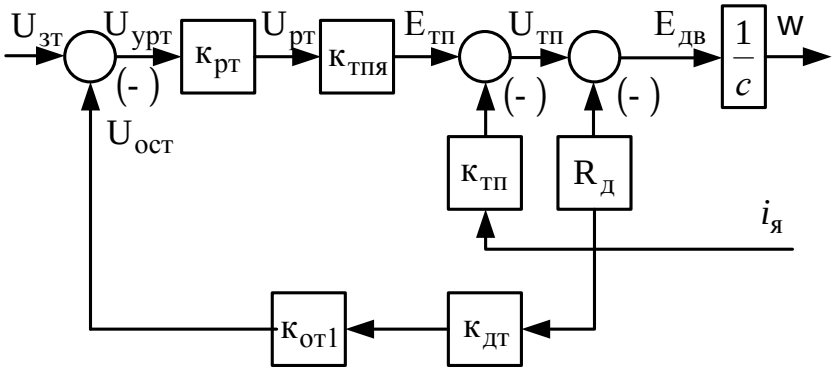


Рисунок 20 - Структурная схема привода барабанных ножниц в статике в режиме стабилизации тока

Система уравнений составленная на основе структурной схемы (рис. 21).

$$U_{\text{урт}} = U_{\text{зт}} - U_{\text{ос.}i};$$

$$U_{\text{ос.}i} = \kappa_{\text{от1}} \times \kappa_{\text{дт}} \times I;$$

$$U_{\text{рт}} = \kappa_{\text{рт}} \times U_{\text{урт}};$$

$$E_{\text{тп}} = \kappa_{\text{тп}} \times U_{\text{рт}};$$

$$U_{\text{тп}} = E_{\text{тп}} - I \times R_{\text{тп}};$$

$$U_{д} = U_{тп};$$

$$U_{д} = E_{д} + I \times R_{дв}, \quad E_{дв} = c \times w.$$

Решив систему уравнений относительно тока I, получим уравнение статической электромеханической характеристики замкнут ой системы в режиме стабилизации тока

$$I_{кз} = \left(\frac{\kappa_{тп} \times \kappa_{рт} \times U_{зт}}{R_{яц} + \kappa_{тп} \times \kappa_{рт} \times \kappa_{от1} \times \kappa_{дт}}\right) = \frac{194.1 \times 30000 \times 10}{(0.0401 + 194.1 \times 30000 \times 0.004)} = 4999.98 \text{ А}.$$

Для оценки точности регулирования скорости определим статизм построе нных характеристик

$$s = \frac{w_0 - w_1}{w_0} \times 100\% = \frac{32.99 - 32.97}{32.99} \times 100\% = 0.06\%,$$

где w_0 - скорость идеального холостого хода, $w_н$ - номинальная скорость двигателя.

Эти значения точности регулирования скорости удовлетворяют техническ им требованиям.

3.7 Настройка САУ электропривода на имитационной модели

Для обеспечения работоспособности контура ЭДС с учётом пульсации выпрямленного напряжения преобразователя в цепи обратной связи по ЭДС двигателя установлен сглаживающий фильтр с постоянной времени $\Phi_{фн} = T_{дв} = 0.0142\text{с}$.

Для оптимизации переходных процессов в электроприводе при отработке управляющих воздействий экспериментально по добран коэффициент усиления регулятора положения $\kappa_{рп} = 1.5$.

Расчётные и экспериментальные (отмеченные*) параметры звеньев структурной схемы электропривода приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Параметры САУ электропривода барабанных ножниц

$\kappa_{я}$	$\kappa_{дтя}$, В/А	$\kappa_{от1}$	$\kappa_{рт}$	$T_{рт}$, с	$\kappa_{э}$	$\kappa_{рэ}$	$\kappa_{дн}$
194.1	0.004	0.5	0.927	0.03	0,012	5,53	0.01
$\kappa_{от2}$	$T_{оэ}$, с	$\kappa_{оэ}$	$\kappa_{рп}^{*}$	$\kappa_{оп}$	$\kappa_{дп}$	$\kappa_{ртв}$	$T_{ртв}$, с
0.047	0,0543	1,2	5.086	0,075	0.004	15.92	4.87
$T_{ф}$, с	$U_{зс}$, В	$U_{рт.макс}$ В	$U_{рэ.макс}$, В	$U_{рп.макс}$, В	$\kappa_{я}$	$R_{яц}$, Ом	$J_{э}$, кг×м^2
0.03	10	+10	+10	+10	194.1	0.0401	1150
$R_{дв}$, Ом	$T_{дв}$, с	$T_{яц}$, с	$T_{тп}$, с	$\kappa_{дтя}$, В/А	С	$Ф_{дв}$, Вб	$\kappa_{м}$
0.019	0.0142	0.03	0.00167	0.002	25.26	0.23	15.43
$\kappa_{дн}$	$\kappa_{дтв}$	$\kappa_{тпв}$	$R_{цв}$, Ом	T_{1}, с	T_{2}, с	$E_{тпя.м}$, В	$M_{с}$ Н×м
0.01	0.1	21.74	2.52	4.87	0.0551	1294	60822

3.8

Анализ нелинейной САУ электропривода.Структурная схема нелинейной САУ электропривода

На основании структурной схемы линеаризованной системы автоматизированного управления электропривода приведенной на рисунке 19, составлена структурная схема нелинейной САУ электропривода, которая представлена на рисунке 21.

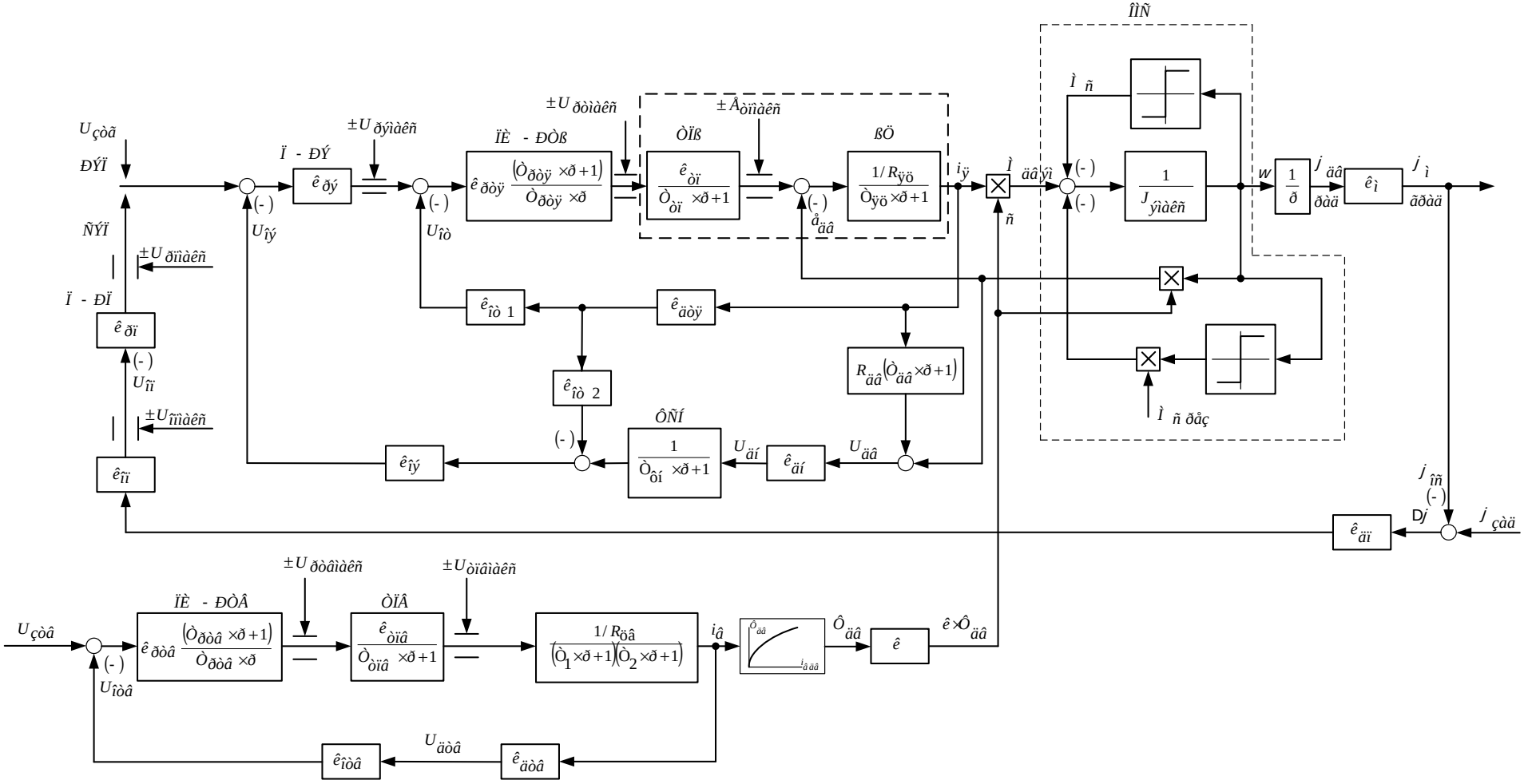


Рисунок 21 – Структурная схема САУ электропривода барабанных ножниц

САУ электропривода ножниц характеризуется следующими нелинейностями эл ементов:

- насыщение регулятора ЭДС $U_{\text{рэ.макс}} = 10\text{В}$;

- насыщение регулятора тока $U_{\text{рт.макс}} = 10\text{В}$;

- насыщение регулятора положения $U_{\text{рп.макс}} = 10\text{В}$;

- характеристику устройства токоограничения, реализованного путем ог раничения выходного напряжения регулятора ЭДС $U_{\text{рэ}} \pounds U_{\text{рэ.доп}}$, где $U_{\text{рэ.доп}} = \kappa_{\text{т}} \times I_{\text{дв.макс}} = 0.002 \times 5000 = 10\text{В}$

- реактивный характер нагрузки $M_{\text{с}}(\text{w}) = M_{\text{с}} \times \sin \text{w}$, где

$M_{\text{с}} = M_{\text{с.дв}} + M_{\text{с.нагр}} = 10601.7 \text{ ¸ } 62300.4\text{Н} \times \text{м}$;

$M_{\text{с.нагр}} = (0.15 \text{ ¸ } 1)\text{М}_{\text{дв.ном}} = 9123.3 \text{ ¸ } 60822\text{Н} \times \text{м}$ - момент нагрузки,

По структурной схеме нелинейной САУ СЭП (см. рисунок 19) набирается имитационная модель в среде Matlab, представленная на рисунке 20.

.

Программа воспроизводится методом имитационного численного моделирован ия переходных процессов в
аналоговых нелинейных системах регулируемого электропривода при типовых задающих и возмущающих воздействиях. Она позволяет в
широких пределах варьировать структуру и
значения параметров элементов САР, выводить результаты расчетов в
виде графиков, по которым определяются динамические качества.

Переходные процессы нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывн ый представлены на рисунках 23-27.

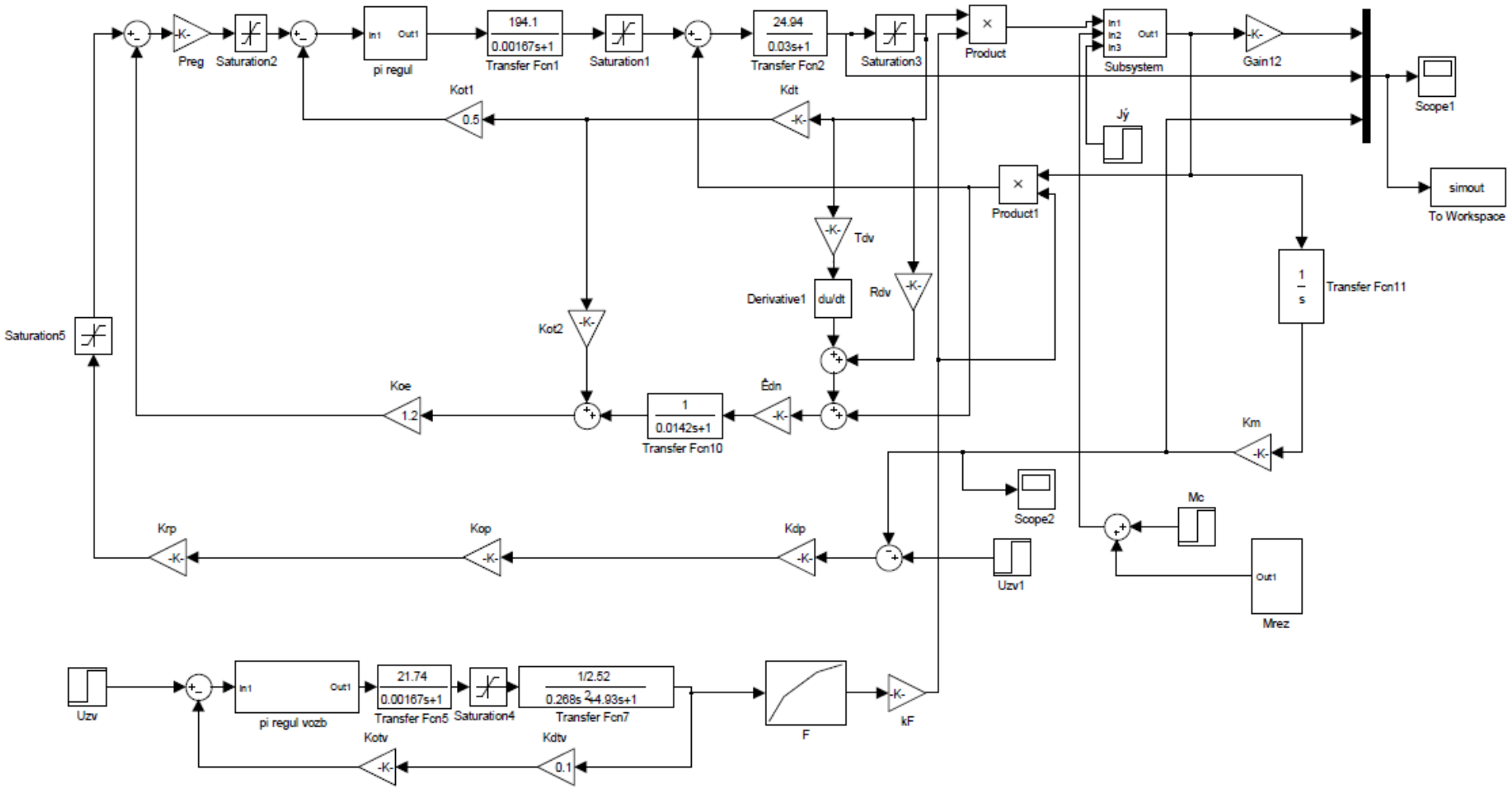


Рисунок 22 – Имитационная модель САУ электропривода барабанных ножниц.

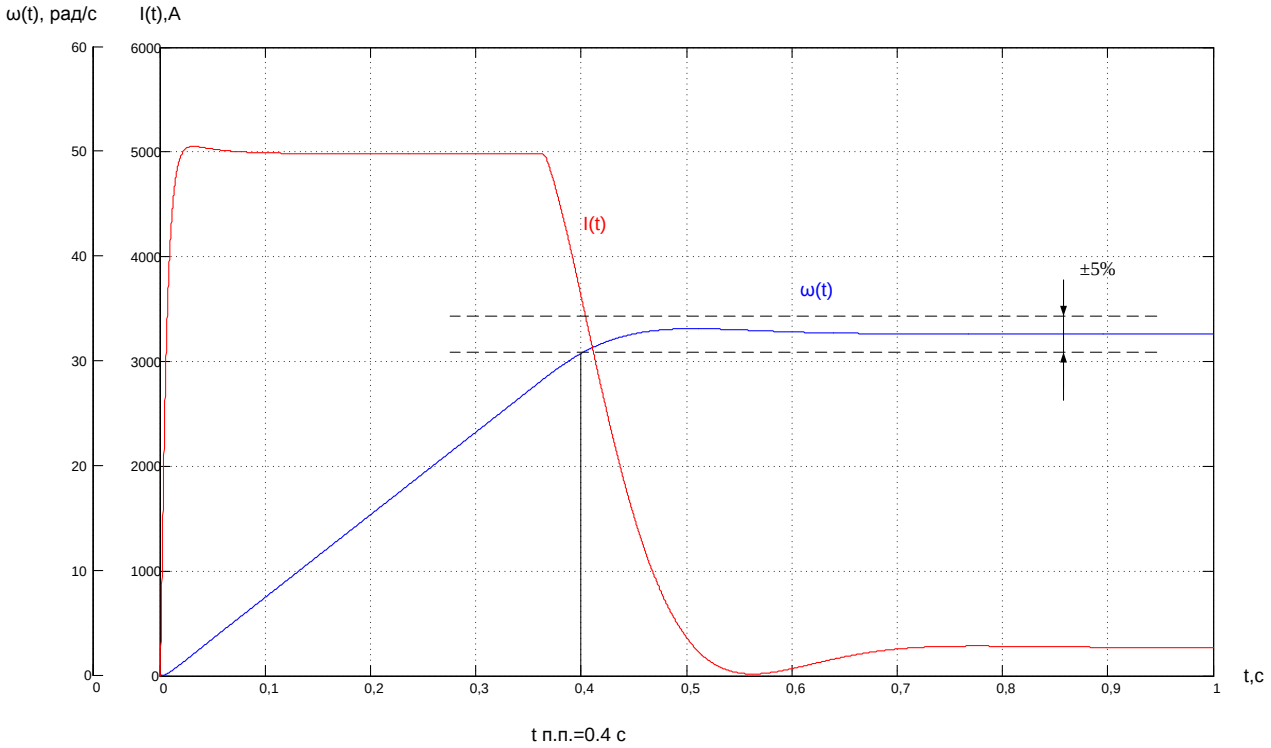


Рисунок 23 – Пуск с нагрузкой холостого хода $M_c = 6831 Н{\cdot}м$ при $U_{зс}=10В$.

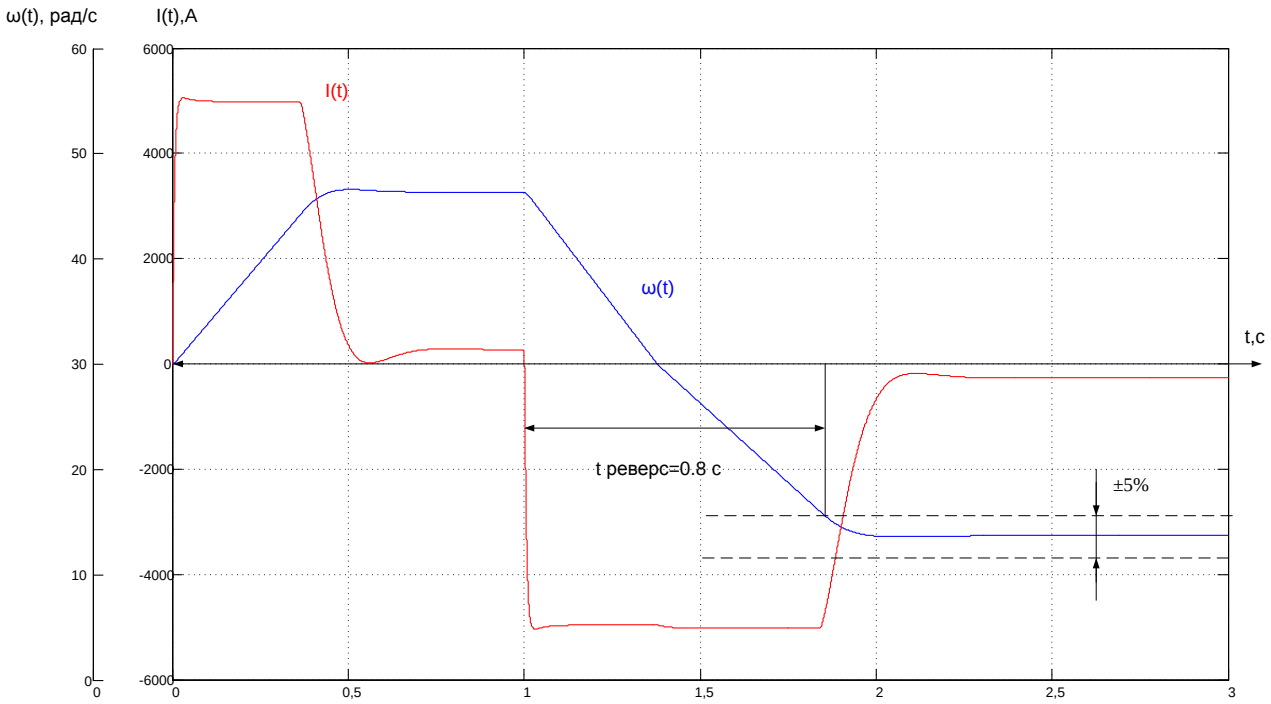


Рисунок 24 – Пуск и реверсс нагрузкой холостого хода $M_c = 6831 Н{\cdot}м$ при $U_{зс}=10В$.

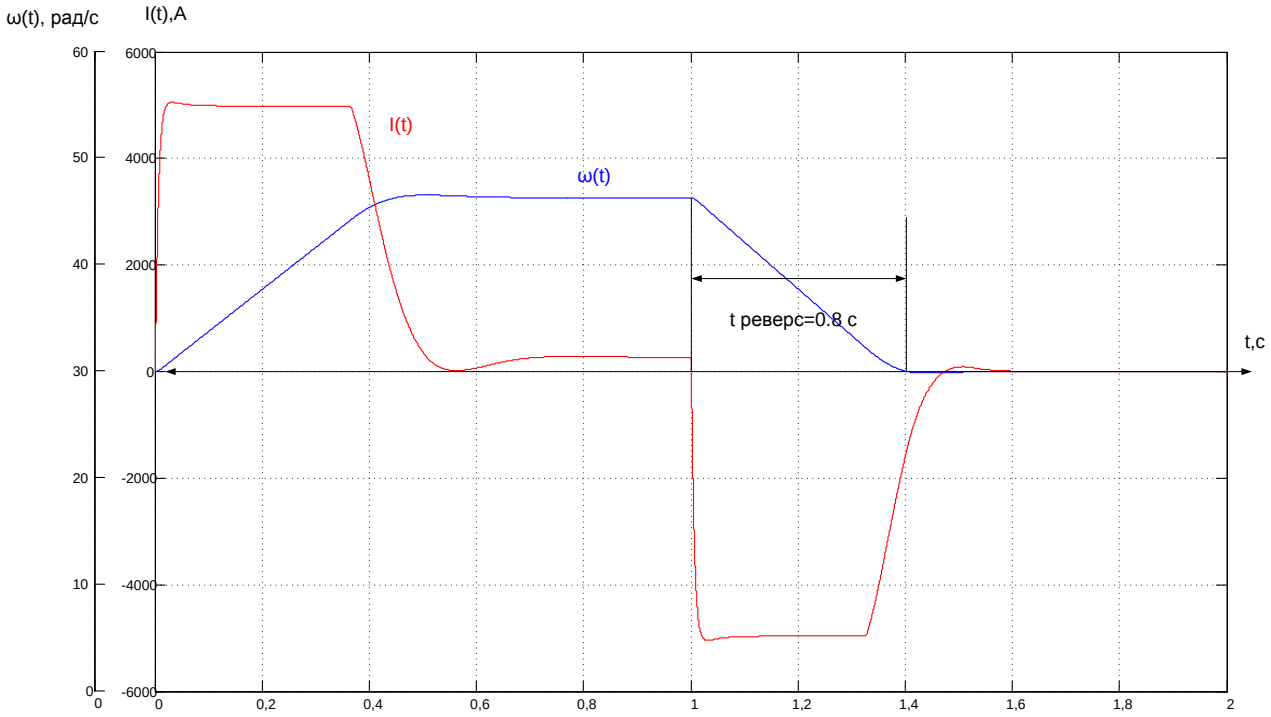


Рисунок 25 – Пуск и торможение нагрузкой холостого хода $M_c = 6831 Н{\cdot}м$ при $U_{зс}=10В$.

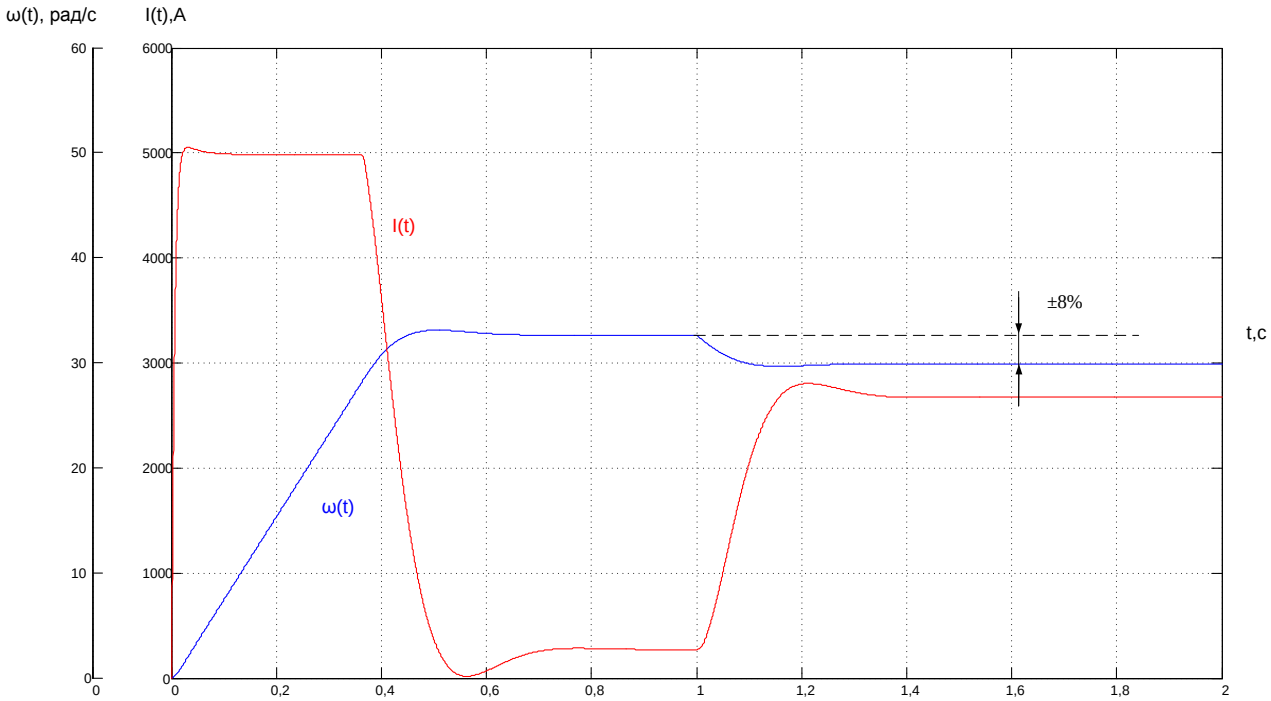


Рисунок 26 –Пуск с нагрузкой холостого хода $M_c = 6831 Н{\cdot}м$ при $U_{зс}=10В$ и наброс нагрузки через 1 секунд до момента реза $M_c=60822 Н{\cdot}м$.

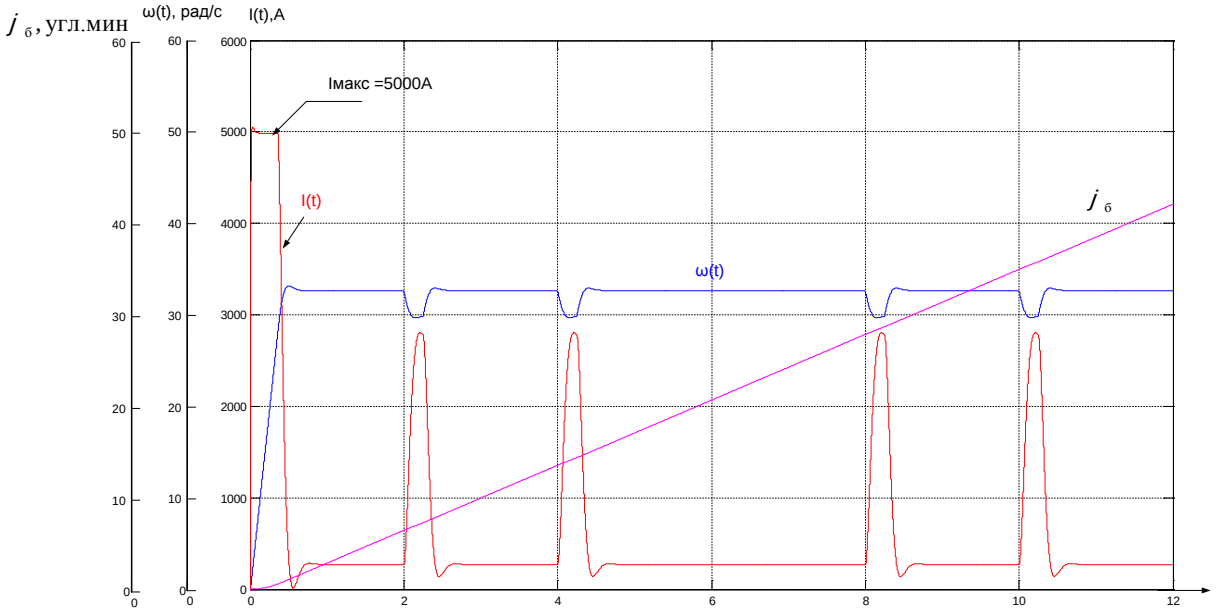


Рисунок 27 - Переходные процессы в следящем электроприводе при пуске, приложении нагрузки $U_з = 10\text{В}$, $t_б = 2\text{с}$, $I_б = 5000\text{А}$, $w_б = 32.97\,\text{рад/с}$,

$j_б = 4320\text{угл.мин}$

4. РАСЧЕТ И ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ И КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОЖНИЦ

Электродвигатель в процессе эксплуатации может попасть в различные аварийные ситуации, такие как: обрыв поля, короткие замыкания, перенапряжение и т.д. Последствия этих ситуаций - выход из строя электродвигателя, нарушение технологического процесса, подвергание опасности жизнь обслуживающего персонала.

Чтобы исключить возможность аварии электродвигателя необходимо отключить его от сети при аварийных режимах.

Важнейшей задачей в схемах является выбор уставок защит, а так же проверка правильности выбора реле защит, установленных в схеме. Для электродвигателя постоянного тока максимально токовая защита в силовой цели, т.е. защита от перегрузок, минимально токовая защита в цепи возбуждения и защита от перенапряжения на двигателе.

Аппаратура релейно-контакторного управленияразмещена в шкафу 42.6 ШР. Функции релейно-контакторной схемы заключаются в контроле за правильностью всех переключений в силовой части схемы и системы автоматического регулирования САР, контроль включения блокировок и защит.

В схеме существуют цепи «Поиск нарушений цепи блокировок» (РБ1) и «Поиск нарушений цепи готовности» (РГ).

Система управления тиристорным преобразователем возбуждения (111В) включает в себя контур регулирования тока возбуждения. Сигнал задания на ток возбуждения поступает на вход регулятора тока возбуждения (РТВ) от потенциометра R, установленного на фальшпанели блока БУП1В. Сигнал обратной связи по току возбуждения $I_в$ поступает на вход РТВ от датчика тока возбуждения ДТ2.

Расчет и выбор автоматического выключателя

Автоматический выключатель предназначен для защиты схемы от коротких замыканий, перегрузок и недопустимых снижений напряжения оперативных включений и отключений электрических цепей.

Схемой предусмотрено дистанционное и местное управление ВАТ. Дистанционное управление В1 осуществляется с пульта ПУ10 ключом КУА «Управление автоматом», местное управление - со шкафа управления ВАТ ключом КУ.

Рассчитаем автоматический выключатель для защиты двигателя. Выбираем по литературе [8] уставку максимального тока $I_{уст}$, А:

$$I_{уст} = 2.2 \times I_{ДВ.Н} = 2.2 \times 2460 \quad \text{А}.$$

Ток срабатывания максимально токовой защиты автоматического выключателя выбирается таким, чтобы защита не приходила в действие при прохождении пускового тока по защищаемому проводнику.

Выбор автоматического выключателя обуславливается номинальным током и номинальным напряжением силовой цепи. Исходя из этого выбираем автоматический выключатель типа ВАТ-42-4000/10ЛАУ4.

ВАТ-42 представляет собой однополюсный автоматический выключатель токоограничивающего типа.

Параметры автоматического выключателя внесены в таблицу 15.

Таблица 15 Данные автоматического выключателя

Номинальные данные:	Технические данные:
Напряжение, В - 1050	Ток уставки, А - 4000 - 8000
Ток, - 4000	Время отключения в безиндукционной цепи, сек - 0,015

Цепи управления:

Напряжение, В - 220; Ток включения, А – 40;

Ток удержания, А - 1,5.

Описание схемы управления, защиты и сигнализации барабанных ножниц

Механизм приводиться в движение электропривода организованно по системе ТП-Д. Для обеспечения надежности работы предназначено резервирование тиристорных преобразователей. Подача силового питания на первичную обмотку трансформатора (силового согласующего) осуществляется включением масляного выключателя на РУ 10 кВт № 7. Цепь постоянного тока коммутируется автоматическим выключателем ВАТ.

Рубильник П предназначен для выбора либо рабочего либо резервного тиристорного преобразователя. Для контроля основных параметров в цепи постоянного тока применяют электроизмерительные приборы (PV, PA). Для подачи питания в цепи управления в релейной части схемы применяется автомат SF1. Для контроля наличия напряжения в цепях управления предназначена лампа HL1, включенная через токоограничивающее сопротивление R5. Обмотка возбуждения двигателя питается от отдельного КТЭ 100. Реле РП2 предназначено для контроля наличия тока в цепи обмотки возбуждения.

В данном электроприводе имеются два вида сигнализации:

- внешняя, выходное устройство которой, в цепи централизованной сигнализации;

- внутренняя, устанавливаемая в КТЭ и обеспечивающая выделение первичного аварийного сигнала.

В схеме КТЭ предусмотрены следующие виды защит:

Предупредительная сигнализация

- недопустимое снижение уровня изоляции - срабатывает при включении «земляного» реле К2, установленного в ШС;

- неполнофазный режим тиристорного преобразователя - при отсутствии тока через один из параллельно включенных тиристоров, кроме того данный режим контролируется визуально с помощью светодиодов ячеек СИ1 блока БЗС5;

- срабатывание I ступени газовой защиты силового трансформатора;

- срабатывание I ступени тепловой защиты силового трансформатора. Эти защиты выполнены на ячейке ЗЗС1 блока БЗС5, которая принимает и запоминает аварийные сигналы. При отсутствии предупредительного сигнала реле предупредительной сигнализации К1 включается и даетразрешение на включение ВАТа через реле повреждения тиристорного преобразователя РПП, контакт которого используется в цепи включения релеготовности привода к работе РГ (ШР).

Аварийная сигнализация

- превышение допустимой величины тока якоря - при достижении током уставки $I_{я,макс}$, установленной в ячейке С1 БУП1В;
- снижение тока возбуждения ниже допустимого - при снижении тока возбуждения ниже уставки РНТД при включенном ВАТе (последовательно включенные контакты РП2 и РЗ, сх. Р186РДЗ.Э3.4;
- перегорание предохранителей в силовом шкафу ШС - при замыкании б/к силовых предохранителей при перегорании в ШС;
- превышение допустимого напряжения на якоре электродвигателя при срабатывании реле высокого напряжения ГО К1, расположенного в ШС;
- отключение ВАТ от РДШ - при отключении реле К5 ШУ, катушка которого включена параллельно контакту РДШ;
- неисправность БЗП - при перегорании предохранителей в БЗП;
- исчезновение напряжения с.н. - при размыкании контакта РКНсн 3х380В, 50Гц., контролирующего наличие напряжения с.н.,
- срабатывание II ступени тепловой защиты МВ;
- перегрев силового шкафа - при появлении сигнала о перегреве с ячейки ПЗ БЗС5;
- аварийное отключение ВАТ - при установке ключа управленияВАТом SA1 в положение «3» - запрет;
- срабатывание II ступени газовой силового трансформатора;
- аварийное отключение МВ - при нажатии на кнопку SB3-аварийное отключение.

Две последние защиты воздействуют на реле аварийного отключения МВК4 ШУ, которое разрывает свой контакт в цепи РОВ (ПЗ ШУ), которое в свою очередь отключает МВ.

Аварийный сигнал приводит к отключению реле готовности РГ1, РГ2 ШУ и как следствие, отключению ВАТ, сдвигу ИУ ТП в инверторную зону и их снятие.

При отсутствии каких-либо аварийных сигналов включаются реле РГ1, РГ2 которые замыкают свои контакты в цепи включения ВАТ и дают разрешение на включение ВАТ через реле аварии преобразователя промежуточное РАП, контакты которого используются в цепи реле РГ ШР. При этом на двери ШУ КТЭ загорается лампа HL4 - «Готовность».

Включение ВАТа и МВ индицируется лампами HL8 «ВАТ включен» и HL1 «МВ включен».

Если привод отключен по сигналу аварии, то на двери ШУ светятся лампы HL5 «Авария» и HL7 «ВАТ отключен».

Перед повторным включением КТЭ в работу после его отключения и устранения аварии производится деблокировка защит с помощью реле РДЗ нажатием кнопки SB1 «Деблокировка защит». Кнопкой SB2 «Проверка индикации» производится контроль исправности цепей индикации СЗС. Также имеется сигнализация срабатывания электронных защит, которая реализована в виде ячеек кассеты СЗС (светодиодная сборка).

Система защиты и сигнализации 111В предназначена для приема и запоминания аварийных сигналов, индикации состояния готовности и аварии КТЭ и имеет следующие виды защит:

Отключение силового автоматического выключателя QF. При отключении силового автомата теряет питание катушка реле аварийной сигнализации РАС. На двери шкафа загорается сигнальная лампаHL5 «Авария», на лицевой панели ячейки 13С1 высвечивается вид неисправности.

Превышение допустимого тока возбуждения.

Этот сигнал формируется в ячейке С1 при достижении тока возбуждения уставки «Iв мах» на резисторе R38. При этом срабатывает компаратор на DA5 С1, происходит

сдвиг импульсов в инверторную зону с последующим их съемом (размыкание цепи +24В).

Сигнализация «Обрыв поля» выведена из работы, т.к. работает в СЗС ТШ,ТП2 якоря.

При отсутствии аварийных сигналов катушка РАС втянута, на двери шкафа ТПВ светится сигнальная лампа HL4 «Готовность».

При повторном включении КТЭ после его отключения деблокировка защит осуществляется нажатием кнопки SB2 «Деблокировка защит».

Резервирование питания обмотки возбуждения осуществляется переключением переключателя П1 в положение «ТПВ1» или «ТПВ2» и заключается в выборе ТПВ.

5. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Для данного механизма целесообразно использовать программируемые электропривода постоянного тока на базе микропроцессоров. Использование данноговида приводов позволяет обеспечить прямое согласованиемежду программируемым контроллером типа AllenBradlei и приводом (цифровая передача данных - заданий приводу, состояния привода), также исключается возможность формирования паразитных помех вследствие отсутствия в программируемом приводе емкостей САР.

Повышается точность регулирования основных координат электропривода. Допускается возможность использования в электроприводе интеллектуальной периферии, что упрощает обработку входных сигналов.

Второй вариант перспективы развития - замена ЭП постоянного тока на ЭП переменного тока с частотным регулированием скорости.

Достоинством этого типа приводов относится использование двигателей переменного тока, которые имеют меньшие массогабаритные показатели в сравнении с двигателями постоянного тока.

К недостаткам относится сложность реализации системы управления частотных электроприводов.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
З-5Г4Б2	Каримов Элмурод Эргашевич

Подразделение	ИШЭ	**Отделение**	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	**Направление/специальность**	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов на технический проект (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых и информационных	*Должностные оклады профессорско-преподавательского состава ТПУ "Положению об оплате труда" Планово-финансового отдела ТПУ. Приказ 25.05.2016 №5994*
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	*ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»*
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов и отчислений	*Отчисления во внебюджетные страховые фонды – 30,2%;*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Планирование комплекса работ (определение состава работы, определение исполнителей проекта)	*Расчет временных показателей проведения технического проекта. Построение диаграммы Ганта*
2. Планирование и формирование сметы на ТП	*Смета затрат на проект*
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта	*Проведение сравнительной оценки характеристик разработки и прототипа*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4Б2	Каримов Элмурод Эргашевич		

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель данного раздела обосновать целесообразность использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, используя планово-временные и материальные показатели процесса разработки.

Поставленная цель достигается выполнением следующих задач:

- оценка технологического проекта при помощи SWOT-анализа;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

6.1 SWOT-анализ по разработки проекта регулируемого электропривода барабанной ножницы

SWOT– анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой техническое проектирование. [21]

Применительно к проектируемому электроприводу барабанных ножниц, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 16.

Таблица 16 - Матрица SWOT регулируемого электропривода барабанной ножницы

	Сильные стороны проекта: С1. Высокое быстродействие С2. Широкий диапазон регулирования С3. Высокий КПД С4. Автоматическое ограничение момента при возможных перегрузках С5. Низкие виброшумовые характеристики	**Слабые стороны проекта:** Сл1. Высокие габариты Сл2.Сложность эксплуатации Сл3.Наличие открытых вращающихся частей электродвигателя
Возможности: В1. Увеличение производительности В2. Автоматизация технологического процесса В3.Уменьшение себестоимости разработки за счет сотрудничества с местными предприятиями; В4. Снижение затрат на техническом обслуживании	 В1С2С3С5; В2С1С4; В3С2С3; В4С1С4.	 В3Сл2; В4Сл1Сл2Сл3.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства; У3. Таможенные пошлины на зарубежные комплектующие У4. Угрозы выхода из строя сложного рабочего органа	 У1С5; У3С2С3; У4С2С4.	 У1Сл1Сл2Сл3; У2Сл1; У3Сл1Сл3; У4Сл1Сл3.

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 17 и 18, показывает, что сильные стороны проекта превалируют над слабыми. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 17 - Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
В1	-	+	+	-	+
В2	+	-	-	+	-
В3	-	+	+	-	-
В4	+	-	-	+	-
Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	-	-
В1	-	-	-		
В2	-	-	-		
В3	-	+	-		
В4	+	+	+		

Таблица 18 - Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
У1	-	-	-	-	+
У2	-	-	-	-	-
У3	-	+	+	-	-
У4	-	+	-	+	-
Угрозы	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	-	-
У1	+	+	+		
У2	+	-	-		
У3	+	-	+		
У4	+	-	+		

При разработке технического проекта инженер нацелен на проектирование с возможно большим внедрением сильных сторон. Это влияет, прежде всего, на качество и востребованность спроектированного электрооборудования, что немало важно для потребителей.

Также не стоит исключать случай, когда какая-либо из слабых сторон окажет наиболее сильное негативное воздействие, влияющее на работу системы электроснабжения, чем все вместе взятые сильные стороны. Для данного случая таким фактором может быть Сл2 - «Сложность эксплуатации». К примеру, при любом проектировании систем с использованием более простых универсальных электрических и конструктивных систем внутризаводской и внутрицеховой сети всегда будет присутствовать сложность в эксплуатации, ввиду наличия высокой ответственности и сложности технической системы для персонала и для потребителей. Но именно для этого разрабатываются и усовершенствуются разработки универсальных, простых и безопасных систем с использованием автоматизированного управления (В2), что позволит нам минимизировать влияние слабых сторон.

6.2 Структура работ в рамках технического проектирования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 19:

№ 1 – Составление и утверждение технического задания –формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу, изучение первичной информации об объекте;

№ 2 – Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Проведение расчетов параметров электрического двигателя, выбор прототипа.

№ 4 – Проектирование системы управления, анализ различных систем управления

№ 5 – Расчет силовой части тиристорного преобразователя;

№ 6 – Математическое моделирование электропривода барабанных ножниц и анализ полученных результатов

№ 7 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;

№ 8 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 9 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником.

№10 – Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Таблица 19 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	**№ раб**	**Содержание работ**	**Должность исполнителя**
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Подбор и изучение материалов по теме	2	Обзор технической литературы	Дипломник

Продолжение таблицы 19

Проведение расчетов параметров электрического двигателя, выбор прототипа.	3	Расчет параметров электродвигателя	Дипломник
	4	Расчет эксплуатационных характеристик двигателя	Дипломник, руководитель
	5	Расчет силовой части регулятора	Дипломник, руководитель
	6	Математическое моделирование	
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник, руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	8	Составление пояснительной записки	Дипломник
	9	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	10	Подготовка к защите ВКР	Дипломник, руководитель

6,3 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется формула [21]:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i-ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

В таблице 20 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работы.

Таблица 20 - Расчет продолжительности работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел-дни					
		Минимально возможная трудоемкость		Максимально возможная трудоемкость		Ожидаемая трудоемкость	
		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	5	-	3
3	Расчет и выбор двигателя	-	20	-	25	-	22
4	Расчет механических и эксплуатационных характеристик двигателя	1	10	1	14	1	12
5	Расчет силовой части тиристорного преобразователя;	1	24	1	28	1	26
6	Моделирование электропривода;	-	10	-	14	-	12
6	Оценка эффективности полученных результатов	1	2	1	4	1	3
7	Составление пояснительной записки	-	7	-	14	-	10
8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	1	1	1	1	1
9	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	2	2	2	2	2	2

6.4 Разработка графика проведения технического проекта

Наиболее удобным и наглядным вариантом является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. [21]:

Таблица 21 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп-ли	T_{pi}, раб. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Февр.		Март			Апрель			Май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	3												
3	Расчет и выбор двигателя	Дипломник	22												
4	Расчет механических и эксплуатационных характеристик двигателя	Дипломник	12												
		Руководитель	1												
5	Расчет силовой части тиристорного преобразователя	Дипломник	26												
		Руководитель	1												
6	Моделирование электропривода	Дипломник	12												
7	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник	3												
		Руководитель	1												
8	Составление пояснительной записки	Дипломник	10												
9	Проверка выпускной квалификационной работы	Дипломник	1												
		Руководитель	1												
10	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Дипломник	2												
		Руководитель	2												

Итого длительность работ в календарных днях руководителя проекта 7 дней, а инженера 101 дню

6.5 Составление сметы затрат на разработку ТП

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

- материальные затраты;
- полная заработная плата исполнителей технического проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

6.5.1 Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_м = \sum_{i=1}^{m} Ц_i \times N_{расхi},$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i-го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i-го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ТД „Карандаш”.

Таблица 22 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед.,руб.	Затраты на материалы, руб.
Упаковка бумаги	1	300	300
Ручка	2	50	130
Папка	1	55	55
Калькулятор	1	475	475
Переплет	1	40	40
Флеш-карта	1	600	600
Итого			1600

6.5.2 Расчет полной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \times T_р,$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

$Т_р$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{р.к.}}{F_д},$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$З_{р.к.}$ – районная доплата, руб.;

$F_д$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 23.

Таблица 23 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Заработная плата по тарифной ставке, руб.	Районная доплата, руб.	Среднемесячная заработная плата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Продолжительность работ, дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	33664	10099	43763	1683	7	11800
Инженер	12300	3690	15990	615	101	62100
Итого $З_{осн}$, *руб.*						73900

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \times З_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	коэффициент дополнительной заработной платы руб.	основная заработная плата одного работника руб.	дополнительная заработная плата руб.	Полная заработная плата руб.
Руководитель	0,15	11800	1770	13600
Инженер	0,12	62100	7500	69600
Итого $З_{осн}$, руб.		73900	9270	83200

6.5.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \times З_{полн},$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0{,}302 \times 83{,}2 = 25{,}1 \ тыс.\ руб.$$

6.5.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% от общих затрат технического проекта.

6.5.5 Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 25.

Таблица 25 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	1,6	1,2
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	83,2	63,6
3. Отчисления во внебюджетные фонды	25,1	19,2
4. Накладные расходы	20,1	16,0
5. Итого	130,0	100,0

В ходе сметы затрат на проектирование была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 101 раб. дней для инженера и 7 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 130,0 тыс.руб, из которых основная часть (~63 %) приходится на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

6.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), эффективности технического проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом [21]:

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i ,$$

где I_{pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности для *i*-го варианта исполнения разработки;

a_i - весовой коэффициент для *i*-го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p - балльная оценка *i*-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Безопасность нет необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала, так как управление и мониторинг за работой подъемного механизма осуществляется дистанционно.

Удобство в эксплуатации возможность диспетчеризации позволяет сократить количество осмотров системы за период эксплуатации.

Помехоустойчивость технического устройства (системы), способность устройства (системы) выполнять свои функции при наличии помех.

Энергосбережение применение в подъемных механизмов частотно-регулируемого электропривода дает возможность использовать плавный подъем груза.

Надежность отсутствие ударов при переключении на другие скорости подъема или спуска не изнашивается механизм;

Уровень шума – применение частотно-регулируемого электропривода значительно снижает уровень шума подъемного механизма;

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проводится в форме таблицы:

Таблица 26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Балльная оценка разработки
1. Безопасность	0,10	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5
3. Помехоустойчивость	0,10	5
4. Энергосбережение	0,25	5
5. Надежность	0,30	4
6. Уровень шума	0,10	4
ИТОГО	1,00	4,6

Рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности для первого исполнения (проектируемый двигатель):

$$I_{\text{р-исп1}} = 5 \times 0.1 + 5 \times 0.15 + 5 \times 0.1 + 5 \times 0.25 + 4 \times 0.3 + 4 \times 0.1 = 4.6$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале) 4,6 что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
З-5Г4Б2	Каримов Элмурод Эргашевич

Школа	Инженерная школа энергетиков	**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	Объектом исследования является регулируемый электропривод барабанных ножниц на пром. площадка ОАО «ЗСМК»
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ потенциально возможных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 2.2. Анализ возможных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	**Проанализировать потенциально возможно вредных факторов:** - Повышенный уровень шума на рабочем месте; - Неудовлетворительная освещенность рабочей зоны; - Повышенный уровень электромагнитных полей (ЭМП); – Повышенная вибрация **Проанализировать потенциально возможно опасных факторов:** – Механические травмы; – опасность поражения электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	- проанализировать воздействия объекта на гидросферу (выбросы теплоты в водоемы, изменение условий ледостава и зимнего гидрологического режима). - проанализировать воздействия на литосферу: образование отходов, связанных с заменой комплектующих разрабатываемого оборудования, образование золоотвалов.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - перечень возможных ЧС на объекте; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - план эвакуации при пожаре.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст.преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович	Ст.преподаватель		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4Б2	Каримов Элмурод Эргашевич		

7 Социальная ответственность

Введение

Исследуемый в проекте электропривод барабанных ножниц на базе реверсивного тиристорного преобразователя, предназначен для управления работой ножниц в процессе пореза раската на мерные длины. В приводе барабанных ножниц используются электроустановки как низкого напряжения (до 1000 В)так и высокого (выше 1000 В).

С целью поддержания системы регулирования в исправном и работоспособном состоянии на протяжении всего срока эксплуатации, предусмотрены следующие мероприятия:

- периодические осмотры устройства регулирования, оперативным персоналом один раз за смену;

- регулировочные мероприятия и осмотр устройства управления, оперативно-ремонтным персоналом еженедельно;

- техническое обслуживание два раза в год;

- текущий ремонт один раз в год.

Работы по обслуживанию и ремонту электропривода, проводимые оперативно-ремонтным и ремонтным персоналом, ведутся на технологическом оборудовании и вблизи него. Работы по обслуживанию и ремонту устройства управления, имеющего щитовое исполнение и находящегося в помещении операторной, ведутся при искусственном освещении.

Для оперативного проведения ремонта вышедшего из строя оборудования, в условиях непрерывного производства, обслуживающему персоналу необходимо иметь четкие знания и соблюдать правила безопасности согласно.

7.1 Анализ условий труда

Технология металлургического производства характеризуется быстрым протеканием процессов с использованием больших объемов сырья, топлива и энергии, что предъявляет высокие требования к обслуживающему персоналу.

Это обстоятельство вызывает необходимость максимальной механизации ручного труда и автоматизации технологических процессов.

Наличие высокотемпературных интенсивных технологических процессов, использование объемных агрегатов больших тепловых мощностей создают условия для сложной комбинированной характеристики производственной среды металлургического производства. Как известно, совокупность факторов производственной среды называется условиями труда.

По конечному результату воздействия на человека и механизму действия производственные факторы разделяют на опасные и вредные.

Пром.площадка ОАО «ЗСМК» расположена в болотистой местности по берегу реки Томь.

Источниками вредных выбросов в атмосферу (сажа, CO, SO_2, N_xO_y) в прокатном производстве являются дымовые трубы нагревательных печей и нагревательных колодцев. Наиболее эффективными приемами их снижения являются совершенствование конструкции печей и топливосжигающих устройств, приводящие к уменьшению удельного расхода топлива.

Применение аппаратурных методов очистки дымовых газов от вредных примесей в данном случае экономически не оправдано в связи с низкими их концентрациями в отходящих газах.

В прокатном производстве образуются также значительное количество твердых отходов в виде прокатной окалины. Крупная прокатная окалина достаточно легко обезвоживается в первичных отстойниках и полностью используется затем при агломерации в аглоцехе ОАО «ЗСМК».

Мелкая, замасленная прокатная окалина вместе со сточными водами поступает на очистку во вторичных отстойниках системы оборотного водоснабжения прокатных

цехов. Сточные воды очищаются от масел и мелкой окалины и используются в оборотном цикле.

Процесс получения готовой продукции в цехе связан с использованием большого количества горячего (до 1280 С) металла, с применением газа, сжатого воздуха, кислорода и т.д.

Возможны ожоги тела от соприкосновения с горячим металлом, оборудованием или инструментом, ранения отлетающей окалины, от падения транспортируемых и незакрепленных предметов.

Движущие и вращающиеся части механизмов, загроможденные проходы и другие могутбыть также причинами несчастного случая.

Все это вызывает необходимость применения предупреждающих мер, направленных на обеспечение безопасных условий труда.

Эти меры сводятся к использованию спецодежды и индивидуальных защитных средств, применение оградительных приспособлений (экранов, защитных щитов и т.д.), содержанию рабочих мест в чистоте и исправности, обучению всех трудящихся безопасным приемам работы и строгом соблюдении трудящимися правил техники безопасности и производственной санитарии.

Движущиеся и вращающиеся части механизмов стана должны быть закрыты ограждением с закрывающимися устройствами.

Обжимной цех ОАО «ЗСМК» относится к категории наиболее шумных цехов комбината. Основной источник шума - прокатный стан.

Анализируя данные показателей вредных факторов на основных рабочих местах обжимного цеха ОАО «ЗСМК» содержание пыли, содержание вредных химических веществ, тепловое облучение, относительная влажность, температура воздуха в пределах нормы.

7.2 Опасность поражения электрическим током

Для подготовки рабочего места при работах со снятием напряжения должны быть выполнены в указанной ниже последовательности следующие технические мероприятия:

- производство необходимых отключений и принятие мер, препятствующих подаче напряжения к месту работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной, аппаратуры;

- вывешивание плакатов «Не включать - работают люди!», «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 (непосредственно после проверки отсутствия напряжения), т.е. включение заземляющих ножей, или там, где они отсутствуют, наложение переносных заземлений;

- ограждение рабочего места и вывешивание предупреждающих плакатов.

Средство индивидуальный защита:

- диэлектрический перчатки;
- диэлектрический коврик;
- диэлектрический боты;
- диэлектрический галошы.

7.3 Производственная санитария

Основное оборудование расположено в помещении цеха, в котором не поддерживается постоянная температура и относительная влажность. К санитарно-бытовым помещениям относятся гардеробные с умывальниками и душевыми, сауна, оздоровительный комплекс, здравпункты по оказанию первой медицинской помощи

пострадавшим на производстве и заболевшим, а также для проведения лечебной и санитарно-профилактической работы.

Температура, влажность, скорость движения воздуха и содержание вредных веществ в воздухе санитарно-бытовых помещений нормируется в соответствии с.В производственных и подсобных помещениях должны быть приняты меры к максимальному использованию естественного освещения. Окна должны быть полностью остеклены и содержаться в чистоте.

Допустимые уровни звукового давления и уровни звука на постоянных рабочих местах приводятся в зависимости от частоты, характера шума и категории рабочего места (кабины наблюдений, помещения управления, постоянные рабочие места и т. д.). Ниже в таблице 27 приведем допустимые уровни шума для нашего случая.

Согласно предусмотрено несколько мероприятий для снижения шума до значений, не превышающих допустимые: технические средства борьбы с шумом (уменьшение шума машин в источнике, применение технологических процессов, при которых уровень звукового давления на рабочих местах не превышает допустимые, и др.); строительно-акустические; дистанционное управление шумными машинами; использование средств индивидуальной защиты; организационные (выбор рационального режима труда и отдыха, сокращение времени нахождения в шумных условиях, лечебно-профилактические и другие мероприятия).

Таблица 27 - Допустимые уровни шума на рабочем месте

Рабочее место	Уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука в эквиваленте
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятия	9	2	6	3	0	8	6	4	85

В процессе монтажа и эксплуатации оборудования особое внимание необходимо обратить на его балансировку, крепление и устройство фундаментов.

7.4 Экологическая безопасность

Планом структурной перестройки ОАО «ЗСМК» предусмотрена коренная реконструкция прокатного производства. Это обусловлено, с одной стороны, моральным и физическим износом, а с другой стороны - необходимостью ликвидации существующих диспропорций между сталеплавильным и прокатным комплексом ОАО «ЗСМК» и перехода на непрерывную разливку стали вместо существующей технологии разливки в изложницы.

Осуществление структурной перестройки на ОАО «ЗСМК» позволит существенно материалоемкость и энергоемкость конечного продукта, а также снизить количество вредных веществ в атмосферу в общей сложности на 200 - 230 тыс.т/год.

Микроклимат

Оптимальный микроклимат в помещении обеспечивает поддержание теплового равновесия между организмом и окружающей средой.

Для создания нормальных условий труда в производственных помещениях обеспечивают нормативные значения параметров микроклимата температуры воздуха, его относительной влажности и скорости движения, а также интенсивности теплового излучения

В ГОСТ 12.1.005-88 указаны оптимальные и допустимые показатели микроклимата в производственных помещениях.

ГОСТ 12.1.005-88 устанавливает предельно допустимые концентрации вредных веществ ПДК (мг/м3) в воздухе рабочей зоны производственных помещений и требования к метеорологическим условиям (микроклимат) в производственных условиях.

Таблица 28 - Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости воздуха в рабочей зоне производственных помещений.

Период года	Категория работы	Температура, С	Относительная влажность. %	Скорость движения воздуха, м/с не
Холодный	Лёгкая – 1б	20-22	60-30	<0,2
Теплый	Лёгкая – 1б	22-25	60-30	0,2-0,5

Таблица 29 - Допускаемая температура и относительная влажность воздуха в рабочей зоне производственных помещений.

Помещение	Температура, °С		Относительная влажность воздуха, %	
	в холодный период года	в тёплый период года	в холодный период года	в тёплый период года
Панели павного щита управления	18-23	Не выше 25	60-30	70-30

7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

Пожарная безопасность

Помещение, где расположен обжимной цех, по взрывопожарнойопасности относится по ПУЭ к категории В-1б (Находятся в помещениях, где при соблюдении нормального режима работы горючие газы (при любом нижнем концентрационном пределе воспламенения) или пары ЛВЖ, взаимодействуя с воздухом, не образовывают взрывоопасные смеси, если нет неисправностей и аварий).

По способности конструкций сопротивляться воздействию пожара, т.е. сохранять эксплуатационные функции в течение определенного времени соответствует второй степени огнестойкости.

Помещение снабжено поперечными и продольными противопожарными преградами препятствующими распространению огня.

Причинами распространения пожара являются:

- нарушение противопожарного режима при ведении ремонтных работ;
- применения масел и жиров, умеющих самовозгораться;
- избыточное количество в воздухе водорода и аммиака;
- возникновение токов короткого замыкания.

Помещение оснащено согласно:

- сетью противопожарного водопровода, укомплектованного рукавами и стволами, пожарный рукав присоединен к крану и стволу.
- в качестве передвижных средств тушения имеются углекислотные огнетушители емкостью не менее 40 л (ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8), огнетушители:
- имеются ящики с песком объемом по 0,5-3 м каждый, ломы, багры и лопаты с деревянными ручками, топоры и ведра (4 шт.). В случае необходимости число перечисленных средств может быть увеличено.
- помещение оснащено пожарной сигнализацией, на территории завода находится военизированная пожарная часть.

Для обеспечения безопасности ремонтных работ и предотвращения пожара в электроустановках необходимо надежное отключение электропитания. При остановке на ремонт оборудования с вращающимися и движущимися частями производится двойное отключение.

При выполнении огневых работ необходимо принять меры к недопущению случаев пыле- и газовыделения или разлива горючих жидкостей.

Эвакуация людей в случае пожара производится через запасные выходы (рисунок 28).

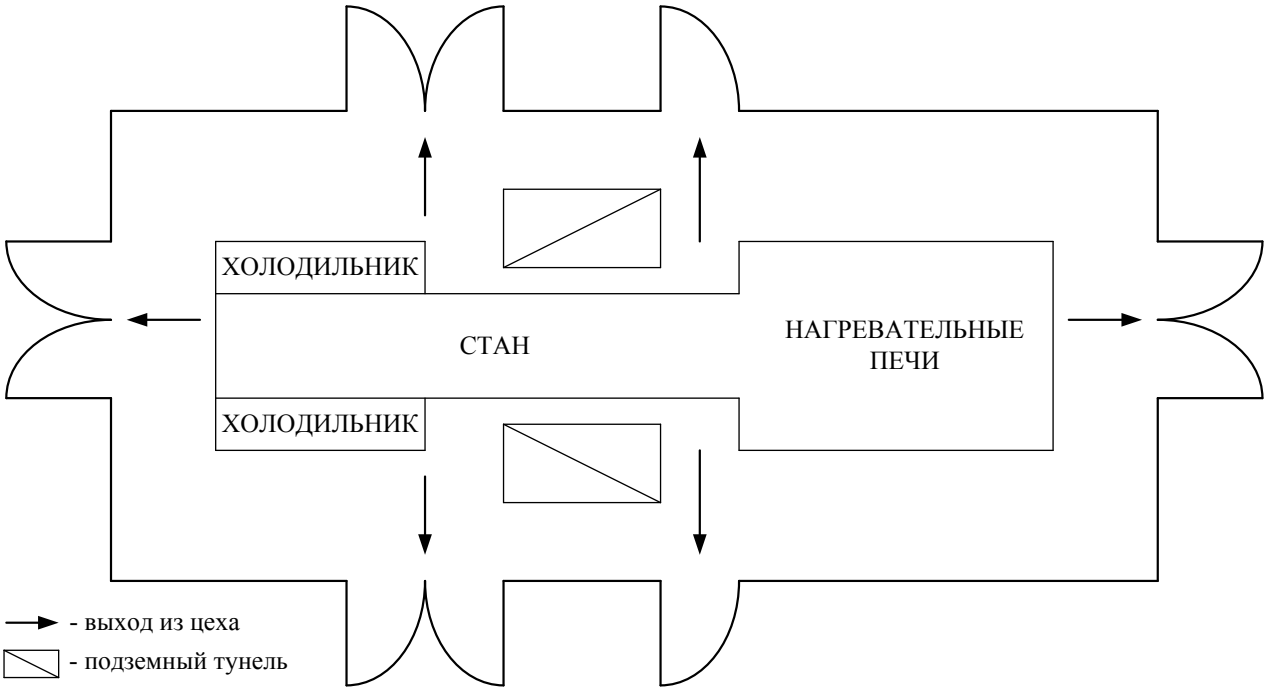


Рисунок 28 – План эвакуации

Мероприятия по ликвидации чрезвычайной ситуации в обжимном цехе ОАО «ЗСМК»

Прокатное производство характеризуется наличием широко развитой сети кабельного хозяйства, в котором, как правило, все кабели горючие. С кабелями непосредственно связано большое количество различного электротехнического оборудования. На основании этого наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией в условиях сортопрокатного цеха ОАО"ЗСМК" является - пожар, вследствие короткого замыкания в подвале электромагнитных помещений.

Коротким замыканием называется такой аварийный режим в сетях и устройствах, при котором происходит соединение разноименных проводов, находящихся под напряжением, через весьма малое сопротивление, не предусмотренное режимом работы цеха, аппарата. Короткое замыкание сопровождается большим тепловыделением, образованием в зоне замыкания дуги с разбрызгиванием металла.

Мероприятия по ликвидации пожара:

При возникновении малейшего возгорания, в первую очередь вызвать пожарную охрану по телефону или приведением в действие извещателя

электрической пожарной сигнализации. При вызове пожарной помощи по телефону надо четко указать название цеха, его номер. Вызвавший пожарную часть должен направиться к ближайшему выходу, чтобы встретить прибывшее подразделение.

Одновременно с вызовом пожарной помощи необходимо организовать тушение пожара с помощью имеющихся в цехе средств. Если пожар угрожает людям, прежде всего надо оказать им помощь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был рассмотрен технологический процесс пореза раската на мерные длины, так же ряд сложностей возникающих в процессе работы и вызывающих отклонение технологических параметров от заданных, что приводит к образованию остатков, отходов металла в следствии несогласованности скорости ножниц и головной части раската.

В настоящее время на ОАО «ЗСМК» управление барабанными ножницами осуществляется программируемым контроллером «AllenBradlei», связанным с системой раскрой фирмы «Simens». Но так, как отечественные электропривода и аппаратура более доступны, то в данной работе подобран комплектный унифицированный электропривод отечественного производства с системой согласования скоростей на основе сельсинного командоаппарата.

Проведенные исследования при помощи математического моделирования на ЭВМ, показывают, что разработанный электропривод отвечает необходимым технологическим требованиям.

В работе представлена математическая модель технологического процесса работы барабанных ножниц, состоящая из пуска двигателя и двух последующих резов металла, происходящих на каждый оборот несущих барабанов.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

В работе рассмотрены вопросы охраны труда и промышленной безопасности. Рассчитаны технико-экономические показатели монтажно-наладочных работ.

The concluding

In the given activity was reviewed a manufacturing process of cutting the rolled metal on the measured lengths, also number (series) of complexities arising during activity and deflective technological parameters from given, that results in forming remains of metal on account of non-coordination speeds of shears and the heard of rolled metal.

Now on joint-stock company «ZAPSIB», the shears is controlled by the programming controller «Allen Bradley», which is connecting with system of cutting the rolled metal of «Siemens». But, as domestic electric drive and instrumentations are more accessible, in the given activity the complete unified electric drive of domestic production was selected with system of coordination of speeds on the base of selsins control.

The conducted researches through mathematical modeling on IBM, demonstrate, that the designed electric drive responds the indispensable technological requirements.

Also in activity was reviewed the mathematical model of a manufacturing process of operating conditions the drum-shears, which include the start of electric drive and by turn two cuts of rolled metal on every turn of carrying drums.

In activity the safety issues of activity and environmental protection were reviewed. The technical and economic parameters of starting-up and adjustment works are counted.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Удут Л.С., Мальцева О.П., Коянин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока: Учебное пособие.- Томск: изд. ТПИ им. С.М.Кирова, 1991.-104 с.

2. Удут Л.С., Мальцева О.П., Коянин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1 - Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2 - Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие.- Томск: изд. ТПУ, 2000.- 144 с.

3. Удут Л.С., Коянин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 4 - Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие.-Томск: изд. ТПУ, 2002.- 150 с.

4. Коянин Н.В.,Удут Л.С., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5 - Применение программы DORA-FUZZY в расчетах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие.- Томск: изд. ТПУ, 2001.-155 с.

5. Справочник по электрическим машинам: В 2 т./ Под общ. Ред. И.П. Копылова и Б.К.Клокова. Т.1 - М.: Энергоатомиздат, 1988 - 456 с.

6. Дружинин Н.Н.Электрооборудование прокатных цехов. М.: изд. НТИ литературы по черной и цветной металлургии, 1956.- 455 с.

7. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. М.: «Высшая школа», 1977 - 390 с.

8. Гарнов В.К., Рабинович В.Б., Вишневецкий Л.М. Унифицированные системы автоуправления электроприводом в металлургии. М.: изд. «Металлургия», 1971 - 214 с.

9. Шипило В.П. Автоматизированный вентильный электропривод. М.: изд. «Энергия», 1969- 230 с.

10. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник под ред. В.М. Перельмутера. М.: Энергоатомиздат, 1988 - 319 с.

11. Справочник по автоматизированному электропривода. Под ред В.А.Елисеева и А.В.Шинянского - М:Энергоатомиздат, 1983 - 616 с.

12. Справочные данные по электрооборудованию. Т.1 Электрические машины общего применения- М: Энергия, 1964 - 325 с.

13. Хорьков К. А, Хорьков А.К. Электромеханические системы. Элементы канала управления ч. 1: изд ТПУ 1999 г, 340 с, ч. 2 : изд. ТПУ 2001 г,400с.

14. Типовое положение о ТОиР электрооборудования предприятий системы министерства черной металлургии СССР. Харьков, 1988.

15. Бенгольский БЛ.Экономика, организация и планирование производства на предприятиях черной металлургии — М.: Металлургия, 1982. 16.Метц А.Ф. Экономика, организация и управление производством на предприятиях черной металлургии М: Металлургия, 1981.

17. Степанов И.Г. Организация производства на предприятиях черной металлургии.-М. Металлургия, 1992.-144с.

18. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

19. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.

20. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.

21. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.

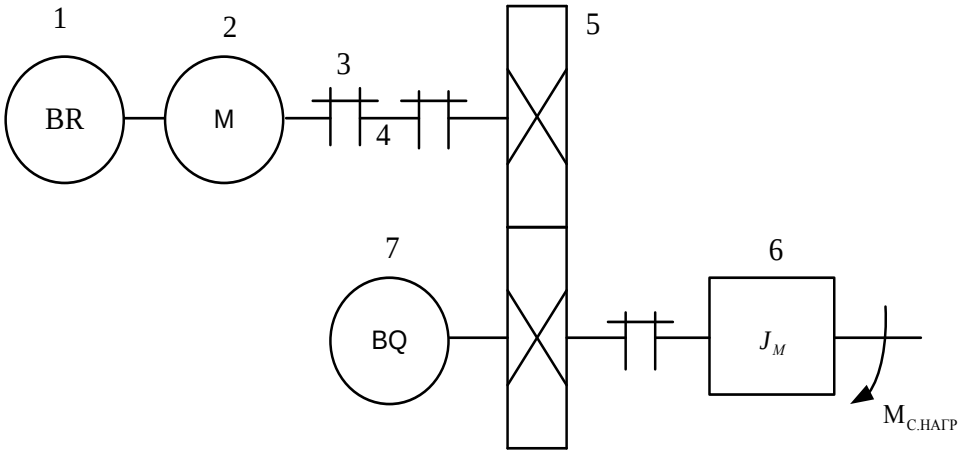
22. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-воэкон. РФ,М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.:Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.

23. ГОСТ 12.1.033-91.-ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.М.: Издательство стандартов, 1962.-7с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

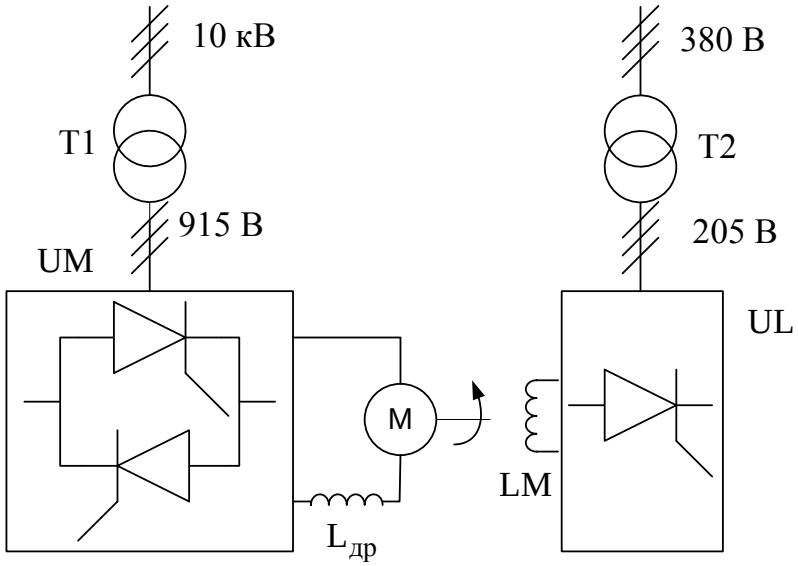
Графический материал

Кинематическая схема барабанных ножниц «150 т»



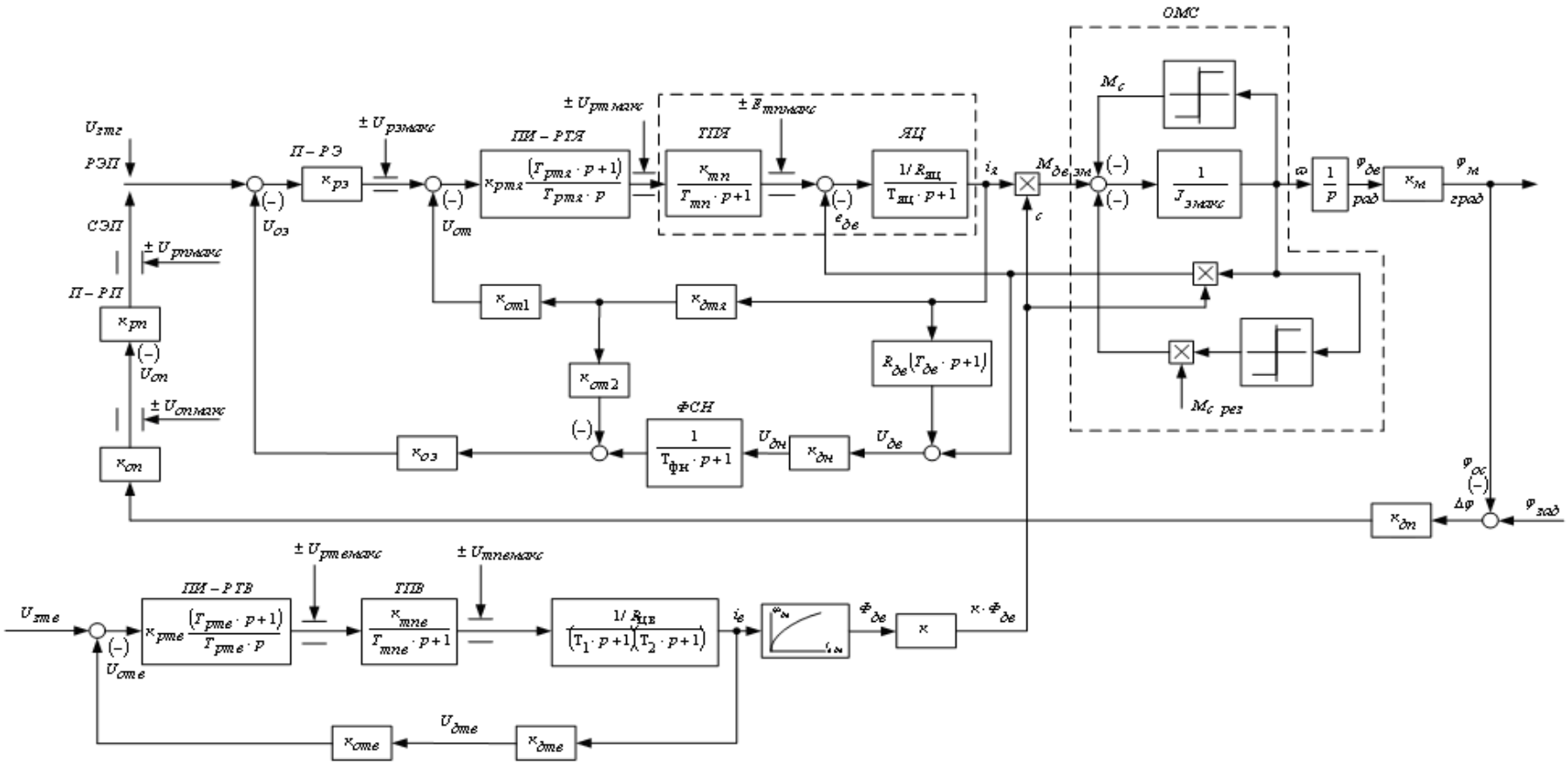
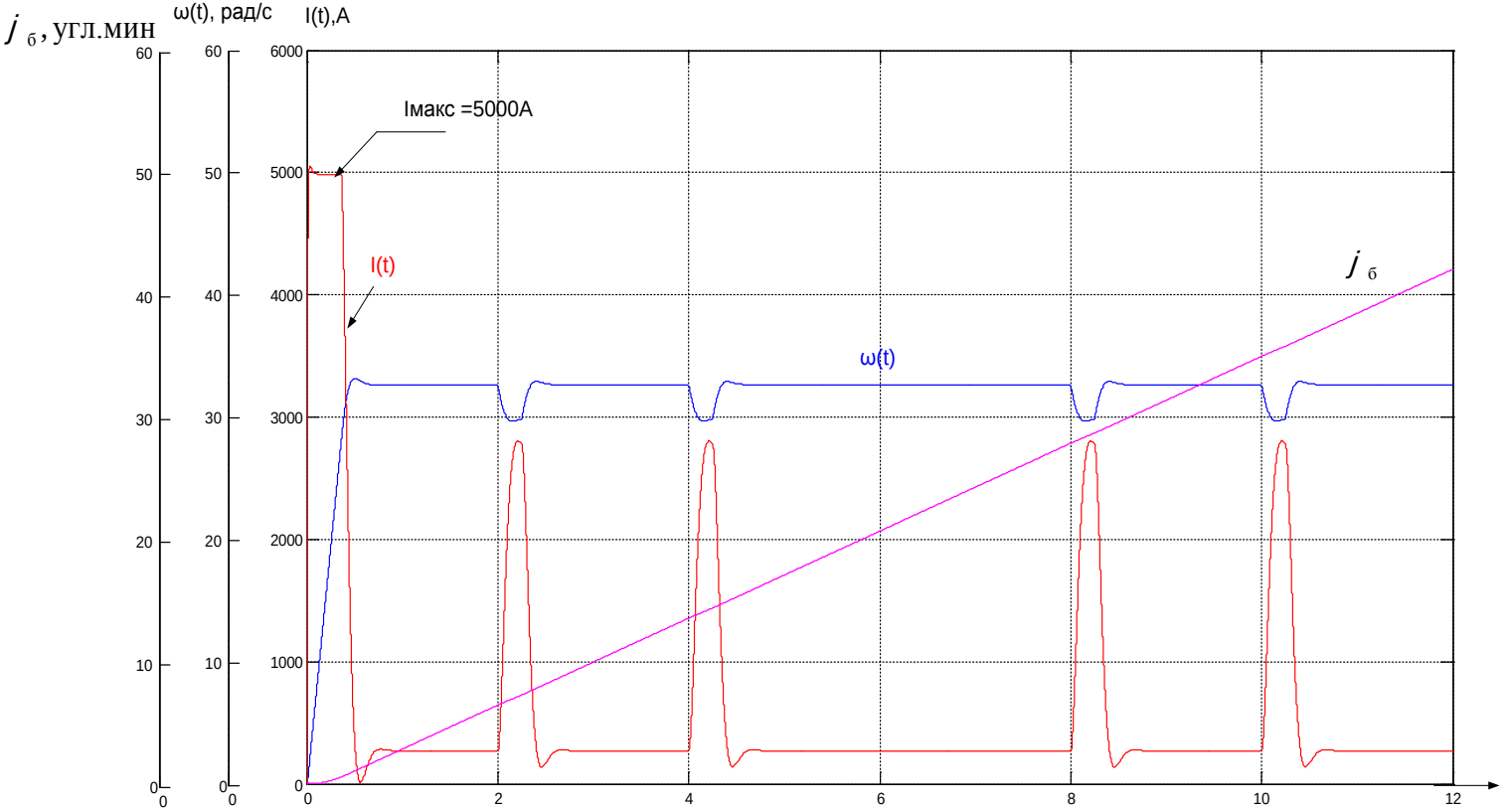
- 1 - BR - тахогенератор;
- 2 - M - двигатель;
- 3 - муфта;
- 4 - вал;
- 5 - редуктор;
- 6 - механизм;
- 7 - BQ - датчик положения

Схема силовой цепи системы ТП-Д.



- Т- силовой трансформатор,
- UM - тиристорный преобразователь якоря;
- М - электрическая машина;
- LM - обмотка возбуждения электрической машины;
- UL – выпрямитель возбуждения

Структурная схема САУ электропривода барабанных ножниц



Технологический процесс работы электропривода барабанных ножниц