

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана

УДК 62-83:621.771.22

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Дусмухамедов Ислон Исмаилович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю	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
Ассистент	Сотникова А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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 <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> 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 <i>электроэнергетики и электротехники</i>
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 <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> 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 <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

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
3-5Г4А2	Дусмухамедову Ислому Исмаиловичу

Тема работы:

Электропривод маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
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; расчет статических и динамических характеристик, принципиальная электрическая

	схема, защита и сигнализация социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	- схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная; -схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна
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:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю	К.Т.Н.		05.04.2019г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Дусмухамедов Ислон Исмаилович		05.04.2019г.

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 Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврской работы

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

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 ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Произвести проверочный расчет электропривода маятниковых ножниц удовлетворяющего следующим заданным условиям и требованиям:

1. Напряжение питающей сети переменного трехфазного тока $U_c = 10 \text{ кВ}$ с частотой $f_c = 50 \text{ Гц}$;
2. Отклонение напряжения питающей сети от номинального значения $\pm 10 \%$;
3. Нагрузка реактивная;
4. Режим работы – кратковременный;
5. Диапазон регулирования не менее 5;
6. Управление электроприводом - ручное с поста оператора и с местного пульта, установленного рядом с ножницами;
7. Работа электропривода должны осуществляться в режиме стабилизации скорости (РЭП), а торможение в режиме слежения (СЭП) - для точной остановки;
8. Рез металла должен осуществляться в пределах располагаемого угла положения маятника, и на время цикла угол поворота эксцентрикового вала не должен превышать 360° ;
9. РЭП должен обеспечить поддержание заданной частоты вращения с погрешностью не более 5% на верхней скорости;
10. Время отработки цикла с металлом не более 2 с ;
11. Время возврата ножей маятниковых ножниц в исходное состояние в следящем режиме не более 0.5 с ;
12. Максимальное напряжение управления $U_y = \pm 10 \text{ В}$;
13. Электродвигатель должен иметь большую перегрузочную способность, обеспечивающая работу привода при кратковременных нагрузках;
14. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания;

15. Выбранный электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, влажности и запыленности и иметь закрытое исполнение;

16. Выбранный преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45° С и относительной влажностью не более 80%.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 121 страницы текста, 30 рисунка, 26 таблицу, 1 приложение, 31 использованных источников.

ЭЛЕКТРОПРИВОД, МАЯТНИКОВЫЕ НОЖНИЦЫ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ОПТИМИЗАЦИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Цель работы - разработка и исследование электропривода маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана обжимного цеха ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

В проектно-пояснительной части описан технологический процесс участка непрерывно-заготовочного стана, где установлены маятниковые ножницы, технологический процесс самих ножниц, приведена кинематическая схема, а также обоснование выбора и описание функциональной схемы.

Построены электромеханические характеристики электропривода, определена область существования характеристик, рассчитаны переходные процессы в нелинейной САУ с дискретным преобразователем.

Содержание

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ.....	6
РЕФЕРАТ	8
Введение.....	11
1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ	14
1.1 Технологический процесс участка	14
1.2 Кинематическая схема маятниковых ножниц.....	15
1.3 Оценка и анализ вариантов исполнения электропривода.....	17
1.4 Обоснование функциональной схемы привода. Выбор основных элементов	20
2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	24
2.1 Выбор электродвигателя	24
2.2 Элементы силового оборудования маятниковых ножниц	30
2.2.1 Выбор тиристорного преобразователя цепи якоря.....	31
2.2.2 Расчет параметров якорной цепи	35
2.2.3 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик ЭП	36
2.2.4 Выбор тиристорного преобразователя цепи возбуждения	39
2.2.5 Расчет параметров цепи возбуждения двигателя	41
2.3 Расчет электромеханических характеристик реверсивного тиристорного преобразователя.....	43
2.4 Структурная схема силового канала САУ.....	46
2.5 Синтез линеаризованной структуры САУ.....	49
2.5.1 Линеаризованная структура САУ маятниковых ножниц	50
2.5.2 Оптимизация контура тока.....	52
2.5.3 Оптимизация контура ЭДС	55
2.5.4 Оптимизация контура положения	61
2.5.5 Настройка контура тока возбуждения двигателя САУ	64
2.6 Переходные процессы в нелинейной САУ.....	67
ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	78
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	79
3.1. SWOT-анализ работы электропривода маятниковых ножниц непрерывного заточного стана.....	79
3.2. Организация работ технического проекта.....	82
3.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования.....	82
3.2.2. Определение трудоемкости выполнения ТП	84
3.2.3. Разработка графика проведения технического проекта.....	86
3.3. Составление сметы затрат на разработку ТП.....	88
3.3.1. Расчет материальных затрат	88
3.3.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы.....	89
3.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	90
3.3.4. Накладные расходы.....	90

3.3.5. Формирование сметы затрат технического проекта	91
3.4.Определение ресурсоэффективности проекта	91
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	94
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	95
4.1 Правовые и организационные вопросы	95
4.2 Производственная безопасность	97
4.3 Анализ выявленных опасных факторов	101
4.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	102
4.5 Экологическая безопасность	103
4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	107
THE CONCLUSION	109
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	110
ПРИЛОЖЕНИЕ А	113

Введение

Черная металлургия является одной из важнейших отраслей промышленности. Высокая механическая прочность и стойкость черных металлов, легкость их обработки сравнительно с другими металлами, простота получения и большие природные запасы железной руды обусловили самое широкое применение стали и чугуна, как основных исходных материалов в машиностроении, станкостроении, электропромышленности, судостроении и других отраслях промышленности, а также в сельском хозяйстве, строительстве, транспорте и в быту. Из чугуна литья и стали изготавливают станки, производственные и сельскохозяйственные машины, метизы (болты, гайки, гвозди, тросы) и другие изделия. Широко применяется профильная сталь, получаемая путем прокатки.

Прокатка является основным видом обработки металлов давлением. Около 75% стали выплавляемой на металлургических заводах, обрабатываются на прокатных станах и выпускается в виде готового проката: листов, сортовых профилей, труб и т.п. (остальная часть 25% предназначена для производства стальных фасонных отливок и кузнечных слитков).

Из всех реверсивных станов горячей прокатки в нашей стране наибольшее значение в прокатном производстве имеют обжимные станы (блюминги).

Блюминг -(англ. blooming)-мощный прокатный стан, предназначенный для обжатия тяжелых стальных слитков в квадратные заготовки(блумы). Используется также для прокатки прямоугольной плоской заготовки, идущей на производство листовой стали - слябов.

Современный прокатный стан характеризуется высоким уровнем производительности, механизацией трудоемких работ и автоматизацией основных технологических процессов. Рост производительности прокатных станов и вспомогательных механизмов, повышение качества продукции, достижение высоких скоростей прокатки и интенсификация обжатия стали возможны в результате развития и широкого внедрения в прокатное

производство современных систем электропривода и автоматики. Современные прокатные станы и механизмы представляют пример тесной взаимосвязи элементов конструкций, технологического процесса и автоматизированного электропривода. В настоящее время основным средством для приведения в движение рабочего органа машины и управления ее технологическим процессом, является электромеханическое устройство, называемое электроприводом. Ни одно из металлургических предприятий не может обойтись без современных электроприводов, неразрывно связанных с повышением эффективности технологических процессов.

Большой диапазон регулирования скорости, высокая скорость позиционирования - вот чем характеризуется современный промышленный электропривод. Поэтому к нему предъявляются очень высокие требования по надежности и производительности. Многообразие технологических требований к характеру и качеству механического движения с одной стороны обеспечило прогресс в области развития теории и практики электропривода, а с другой стороны - разнообразие систем электропривода: от массового, для объектов с относительно простыми движениями, до специальных объектов со сложными и точными движениями.

Вданном дипломном проекте представлен расчет электропривода маятниковых ножниц непрерывно – заготовочного стана обжимного цеха Западно-Сибирского металлургического комбината.

Идея создания второго крупного завода рядом с Кузнецким металлургическим комбинатом возникла еще в годы первых пятилеток, но только в 1950 году появилась возможность вернуться к вопросу о строительстве завода. В 1957 году правительством было утверждено проектное задание на строительство Западно-Сибирского металлургического завода.

В 1963 году первый объект строящегося гиганта - коксовая батарея вступила в строй действующих, а в 1964 году был получен первый чугун.

В последующие годы на ЗСМК был построен ряд крупных объектов, поэтому, учитывая сложную структуру и комбинированный характер производства, приказом Министерства черной металлургии СССР от 30 июня

1983 года завод реорганизован в Западно-Сибирский металлургический комбинат.

Все цеха комбината можно сгруппировать по основным производствам:

- коксохимическое производство;
- агломерационно-известковое производство;
- доменное производство;
- сталеплавильное производство;
- сталеπροкатное производство;
- ремонтная база комбината;
- транспорт.

Целью выпускной квалификационной работы является расчет электропривода маятниковых ножниц непрерывно – заготовочного стана обжимного цеха Западно-Сибирского металлургического комбината.

1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1.1 Технологический процесс участка

Непрерывно-заготовочный стан 850/730/580 служит для прокатки, без дополнительного прогрева блюмов с размерами сечений $350 \times 350 \div 370 \times 370$ мм, в заготовки размерами сечений 120×200 ; 150×200 ; 150×150 мм на I-ой группе клетей и размерами сечений 125×125 ; 100×100 ; 80×80 мм на II-ой группе клетей. Прокат производится следующих марок стали: углеродистых (кипящих, полуспокойных, спокойных) обыкновенного качества по ГОСТ 380-71, стали горячекатаной для армирования железобетонных конструкций по ГОСТ 5781-82, стали углеродистой качественной конструкционной по ГОСТ 1050-74 и ГОСТ 10702-78, стали легированной конструкционной по ГОСТ 4543-75 и ГОСТ 10702-78, стали низколегированной по ГОСТ 19282-73, стали углеродистой и низколегированной конструкционной для мостостроения по ГОСТ 6713-75, низкоуглеродистой по ГОСТ 2246-70, катанки стальной канатной по ГОСТ 1437-78.

В I-ой группе после прокатки в клетки «А» и «1», раскат кантуется на 90 град. кантователем и проходит последовательно клетки «В», «2», «3», «4», «5», «6» (клетки «3» и «5» – вертикальные, остальные горизонтальные). Полученный раскат сечением 150×150 мм, 150×200 мм, 165×200 мм шлепперным устройством подается на обводную линию и транспортируется рольгангами номер 5, 6, 7 и 8 к летучим ножницам «400тн» для порезки на заготовки длиной 4-12 м при скорости движения раската 2,3-2,5 м/сек и обрезки переднего и заднего концов раската длиной 150-300 мм.

После I-ой (черновой) группы клетей, заготовки, предназначенные для дальнейшего переката на квадрат 80×80 мм или 100×100 мм, транспортируются по рольгангу ко II-ой группе клетей: «С», «D», «7», «8», «9», «10», перед которой, в случае необходимости, происходит обрезка концов на маятниковых ножницах.

После прокатки раскат разрезается барабанными ножницами «150тн» на заготовки длиной 10500 – 11800 мм, которые клеймятся в торец клеймовочным устройством, собираются в пакеты на пакетирующем рольганге II-ой группы с

косорасположенными роликами и транспортируются по рольгангам на холодильники склада.

1.2 Кинематическая схема маятниковых ножниц

Маятниковые ножницы предназначены для зачистки головной и донной части раската на ходу или с остановкой, а также для аварийного отрезания части раската на ходу при нарушении технологического режима в чистовой группе клетей.

Привод маятниковых ножниц – редукторный однодвигательный. Кинематическая схема ножниц приведена на рисунке 1.

Конструктивно маятниковые ножницы представляют собой маятник, свободно подвешенный вместе с шатуном на эксцентриковом валу. Ножи установлены в одной плоскости на маятнике и шатуне.

В исходном положении маятник отклонен от вертикальной оси в сторону, противоположную движению проката на угол 11 град.37 мин.

При порезке проката на ходу ножи закусывают металл и, совершая рез, движутся вместе с металлом. Максимальный угол отклонения маятника от исходного положения составляет 24 град. 49 мин.

Конструкция ножниц предъявляет высокие требования к быстродействию привода. Он должен обеспечить быстрый разгон, высокую установившуюся скорость и интенсивное торможение.

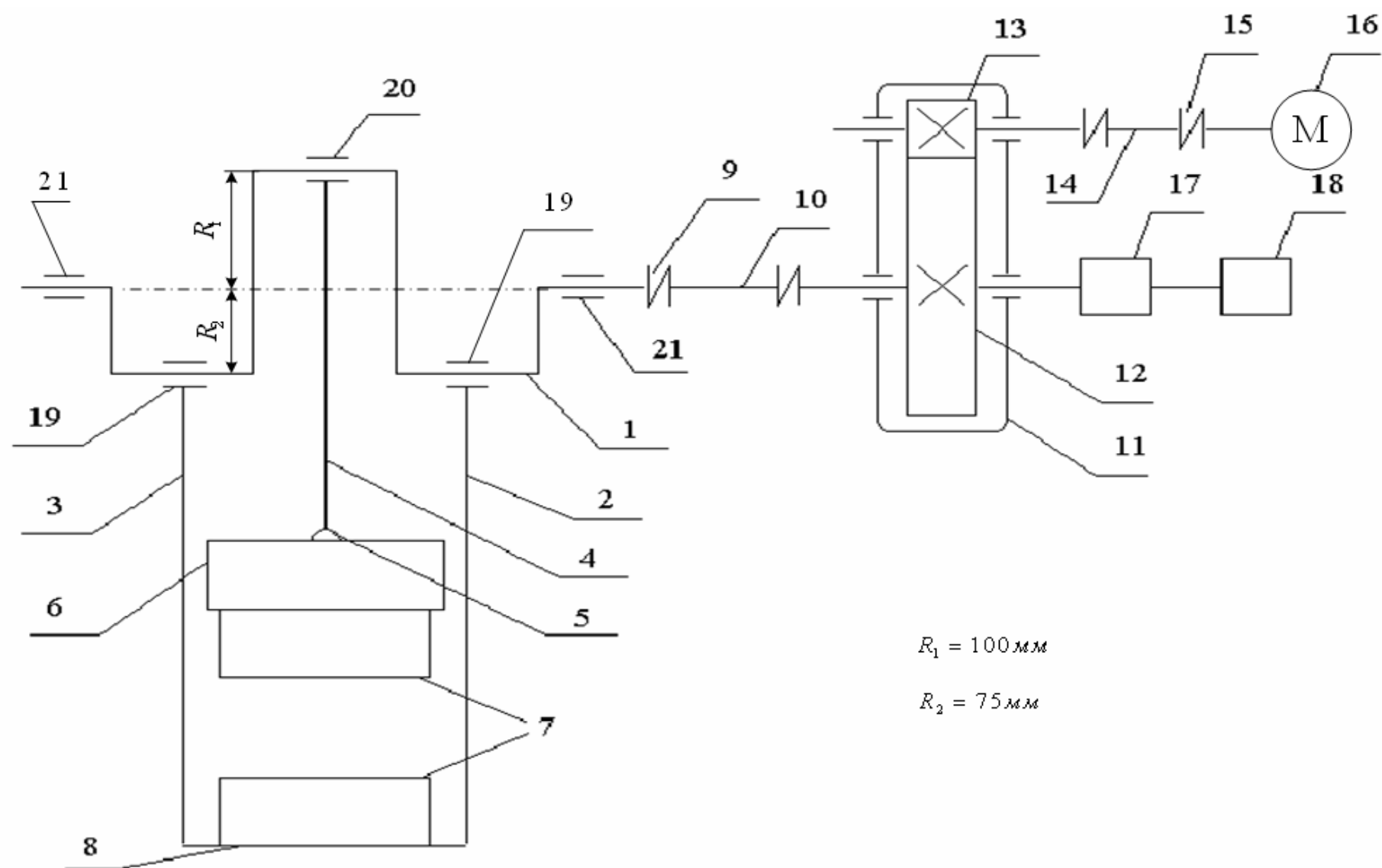


Рисунок 1-Кинематическая схема маятниковых ножниц

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:

- 1 – вал;
- 2 – боковина левая;
- 3 – боковина правая;
- 4 – шатун;
- 5 – ось;
- 6 – верхний суппорт;
- 7 – нож;
- 8 – нижний суппорт;
- 9, 15 – муфта зубчатая МЗ-16;
- 10 – вал промежуточный;
- 11 – редуктор $i = 3.18$;
- 12 – вал шестерня $z=140$;
- 13 – колесо зубчатое $z = 44$;
- 14 – вал промежуточный;
- 16 – электродвигатель;
- 17 – командоаппарат;
- 18 – сельсин;
- 19,20,21 – подшипники.

1.3 Оценка и анализ вариантов исполнения электропривода

Выбор рода тока и типа электропривода производится с учетом целого ряда условий, предъявленных к режиму работы и управлению исполнительным механизмом.

Для электропривода маятниковых ножниц наиболее рационально использовать систему питания на постоянном токе. Электропривод постоянного тока применяется в агрегатах и установках, где требуется широкий диапазон регулирования, высокая точность и быстродействие. Электропривод переменного тока не может удовлетворить требованиям, предъявляемым к механизму.

Двигатель постоянного тока обладает следующими преимуществами:

- более высокая перегрузочная способность, достигающая $2,5 \div 4$ кратной величины (у асинхронных двигателей она не превышает $2 \div 2,5$ кратной величины);
- меньший момент инерции;
- мягкая механическая характеристика, которая дает более короткое время разгона механизма и двигатель легче переносит толчки нагрузки;
- электрическое торможение двигателей постоянного тока осуществляется проще и дает лучшие результаты, чем торможение асинхронного двигателя;
- допускает регулирование скорости в широких пределах;
- аппаратура управления на постоянном токе проще и надежнее в действии, чем аппаратура управления на переменном токе.

Для выбора системы электропривода проведём сравнительный анализ систем, использующихся для питания двигателя постоянного тока. Для питания электродвигателя в регулируемом электроприводе постоянного тока, в настоящее время, могут применяться следующие системы преобразовательных устройств:

- генератор – двигатель;
- транзисторный преобразователь – двигатель;
- тиристорный преобразователь – двигатель;

Кратко рассмотрим их достоинства и недостатки и выберем наиболее приемлемый управляемый выпрямитель.

Основными достоинствами системы генератор – двигатель (Г—Д) являются большой диапазон и плавность регулирования скорость двигателя, высокая жесткость и линейность характеристик, возможность получения всех энергетических режимов работы, в том числе и рекуперативного торможения, возможно большая установленная мощность электрических машин. В тоже время для нее характерны такие недостатки, как утроенная установленная мощность системы, более низкий КПД, инерционность процесса регулирования

скорости, большие габариты и шум при работе. Кроме того, эта система требует большого количества коммутационной аппаратуры.

Применение системы транзисторный преобразователь – двигатель ограничено мощностью элементной базы (транзисторов). Появившиеся новые поколения транзисторов IGBT и MOSFET принципиально позволяют создать электропривод большой мощности, однако в настоящее время в России они серийно не выпускаются.

К достоинствам системы тиристорный преобразователь – двигатель (ТП-Д) относятся: плавность и значительный диапазон регулирования скорости (более 10 в замкнутых ЭП), большая жесткость получаемых характеристик, высокий КПД преобразователя (до 0,98%), меньшая мощность установленного оборудования, отсутствие подвижных частей, меньшие габариты, бесшумность в работе, высокий уровень автоматизации, простота в обслуживании и эксплуатации, большой срок службы. При этом этой системе присущи и недостатки: преобразователь обладает односторонней проводимостью и для получения характеристик в четырех квадрантах необходимо использовать двухкомплектный преобразователь; напряжение на якоре и ток имеют пульсирующий характер, что ухудшает условия работы двигателя и требует применения сглаживающих реакторов или более сложных многофазных схем выпрямления; работа УВ характеризуется режимом прерывистого тока, при котором резко падает жесткость характеристик привода и они становятся нелинейными; тиристорные преобразователи обладают малой перегрузочной способностью по току и напряжению.

Несмотря на отмеченные недостатки, система ТП – Д является высокоэффективным регулируемым ЭП постоянного тока и широко применяется для привода таких ответственных рабочих машин, как прокатные станы, металлорежущие станки и др.

Сопоставив возможные варианты реализации системы «преобразователь – двигатель», их достоинств и недостатков, приходим к выводу о необходимости применения в качестве электропривода маятниковых ножниц тиристорного электропривода постоянного тока.

В нашем случае в качестве электропривода маятниковых ножниц применен комплектный тиристорный электропривод постоянного тока серии КТЭ.

1.4 Обоснование функциональной схемы привода. Выбор основных элементов

Наибольшее применение в металлургической промышленности в настоящее время находит автоматизированный электропривод постоянного тока с замкнутой системой регулирования.

На рисунке 2 представлена функциональная схема автоматизированного тиристорного реверсивного электропривода постоянного тока маятниковых ножниц. Рассмотрим основные элементы схемы и их назначения.

Электродвигатель М независимого возбуждения получает питание от реверсивного тиристорного преобразователя ТПЯ, который питается от трехфазной сети через масляный выключатель ВМ и трансформатор Т1.

Силовой тиристорный блок преобразователя выполнен с отдельным управлением двумя группами вентилей, включенных по мостовой схеме выпрямления.

Сглаживающий дроссель L, включенный в якорную цепь позволяет ограничить величину переменных составляющих и, тем самым, улучшить использование двигателя, его коммутацию и электромеханические характеристики. Выключатель В защищает двигатель М от токов короткого замыкания и недопустимой перегрузки.

Система автоматическая регулирования (САР) представляет собой двухконтурную систему подчиненного регулирования скорости с отрицательными обратными связями по ЭДС и току двигателя. Для обеспечения точности останова ножниц при угле поворота эксцентрикового вала 290 градусов от путевого выключателя, установленного на валу механизма, отключается сигнал задания скорости и включается обратная связь по положению. Сигналом задания скорости в этом режиме, является сигнал

регулятора положения. В качестве датчика положения используется сельсин. Ножницы остановятся при повороте вала механизма на 360 градусов.

Сигнал задания скорости, который формируется в начале каждого реза, имеет форму скачка. Для ограничения ускорения привода на входе регулятора ЭДС РЭ установлен задатчик интенсивности ЗИ, который формирует линейноизмеряющийся сигнал задания скорости.

В качестве датчика тока якоря ДТЯ используются трансформаторы тока, которые установлены во вторичной цепи питающего трансформатора.

По этой причине датчик тока является нереверсивным, что требует применения знакопереключающих устройств в контуре тока реверсивного электропривода.

При раздельном управлении группы вентиля работают раздельно, поэтому для их переключения необходимо логическое переключающее устройство ЛПУ и датчик нулевого тока ДНТ.

Сигналы задания скорости, обратной связи по току и заданного значения производной по скорости (dn/dt -ускорение) поступает на вход устройства ССТ - формирователя сигнала стоянки. При наличии любого из перечисленных выше сигналов управления, превышающих пороговое значение на входе ССТ появляется положительное напряжение, которое поступает на управление ключами, установленных в цепи регулирования уровня ограничения ССТ или блокировки, а также для блокировки РТ. То есть на ССТ устанавливается необходимый уровень ограничения

Обмотка возбуждения двигателя получает питание от своего тиристорного преобразователя, предназначенного для стабилизации номинального тока возбуждения. Система регулирования представляет собой одноконтурную систему регулирования тока возбуждения.

На функциональной схеме приняты следующие обозначения:

ВК1 - ВК4 – бесконтактный ключ;

ПУ1 – ПУ3 – промежуточный усилитель;

ЗИ – задатчик интенсивности скорости;

РЭ – регулятор ЭДС.;

РП – регулятор положения;
ФВУ – фазовый выпрямитель–усилитель;
РГ1, РГ2 – гальваническая развязка;
ДЭ - датчик ЭДС;
РТЯ – регулятор тока якоря;
РСУ – реверсор сигнала управления;
СУ – согласующее устройство;
СИФУ – система импульсно – фазового управления;
ЛПУ – логическое переключающее устройство;
ДТЯ – датчик тока якоря;
ДНТ – датчик нулевого тока;
ЗПТя – защита от превышения тока якоря;
УБЛ – усилитель блока логики;
ФТЯ – формирователь тока якоря;
Т1 – силовой трансформатор преобразователя якоря;
ТТЯ – трансформатор тока якоря;
ТПЯ – тиристорный преобразователь цепи якоря;
В – выключатель автоматический цепи якоря;
М – двигатель;
СД – сельсин-датчик;
ЛМ – обмотка возбуждения двигателя;
ТПВ – тиристорный преобразователь обмотки возбуждения;
ТТВ – трансформатор тока обмотки возбуждения;
ДТВ – датчик тока возбуждения;
ЗТВ – защита от превышения тока возбуждения;
РТВ – регулятор тока возбуждения.

2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Выбор электродвигателя

Проверку и расчет электродвигателя по мощности, скорости и техническим условиям произведем по методике, изложенной в [3].

Основные технические параметры механизма:

1	Разрезаемый металл – углеродистая и низколегированная сталь:	
	– предел прочности в холодном состоянии	100.8 кг/мм ²
	– предел текучести в холодном состоянии	58.5 кг/мм ²
2	Температура разрезаемого металла	1050°С
3	Усилие резания, максимальное	200 тонн
4	Ход верхнего ножа	200 мм
5	Ход нижнего ножа	150 мм
6	Наибольшее раскрытие ножей	340 мм
7	Перекрытие ножей	10 мм
8	Длина ножей	400 мм
9	Максимальная скорость раската	2.6 м/с
10	Скорость механизма	6.58 рад/с
11	Передаточное число редуктора	3.18
12	Момент инерции механизма, приведенный к валу двигателя	$J_{\text{мех}} = 22.5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Рассмотрим подробнее кинематику маятниковых ножниц (рисунок 1).

Приводной вал 10 ножниц имеет три эксцентрика (в виде шеек коленчатого вала). Два крайних эксцентрика относительно оси приводного вала имеют эксцентриситет 75 мм, на этих эксцентриках свободно на подшипниках подвешены два суппорта, жестко соединенные внизу поперечной траверсой таким образом, что эти два суппорта представляют собой один маятник, свободно подвешенный на два боковых эксцентрика. На нижней траверсе маятника закреплен нижний нож. Средний эксцентрик относительно оси приводного вала имеет эксцентриситет 100 мм, на этом эксцентрике подвешен

шатун 4, шарнирно соединенный с верхним суппортом, последний может перемещаться только по боковым направляющим нижнего суппорта.

Так как два крайних эксцентрика смещены на 180 град. по отношению к среднему, то при повороте приводного вала на 180 град. Верхний суппорт пойдет вниз и нож опустится на 200 мм, а нижний суппорт будет перемещаться вверх и его нож поднимется на 150 мм из крайнего нижнего положения. При таком встречном движении ножей произойдет резание заготовки, находящейся между ними. Таким образом, ход ножей будет равен 350 мм, а так как после резания предусмотрено перекрытие ножей, равное 10 мм, то раскрытие ножей в исходном положении будет 340 мм. Поскольку заготовка движется по рольгангу непрерывно, то при захвате металла ножами, маятник, свободно подвешенный на боковых эксцентриках, будет отклоняться движущейся заготовкой вправо, вместе с ним будет отклоняться вправо и верхний суппорт. Для облегчения и ускорения возврата маятника в исходное положение предусмотрено специальное гидравлическое устройство.

Для предварительного выбора приводного электродвигателя ножниц определим максимальный момент реза, приведенный к валу двигателя, при усилии 200 т.

$$M_{\text{дв. макс. расч.}} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot g \cdot R_1 + 200 \cdot 10^3 \cdot g \cdot R_2}{i_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{пер}}} =$$

$$= \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,1 + 200 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,075}{3,18 \cdot 0,9} = 119968,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $\eta_{\text{пер}} = 0,9$ — к.п.д. механизма ножниц.

Расчетная скорость электродвигателя

$$\omega_{\text{дв. расч}} = \omega_{\text{мех}} \cdot i = 6.58 \cdot 3.18 = 20.924 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

где $i = 3.18$ — передаточное число редуктора, или

$$n_{\text{дв. расч}} = \frac{\omega_{\text{дв. расч}} \cdot 30}{\pi} = \frac{20.924 \cdot 30}{\pi} = 199.81 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

По найденным расчетным значениям максимального момента и скорости предварительно выбираем двигатель постоянного тока типа П2-800-177-8У4

спараметрами: мощность 1120 кВт, номинальная скорость 200 об/мин., перегрузка по току рабочая $\lambda = 2.25$.

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{1120000}{20.9} = 53588 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

где $\omega_{\text{ном}} = \pi \cdot 200 / 30 = 20,9 \text{ рад/с}$.

Максимальный момент двигателя

$$M_{\text{макс}} = \lambda \cdot M_{\text{ном}} = 2,25 \cdot 53588 = 120573 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

что обеспечивает условие $M_{\text{макс}} > M_{\text{дв.макс.расч.}}$.

Проверим двигатель в режиме реза заданных сечений раската

Максимальное усилие резания заготовки $165 \times 200 \text{ мм}$ [2]

$$\begin{aligned} F_{\text{макс}} &= K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \delta_b \cdot F = \\ &= 0.7 \cdot 1.2 \cdot 1.25 \cdot 60 \cdot 14850 = 935550 \text{ кН}, \end{aligned}$$

где $K_1 = \frac{\tau_{\text{макс}}}{\delta_g} = 0.6 \div 0.7$ - коэффициент, равный отношению максимального сопротивления срезу к пределу прочности;

$K_2 = 1.1 \div 1.2$ - коэффициент, учитывающий увеличение усилия резания при затуплении ножей в процессе длительной работы ножниц;

$K_3 = 1.15 \div 1.25$ то же, при увеличении бокового зазора между ножами;

$\delta_b = 60 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ - предел прочности металла при $t = 1100-1200^\circ\text{C}$;

$S = d \cdot h \cdot (1 - \epsilon_b) = 165 \cdot 200 \cdot (1 - 0.55) = 14850 \text{ мм}^2$ - сечение металла

($\epsilon_b = 0.55$ - относительного коэффициент вмятия).

Максимальный момент резания

$$M_{\text{рез}} = F_{\text{макс}} \cdot (R_1 + R_2) = 935550 \cdot (0,1 + 0,075) = 163721,25 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальная мощность в момент реза

$$P_{\text{макс}} = M_{\text{рез}} \cdot \omega_{\text{мех}} = 163721,25 \cdot 6.58 = 1077285,825 \text{ Вт},$$

где $\omega_{\text{мех}} = 6.58 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ - скорость механизма.

Максимальная мощность двигателя в момент реза

$$P_{\text{дв.расч}} = \frac{P_{\text{макс}}}{\eta} = \frac{1077285,825}{0.9} = 1196984,25 \text{ Вт},$$

где $\eta = 0.9$ – КПД механизма.

Максимальный момент резания, приведенный к валу двигателя

$$M_{\text{рез.пр}} = \frac{M_{\text{рез}}}{i \cdot \eta} = \frac{163721,25}{3.18 \cdot 0.9} = 57205,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Коэффициент перегрузки двигателя по моменту в момент реза

$$k_{M_{\text{расч}}} = \frac{M_{\text{рез.пр.}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{57205,2}{53588} = 1,0675$$

Двигатель при резе раската с максимальным сечением 165×200 мм не перегружен.

Проверку двигателя на нагрев не проводим, так как время одного реза мало.

Окончательно выбираем двигатель типа П2-800-177-8У4. Паспортные и расчетные данные на двигатель приведены в таблице 1.

Таблица 1- Параметры электродвигателя типа П2-800-177-8У4

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3	4
Паспортные параметры двигателя			
Номинальная мощность	P_n	кВт	1120
Номинальная скорость	n_n	об/мин	200
Максимальная скорость	n_{max}	об/мин	400
Номинальное напряжение	U_n	В	700

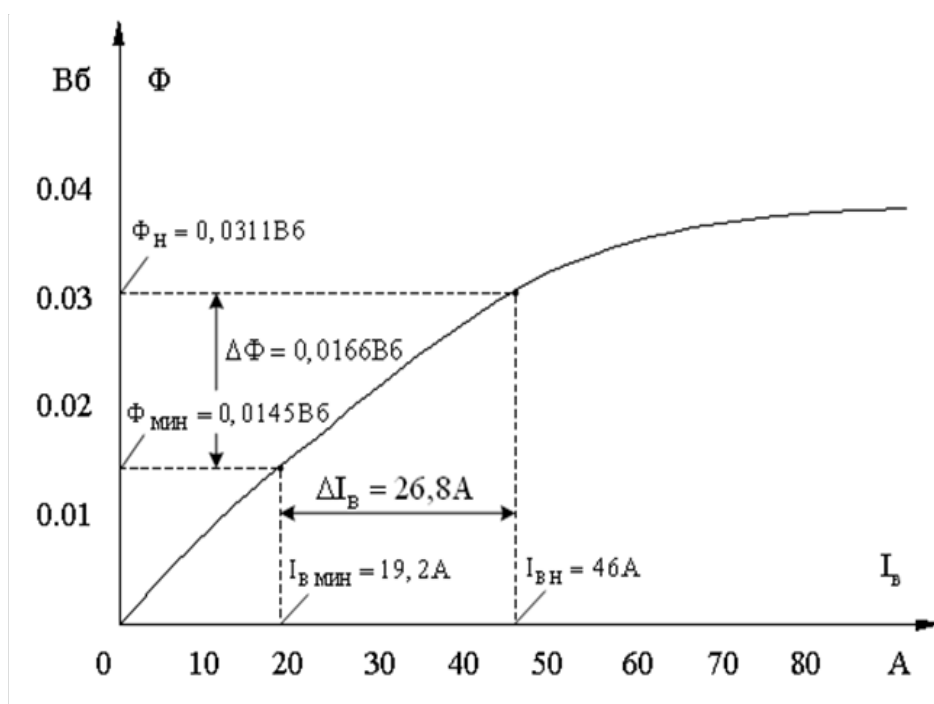
Продолжение таблицы 1

	2	3	4
Номинальный ток	I_H	А	1725
Число параллельных ветвей обмоток якоря	$2a$	-	6
Число полюсов	$2p$	-	6
Сопротивление обмотки якоря	$R_{\text{я}}$	Ом	0.01175
Сопротивление компенсационной обмотки	$R_{\text{ко}}$	Ом	0.00514
Сопротивление дополнительных полюсов	$R_{\text{дп}}$	Ом	0.00219
Ном. ток возбуждения	$I_{\text{вн}}$	А	46
Сопротивление обмотки возбуждения	$R_{\text{ов}}$	Ом	2.56
Число витков обмотки возбуждения	$W_{\text{в}}$	—	315
Перегрузка по току рабочая	λ	--	2.25
Поток одного полюса	Φ_H	Вб	0.0311
Момент инерции	$J_{\text{дв}}$	кг·м ²	750
Расчетные параметры двигателя			
Сопротивление якорной цепи двигателя	$R_{\text{дв}} = R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{ко}}$	Ом	0.01908
Температурный коэффициент	$b = 1 + 0.004 \cdot \Delta t$	--	1.38

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Сопротивление якорной цепи двигателя при рабочей температуре	$R_{\text{дв.гор}} = 1.38 \cdot R_{\text{дв}}$	Ом	0.0263
Угловая скорость двигателя номинальная	$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ном}}}{30}$	$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	20.9
Индуктивность цепи якоря двигателя, где $\gamma = 0.3 \div 0.4$ – для двигателей с компенсационной обмоткой, принимаем $\gamma = 0.3$.	$L_{\text{дв}} = \gamma \cdot \frac{U_{\text{дв.н}}}{p \cdot I_{\text{дв.н}} \cdot \omega_{\text{дв.н}}}$	мГн	0.647
Коэффициент ЭДС двигателя, при $\Delta U_{\text{щ}} = 2 \text{ В}$	$C = \frac{U_{\text{дв.н}} - I_{\text{дв.н}} \cdot R_{\text{дв.гор}}}{\omega_{\text{дв.н}}}$	$\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$	31.4
Максимальный ток	$I_{\text{дв.макс}} = 2.25 \cdot I_{\text{н}}$	А	3880
Сопротивление обмотки возбуждения при рабочей температуре	$R_{\text{в}} = 1.38 \cdot R_{\text{ов}}$	Ом	3.53
Напряжение возбуждения двигателя, В	$U_{\text{в}} = R_{\text{в}} \cdot I_{\text{вн}}$	В	162.38
Индуктивности пот. возбужд., где $\Delta \Phi = 0.0166 \text{ Вб}$ и $\Delta I_{\text{в}} = 26.8 \text{ А}$ – рисунок 3.	$L_{\text{в}} = 2p \cdot W_{\text{в}} \cdot \frac{\Delta \Phi_{\text{н}}}{\Delta I_{\text{вн}}}$	Гн	1.17
Индуктивности потока рассеивания	$L_{\text{с}} = 2p \cdot W_{\text{в}} \cdot \frac{\Phi_{\text{н}}}{I_{\text{в.н}}} \cdot \frac{(\sigma - 1)}{\Gamma_{\text{н}}}$	Гн	0.23

Кривая намагничивания двигателя приведена на рисунке 3.



$I_{\text{в}}, \text{A}$	0	10	19,2	25	35	46	70
$\Phi, \text{Bб}$	0	0,009	0,0145	0,019	0,025	0,0311	0,035

Рисунок 3 – Кривая намагничивания двигателя

2.2 Элементы силового оборудования маятниковых ножниц

Питание якорной цепи двигателя П2-800 реализуется от реверсивного тиристорного преобразователя типа КТЭ. В тиристорном преобразователе применяется трехфазная мостовая схема выпрямления с отдельным управлением тиристорными группами «ВПЕРЕД» и «НАЗАД». Питание обмотки возбуждения двигателя осуществляется от нереверсивного тиристорного преобразователя типа КТЭ, собранного по трехфазной мостовой схеме выпрямления. Подключение тиристорного преобразователя обмотки возбуждения к силовой сети 380 В, 50 Гц осуществляется через трансформатор и автоматический выключатель, входящий в состав КТЭ.

На рисунке 4 приведена упрощённая принципиальная электрическая схема силовой электрической цепи электропривода ножниц.

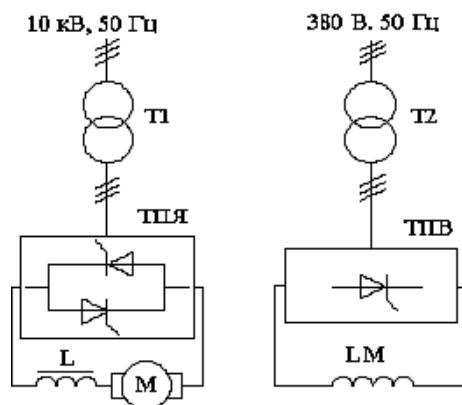


Рисунок 4 - Схема электрическая принципиальная упрощённая

На рисунке 4 приняты следующие обозначения:

- T1 – силовой трансформатор якорной цепи;
- T2 – силовой трансформатор цепи возбуждения;
- ТПЯ – тиристорный преобразователь якорной цепи;
- ТПВ – тиристорный преобразователь цепи возбуждения;
- M – двигатель постоянного тока;
- LM – обмотка возбуждения;
- L – сглаживающий реактор.

2.2.1 Выбор тиристорного преобразователя цепи якоря

Выбираем комплектный электропривод серии КТЭ по следующим параметрам [9]:

- номинальное выпрямленное напряжение должно быть не менее номинального напряжения двигателя

$$U_{дн} \geq U_{дв.н};$$

- номинальный ток преобразователя должен быть равен или больше номинального тока двигателя

$$I_{дн} \geq I_{дв.н}.$$

Поскольку коэффициенты перегрузки по току преобразователя КТЭ ($\lambda_{тп} = 2.25$) и двигателя равны, выбираем комплектный электропривод типа КТЭ-

1600/930Е-100-04-00000-УХЛ4: реверсивный, с отдельным управлением группами клапанов, с естественным охлаждением [9].

Преобразователь имеет следующие технические данные:

- номинальное выпрямленное напряжение преобразователя

$$U_{\text{дн.}} = 930 \text{ В};$$

- номинальный выпрямленный ток

$$I_{\text{дн.}} = 1600 \text{ А};$$

- максимальное значение тока преобразователя длительностью 10 с

$$I_{\text{д.макс}} = 2.25 \cdot I_{\text{дн}} = 3600 \text{ А};$$

- управление преобразователем отдельное;
- схема выпрямления 6-ти импульсная Ларионова.

Для питания силовой цепи реверсивного тиристорного преобразователя, выполненного по трехфазной мостовой встречно-параллельной схеме выпрямления выбираем преобразовательный согласующий трансформатор в соответствии с параметрами тиристорного преобразователя [8].

Для электропривода ножниц применен сухой силовой трансформатор типа ТСЗП-1000/10-УЗ (трехфазный, естественное воздушное охлаждение, защищенное исполнение, для питания тиристорных преобразователей, выполненных по мостовой схеме выпрямления).

Справочные параметры трансформатора приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры трансформатора ТСЗП-1000/10УЗ

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3	4
Мощность	P_1	КВА	938
Первичное напряжение	U_1	В	I – 6000 II – 10000
Вторичное напряжение	$U_{2л}$	В	718
Выпрямленное напряжение	$U_{\text{дн}}$	В	825

Продолжение таблицы 2

	2	3	4
Ном. ток вторичной обмотки	I_2	A	755
Выпрямленный ток	$I_{дн}$	A	930
Напряжение короткого замыкания	$U_{кз}$	%	6
Группа соединений	--	-	$\Delta/Y - 6$
Потери короткого замыкания	$P_{кз}$	Вт	15400

Расчетные параметры трансформатора.

Индуктивное сопротивление трансформатора

$$Z_{тр.ф} = \frac{U_{кз} \% \cdot U_{2ф}}{100 \cdot I_{2фн}} = \frac{6 \cdot 718 / \sqrt{3}}{100 \cdot 755} = 0.0329 \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$R_{тр.ф} = \frac{P_{кз}}{m_2 \cdot I_{2фн}^2} = \frac{15400}{3 \cdot 755^2} = 0.009 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление трансформатора

$$X_{тр.ф} = \sqrt{Z_{тр.ф}^2 - R_{тр.ф}^2} = \sqrt{0.0329^2 - 0.009^2} = 0.0316 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки фазы трансформатора

$$L_{тр.ф} = \frac{X_{тр.ф}}{\omega_c} = \frac{0.0316}{314} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}.$$

Выбор сглаживающего реактора.

При питании от ТП по двигателю помимо постоянной составляющей тока протекают переменные составляющие, величина которых зависит от угла управления и параметров нагрузки. Это приводит к повышению нагрева двигателя, ухудшению условий коммутации и снижению жесткости механических характеристик в связи с расширением зоны прерывистых токов.

Включение сглаживающего реактора в якорную цепь позволяет ограничить величину переменных составляющих и, тем самым, улучшить использование двигателя, его коммутацию и электромеханические характеристики.

Индуктивность сглаживающего дросселя выбирается из условия уменьшения зоны прерывистого тока при раздельном управлении преобразователем до уровня минимального значения тока нагрузки $0,1 \cdot I_{дв.н}$ и ограничения пульсаций тока двигателя до допустимых значений $P(1)\% = 2 \div 7$.

Номинальный ток реактора выбирается из условия

$$I_{др.н} \geq \frac{\lambda_{дв} \cdot I_{дв}}{2 \cdot \lambda_{др}} = \frac{2.25 \cdot 1725}{2 \cdot 2.0} = 970 \text{ А.}$$

Индуктивность якорной цепи из условия ограничения зоны прерывистых токов на уровне $0,1 \cdot I_{дв.н}$

$$L_{кн1} = \frac{1}{\omega_c} \cdot k_{ср.макс} \cdot \frac{E_{d0}}{I_{d.ср}} = \frac{1}{314} \cdot 0.093 \cdot \frac{970}{172.5} = 0.0016 \text{ Гн,}$$

где при $\alpha = 90^\circ$ $k_{ср.макс} = \left(1 - \frac{\pi}{m_s} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi}{m_s}\right) \cdot \sin \alpha = \left(1 - \frac{\pi}{6} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi}{6}\right) \cdot \sin 90^\circ = 0.093$;

$$I_{d.ср} < 0,1 \cdot I_{дв.н} = 0,1 \cdot 1725 = 172.5 \text{ А}$$

Тогда индуктивность дросселя

$$L_{др1} = L_{кн1} - L_{тп} - L_{дв} = 0.0016 - 1 \cdot 10^{-3} - 0.000647 = 0.000047 \text{ Гн.}$$

Индуктивность якорной цепи из условия ограничения пульсаций тока на уровне 2%

$$L_{кн2} = \frac{E_{d(1)} \cdot 100}{m_b \cdot \omega_c \cdot P(1)\% \cdot I_{дн}} = \frac{235.8 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 3 \cdot 1725} = 0.024 \text{ Гн,}$$

где $E_{d(1)} = \frac{E_{d0}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2 \cdot m_s}{(m_s^2 - 1)} = \frac{970}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2 \cdot 6}{(6^2 - 1)} = 235.8 \text{ В.}$

Тогда индуктивность дросселя

$$L_{др2} = L_{кн2} - L_{тп} - L_{дв} = 0.0024 - 0.001 - 0.000647 = 0.00077 \text{ Гн.}$$

На основании расчетных параметров выбираем реактор серии ТРОС, предназначенный для работы в цепях выпрямленного тока напряжением до 1050

В. Индуктивность реакторов этой серии сохраняется при любом токе. Параметры сглаживающего реактора представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Параметры реактора типа ТРОС-1600УХЛ4

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
Номинальный ток	$I_{p.n}$	А	2500
Индуктивность	L_p	мГн	0.8
Потери в дросселе	ΔP_p	Вт	13600

Расчетные параметры сглаживающего реактора

Активное сопротивление обмотки реактора

$$R_p = \frac{\Delta P_p}{I_{p.n}^2} = \frac{13600}{2500^2} = 0,002128 \text{ Ом.}$$

2.2.2 Расчет параметров якорной цепи

Сопротивление силовой цепи преобразователя

$$R_{\text{ти}} = 2 \cdot R_{\text{тр.ф}} + R_k = 2 \cdot 0.009 + 0.03 = 0.048 \text{ Ом,}$$

где

$$R_k = \frac{m_b \cdot X_{\text{тр.ф}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0.0316}{2 \cdot \pi} = 0.03 \text{ Ом}$$

– сопротивление, вносимое за счет коммутации анодных токов.

Индуктивность силовой цепи преобразователя

$$L_{\text{ти}} = 2 \cdot L_{\text{тр.ф}} + L_p = 2 \cdot 0.1 \cdot 10^{-3} + 0.8 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Определим сопротивление силовой цепи двигателя

$$\begin{aligned} R_{\text{ц.дв}} &= R_{\text{дв.гор}} + R_p + 0.1 \cdot R_{\text{дв.гор}} = \\ &= 0.0263 + 0.002128 + 0.1 \cdot 0.0263 = 0.031 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Активное сопротивление якорной цепи

$$R_{яц} = R_{тп} + R_{ц,дв} = 0.048 + 0.031 = 0.079 \text{ Ом}.$$

Расчетное значение индуктивности силовой цепи

$$L_{яц} = L_{дв} + L_{тп} = 0.000647 + 0.001 = 0.001647 \text{ Гн}.$$

Электромагнитная постоянная времени силовой цепи

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{0.001647}{0.079} = 0.02085 \text{ с}.$$

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя

$$K_{тп} = K_{yo} \cdot \frac{\pi \cdot E d_0}{2 \cdot U_{o.п.макс}} = 0.475 \cdot \frac{\pi \cdot 970}{10} = 144.75,$$

где $K_{yo}=0.475$ — коэффициент передачи согласующего устройства на входе СИФУ.

Постоянная времени тиристорного преобразователя

$$T_{тп} = \frac{0.5}{m_B \cdot t_c} = \frac{0.5}{6 \cdot 50} = 1.667 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

2.2.3 Проверка обеспечения заданной области существования электрохимических характеристик ЭП

Заданная область существования электрохимических характеристик ЭП (замкнутой системы), ограниченная значением $\omega_{эп.макс}$ и $I_{эп.макс} \leq I_{дв.макс}$, принимаем $I_{эп.макс} = 3600 \text{ А}$, должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой системы преобразователь — двигатель. Выполнение этого условия требует значительного запаса по напряжению и мощности преобразователя и силового трансформатора. Поэтому такой подход может быть рекомендован только при проектировании ЭП, от которых требуется реализация предельных динамических возможностей исполнительных двигателей. В остальных случаях возможно без значительного снижения быстродействия облегчить требования к запасу по напряжению и мощности. Однако и в этом случае должны быть выполнены следующие

условия: при пониженном напряжении сети и работе преобразователя в выпрямительном режиме с минимальным углом управления электрохимическая характеристика разомкнутой системы должна быть расположена выше точки с координатами $\omega = \omega_{ном}$ и $I = I_{ном}$, а при реверсировании ЭП, должно обеспечиваться безопасное инвертирование при допустимом токе двигателя.

На рис.5 приведена заданная область существования электрохимических характеристик ЭП, ограниченная значениями $\omega_{эп.макс.} = 20.9$ рад/с и $I_{эп.макс} = 3600$ А.

Определим предельные углы управления преобразователя.

Минимальный угол управления при $I_{дв.н}$

$$\alpha_{мин} \leq \arccos \frac{c \cdot \omega_{дв.н} + I_{дв.н} \cdot R_{яц}}{K_{ос} \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{31.4 \cdot 20.9 + 1725 \cdot 0.079}{0.9 \cdot 970} = 26^\circ,$$

где $K_{ос} = 0.9$ – коэффициент, учитывающий снижение напряжения сети,

$$E_{d0} = U_{2ф} / K_{u2л} = \frac{718}{0.74} = 970 \text{ В} - \text{средневыпрямленная ЭДС преобразователя}$$

при $\alpha = 0^\circ$.

Принимаем $\alpha_{мин} = 25^\circ$.

Максимальный угол управления при $I_{макс}$

$$\alpha_{макс} = \arccos \left(\frac{2 \cdot R_{мт} \cdot I_{макс}}{K_{ос} \cdot E_{d0}} - \cos \delta \right) = \arccos \left(\frac{2 \cdot 0.048 \cdot 3600}{0.9 \cdot 970} - \cos 5^\circ \right) = 140^\circ,$$

где $\delta = \delta_1 + \delta_2 = 1.8 + 3 = 4.8^\circ$;

$$\delta_1 = \frac{180 \cdot \omega_c \cdot t_B}{\pi} = \frac{180 \cdot 314 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{\pi} = 1.8^\circ - \text{угол, соответствующий}$$

времени восстановления тиристорov;

$\delta_2 = 3^\circ$ - предельно допустимое значение асимметрии импульсов управления.

Принимаем $\delta = 5^\circ$.

Рассчитаем и построим электрохимические характеристики привода при минимальном угле управления преобразователем (характеристики I на рисунке 5)

$$\omega_{\text{об}} = \frac{1}{c} \cdot (K_{oc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{яц} \cdot I_{\text{эл.макс}}) = \frac{1}{31.4} \cdot (0.9 \cdot 970 \cdot \cos 25^\circ - 0.079 \cdot I_{\text{эл.макс}}) .$$

Результаты расчета сведены в таблицу 4.

Рассчитаем и построим характеристику предельно безопасного инвертирования при работе токопроводящей группы в режиме инвертирования (характеристика II)

$$\begin{aligned} \omega_{\text{об}} &= \frac{1}{c} \cdot [K_{oc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \delta + (R_{\text{мн}} - R_{ц.об}) \cdot I_{\text{эл.макс}}] = \\ &= \frac{1}{31.4} \cdot [0.9 \cdot 970 \cdot \cos 5^\circ + (0.048 - 0.031) \cdot I_{\text{эл.макс}}] , \end{aligned}$$

где $I_{\text{эл.макс}} \leq 0$.

Результаты расчета сведены в таблицу 4. По данным таблицы построим характеристики (рисунок 5), из которых видно, что разомкнутая система обеспечивает требуемую область работы привода.

Рассчитаем и построим электромеханические характеристики разомкнутой системы электропривода при работе преобразователя в инверторном режиме при максимальном угле (характеристики III)

$$\begin{aligned} \omega_{\text{макс}} &= \frac{1}{c} \cdot (-K_c \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{макс}} - R_{яц} \cdot I_{\text{эл.макс}}) = \\ &= \frac{1}{31.4} \cdot (-0.9 \cdot 970 \cdot \cos 140^\circ - 0.079 \cdot I_{\text{эл.макс}}) , \end{aligned}$$

где $I_{\text{эл.макс}} \leq 0$.

Результаты расчета сведены в таблицу 4. По характеристикам рисунка 5 видно, что разомкнутая система электропривода обеспечивает заданную область работы.

Таблица 4 – Данные расчета электромеханических характеристик

Характеристики	I		II		III	
$I_{дв}, A$	0	3600	0	-3600	0	-3600
$\omega_{дв}, рад/с,$ при $K_{oc} = 0.9$	25	16	27.7	30	21.3	30
$\omega_{дв}, рад/с,$ при $K_{oc} = 1.0$	27.7	18.7	30.7	32.7	24.6	32.7

Максимальное значение ЭДС тиристорного преобразователя при угле $\alpha = 25^\circ$

$$E_{тп.макс} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{мин} = 970 \cdot \cos 25^\circ = 879 \text{ В}$$

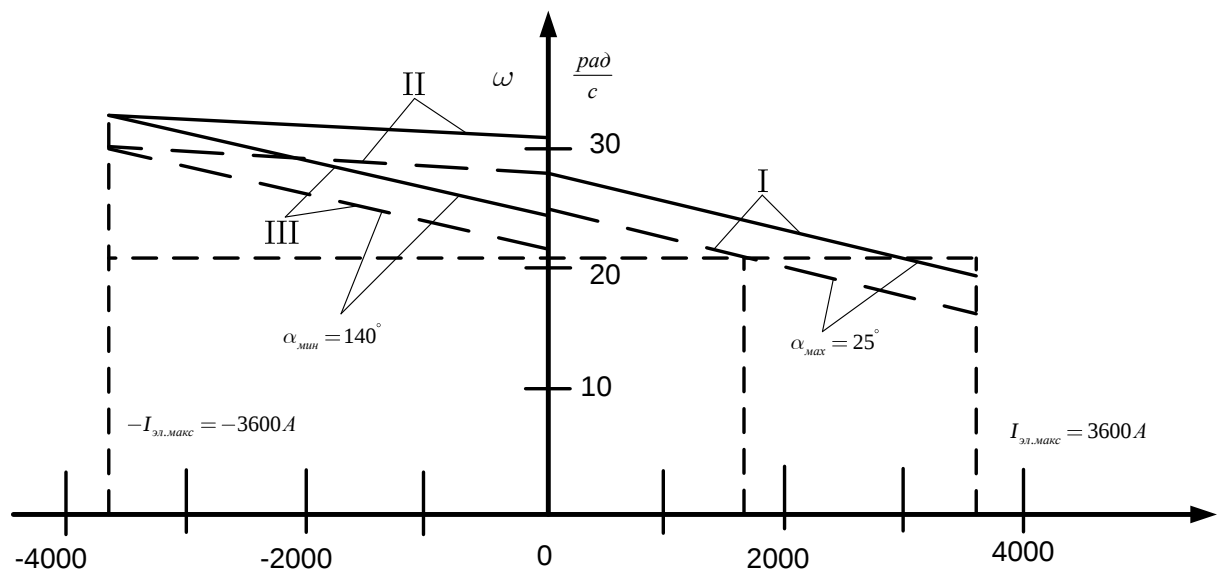


Рисунок 5 –Заданная область работы и электромеханические характеристики разомкнутой системы ТП–Д(сплошными линиями приведены характеристики при $k_{oc} = 1$)

2.2.4 Выбор тиристорного преобразователя цепи возбуждения

Обмотка возбуждения двигателя питание получает от отдельного тиристорного преобразователя, предназначенного для питания обмотки возбуждения и стабилизации тока возбуждения. Как и для якорной цепи, для

цепи возбуждения выбираем комплектный тиристорный электропривод серии КТЭ по следующим параметрам [7]:

- номинальное выпрямленное напряжение не должно быть меньше напряжения возбуждения двигателя

$$U_{дн} \geq U_B = 162.38 \text{ В};$$

- номинальный ток преобразователя должен быть равен или больше номинального тока возбуждения двигателя

$$I_{дн} \geq I_{дв.н} = 46 \text{ А}.$$

Выбираем комплектный электропривод типа КТЭВ-100/230-УХЛ4 [8].

Преобразователь имеет следующие технические данные:

- номинальный ток $I_{дн} = 100 \text{ А};$
- номинальное напряжение $U_{дн} = 230 \text{ В};$
- схема выпрямления –трехфазная мостовая.

Подключение тиристорного преобразователя обмотки возбуждения к силовой сети 380 В, 50 Гц осуществляется через трансформатор. Выбор согласующего трансформатора, как и для якорной цепи, производится на основании номинальных значений напряжения $U_{дн}$ и тока $I_{дн}$.

Выбираем сухой силовой трансформатор типа ТСП-25/0,7УХЛ4 (трехфазный, естественное воздушное охлаждение, открытое исполнение, для питания тиристорного преобразователя). Основные параметры трансформатора приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры трансформатора ТСП-25/0,7 УХЛ4

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
Первичное напряжение	$U_{1л}$	В	380
Вторичное напряжение	$U_{2л}$	В	205
Выпрямленное напряжение	$U_{дн}$	В	230
Ток вторичной обмотки	$I_{2л}$	А	82

Выпрямленный ток	$I_{дн}$	А	100
Напряжение короткого замыкания	$U_{кз}$	%	5,5
Группа соединений	--	-	Y/Δ/ -11
Потери короткого замыкания	$P_{кз}$	Вт	1100

Расчетные параметры трансформатора возбуждения

Полное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$Z_{тр.в.ф} = \frac{U_{кз} \% \cdot U_{2ф}}{100 \cdot I_{2фн}} = \frac{5,5 \cdot 205}{100 \cdot \frac{82}{\sqrt{3}}} = 0,238157 \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление фазы трансформатора

$$R_{тр.в.ф} = \frac{P_{кз}}{m_2 \cdot I_{2фн}^2} = \frac{1100}{3 \cdot \left(\frac{82}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,164 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление трансформатора

$$X_{тр.в.ф} = \sqrt{Z_{тр.в.ф}^2 - R_{тр.в.ф}^2} = \sqrt{0,238157^2 - 0,164^2} = 0,1727 \text{ Ом}.$$

Индуктивность фазы трансформатора

$$L_{тр.в.ф} = \frac{X_{тр.ф}}{\omega_c} = \frac{0,1727}{314} = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}.$$

2.2.5 Расчет параметров цепи возбуждения двигателя

Упрощенная схема силовой цепи включения обмоток возбуждения приведена на рисунке 6.

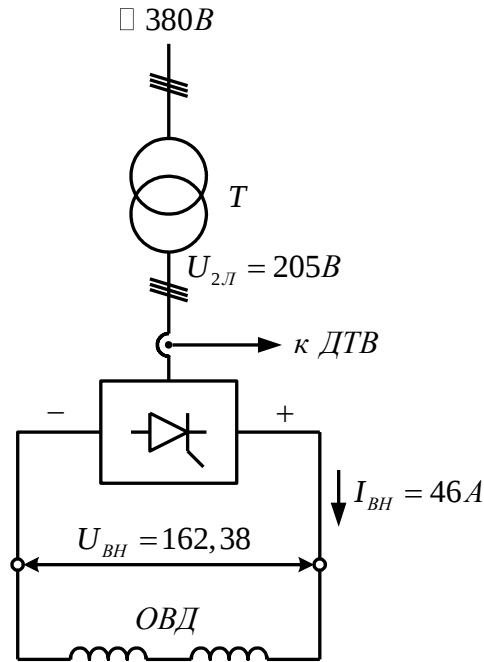


Рисунок 6 - Упрощенная схема силовой цепи включения обмоток возбуждения

Сопротивление цепи обмотки возбуждения

$$R_{цв} = R_{в.сop} + R_{мнв} = 3,53 + 0,493 = 4,023 \text{ Ом},$$

где

$$R_{мнв} = 2 \cdot R_{мр.в.ф} + R_{\kappa} = 2 \cdot 0,164 + 0,165 = 0,493 \text{ Ом}$$

– сопротивление силовой цепи преобразователя;

$$R_{\kappa} = \frac{m_{\epsilon} \cdot X_{мр.в.ф}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,1727}{2 \cdot \pi} = 0,165 \text{ Ом}$$

– сопротивление, вносимое за счет коммутации анодных токов.

Постоянная времени основного потока

$$T_{\epsilon} = \frac{L_{\epsilon}}{R_{цв}} = \frac{1,17}{4,023} = 0,2908 \text{ с}.$$

Постоянная времени потока рассеяния

$$T_s = \frac{2 \cdot L_{мр.в.ф} + L_s}{R_{цв}} = \frac{2 \cdot 0,00055 + 0,23}{4,023} = 0,0574 \text{ с}.$$

Постоянная времени вихревых токов

$$T_{\kappa} = 0,1 \cdot T_{\epsilon} = 0,1 \cdot 0,2908 = 0,02908 \text{ с}.$$

Значение минимального угла управления преобразователя возбуждения

$$\alpha_{мин} \leq \arccos \frac{I_{\epsilon} \cdot R_{цв}}{K_c \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{46 \cdot 4,023}{0,85 \cdot 277} = 38^{\circ},$$

где $K_c = 0.85$ – коэффициент, учитывающий снижение напряжения;

$$E_{d0} = \frac{U_{2л}}{\kappa_{U_{2л}}} = \frac{205}{0,74} = 277 В - ЭДС холостого хода преобразователя (при $\alpha = 0$).$$

Принимаем $\alpha_{мин} = 30^\circ$.

Коэффициент усиления преобразователя цепи возбуждения

$$K_{мгс} = k_{yo} \cdot \frac{\pi \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{оп.макс}} = 0,475 \cdot \frac{\pi \cdot 277}{10} = 41,3.$$

2.3 Расчет электромеханических характеристик реверсивного тиристорного преобразователя

Скорость вращения вала электродвигателя:

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

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

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

ΔU_{ϵ} – прямое падение напряжение на тиристоре.

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

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

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

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

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол α . Появление зоны прерывистого тока обусловлено тем, что в

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

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

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

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

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

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

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

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

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

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

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

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

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

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия 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. 7:

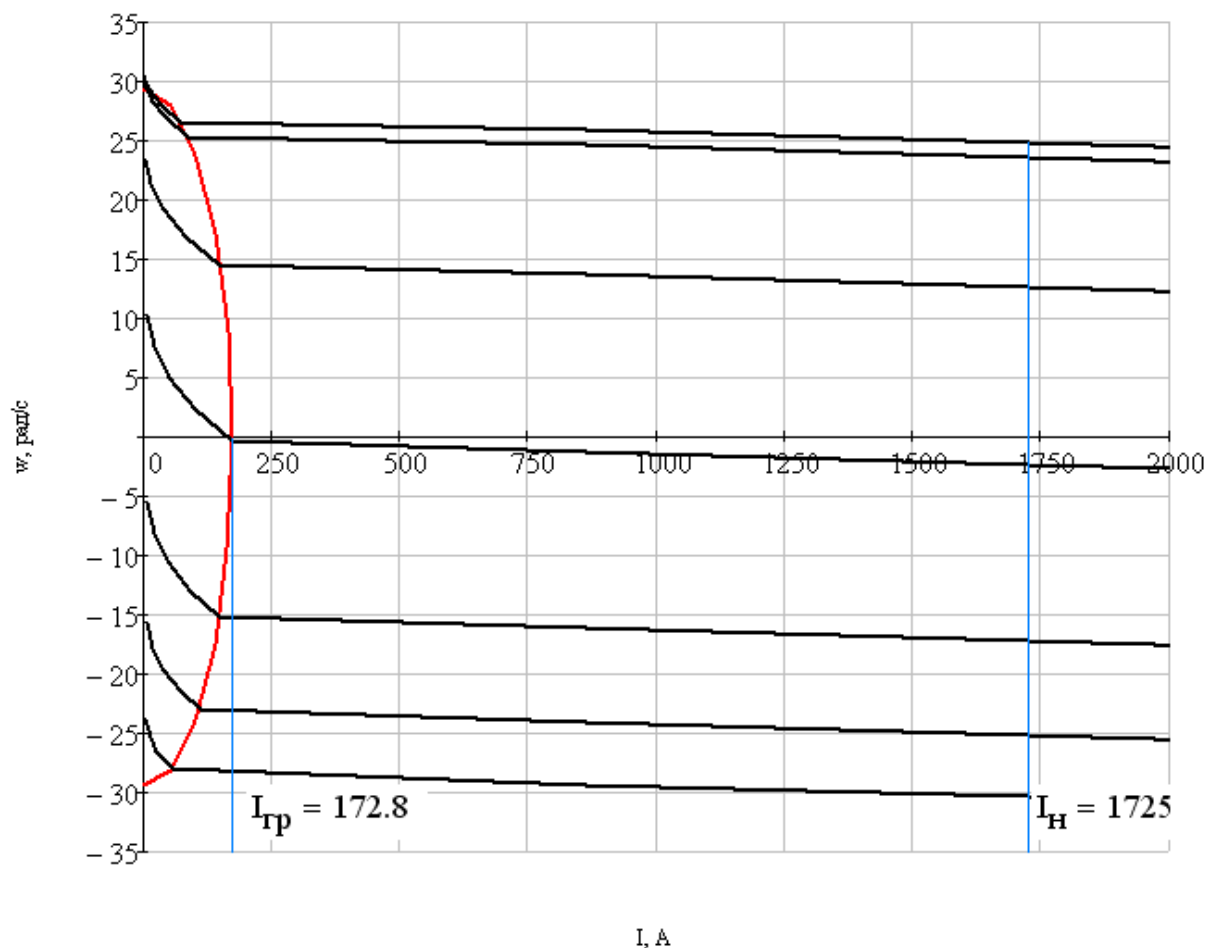


Рисунок 7 – Электромеханические характеристики системы УВ–Д с
раздельным управлением

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 .

2.4 Структурная схема силового канала САУ

Структурная схема силового канала электропривода маятниковых ножниц приведена на рисунке 8. Параметры элементов схемы приведены в таблице 6.

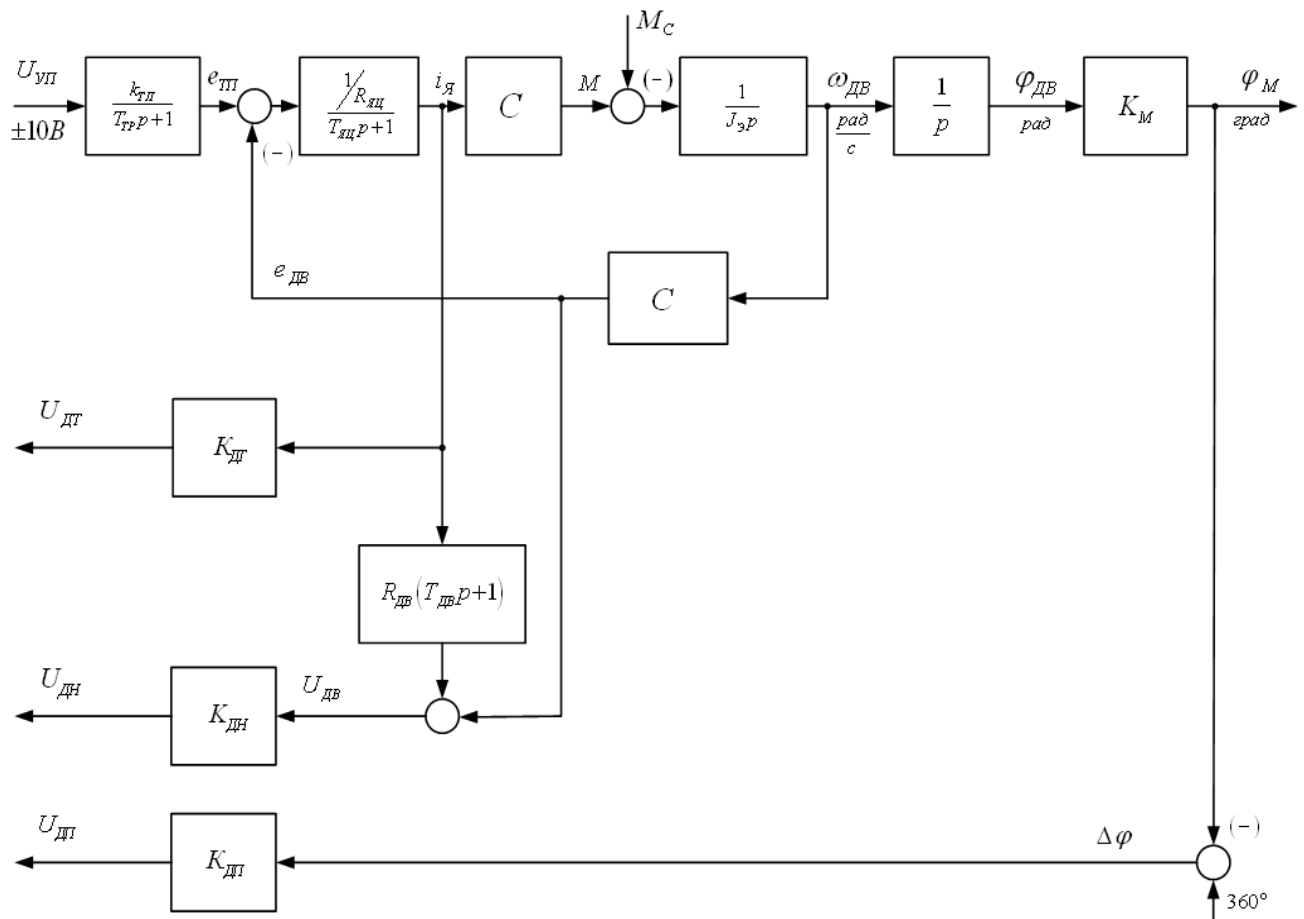


Рисунок 8 – Структурная схема силового канала электропривода

Коэффициент обратной связи по току

$$K_{дт} = \frac{U_{дт.макс}}{I_{яв.макс}} = \frac{10}{4000} = 0,0025 \frac{B}{A},$$

где $I_{яв.макс} = 4000 A$ – максимальный ток, принятый при настройке датчика тока.

Постоянная времени двигателя

$$T_{дв} = \frac{L_{дв}}{R_{дв}} = \frac{0.000647}{0.0263} = 0.0246 \text{ с}$$

Коэффициент передачи датчика напряжения

$$K_{дн} = \frac{10}{U_{дв макс}} = \frac{10}{1000} = 0.01,$$

где $U_{дв макс} = 1000 B$ – максимальное значение напряжения принятое при настройке датчика напряжения.

Коэффициент передачи механизма

$$K_M = \frac{\Delta\varphi_M}{\Delta\varphi_{ДВ}} \frac{360^\circ}{2 \cdot \pi \cdot i_{ред}} = \frac{360^\circ}{2 \cdot \pi \cdot 3.18} = 18 \frac{град}{рад}.$$

Коэффициент передачи датчика положения определяется по регулировочной характеристике сельсина с фазочувствительным выпрямителем, приведенной на рисунке 13.

$$K_{дп} = \frac{10}{\Delta\varphi_{М.макс}} = \frac{10}{60} = 0.167 \text{ В/град}$$

Момент статический холостого хода привода

$$M_{С.ХХ} = (1 - \eta) \cdot M_{РЕЗ.ПР} + M_{С.ДВ} = 0,1 \cdot 57205,2 + 577 = 6297,52 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $M_{С.ДВ} = c \cdot I_{ДВ.Н} - M_{ДВ.Н} = 31,4 \cdot 1725 - 53588 = 577 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – статический момент двигателя.

Таблица 6 - Параметры силовой цепи

$R_{яц}$ Ом	$R_{дв}$ Ом	$K_{ТП}$	$K_{дт}$ $\frac{В}{А}$	$K_{дн}$	$K_{дп}$ $\frac{В}{град}$	K_M $\frac{град}{рад}$
0,079	0,0263	144,75	0,0025	0.01	0,167	18
$T_{яц}$ с	$T_{дв}$ с	$T_{ТП}$ с	C	$J_{э}$ $кг \cdot м^2$	$M_{РЕЗ.ПР}$ $Н \cdot м$	$M_{С.ХХ}$ $Н \cdot м$
0,02085	0,0246	0,00167	31,4	975	57205,52	6297,52

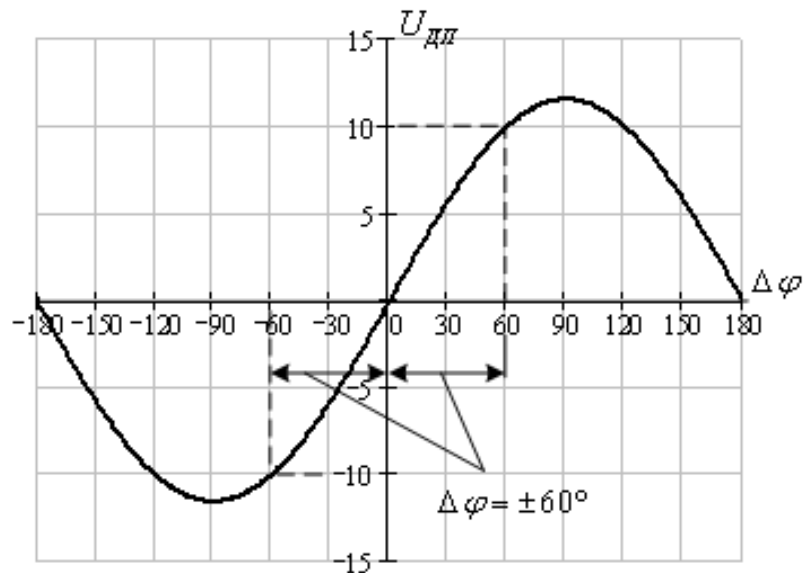


Рисунок 9 – Регулировочная характеристика ДП

2.5 Синтез линеаризованной структуры САУ

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

Задача синтеза САУ является в первую очередь задачей динамического синтеза, под которой понимается определение параметров элементов, обеспечивающих требуемые динамические свойства всей системы. На этапе предварительного синтеза САУ используются линеаризованные характеристики системы и ее элементов и соответственно методы синтеза. Синтез по заданным показателям качества, основными из которых является максимальное быстродействие системы, сводится к определению оптимальных настроек регуляторов для выбранной структуры. При этом предполагается, что кинематические цепи привода являются идеальными и все функциональные элементы работают в зоне изменения параметров, не выходящих за пределы ограничений. При проектировании электроприводов, выполненных по многоконтурной структуре с последовательной коррекцией, получили

распространение настройки на оптимум по модулю (технический оптимум) и симметричный оптимум.

2.5.1 Линеаризованная структура САУ маятниковых ножниц

Система автоматического регулирования маятниковых ножниц представляет собой двухконтурную систему подчиненного регулирования с П – регулятором Э.Д.С. и с ПИ-регулятором тока. Для точной остановки ножей в исходном положении в конце пути торможения САР замыкается по положению (следающий режим).

Структурная схема линеаризованной САУ маятниковых ножниц приведена на рисунке 10.

В электроприводах, к статическим и динамическим характеристикам которых не предъявляются очень высокие требования, вместо обратной связи по скорости используется обратная связь по ЭДС двигателя. Применение обратных связей по ЭДС позволяет избежать трудностей, связанных с измерением скорости при помощи тахогенераторов. Широкому распространению структур с обратными связями по ЭДС, способствует простота реализации, высокая надежность в эксплуатации, возможность токоограничения путем ограничения напряжения регулятора ЭДС.

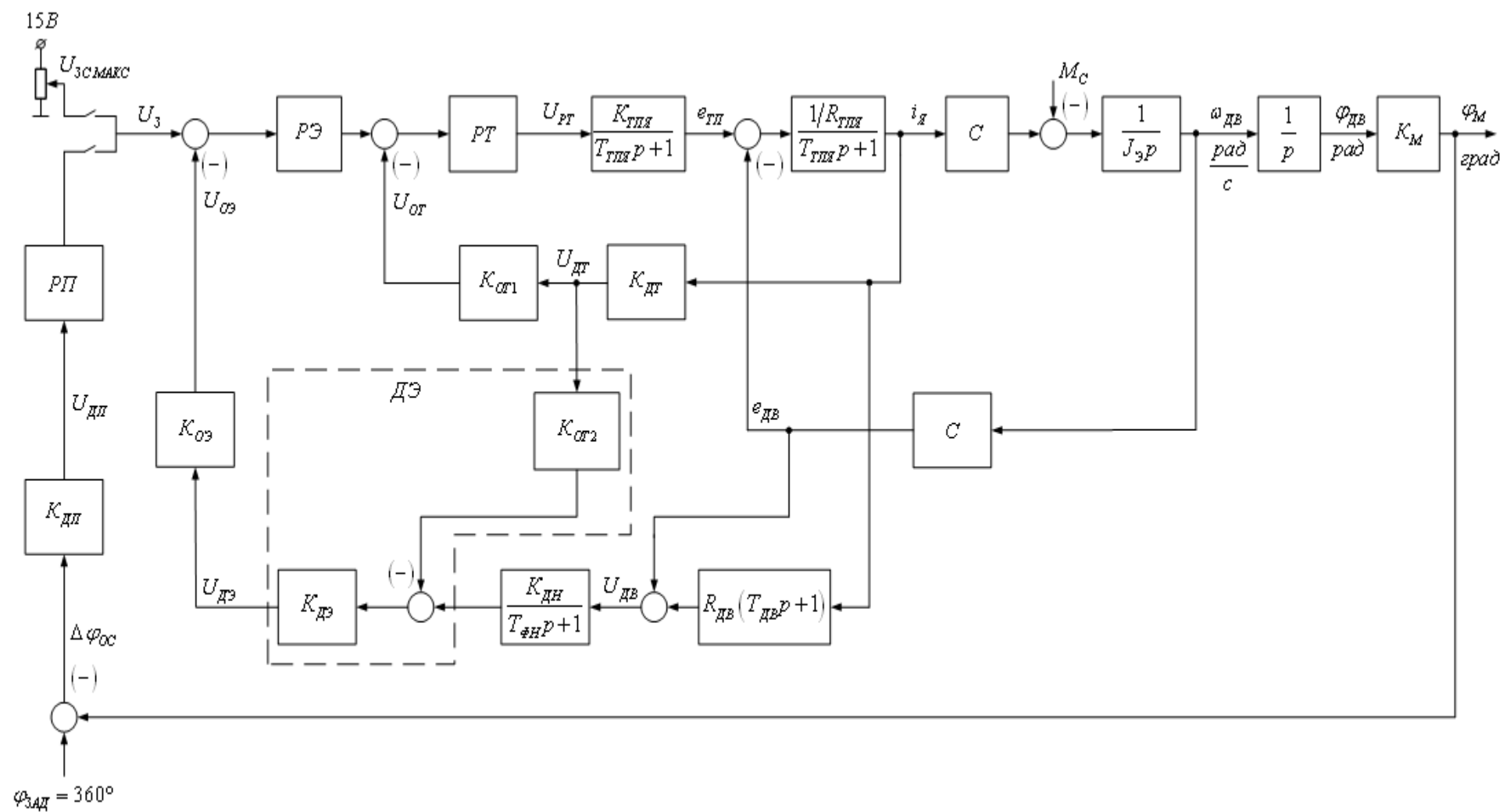


Рисунок 10 – Структурная схема линейризованной САУ маятниковых ножниц.

2.5.2 Оптимизация контура тока

Прежде всего настройка контура производится без учета внутренней обратной связи по ЭДС двигателя. Тип регулятора и метод оптимизации контура выбираются в зависимости от соотношения $T_{яц}/4 \cdot T_{\mu}$, таблица 7.

Таблица 7 – Тип регулятора и метод оптимизации контура

$T_{яц}/4 \cdot T_{\mu}$	Тип регулятора	Метод оптимизации
≤ 1	ПИ	МО [СО]
≥ 1	ПИ	СО [МО]
$\gg 1$	П [ПИ]	МО [СО]

Контур тока настраивается на технический (модульный) оптимум (МО) с ПИ – РТ при коэффициенте оптимизации $a_T = 2 [4]$.

Установка дополнительных сглаживающих фильтров в цепи обратной связи по току тока весьма неблагоприятно сказывается на характере процессов в контуре (приводит к снижению быстродействия как контура тока, так и электропривода в целом), поэтому установка фильтров в цепи обратной связи по току может определяться только необходимостью снижения уровня помех, и должна быть отнесена к этапу ввода электропривода в эксплуатацию.

Поскольку отрицательная обратная связь по ЭДС двигателя при определенных соотношениях параметров электропривода может оказывать существенное влияние на характер протекания переходных процессов в контуре тока, следует оценить ее влияние, определив отношение

$$T_M/T_{яц} = 0.0781/0.02085 = 3,747$$

Полученное значение отношения говорит о незначительном влиянии отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя на процессы в контуре тока, потому при оптимизации контура не будем учитывать ЭДС двигателя (показано пунктиром на рисунке 10).

Определим оптимальные параметры элементов САУ РЭП контура тока

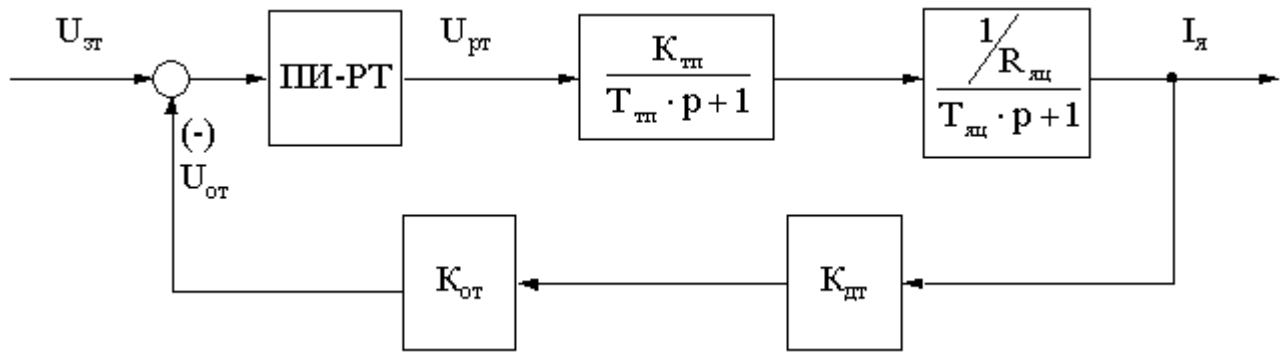


Рисунок 11 – Структурная схема контура тока

Выбираем для настройки ПИ–РТ С передаточной функцией

$$W(p)_{PT} = K_{PT} \frac{T_{PT}p + 1}{T_{PT}p}$$

Определим параметры регулятора:

– постоянная времени

$$T_{PT} = T_{яц} = 0.02085 \text{ с;}$$

– коэффициент усиления

$$K_{PT} = \frac{R_{яц} \cdot T_{яц}}{K_{тп} \cdot K_T \cdot a_T \cdot T_{\mu T}} = \frac{0.079 \cdot 0.02085}{144.75 \cdot 0.00277 \cdot 2 \cdot 0.00167} = 1.23,$$

где $T_{\mu T} = T_{тп} = 0.00167 \text{ с}$ - эквивалентная малая постоянная времени контура тока;

$$K_T = \frac{U_{зс.МАКС}}{I_{ЭП.МАКС}} = \frac{10}{3600} = 0.00277 \text{ В/А} \text{ - коэффициент обрат. связи по току.}$$

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ

$$K_{от1} = \frac{K_T}{K_{дт}} = \frac{0.00277}{0.0025} = 1.108.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока

$$W_{(p)PT.ЗАМ} = \frac{1/K_T}{a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot (T_{\mu T} \cdot p + 1) + 1} = \frac{361}{0.000005577 \cdot p^2 + 0.00334 \cdot p + 1}$$

Логарифмические частотные характеристики контура приведены на рисунке 13.

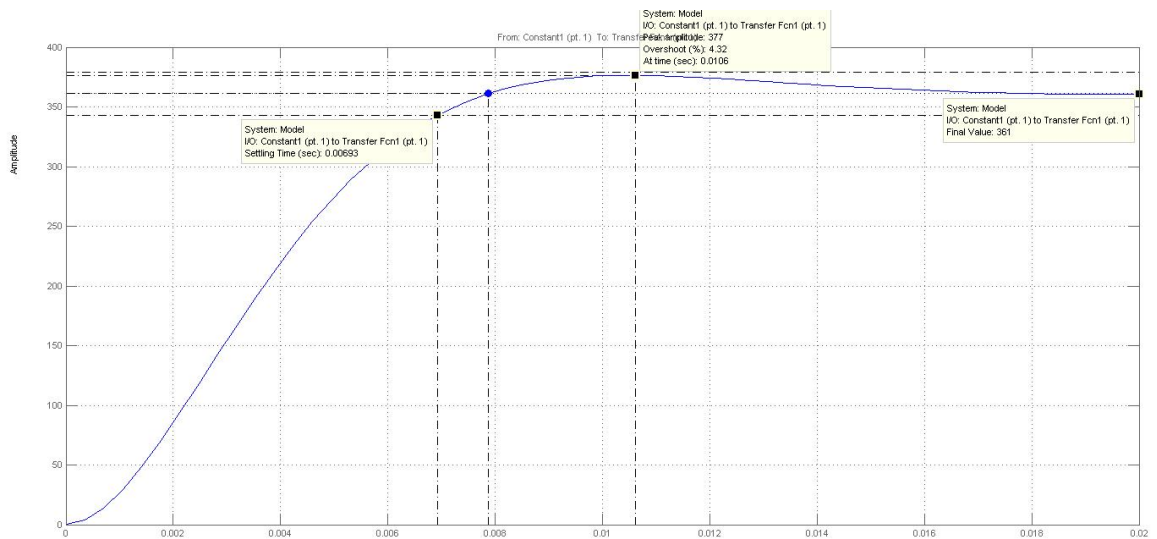


Рисунок 12 - Переходные процессы контура тока

Ожидаемые показатели качества:

- Полоса пропускания по модулю и фаз

$$\omega_{\pi}^{(M)} = \omega_{\pi}^{(\Phi)} = \frac{0,71}{T_{\mu T}} = \frac{0,71}{0,00167} = 425 \text{ рад/с};$$

- Перерегулирование, время первого согласования и время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего воздействия

$$t_{py1}^{(5)} = t_{py2}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{\mu T} = 4.1 \cdot 0.00167 = 0.006847 \text{ с}$$

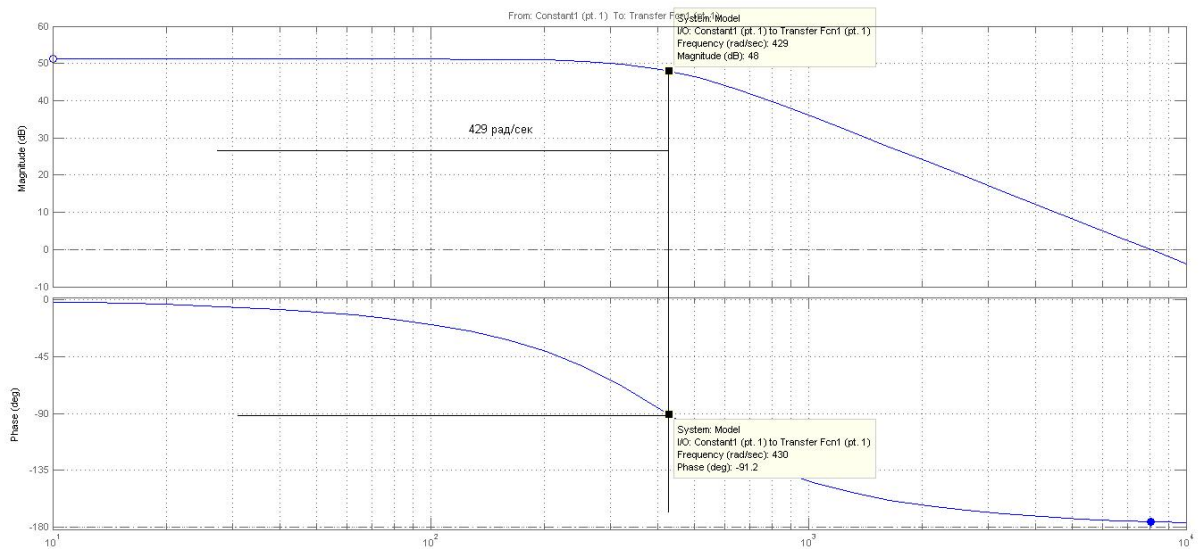


Рисунок 13 – Частотные характеристики замкнутого контура тока

Ожидаемые показатели работы контура тока:

$$\Delta I_{я.уст} = 0 \text{ установившаяся статическая ошибка};$$

$\sigma = 4.3 \%$ - перерегулирования;

$t_{py1}^{(5)} = t_{py2}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{\mu m} = 4.1 \cdot 0.00167 = 0.006847 c$ – время первого согласования

и время переходного процесса, при обработке ступенчатого управляющего задания;

$\omega_n^{(m)} = \omega_n^{(\phi)} = 0.71 / T_{\mu m} = 0.71 / 0.00167 = 425,15 \text{ рад/с}$ – полоса пропускания по модулю и фазе.

2.5.3 Оптимизация контура ЭДС

Структурная схема контура ЭДС приведена на рисунке 17

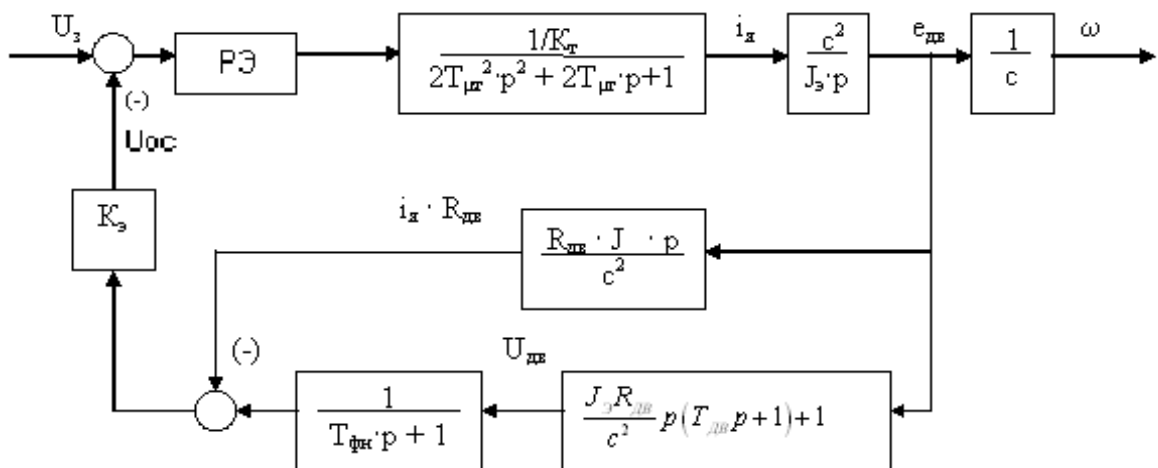


Рисунок 14 – Структурная схема линейарезированной САУ РЭП с П – регулятором ЭДС

Контур может быть настроен на технический или симметричный оптимум. Последний более сложный и применяется в электроприводах, где не допустимы изменения скорости при изменении нагрузки. Для ножниц такое требование излишне.

Если замкнутый оптимизированный контур тока описать усеченной передаточной функцией

$$W(p)_{\text{т.зам}} = \frac{1/K_T}{2 \cdot T_{\mu\text{т}} \cdot p + 1}$$

и при настройке привода выполнить условие

$$\kappa_{OT2} = R_{дв} \cdot \frac{\kappa_{дн}}{\kappa_{дт}} = 0.01908 \frac{0,01}{0,0025} = 0,7632,$$

то структурная схема контура ЭДС может быть приведена к виду, показанному на рисунке 14.

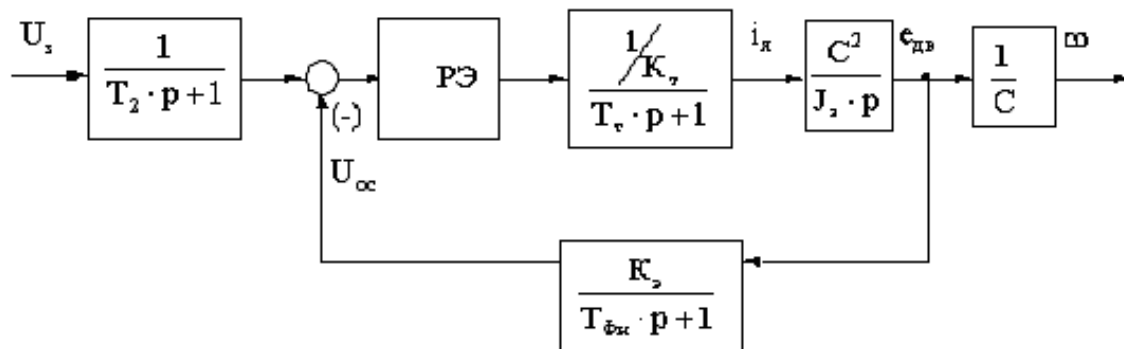


Рисунок 15 – Упрощенная структурная схема контура ЭДС

Поскольку в контуре ЭДС имеется интегрирующее звено, то его можно оптимизировать по техническому (модульному) оптимуму, применив П – регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{PЭ} = K_{PЭ},$$

где $K_{PЭ} = \frac{J_э \cdot K_T}{K_э \cdot c^2 \cdot a_э \cdot T_{μэ}} = \frac{975 \cdot 0.00277}{0.01524 \cdot 31.4^2 \cdot 2 \cdot 0.027934} = 3,217$ – коэффициент усиления

регулятора;

$$K_э = \frac{U_{з.макс}}{E_{дв.макс}} = \frac{10}{656.26} = 0.01524 \text{ – коэффициент обратной связи по ЭДС;}$$

$E_{дв.макс} = c \cdot \omega_{эп.макс} = 31.4 \cdot 20.9 = 656.26 \text{ В}$ – максимальное значение ЭДС двигателя на входе датчика напряжения;

$T_{μэ} = T_T + T_{ФН} = 0.00334 + 0.0246 = 0.027934 \text{ с}$ – эквивалентная малая постоянная времени контура ЭДС;

$T_T = a_T \cdot T_{μт} = a_T \cdot T_{тл} = 2 \cdot 0.00167 = 0.00334 \text{ с}$ – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Поскольку в цепи обратной связи имеется аperiодическое звено, то на входе контура необходимо включить такое же звено с постоянной времени фильтра

$$T_2 = T_{\text{фн}} = T_{\text{дв}} = 0.0246 \text{ с.}$$

Коэффициент передачи входной цепи РЭ обратной связи по ЭДС

$$K_{\text{оэ}} = \frac{K_{\text{э}}}{K_{\text{дн}} \cdot K_{\text{дэ}}} = \frac{0.01524}{0.01 \cdot 1} = 1,524.$$

Передающая функция замкнутого контура ЭДС по управлению с фильтром на входе имеет следующий вид

$$W_{(P)\text{э.замкн}} = \frac{e_{\text{дв}}(p)}{U_{\text{зс}}(p)} = \frac{1/K_{\text{э}}}{a_{\text{э}} \cdot T_{\text{мэ}} \cdot p \cdot (T_{\text{т}} \cdot p + 1)(T_{\text{фн}} \cdot p + 1) + 1} \approx \frac{1/K_{\text{э}}}{a_{\text{э}} T_{\text{мэ}} p (T_{\text{мэ}} p + 1) + 1}.$$

Передающая функция контура ЭДС, записанная относительно скорости вращения двигателя $\omega_{\text{дв}}$ имеет вид

$$W(p)_{\text{замкн}} = \frac{\omega(p)}{U_{\text{зс}}(p)} = \frac{1}{c \cdot K_{\text{э}}} \frac{1}{a_{\text{э}} T_{\text{мэ}} p (T_{\text{т}} p + 1)(T_{\text{фн}} p + 1) + 1} \approx \frac{1}{c \cdot K_{\text{э}}} \frac{1}{a_{\text{э}} T_{\text{мэ}} p (T_{\text{мэ}} p + 1) + 1}.$$

Из за наличия в системе некомпенсированной постоянной времени $T_{\text{дв}}$, быстродействие и статическая точность регулирования системы с обратной связью по ЭДС в $\left(\frac{T_{\text{т}} + T_{\text{дв}}}{T_{\text{т}}} \right)$ раз (при прочих равных условиях) меньше, чем в системе с обратной связью по скорости. Динамические и статические показатели системы с обратной связью по ЭДС будут тем ближе к показателям системы с обратной связью по скорости, чем меньше величина $T_{\text{дв}}$.

Структурная схема контура ЭДС по возмущению приведена на рисунке

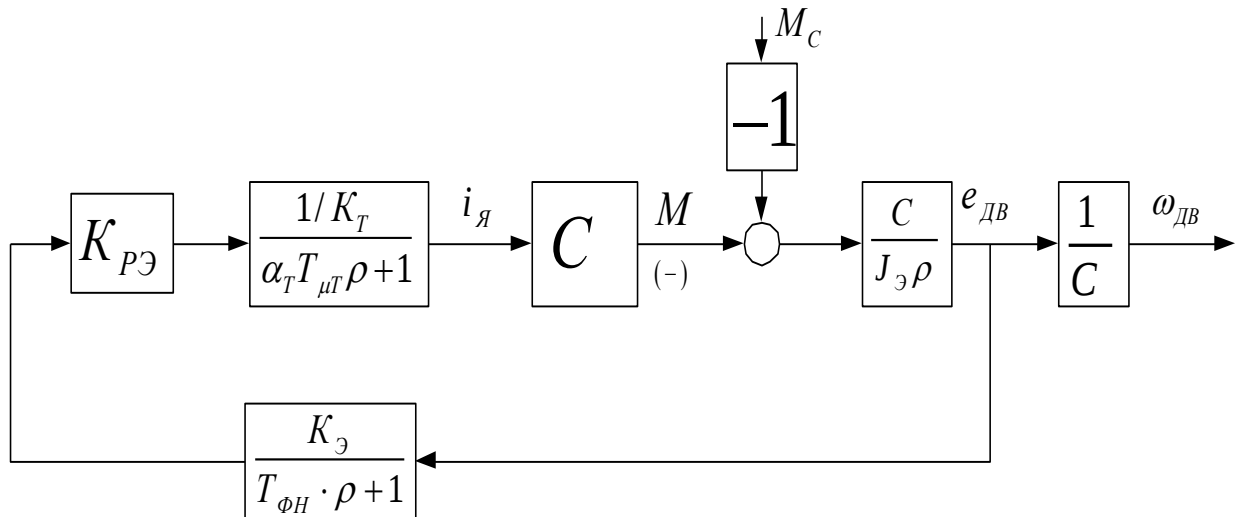


Рисунок 16 – Структурная схема контура ЭДС по возмущению

Передаточная функция замкнутого контура ЭДС по возмущению, записанная относительно скорости, имеет вид

$$W(\rho)_{\text{В.З.АМ}} = \frac{\frac{\alpha_{\text{Э}} \cdot T_{\mu \text{Э}}}{J_{\text{Э}}} \cdot (T_T \rho + 1) \cdot (T_{\text{ФН}} \rho + 1)}{\alpha_{\text{Э}} \cdot T_{\mu \text{Э}} \cdot \rho \cdot (T_T \rho + 1) \cdot (T_{\text{ФН}} \rho + 1) + 1}.$$

Установившаяся ошибка контура по возмущению

$$\Delta \omega_{\text{В.УСТ}} = \frac{\alpha_{\text{Э}} \cdot T_{\mu \text{Э}}}{J_{\text{Э}}} \cdot \Delta M_c.$$

При $\Delta M_c = M_{\text{РЕЗ.ПР}} = 57205,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$

$$\Delta \omega_{\text{В.УСТ}} = \frac{2 \cdot 0,027934}{875} \cdot 57205,2 = 3,65 \text{ рад/с}.$$

Поскольку оказалось, что погрешность электропривода при изменении нагрузки достаточно велика, при моделировании электропривода в контуре ЭДС была уменьшена постоянная времени фильтра до значения

$$T_{\text{ФН}} = 0,012 \text{ с}.$$

В этом случае будем иметь

$$\begin{aligned} T_{\mu \text{Э}} &= 0,01534 \text{ с}; \\ K_{\text{РЭ}} &= 5,86; \\ \Delta \omega_{\text{В.УСТ}} &= 1,8 \text{ рад/с}. \end{aligned}$$

Логарифмические частотные характеристики контура рассчитанные с помощью программы Matlab по выражению

$W(p)_{\text{замкн}} = \frac{\omega(p)}{U_{3C}(p)} = \frac{2,09}{0,000001229p^3 + 0,000470631p^2 + 0,03068p + 1}$, приведены на рисунке 19.

Ожидаемые показатели работы контура ЭДС (ориентировочно для передаточной функции второго порядка):

$\Delta\omega_{y,ycr} = 0$ – статическая ошибка контура по управлению;

$\sigma = 4.3\%$ – перерегулирование;

$t_{py1}^{(5)} = t_{py2}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{\mu\mathcal{E}} = 4.1 \cdot 0,01534 = 0.0629c$ – время первого и окончательного вхождения в 5% зону.

Полоса пропускания контура по фазе и модулю

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\phi)} = 0.71 / T_{\mu\mathcal{E}} = 0,71 / 0,01534 = 4,628 \text{ рад} / c ;$$

$$f_n^{(\phi)} = f_n^{(M)} = 0,737 \text{ Гц}.$$

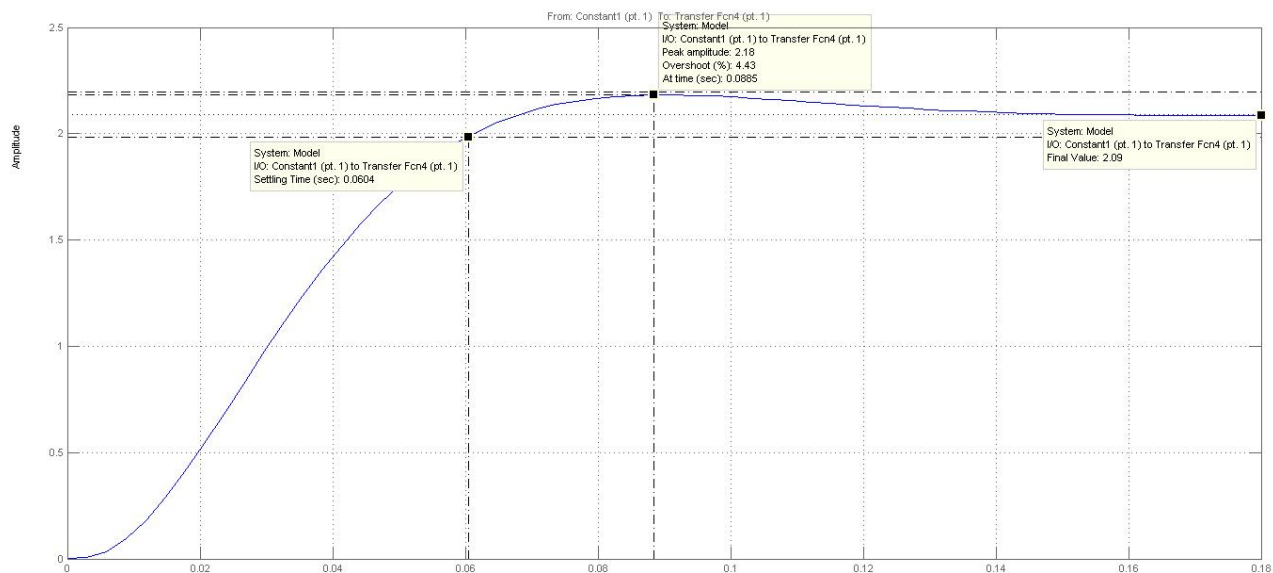


Рисунок 17 - Переходные процессы контура ЭДС

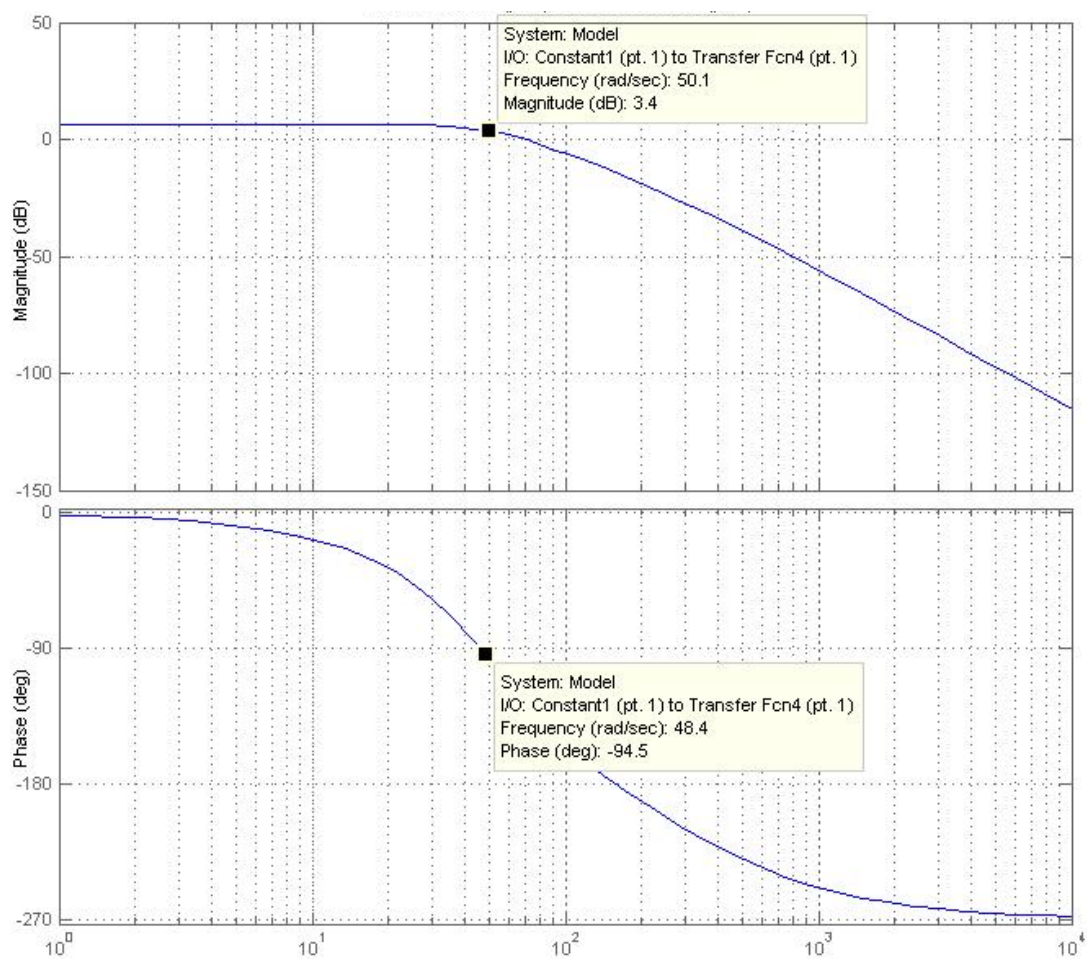


Рисунок 18 – ЛЧХ замкнутого контура ЭДС

2.5.4 Оптимизация контура положения

Структурная схема контура положения приведена на рисунке 19. С целью упрощения внутренний контур скорости представлен усеченной передаточной функцией первого порядка

$$W_{СК}(p)_{у.зам} = \frac{\frac{1}{c \cdot K_{\Sigma}}}{a_{\Sigma} T_{\mu \Sigma} p (T_T p + 1) (T_{\Phi H} p + 1) + 1} \approx \frac{\frac{1}{c \cdot K_{\Sigma}}}{a_{\Sigma} T_{\Sigma} p + 1}$$

В практике электропривода большое распространение получили астатические структуры СЭП с П – регулятором положения.

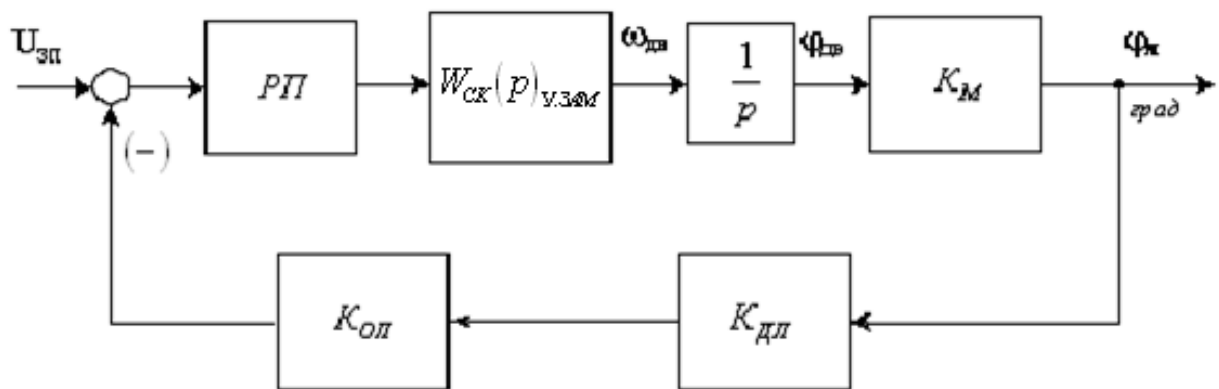


Рисунок 19 – Структурная схема контур положения

Определим оптимальные параметры настройки САУ СЭП контура положения. Для настройки контура на МО выбираем П – регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{РП} = K_{РП},$$

$$\text{где } K_{РП} = \frac{K_{\Sigma} \cdot c}{K_M \cdot K_{\Pi} \cdot a_{\Pi} \cdot T_{\Sigma}} = \frac{0.01524 \cdot 31.4}{18 \cdot 0.167 \cdot 2 \cdot 0.03068} = 2,5944 - \text{коэффициент усиления}$$

регулятора;

$$K_{\Pi} = K_{оп} \cdot K_{дл} = 1 \cdot 0,167 = 0,167 \text{ В/рад} - \text{коэффициент обратной связи по}$$

положению;

$T_{\Sigma} = a_{\Sigma} \cdot T_{\mu \Sigma} = 2 \cdot 0.01534 = 0,03068 \text{ с}$ – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура ЭДС;

$a_{\Pi} = 2$ – коэффициент оптимизации по МО.

Передаточная функция замкнутого контура положения

$$W_{\Pi}(p)_{y.3AM} = \frac{1/K_{\Pi}}{a_{\Pi}T_{\Sigma}p[a_{\Sigma}T_{\mu\Sigma}p(T_T p+1)(T_{\Phi H} p+1)+1]+1} \approx \frac{1/K_{\Pi}}{a_{\Pi}T_{\Sigma}p(T_{\Sigma} p+1)+1}.$$

Логарифмические частотные характеристики контура положения рассчитаны по выражению:

$$W_{\Pi}(p)_{y.3AM} = \frac{6}{0,000000075p^4 + 0,000028877p^3 + 0,0018825248p^2 + 0,06136p + 1}.$$

Ожидаемые показатели качества работы контура положения в режиме позиционирования (ориентировочно для передаточной функции второго порядка):

$\sigma = 4.3\%$ - перерегулирование;

$t_{PY1}^{(5)} = t_{PY2}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{\Sigma} = 4.1 \cdot 0,03068 = 0,126c$. - время первого и окончательного вхождения в 5% зону.

Полоса пропускания контура по фазе и модулю

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\phi)} = 0.71/T_{\Sigma} = 0,71/0,03068 = 23,14 рад/с \text{ или}$$

$$f_{\Pi}^{(\phi)} = f_{\Pi}^{(M)} = 3,6832 Гц.$$

Для исключения перерегулирования при установке в позицию ножниц следует настроить контур на линейный оптимум (ЛО) при $a_{\Pi}=4$, тогда $\kappa_{\Pi}=0.7125$. Показатели работы контура при настройке на ЛО (ориентировочно для передаточной функции второго порядка):

- $\sigma = 0\%$;

- $t_{PY1}^{(5)} = t_{PY2}^{(5)} = 9.5 \cdot T_{\Sigma} = 9.5 \cdot 0,03068 = 0,209c$.

Полоса пропускания:

- по фазе

$$\omega_{\Pi}^{(\phi)} = \frac{0.51}{T_{\Sigma}} = \frac{0,51}{0,03068} = 16,623 рад/с \text{ или } f_{\Pi}^{(\phi)} = 1.47 Гц;$$

- по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{0.33}{T_{\Sigma}} = \frac{0,33}{0,03068} = 10,756 рад/с \text{ или } f_{\Pi}^{(M)} = 0.94 Гц.$$

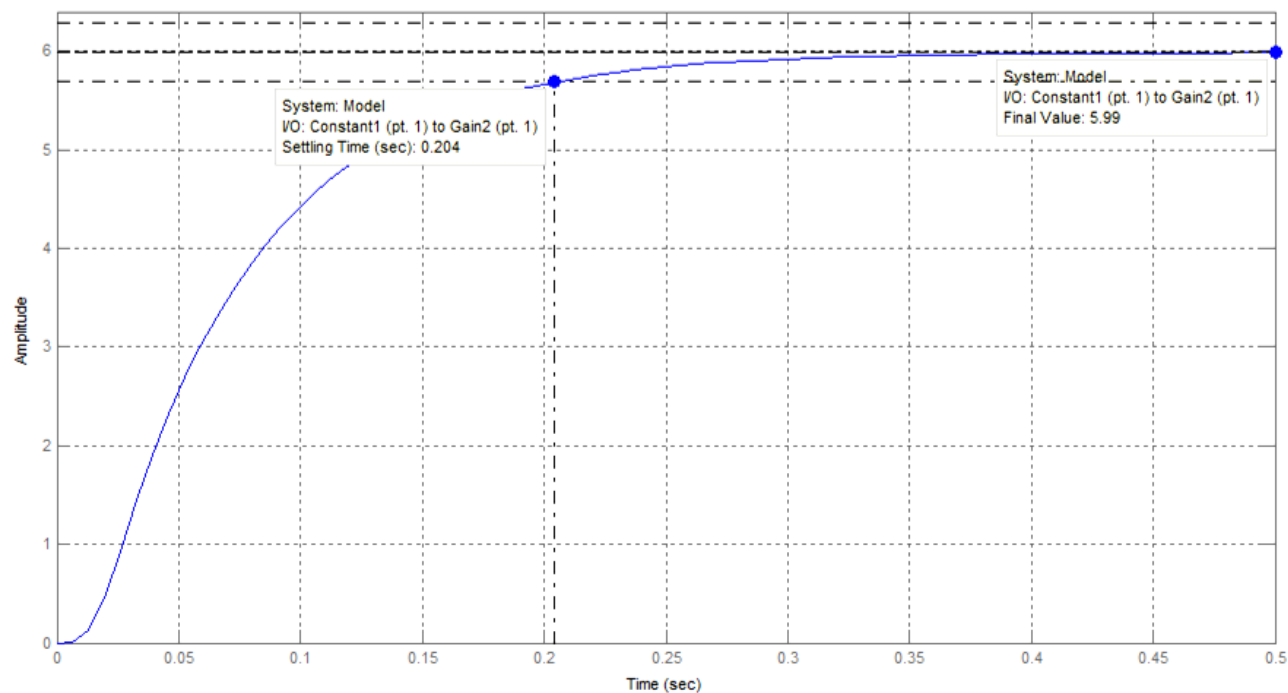


Рисунок 20 - Переходные процессы контура положения

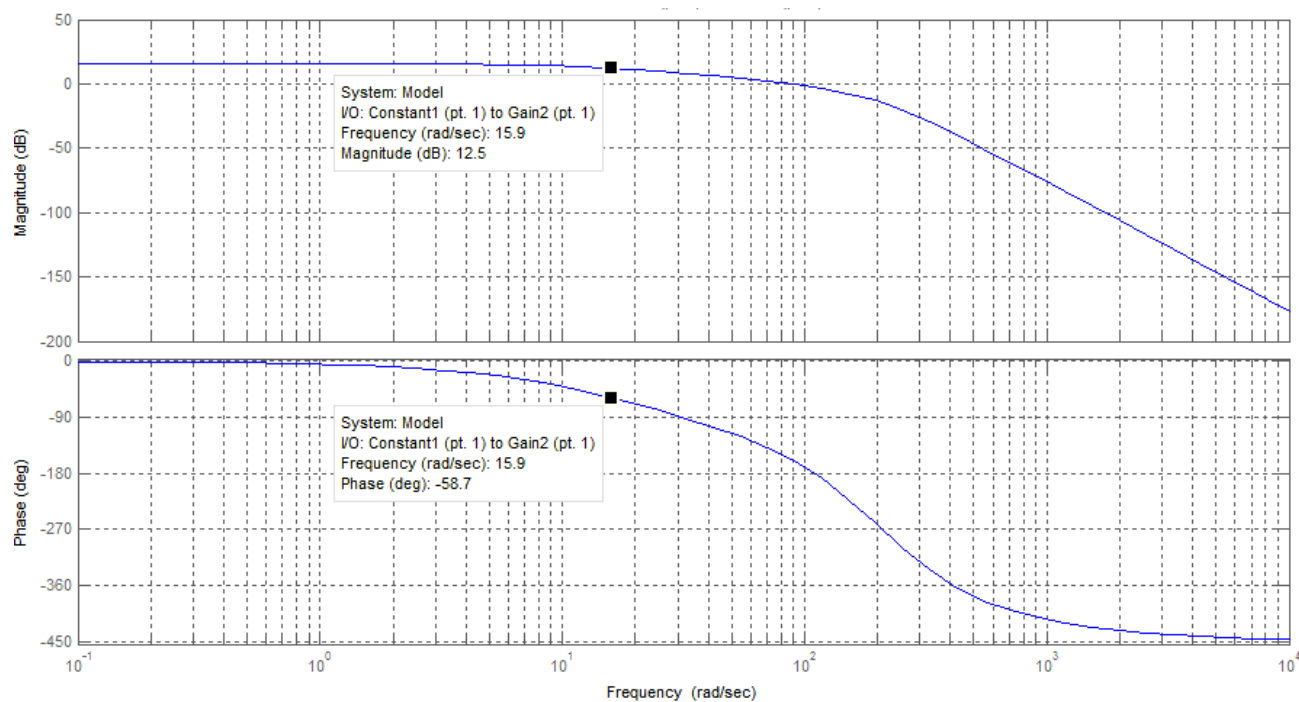
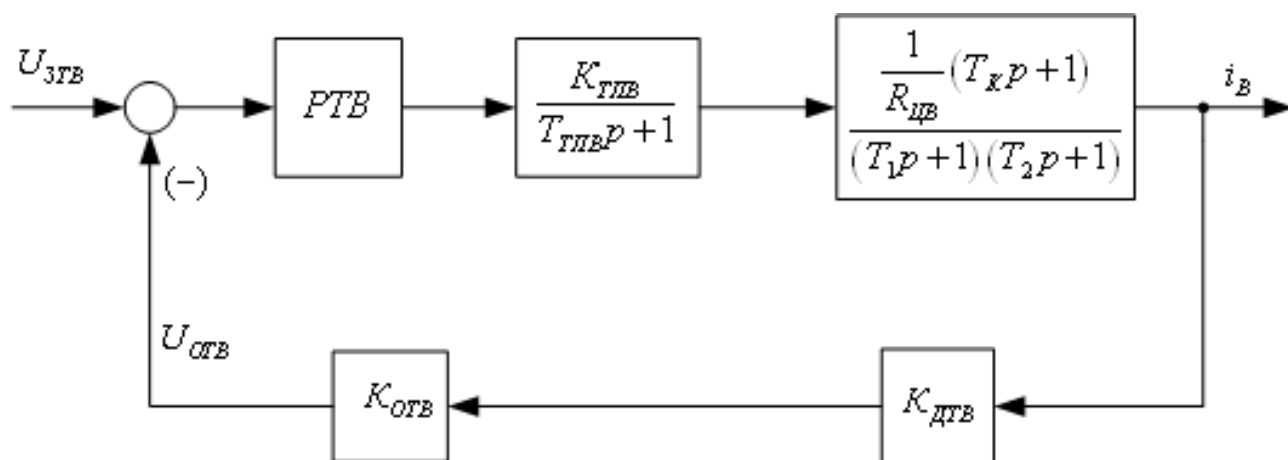


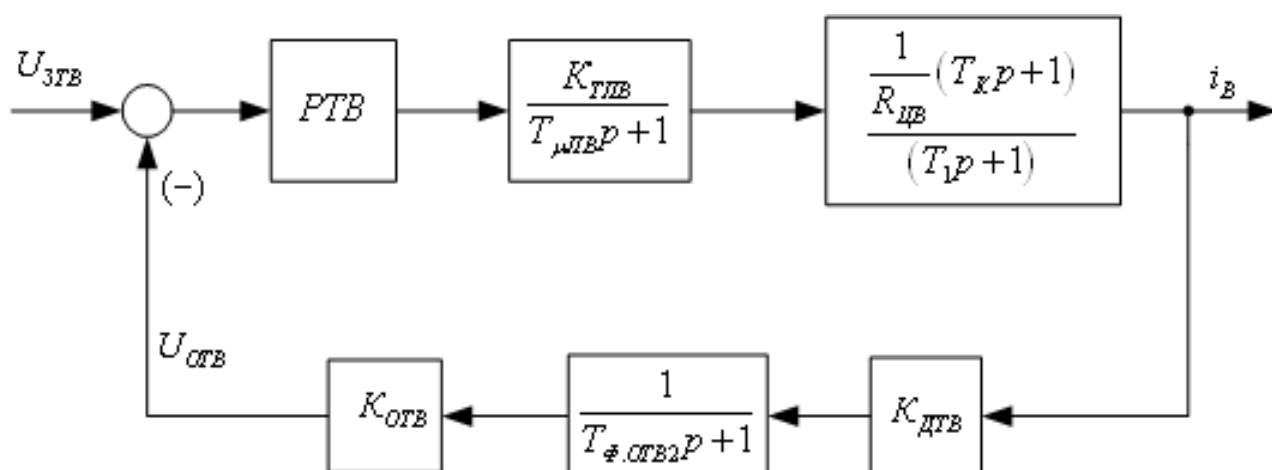
Рисунок 21 – ЛЧХ замкнутого контура положения

2.5.5 Настройка контура тока возбуждения двигателя САУ

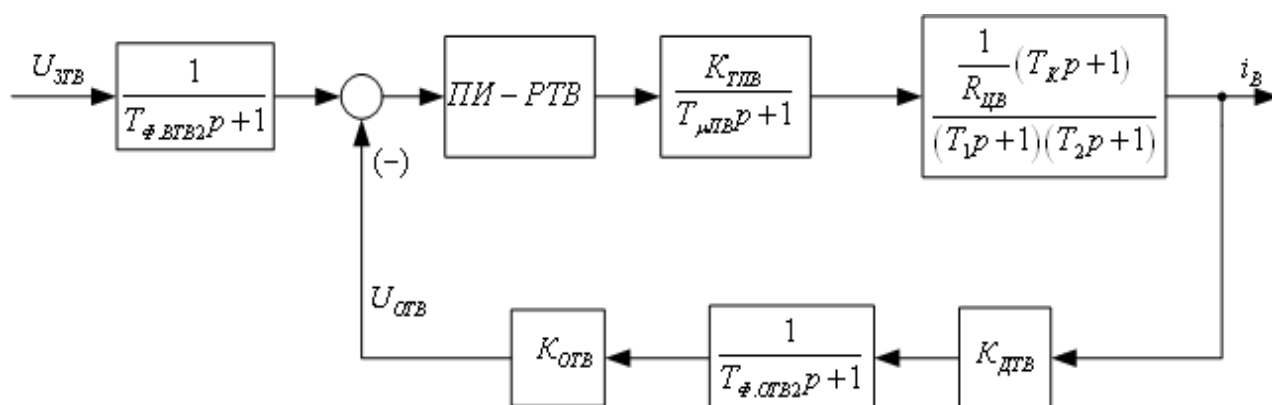
Структурная схема контура тока возбуждения приведена на рисунке 26,а.



а)



б)



в)

Рисунок 22 – Структурная схема контура тока возбуждения двигателя

Контур содержит три инерционных звена (апериодических), и одно форсирующее звено.

Значение постоянных времени T_1 и T_2 определяются по выражениям

$$T_1 = \frac{T_\kappa + T_s + T_\epsilon}{2} + \sqrt{\left(\frac{T_\kappa + T_s + T_\epsilon}{2}\right)^2 - T_\kappa \cdot T_s} =$$

$$= \frac{0.02908 + 0.0574 + 0.2908}{2} + \sqrt{\left(\frac{0.02908 + 0.0574 + 0.2908}{2}\right)^2 - 0.2908 \cdot 0.0574} = 0.326 \text{ с};$$

$$T_2 = \frac{T_\kappa + T_s + T_\epsilon}{2} - \sqrt{\left(\frac{T_\kappa + T_s + T_\epsilon}{2}\right)^2 - T_\kappa \cdot T_s} =$$

$$= \frac{0.02908 + 0.0574 + 0.2908}{2} - \sqrt{\left(\frac{0.02908 + 0.0574 + 0.2908}{2}\right)^2 - 0.2908 \cdot 0.0574} = 0.0512 \text{ с}.$$

Постоянные времени звеньев связаны соотношениями $T_1 > (T_{\text{ПВ}} + T_2)$ и $T_1 > T_\kappa$.

Тогда принимаем:

$T_{\text{ПВ}} = (T_{\text{ПВ}} + T_2) = 0.00167 + 0.0512 = 0.05287 \text{ с}$ - малая постоянная времени тиристорного преобразователя возбуждения;

$T_1 = 0.326 \text{ с}$ - большая постоянная времени контура.

Для компенсации влияния форсирующего звена в прямом канале устанавливаем в цепь обратной связи инерционное звено с передаточной функцией

$$W_{\Phi.OTB}(\rho) = \frac{1}{T_{\Phi.OTB2}\rho + 1},$$

постоянная времени которого выбирается из условия $T_{\Phi.OTB2} = T_\kappa = 0.02908 \text{ с}$.

Структурная схема преобразованного контура тока возбуждения приведена на рисунке 23,б.

Для настройки контура рисунок 22,б выбирают ПИ – регулятор тока с передаточной функцией

$$W(\rho)_{\text{ПВ}} = K_{\text{ПВ}} \frac{T_{\text{ПВ}}\rho + 1}{T_{\text{ПВ}}\rho}.$$

Настройку контура производят на модульный оптимум (МО). Тогда параметры настройки регулятора выбирают следующим образом:

– коэффициент усиления регулятора

$$K_{PTB} = \frac{T_1 \cdot R_{цб}}{K_{ПТБ} \cdot K_{TB} \cdot a_{TB} \cdot T_{\mu TB}} = \frac{0.326 \cdot 4.023}{41.3 \cdot 0.217 \cdot 2 \cdot 0.05287} = 1.384,$$

где $K_{TB} = \frac{U_{3TB.МАКС}}{I_{B.H}} = \frac{10}{46} = 0.217$ $\frac{B}{A}$ – коэффициент обратной связи по току возбуждения;

$U_{3TB.МАКС} = 10$ В – максимальное значение напряжения управления на входе контура;

$I_{B.H}$ – номинальный ток возбуждения двигателя;

$a_{TB} = 2$ – коэффициент оптимизации по МО;

– постоянная времени регулятора тока

$$T_{PTB} = T_1 = 0.326 \text{ с}.$$

Настроенный таким образом контур рисунок 22,б имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W(\rho)_{PA3} = \frac{1}{a_{TB} \cdot T_{\mu TB} \rho \cdot (T_{\mu TB} \cdot p + 1)};$$

– замкнутого контура по управлению

$$W(\rho)_{ЗАМ} = \frac{\frac{1}{K_{TB}} \cdot (T_K p + 1)}{a_{TB} \cdot T_{\mu TB}^2 \rho^2 + a_{TB} T_{\mu TB} \rho + 1}.$$

Для уменьшения перерегулирования на входе контура устанавливается сглаживающий фильтр с передаточной функцией

$$W(\rho)_{\Phi.BTB} = \frac{1}{T_{\Phi.BTB2} \rho + 1},$$

постоянная времени которого выбирается из условия

$$T_{\Phi.BTB2} = T_K = 0.02908 \text{ с}.$$

Передаточная функция замкнутого контура по управлению с фильтром на входе имеет вид

$$W(\rho)_{ЗАМ} = \frac{1/K_{TB}}{a_{TB} \cdot T_{\mu TB}^2 \rho^2 + a_{TB} T_{\mu TB} \rho + 1} = \frac{4.608}{0.0055905 p^2 + 0.10574 p + 1}.$$

Структурная схема настроенного таким образом контура тока возбуждения электродвигателя имеет вид, представленный на рисунке 22,в.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ определяется по выражению

$$K_{OTB} = \frac{K_{TB}}{K_{ДТВ}} = \frac{0,217}{0,2} = 1,085,$$

где $K_{ДТВ} = \frac{U_{ДТВ.МАКС}}{I_{ВХ.ДТВ.МАКС}} = \frac{10}{50} = 0,2 \frac{В}{А}$ – коэффициент передачи ДТВ.

2.6 Переходные процессы в нелинейной САУ

Получение достоверных качественных и особенно количественных характеристик поведения реальной системы автоматизированного электропривода конкретного производственного механизма требует максимального учета особенностей работы, как в целом электропривода, так и его отдельных элементов. В первую очередь это учет особенностей тиристорного преобразователя (дискретное полууправляемое устройство с конкретным способом управления и законом согласования регулировочных характеристик групп вентилях) и элементов систем электропривода с нелинейными характеристиками (СИФУ, регуляторы, обратные связи, нагрузки реактивного характера, кинематические цепи и т.д.), параметров электрической и механической систем, зависящих от времени и других параметров (индуктивность силовой цепи, момент инерции и т.д.).

Структурная схема нелинейной САУ электропривода

Основные нелинейности САУ электропривода маятниковых ножниц:

– насыщение регуляторов

$$U_{РЭ} \leq U_{РЭ МАКС}; U_{РТ} \leq U_{РТ МАКС}; U_{РП} \leq U_{РП МАКС};$$

– токоограничение, которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора ЭДС

$$U_{РЭ ДОП} = K_T \cdot I_{ЭП МАКС} = 0,0027 \cdot 3600 = 10В;$$

–ограничение минимального угла управления преобразователя, что определяет ограничение выходной ЭДС преобразователя

$$E_{ТП\text{ МАКС}} = E_{d0} \cdot \cos\alpha_{МИН} = 970 \cdot \cos 25^\circ = 879B;$$

–реактивный характер нагрузки

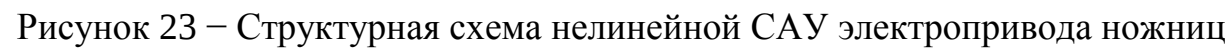
$$M_c(\omega) = M_c \cdot \text{Sign}\omega.$$

Основной нелинейностью электропривода является дискретный преобразователь. Учет его особенностей может быть произведен с использованием специальной модели реверсивного тиристорного преобразователя с трехфазной мостовой схемой выпрямления, с отдельным управлением группами вентилей, с линейной СИФУ.

Структурная схема нелинейной САУ электропривода ножниц приведена на рисунке 23.Параметры структурной схемы приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры элементов структурная схема нелинейной САУ

К _{РЭ}	К _{РТ}	Т _{РТ} с	К _{ТП}	Т _{ТП} с	Р _{ЯЦ} Ом	Т _{ЯЦ} с
5,86	1,23	0,02085	144,75	0,00167	0,079	0,02085
с	М _С Н·м	М _{РЕЗ} Н·м	Ј _Э кг·м ²	К _М град/рад	К _{ДТ} В/А	К _{ОТ1}
31,4	6297,52	57205,52	975	18	0,0025	1,108
Р _{ДВ} Ом	Т _{ДВ} с	L _{ДВ} Гн	К _{ДН}	Т _{ФН} с	К _{ОТ2}	К _{ДЭ}
0,02663	0,0263	0,000647	0,01	0,012	0,7632	1
К _{ОЭ}	К _{ДП} В/град	К _{РП}	L _{ЯЦ} Гн	Е _{ТП.МАКС} В	е _{2 МАКС} В	1/ R _{ЯЦ}
1,524	0,167	2,5944	0,001647	879	1015	12,66



Для моделирования работы СЭП при отработке одного цикла реза (с металлом) использовалась программа Matlab. Имитационная модель электропривода ножниц приведена на рисунке 31,

Цикл реза, рассчитанный с помощью программа Matlab, приведен на рисунке 24.

Проверенные исследования электропривода на имитационных моделях подтвердили его работоспособность и высокие динамические характеристики.

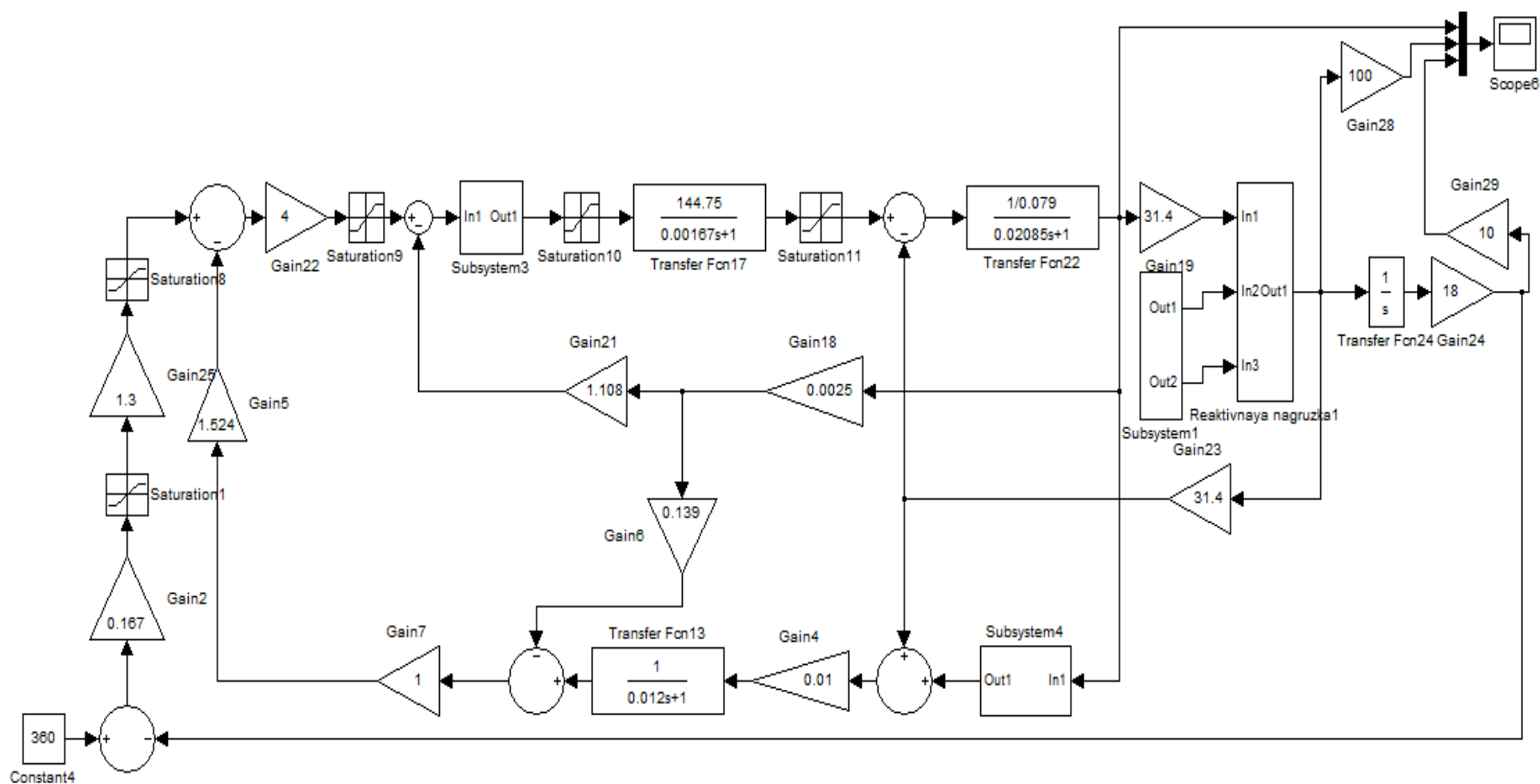


Рисунок 24 – Схема набора имитационной модели электропривода ножниц в среде MATLAB SIMULINK

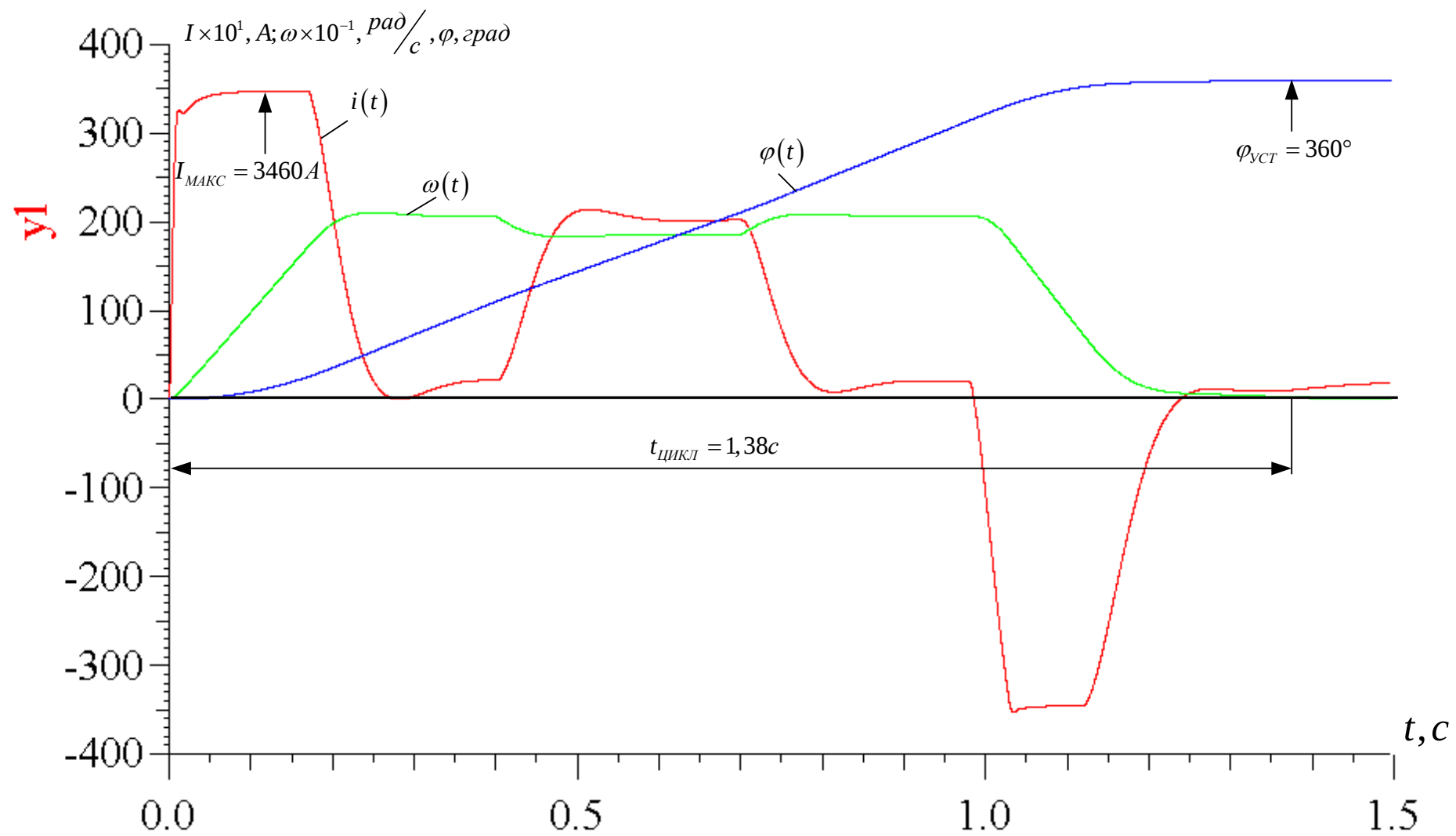


Рисунок 25 – Полный цикл работы маятниковых ножниц

2.7 Расчет статических электромеханических характеристики погрешности скорости при изменении нагрузки

Структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости (ЭДС) приведена на рисунке 29.

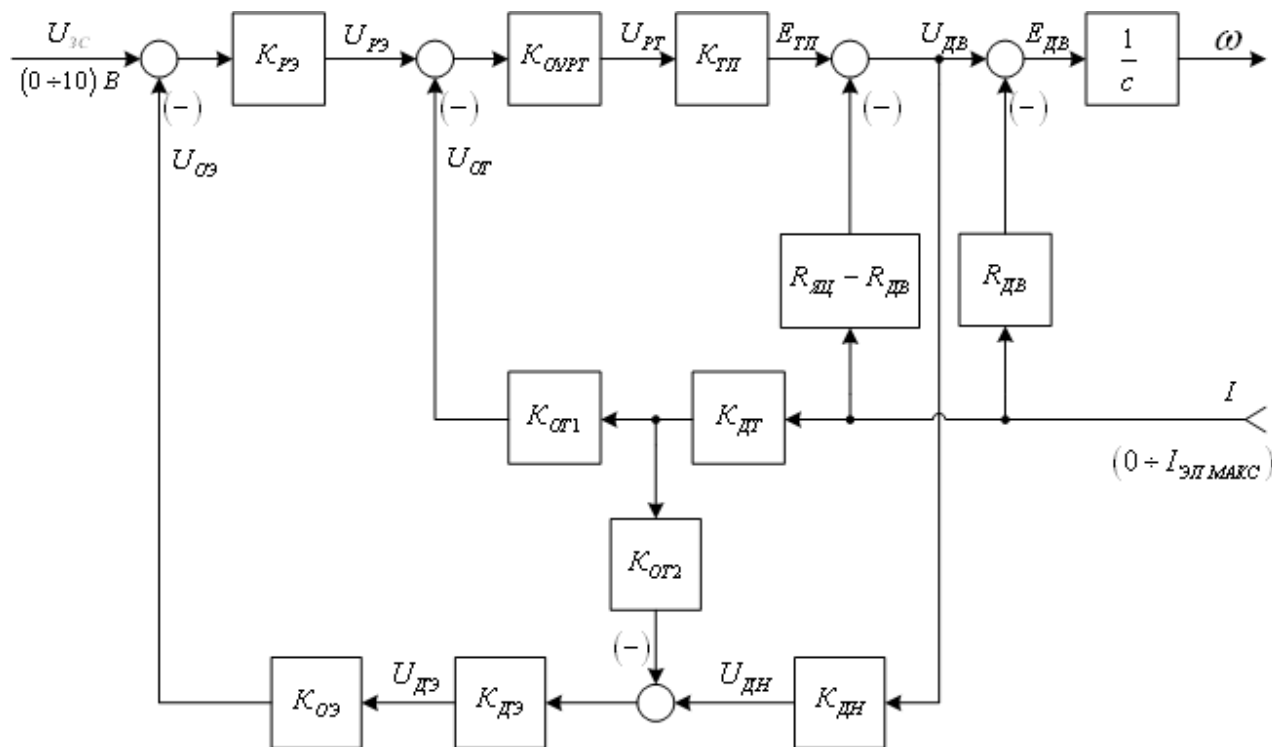


Рисунок 26 – Структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости

Если настройка контуров выполнена в соответствии с изложенной ранее методикой, то схема рисунке 26 упрощается и принимает вид, приведённый на рисунке 30.

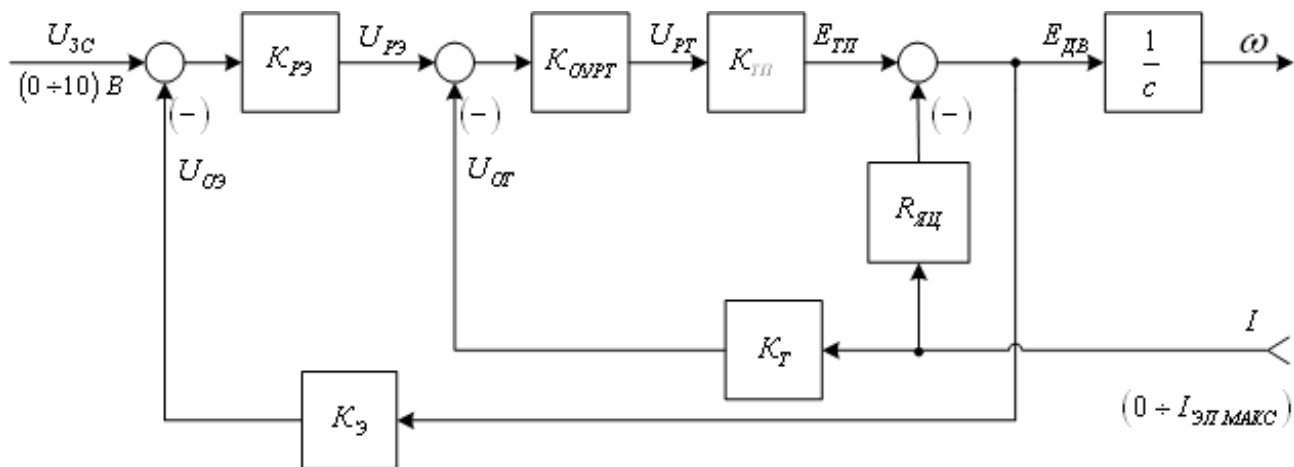


Рисунок 27 – Преобразованная структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости

Схема рисунка 27 описывается следующей системой уравнений:

$$U_{PЭ} = k_{PЭ}(U_{ЗС} - U_{ОЭ});$$

$$U_{ОЭ} = k_{Э} \cdot E_{ДВ}(U_{ЗС} - U_{ОЭ});$$

$$U_{РТ} = k_{ОУ.РТ} \cdot (U_{PЭ} - U_{ОТ});$$

$$E_{ТП} = k_{ТП} \cdot U_{РТ};$$

$$E_{ДВ} = E_{ТП} - R_{ЯЦ} \cdot I;$$

$$\omega = \frac{E_{ДВ}}{C},$$

где $k_{ОУРТ} = 20000$ - коэффициент усиления операционного усилителя, на котором реализован ПИ-РТ.

Решив систему уравнений относительно ω найдём уравнение для статической (электромеханической) характеристики привода в режиме стабилизации скорости

$$\omega(I) = \frac{k_{ТП} \cdot k_{ОУ.РТ} \cdot k_{PЭ}}{1 + k_{ТП} \cdot k_{ОУ.РТ} \cdot k_{PЭ} \cdot k_{Э}} \cdot \frac{U_{ЗС}}{c} - \frac{R_{ЯЦ} \cdot I}{c} \cdot \frac{1 + \frac{k_{ТП} \cdot k_{ОУ.РТ} \cdot k_T}{R_{ЯЦ}}}{1 + k_{ТП} \cdot k_{ОУ.РТ} \cdot k_{PЭ} \cdot k_{Э}}.$$

Подставив численные значения, получим

$$\begin{aligned} \omega(I) &= \frac{144,75 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 5,86}{1 + 144,75 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 5,86 \cdot 0,01524} \cdot \frac{U_{ЗС}}{31,4} - \frac{0,079 \cdot I}{31,4} \cdot \frac{1 + \frac{144,75 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0,00277}{0,079}}{1 + 144,75 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 5,86 \cdot 0,01524} = \\ &= \omega_0(U_{ЗС}) - \Delta\omega(I) = 2,0897 \cdot U_{ЗС} - 9,878 \cdot 10^{-4} \cdot I. \end{aligned} \quad (1)$$

Погрешность скорости по управлению

$$\Delta\omega(U_{ЗС}) = \omega_{Зад}(U_{ЗС}) - \omega_{уст}(U_{ЗС}) = \frac{U_{ЗС}}{K_{Э} \cdot c} - 2,0897 U_{ЗС} = 0.$$

Погрешность скорости электропривода при изменении нагрузки в % определяется по выражению

$$\Delta n = \frac{\omega_0(U_{ЗС}) - \omega(I_{ДВ.Н})}{\omega_0(U_{ЗС}) + \omega(I_{ДВ.Н})} \cdot 100\% = \frac{\Delta\omega(I_{ДВ.Н})}{\omega_0(U_{ЗС}) + \omega(I_{ДВ.Н})} \cdot 100\% \quad (2)$$

При увеличении нагрузки скорость двигателя уменьшается и напряжение регулятора ЭДС увеличивается. Как только регулятор ЭДС входит

в насыщение, отрицательная обратная связь по ЭДС отключается и система регулирования переходит в режим стабилизации тока. Структурная схема электропривода для этого режима приведена на рисунке 28.

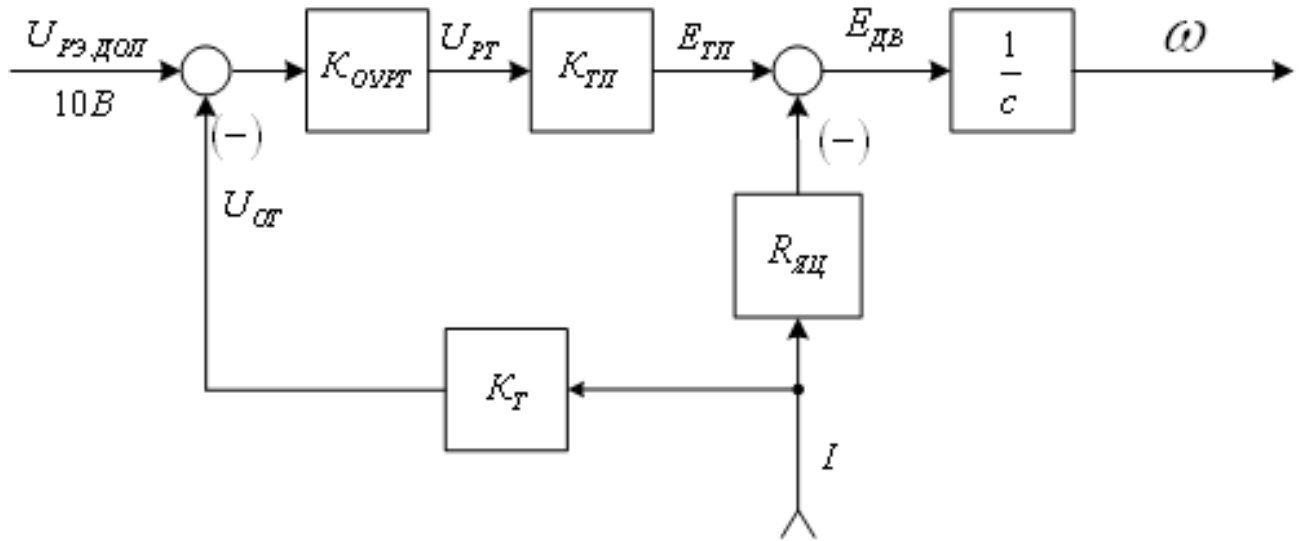


Рисунок 28 – Структурная схема электропривода для режима стабилизации тока

Схема рисунке 31 описывается следующей системой уравнений:

$$U_{РТ} = (U_{PЭ.доп} - U_{от}) \cdot K_{OУ.РТ} ;$$

$$U_{от} = K_T \cdot I ;$$

$$E_{ТП} = K_{ТП} \cdot U_{РТ} ;$$

$$I = \frac{E_{ТП} - E_{ДВ}}{R_{яц}} ;$$

$$E_{ДВ} = C \cdot \omega .$$

Из совместного решения системы уравнений найдем выражение для статической характеристики электропривода в режиме стабилизации тока

$$I(\omega) = \frac{k_{OУ.РТ} \cdot k_{ТП}}{R_{яц} + k_{OУ.РТ} \cdot k_{ТП} \cdot k_T} \cdot U_{PЭ.доп} - \frac{C \cdot \omega}{R_{яц} + k_{ТП} \cdot k_{OУ.РТ} \cdot k_T} .$$

Подставив численные значения, получим

$$\begin{aligned} I(\omega) &= \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 144,75}{0,079 + 2 \cdot 10^4 \cdot 144,75 \cdot 0,00277} \cdot U_{PЭ.доп} - \frac{31,4 \cdot \omega}{0,079 + 144,75 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0,00277} = \\ &= I(\omega = 0) - \Delta I(\omega) = 361 \cdot U_{PЭ.доп} - 3,916 \cdot 10^{-3} \cdot \omega. \end{aligned} \quad (3)$$

Точность стабилизации тока при изменении скорости двигателя

$$\Delta\omega = \frac{\Delta I(\omega_{ЭП.МАКС})}{I(\omega = 0)} \cdot 100\% . \quad (4)$$

Задаваясь рядом значений тока I по выражению (1) рассчитываем статические характеристики привода для нескольких значений $U_{ЗС}$. По выражению (2) определяем погрешность скорости от изменения нагрузки. Расчёты сводим в таблице 9.

Таблица 9 - Статические характеристики привода

$U_{ЗС}, В$	$\omega, рад/с$			$\Delta n, \%$
	$I = 0 А$	$I_{ДВ.Н} = 1725 А$	$I_{ЭП.МАКС} = 3600 А$	
10	20.897	19.193	17.341	4.25
8	16.718	15.014	13.162	5.37
6	12.538	10.834	8.982	7.29
4	8.359	6.655	4.803	11.349
2	4.179	2.475	0.623	25.605

Задаваясь рядом значений ω по выражению (3) рассчитываем статическую характеристику привода в режиме стабилизации тока. Результаты расчёта приведены в таблице 10. По выражению (4) определяем погрешность поддержания тока.

Таблица 10 - Статическую характеристику привода в режиме стабилизации тока

$\omega, рад/с$	0	$\omega_{ЭП.МАКС} = 20,9$ $рад/с$	$\Delta n, \%$
$I, А$	3599,96	3599,88	$2,273 \cdot 10^{-3}$

Электромеханические характеристики электропривода приведены на рисунке 29.

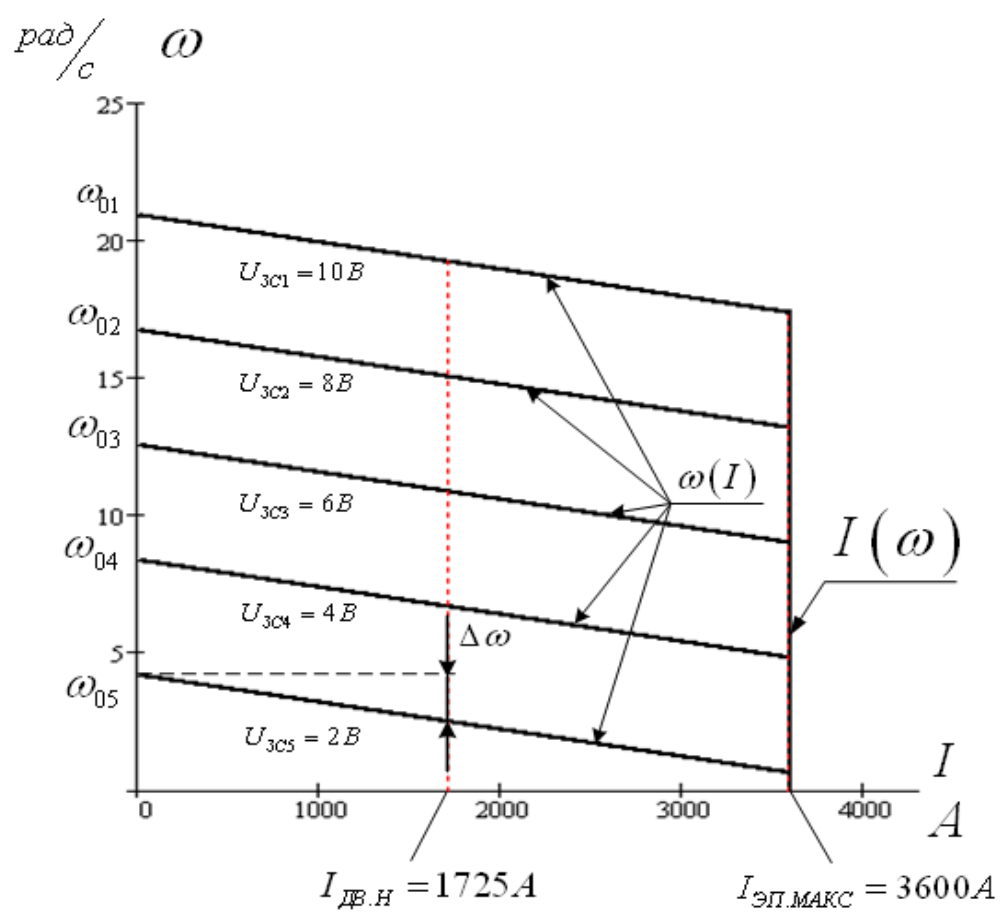


Рисунок 29 – Статические характеристики электропривода

ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Дусмухамедов Ислон Исмаилович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых и информационных	"Положению об оплате труда ТПУ". Приказ 25.05.2016 №5994
2. Продолжительность выполнения ТП	По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 100 рабочих дня.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Планирование графика работ по реализации ТП	При использовании графика работ по реализации ТП используется оценка трудоёмкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным составляется ленточная диаграмма Ганта.
3. Составление сметы ТП	При составлении сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям; - материальные затраты - полная заработная плата исполнителей - отчисления во внебюджетные страховые фонды - накладные расходы

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, отделение социально-гуманитарных наук	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Дусмухамедов Ислон Исмаилович		

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа
- Планирование технико-конструкторских работ
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

3.1. SWOT-анализ работы электропривода маятниковых ножниц непрерывного заточного стана

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта. [27].

Применительно к проектируемой частотно-регулируемому электроприводу дренажных насосов, 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. [27].

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 3.1.

Таблица 3.1. Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Отсутствие щеточно-коллекторного узла С2. Низкие массогабаритные показатели С3. Высокий КПД С4. Простое техническое обслуживание С5. Низкие вибро-шумовые характеристики	Слабые стороны проекта: Сл1. Большой срок выхода результата проекта на рынок Сл2. Высокая стоимость производства Сл3. Необходимость нахождения источника переменного тока рядом с местом работы
Возможности: В1. Повышения качества продукции В2. Автоматизация технологического процесса В3. Снижение затрат на транспортировку готовой продукции В4. Снижение затрат на техническом обслуживании	В1С2С3С5; В2С1С4; В3С2С3; В4С1С4.	В3Сл2; В4Сл1Сл2Сл3.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологии производства У2. Ограничения на экспорт технологии У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции 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 SWOTс дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 3.2 и 3.3, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 3.2. Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	+	+	-	+
	B2	+	-	-	+	-
	B3	-	+	+	-	-
	B4	+	-	-	+	-
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	-	-
	B1	-	-	-		
	B2	-	-	-		
	B3	-	+	-		
	B4	+	+	+		

Таблица 3.3. Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	-	+
	У2	-	-	-	-	-
	У3	-	+	+	-	-
	У4	-	+	-	+	-
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	-	-
	У1	+	+	+		
	У2	+	-	-		
	У3	+	-	+		
	У4	+	-	+		

При разработке технического проекта системы электроснабжения предприятия инженер нацелен на проектирование с возможно большим

внедрением сильных сторон. Это влияет, прежде всего, на качество и востребованность спроектированной системы электроснабжения, что немало важно для потребителей.

Несмотря на то, что для данного анализа сильных сторон, не исключен случай, когда какая-либо одна из слабых сторон окажется наиболее сильным фактором, негативно влияющим на работу системы электроснабжения, чем все вместе взятые сильные стороны. Для данного случая таким фактором может быть Сл2 - «Высокая стоимость производства». 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, что позволит нам минимизировать влияние слабых сторон.

3.2. Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования системы электропривода маятниковых ножниц непрерывнозаточного стана

3.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень

этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 5.4:

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

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

№ 3 – Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия – расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм;

№ 4 – Проектирование системы внутризаводского электроснабжения – выбор конфигурации схемы электроснабжения, расчет суммарных электрических нагрузок, выбор высоковольтного оборудования;

№ 5 – Проектирование системы внутрицехового электроснабжения – расчет нагрузок по цеху с учетом загруженности всех электроприемников, выбор защитной аппаратуры;

№ 6 – Проведение графических построений – построение схемы внутризаводского электроснабжения с расчетом и нанесением картограммы нагрузок по заводу, построение схемы внутрицехового электроснабжения.

№ 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 и устранение недочетов дипломником.

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

Таблица 3.4.– Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Расчеты и проектирование системы электропривода маятниковых ножниц непрерывногзаточного стана	3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Дипломник
	4	Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	Дипломник, научный руководитель
	5	Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	Дипломник, научный руководитель
	6	Проведение графических построений	
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	8	Составление пояснительной записки	Дипломник
	9	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	10	Подготовка к защите ВКР	Дипломник, Научный руководитель

3.2.2.Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудоемкость выполнения технического проекта 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_{oji} используется следующая формула: [27]:

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

где t_{oji} – 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 3.5. приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 3.5.–Календарная продолжительность работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ, рабочие дни					
		$t_{\min}$, минимально возможная трудоемкость		$t_{\max}$, максимально возможная трудоемкость		$t_{\text{ож}i}$, ожидаемая трудоем- кость выполнени я	
		Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	5	-	3
3	Проведение расчетов электрических электропривода маятниковых ножниц непрерывногозаточного стана	-	24	-	28	-	26
4	Проектирование системы маятниковых ножниц	1	22	1	26	1	24
5	Расчеты системы ножниц непрерывногозаточного стана	1	26	1	28	1	27
6	Проведение графических построений	-	1	-	2	-	2
7	Оценка эффективности полученных результатов	1	4	1	6	1	5

8	Составление пояснительной записки	-	5	-	12	-	8
9	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	-	1	-	1	-
10	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	2	3	2	4	2	3
11	Общие рабочие дни исполнителей					7	98

Примечание: минимальное $t_{\min}$ и максимальное время $t_{\max}$ получены на основе экспертных оценок.

3.2.3. Разработка графика проведения технического проекта

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

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

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР [27]. На основе таблицы 3.5. строим план-график проведения работ (таблица 3.6).

Таблица 3.6.– Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп-ли	T_{pi} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	-												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	3	-												
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Дипломник	26													
4	Проектирование системы	Руководитель	1													
		Дипломник	24													
5	Расчет силовой части электропривода маятниковых ножниц неприрывногозаточного стана	Руководитель	1											-		
		Дипломник	27													
6	Проведение графических построений и обоснований	Дипломник	2											-		
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	1												-	
		Дипломник	5												-	
8	Составление пояснительной записки	Дипломник	8													
9	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Руководитель	1												-	
10	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель	2												-	
		Дипломник	3												-	

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составит 100 рабочих дней. Из них:

7 – рабочий дни у научного руководителя

98 – рабочий дни у инженера дипломника

3.3. 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.

3.3.1. Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

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

C_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 „Канцелярский мир”.

Таблица 3.6. – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Зм), руб.
Бумага	Лист	150	2,5	375
Ручка	Шт.	1	60	60
USB накопитель	Шт.	1	305	505
Линейка	Шт.	1	85	85
Мультифора	Шт.	10	2	20
Блокнот	Шт.	1	100	100
Корректор	Шт.	1	55	55
Итого:				1200

3.3.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как [15]:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп},$$

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} \cdot З_{р.к.}}{F_d}$$

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

$З_{р.к.}$ – районная доплата, руб.;

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 3.7.

Таблица 3.7. - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад	Месячный основной оклад работника руб.	Средняя заработная плата работника руб.	Продолжительность работ, выполняемых работником раб.дн.	Основная заработная плата одного работника руб.
Руководитель	33664	43764	1683	7	11780
Бакалавр	12300	16000	615	98	60270
Итого $З_{осн}$:					72050

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}$$

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

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 3.8.

Таблица 3.8. - Расчет полной заработной платы

Исполнители	коэффициент дополнительн ой заработной платы. кдоп, руб	Основная зарботная плата одного работника Зосн, руб.	Дополнительная зарботная плата Здоп, руб.	Полная зарботная плата Зп, руб.
Руководитель	15%	11780	1767	13500
Бакалавр	12%	60270	7232	67500
Итого:		72050	9000	81000

3.3.3. 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:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)[27].

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

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot (72050 + 9000) = 24500$$

3.3.4. 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 накладных расходов принимается в размере 16% от общей суммы затрат.

3.3.5. 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 [15].

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 3.8.

Таблица 3.8. – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат %
1. Материальные затраты ТП	1,2	0,9
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	81,0	63,8
3. Отчисления во внебюджетные фонды	24,5	19,3
4. Накладные расходы	20,3	16,0
5. Итого	127,0	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 98 раб. дней для инженера и 7 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 127 тыс.руб, из которых более половины (64%) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

3.4.Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [27]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Экономичность: оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств.

2. Гибкость: возможность частых перестроек технологии производства и развития предприятия.

3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;

4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии: качество электроэнергии, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13109-97.

5. Надежность: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам электрооборудования на предприятии.

7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9. - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Экономичность	0,15	4
2. Гибкость	0,10	4
3. Безопасность	0,15	5
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,18	5
5. Надежность	0,20	5
6. Простота и удобство в эксплуатации	0,07	5
7. Энергоэффективность	0,15	4
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит [27]:

$$I_{p-учн1} = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,07 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 = 4,6$$

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

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- 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.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Дусмухамедов Ислон Исмаилович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: Регулируемый электропривод маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Регулируемый электропривод маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана
--	--

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.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды. 2.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды. 2.3. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Микроклимат 2. Шум 3. Вибрация; 4. Электромагнитное излучение; 5. Освещенность рабочей зоны 1. Поражение электрическим током. 2. Механические травмы.
3. Экологическая безопасность:	2) Воздействия на гидросферу (сбросы); 3) Воздействия на литосферу (сбросы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	1) Возможные ЧС на объекте; 2) Пожар

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Дусмухамедов Ислон Исмаилович		

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение.

Открытое акционерное общество "Западно-Сибирский металлургический комбинат" является одним из крупнейших предприятий данной отрасли России. Широкое внедрение передовой современной техники, дальнейшая механизация и автоматизация производственных процессов, а так же осуществление мероприятий по технике безопасности и охране труда, повышение безопасности жизнедеятельности рабочих являются основными направлениями дальнейшего снижения травматизма и заболеваемости на предприятии. Обеспечение безопасности труда – необходимое важнейшее условие любого технологического процесса. Это особенно важно в цеху, где применяется механическое и электрическое оборудование, а также технологический процесс сопровождающийся обильным выделением тепла, газов, образованием пыли и шлаков, которые оказывают вредное воздействие на организм человека.

4.1 Правовые и организационные вопросы.

Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда).

До работ допускаются только обученные и аттестованные люди не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже 9 классов, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

В соответствии со ст. 104 ТК РФ допускается введение суммированного учета рабочего времени с учетным периодом три месяца. В случае, если по причинам сезонного и (или) технологического характера, установленная продолжительность рабочего времени не может быть соблюдена в течение учетного периода продолжительностью три месяца, отраслевым (межотраслевым) соглашением и коллективным договором может быть предусмотрено увеличение учетного периода для учета рабочего времени таких работников, но не более чем до одного года. При этом продолжительность

рабочего времени за учетный период не может превышать нормального числа рабочих часов.

Люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст.165«Случаи предоставления гарантий и компенсаций».

Ежегодно на социальные программы предприятие выделяет средства. Сюда входит:

- организация санаторно-курортного лечения, оздоровление работников и их детей;
- оказание медицинских услуг;
- развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности;
- материальное поощрение работников к юбилеям и знаменательным датам;
- материальная помощь работникам, нуждающимся в дополнительной социальной поддержке;
- единовременные компенсационные выплаты увольняющимся работникам в связи с выходом на пенсию;
- пенсионные социальные программы, предусматривающие досрочное оформление пенсии работникам;

Сотрудники предприятия имеют ряд социальных гарантий, а также спектр финансовых льгот, таких как социальное страхование, кредитование, материнские выплаты. Предусмотрено бесплатное обучение в ВУЗах, регулярное повышение квалификации.

4.2 Производственная безопасность

Таблица 4.1 Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).			+	Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] цеху обогащения –90дБ.
2..Акустические колебаниями в производственной среде(шум)			+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума. [20]
3..Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)			+	Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]: СанПиН 2.2.4.548-96
4.Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)			+	Требуемая норма освещения Е _{нор} =200 ЛК. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[28].
5. Поражение электрическим током			+	защита людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества (ГОСТ 12.1.009-82. ССБТ. Электробезопасность.ПОТРМ-016-2001. РД 153-34.0-03.150- 00
6. Механические травмы;			+	Устройства, препятствующие появлению человека в опасной зоне. Согласно ГОСТ 12.2.062-81 [27]. Защита работающих от движущихся частей машин и механизмов $Z = (Z_{тф} + Z_{тр} + Z_{тл} + Z_{сиз}) + Z_{от} + Z_{ор}$. (11.1)

Отклонение показателей микроклимата

Для обеспечения нормальных условий труда персонала немаловажную роль играет микроклимат, т.е. факторы производственной среды, влияющие на физическое и эмоциональное состояние человеческого организма.

Производственные процессы могут сопровождаться выделением вредных газов, паров, пыли или избыточного тепла, вследствие чего воздух в помещении претерпевает некоторые изменения, которые могут вредно отражаться на здоровье работающих.

Оптимальные показатели микроклимата распространяются на всю рабочую зону, допустимые показатели устанавливаются дифференцировано для постоянных и непостоянных рабочих мест. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне рассматриваемого цеха, указаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-21	60-40	0,2
Теплый	20-22	60-40	0,2

Допустимые макроклиматические условия допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьмичасовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 4.2.

Таблица 4.2.

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Повышенный уровень шума на рабочем месте

В производственных условиях разнообразные машины, аппараты и механизмы являются агрегатами динамически неуравновешенными. Для рассматриваемого цеха такими аппаратами являются двигатели, вентиляторы, кран-балки.

Длительное систематическое воздействие шума на организм человека приводит к следующим негативным последствиям:

- снижает производительность труда;
- снижает чувствительность слуха;
- количество ошибок возрастает;
- нарушает артериальное давление и ритм сердечной деятельности.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления. Для ориентировочной оценки допускается в качестве характеристик и постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука значение которого приведено в ГОСТ12.1.003.

Допустимый уровень звукового давления для цеха 75 дБ в октавных полосах со среднегеометрической частотой 1000 Гц и уровень звука 80 дБА.

Повышенный уровень вибрации

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда.

Предельно-допустимые значения вибрации рабочих мест приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Вид вибрации: Технологическая	Средне-геометрические частоты, Гц.					
	2	4	8	16	32,5	63
Предельно-допустимые значения виброскорости, дБ	108	99	93	92	92	92
Предельно-допустимые значения виброускорения, дБ	103	100	100	106	112	110

Вибрацию в рассматриваемом цехе можно наблюдать при работе большинства оборудования. Для снижения уровня вибрации производится тщательное наблюдение за узлами оборудования, и в случае необходимости, настройка оборудования и замена изношенных частей установки, виброизоляция, применение динамических виброгасителей, уравнивание, балансировка, жесткое присоединение агрегата к фундаменту большой массы.

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источниками электромагнитных полей являются кабели, трансформаторы, шинопроводы, устройства защиты и автоматики и др.

Предельно-допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м. При напряженности свыше 20 до 25кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин. Пребывание в ЭП с напряженностью более 25кВ/м без применения средств защиты не допускается. Напряженность магнитного поля в соответствии с предельно-допустимым уровнем на рабочем месте не должна превышать 8кА/м [27].

Применение средств индивидуальной защиты: специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани, очки с латунной сеткой вместо стекла, очки со стеклом, покрытым слоем полупроводникового материала, специальные каски и шлемы.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность рабочей зоны может вызвать ослепленность или привести к быстрому утомлению и снижению работоспособности и существенному повышению риска травматизма.

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам СП52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».

Для безопасного продолжения работы или выхода людей из помещений при внезапном отключении, должно быть предусмотрено аварийное освещение.

В цеху предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. Норма освещенности для рассматриваемого цеха приведена в таблице 4.

Таблица 4.

Разряд зрительной работы	Характеристика	Подразряд	Наименьший объект различения, мм	Освещённость (комбинированная система), Лк	Освещённость (общая система), Лк
IV	Средней точности	в	0,5-1,0	400	200

Вдоль всех главных коридоров, лестничным клеткам и над пожарным краном, предусмотрены эвакуационные светильники, показывающие выход.

Ремонтное освещение предусматривается в технических помещениях, и осуществлено переносными светильниками напряжением питания 36 В.

4.3 Анализ выявленных опасных факторов

Поражение электрическим током

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый цех относится к помещению с повышенной опасностью. В цехе присутствует возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям здания, имеющего соединение с землей, технологическим аппаратам и механизмам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям) с другой.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять защитные оболочки, защитные ограждения (временные или стационарные), безопасное расположение токоведущих частей, изоляцию рабочих мест.

Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования

В рассматриваемом цехе большая доля вероятности получить механическую травму, так как используется большое количество оборудования. При необходимости принимаются меры для уменьшения вероятности травмирования персонала – предупредительные плакаты, ограждения, сигнализация.

Производственное оборудование, в состав которого входят средства защиты, требующие их включения до начала функционирования производственного оборудования и выключения после окончания его функционирования.

Конструкция и расположение средств защиты не должны ограничивать технологические возможности производственного оборудования и должны обеспечивать удобство эксплуатации и технического обслуживания.

Сигнальные устройства, предупреждающие об опасности, должны быть выполнены и расположены так, чтобы их сигналы были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым угрожает опасность.

Части производственного оборудования, представляющие опасность, должны быть окрашены в сигнальные цвета и обозначены соответствующим знаком безопасности в соответствии с действующими стандартами.

4.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация)

Снижение неблагоприятного воздействия вибрации ручных механизированных устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты,

которые представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации и руками оператора.

В качестве средств индивидуальной защиты работающих используют специальную обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготавливают из упругодемпфирующих материалов.

Акустические колебаниями в производственной среде(шум)

При превышении уровня шума в рабочей зоне от 80 дБА, наниматель должен провести оценку риска здоровью персонала и подтвердить приемлемый риск здоровью[20].

Если эквивалентный уровень шума – от 85 дБА, то работать нельзя [20]. Все оборудование, применяемое на участке обработки, для снижения шума установлено на виброопорах. Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

4.5 Экологическая безопасность

Для работающих на промышленных предприятиях, непосредственной окружающей средой является воздух рабочей зоны.

Охрана окружающей среды на предприятии предусматривает мероприятия предотвращающие загрязнение воздушного бассейна. С этой целью загрязненный воздух, удаляемый из производственных помещений, пропускается через специальные очистительные фильтрующие и обезвреживающие устройства, которые обеспечивают вытяжному воздуху тоже качество, что и на входе.

В самом цехе не образуются сточные воды. Сточные воды появляются в результате мойки оборудования и текущей уборки специальными сливами, которые отводятся в технологическую канализационную сеть. Предварительная обработка этой воды перед выливанием в общие сети достигается отведением в бассейн для нейтрализации.

В процессе деятельности цеха предприятия образуются промышленные отходы. Отходы, которые в дальнейшем могут быть использованы в производстве собираются, складываются и по мере их накопления отправляются на переработку. Отходы, подлежащие переработке и дальнейшему использованию передаются специализированным организациям для дальнейшей утилизации и размещения на объектах размещения отходов.

4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К чрезвычайным ситуациям в рассматриваемом цехе можно отнести нарушения бесперебойности электроснабжения. В случае возникновения выхода из строя одной из двух кабельных линий, электроснабжение цеха будет обеспечивать вторая кабельная линия.

Для повышения устойчивости к ЧС предусмотрены различные меры:

1. Для обеспечения бесперебойной работы в случае ЧС предусмотрено питание от двух источников электроэнергии, удаленных на такое расстояние, чтобы исключить возможность разрушения их в военное время одним ядерным ударом, а в мирное время – стихийным бедствием или аварией, а также имеются резервные источники питания.

2. В целях снижения опасности взрыва применяют вентиляционные установки, автоматическую сигнализацию, систематически контролируется температура узлов электрооборудования. На каждом этаже предприятия установлена радиоточка для оповещения людей о пожаре или другой ЧС.

3. В качестве профилактики от сезонных вспышек вируса гриппа регулярно проводится вакцинация работающих.

4. Для снижения вероятности возникновения пожара предусмотрена автоматическая пожарная сигнализация. На случай возникновения пожара предусмотрены первичные средства пожаротушения.

Пожарная безопасность.

На предприятии на основе типовых правил пожарной безопасности для промышленных предприятий разрабатываются объектовые и цеховые противопожарные инструкции.

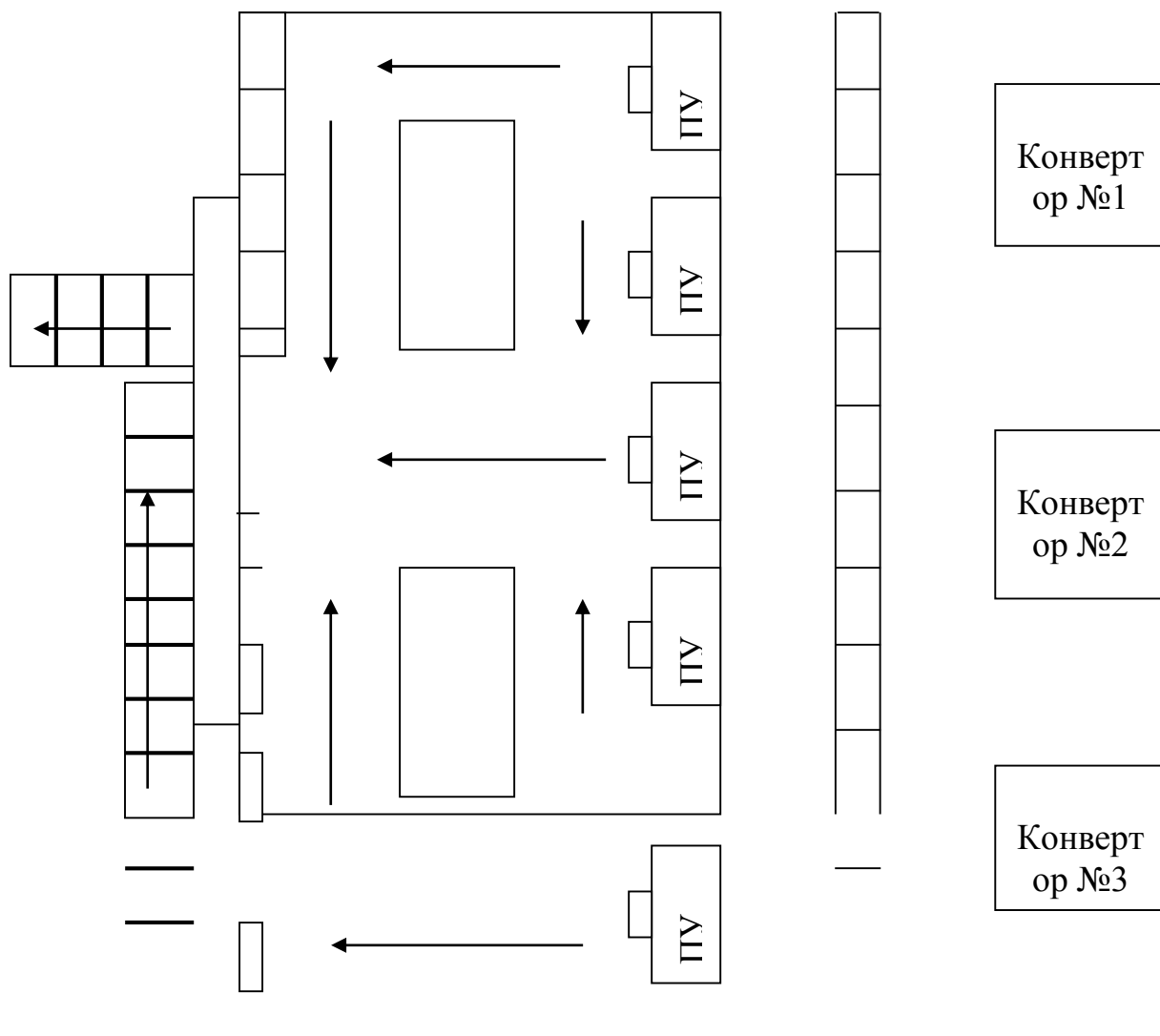
Для локализации небольших возгораний обслуживающий персонал до прибытия передвижных средств пожаротушения должен использовать первичные средства пожаротушения, находящиеся на пожарных щитах.

В помещении цеха устанавливается пожарный инвентарь, согласно РД153-34.0-03.301-00 такие первичные средства пожаротушения, как:

- углекислотные огнетушители ОУ-2 и ОУ-5;
- пенные огнетушители ОВП-4;
- ящик с песком;
- ведра;
- лопаты и багор;
- асбест.

На предприятии используется система автоматической пожарной безопасности, основанная на датчиках различных видов (дымовые, тепловые, датчики пламени). В случае возникновения пожара, срабатывает система оповещения, подается световой и звуковой сигнал об опасности.

План эвакуации представлен на рисунке 4.1.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа включает в себя проектирование и разработку электропривода маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана обжимного цеха .

В систему автоматического управления электроприводом ножниц входят: электродвигатель, преобразователь, передаточная и управляющая системы, представляющие вместе сложную электромеханическую структуру. Кроме того, на характер работы этой системы оказывает существенное влияние специфика прокатного производства, что дополнительно предъявляет целый ряд требований к системе электропривода маятниковых ножниц.

В результате проектирования разработан электропривод, полностью отвечающий требованиям технического задания и технологического процесса. Электромеханические характеристики системы преобразователь-двигатель в полной мере заполняют заданную область работы характеристик, проектируемого электропривода в плоскости координат $\omega(I)$. Статические характеристики замкнутой системы электропривода с П-регулятором положения, скорости (ЭДС) и ПИ-регулятором тока обеспечивают заданную точность поддержания скорости и значение максимального допустимого тока.

Динамические показатели качества работы СЭП во всём диапазоне регулирования скорости полностью удовлетворяют требованиям технического задания.

Электропривод маятниковых ножниц снабжён системой защит и сигнализации, обеспечивающей безаварийную и безопасную работу.

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.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства участка путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства. Произведен расчет искусственного заземления.

THE CONCLUSION

The final qualifying work includes designing and development of the electric drive bloom shears continuously - blooming mill of workshop public corporation "WSSW".

Into system of automatic control of the electric drive of scissors enter: the electric motor, converter, transfer and manager of systems representing together intricate electromechanical structure. Besides on character of work of this system renders essential influence specificity of rolling manufacture, that in addition shows a lot of the requirements to system of the electric drive bloom shears.

As a result of designing the electric drive completely adequate the technical project and technological process is developed. The electromechanical characteristics of system to the full fill the converter - engine the given area of work of the characteristics, projected electric drive in a plane of coordinates $\omega(I)$. The static characteristics of the closed system of the electric drive with a P-regulator of a regulations, the speeds (EMF) and PI-regulator of a current provide the given accuracy of maintenance of speed and meaning of the maximal allowable current.

The dynamic parameters of quality of work electric drive in all range of regulation of speed completely meet the requirements of the technical project.

The electric drive bloom shears is supplied with system of protection and signal system ensuring trouble-free and safe work.

In an economic part of final qualifying work the questions of planning, financing and realization of starting-up and adjustment works of the electric drive are considered. The estimate on realization starting-up and adjustment work and diagram of realization starting-up and adjustment work is made.

In section safety and ability to live of work the questions of protection of work and safety precautions are considered. The dangerous and harmful factors of manufacture are analysed. The account of artificial grounding is made.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Копылов И.П. Справочник по электрическим машинам. Том 1. –М: Энергоатомиздат, 1988 г. 346 с.
2. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Том 3. –М: Металлургия, 1988 г. –680 с.
3. Арманский Е.В., Прокофьев П.А., Фали Г.Б. Автоматизированный электропривод. –М: Высшая школа, 1987 г. –143 с.
4. Перельмутер В.М. Сидоренко В.А. Система управления тиристорными электроприводами постоянного тока. –М: Энергоатомиздат, 1988 г. –304 с.
5. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. Учебное пособие для вузов. - Л: Энергоиздат, 1982 г.
6. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.: Энергия, 1977 г. –400 с.
7. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие по курсу проектирования. Томск: Изд. ТПУ, 1991 г. –104 с.
8. Кояин Н.В., Удут Л.С., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. Учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2001 г. –156 с.
9. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 4. Тиристорный преобразователь для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие, –Томск: Изд. ТПУ, 2002 г. –152 с.
10. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. М.: Высшая школа, 1997 г.
11. Крупович В.И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами. М.: Энергоатомиздат, 1982.

12. Королева Н.И. Техничко-экономические показатели при проектировании электроприводов: Методическое пособие.: Томск, 1993.
13. Ценник проведения пусконаладочных работ. 1986.
14. Кривцов Б.С. Охрана окружающей среды на металлургических предприятиях. М.: Энергия, 1986.
15. ГОСТ 12.1.012.-90. Вибрационная безопасность.
16. ГОСТ 12.1.003.-83. Шум. Общие требования безопасности.
17. П.А. Долин. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1984.
18. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Москва, 1998.
19. СНИП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
20. СНИП 23.05-95. Естественное и искусственное освещение.
21. Охрана труда в электроустановках. Под ред. Б.А. Князевского - М.: Энергоатомиздат, 1983.
22. СНИП 12.1.005.-88 Санитарные нормы промышленных предприятий.
23. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
24. СНИП ПДК.
25. СНИП 2.04.03.-85 Канализация. Наружные сети и сооружения.
26. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
27. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие // И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина; Томский политехнический университет.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.-36с
28. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.
29. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.

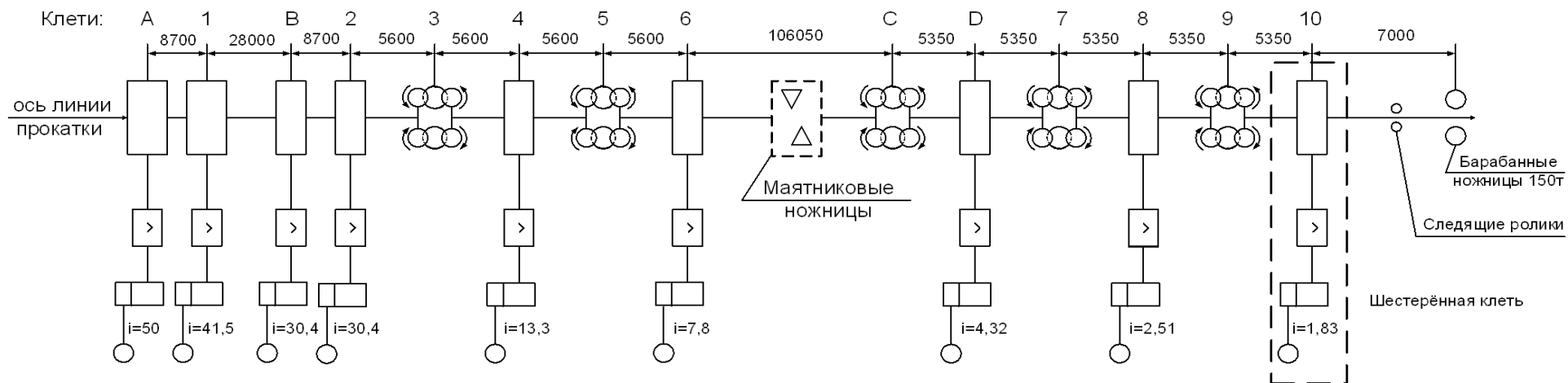
30 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-во экон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр.-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.

31. Перельмутер В.М. Комплектные тиристорные электроприводы. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.

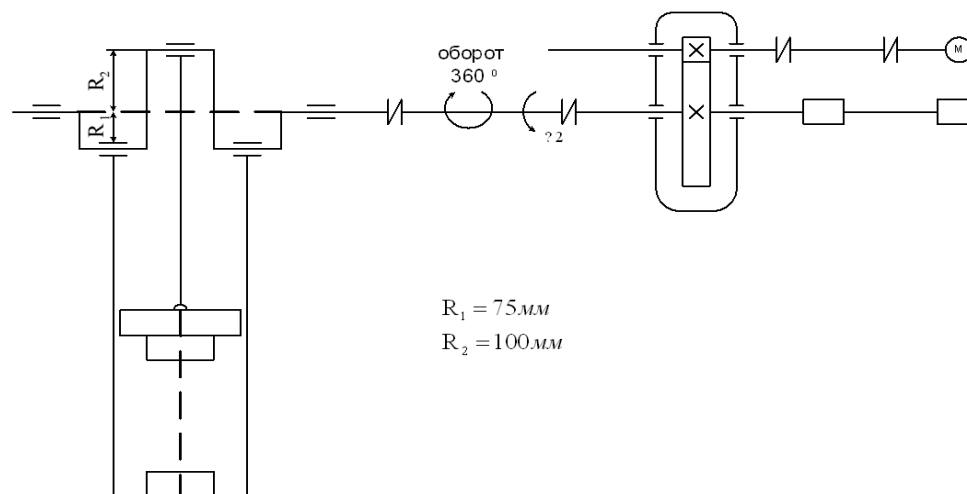
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Графический материал

Схема непрерывно - заготовочного стана

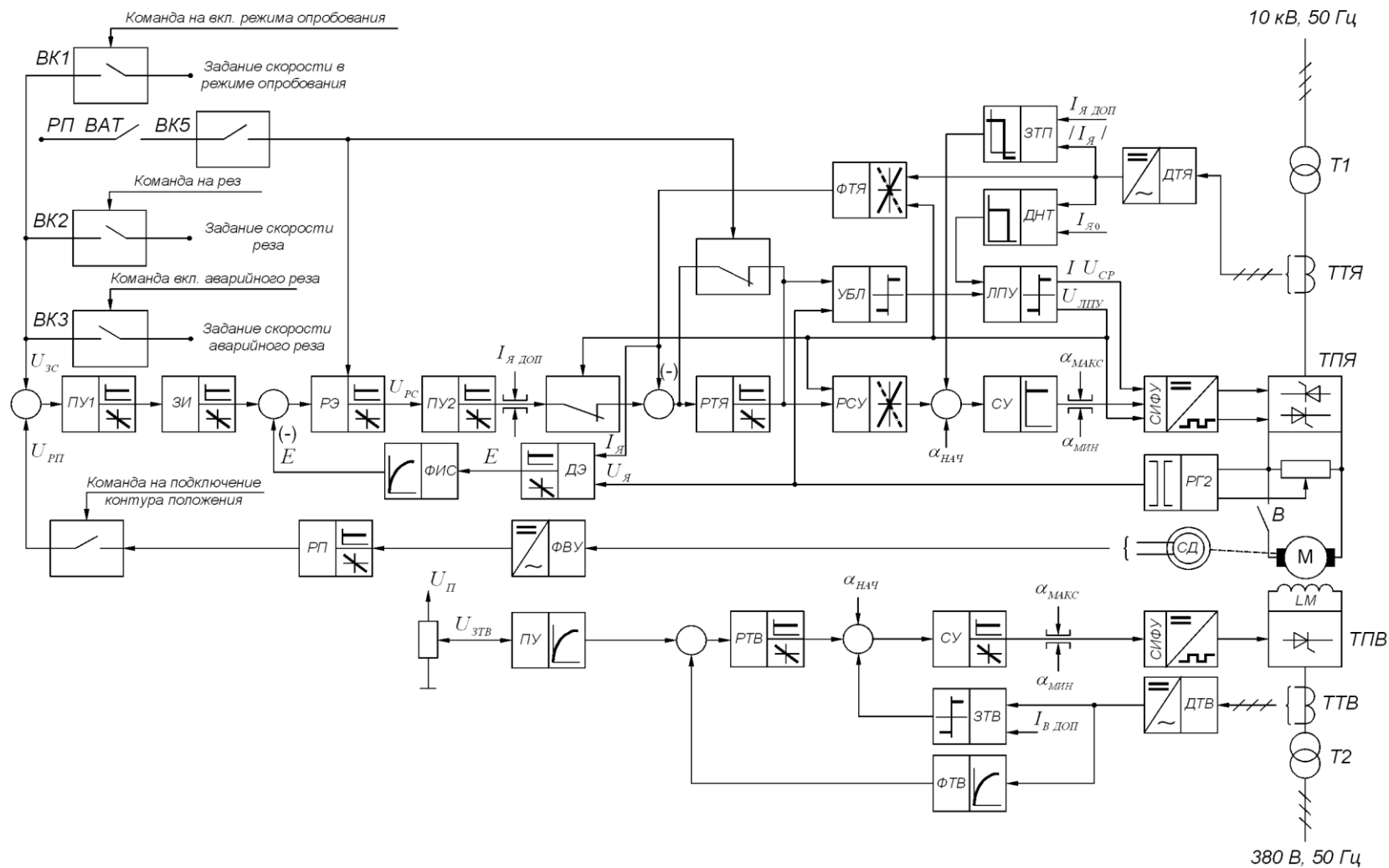


Кинематическая схема маятниковых ножниц

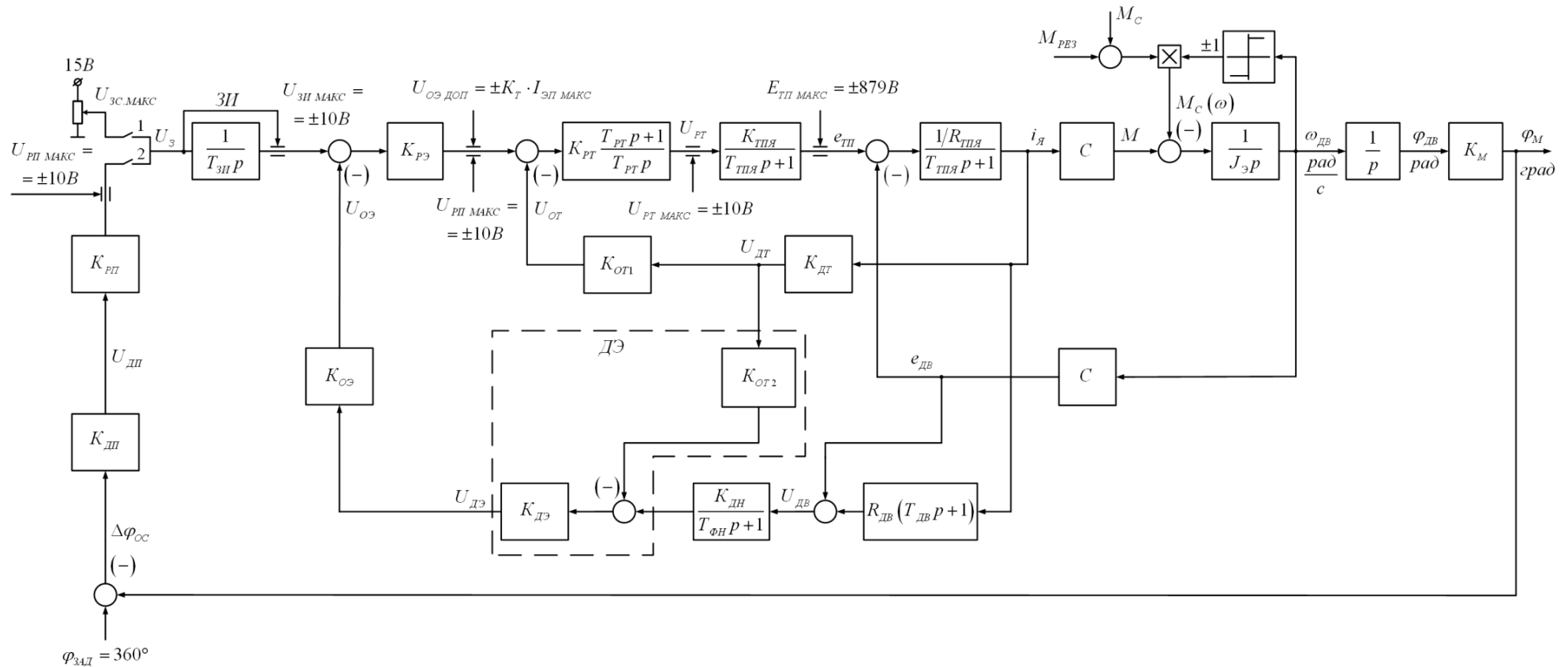


Клеть № п.п.	Размеры валков , мм	
	Диаметр валков	Длина бочки
A	850/770	1200
1	850/770	1200
B	850/770	1200
2	850/770	1200
3	730/660	900
4	730/660	1200
5	730/660	900
6	730/660	1200
C	730/660	900
D	730/660	1200
7	580/530	800
8	580/530	800
9	580/530	800
10	580/530	800

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАЯТНИКОВЫХ НОЖНИЦ



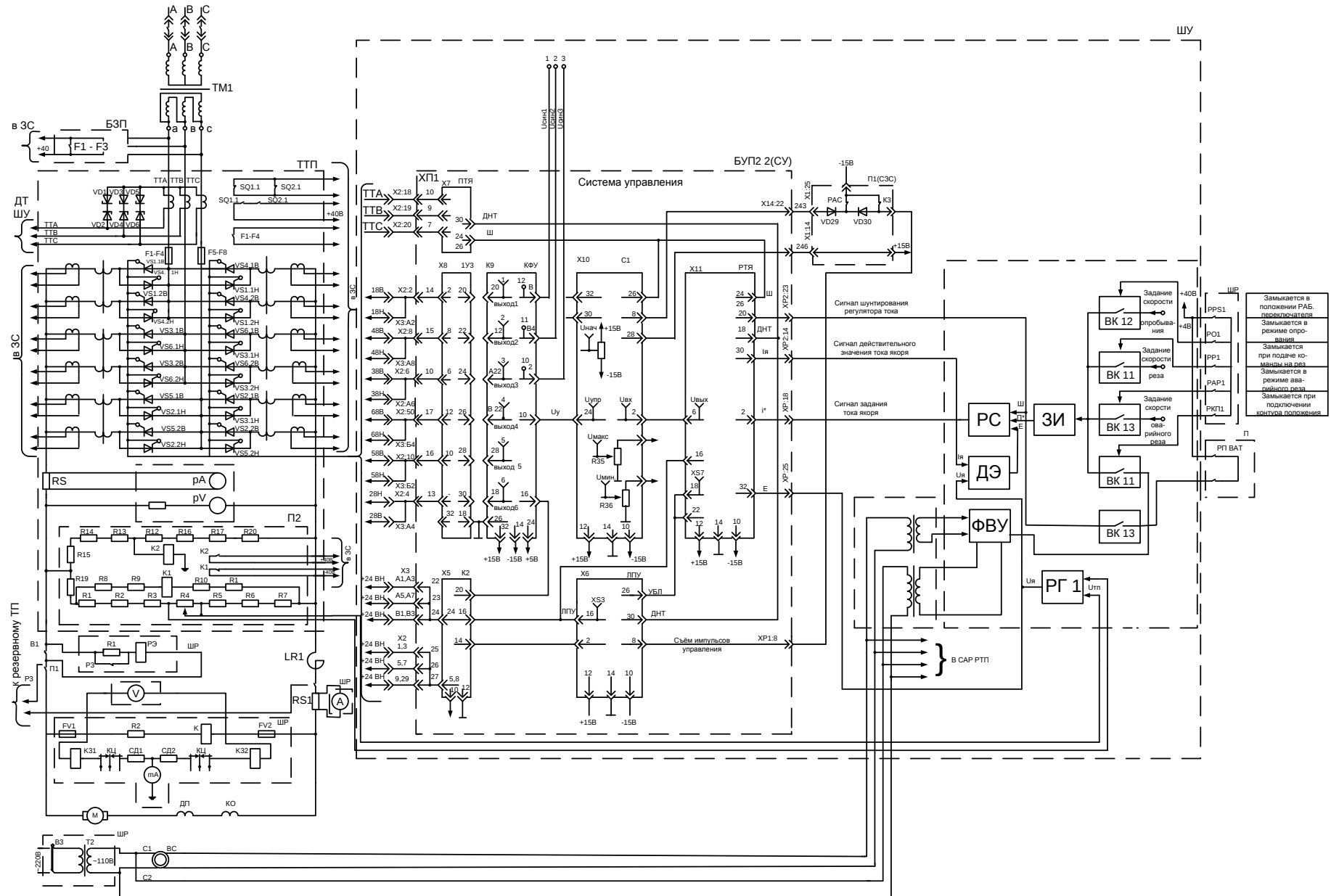
СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАЯТНИКОВЫХ НОЖНИЦ



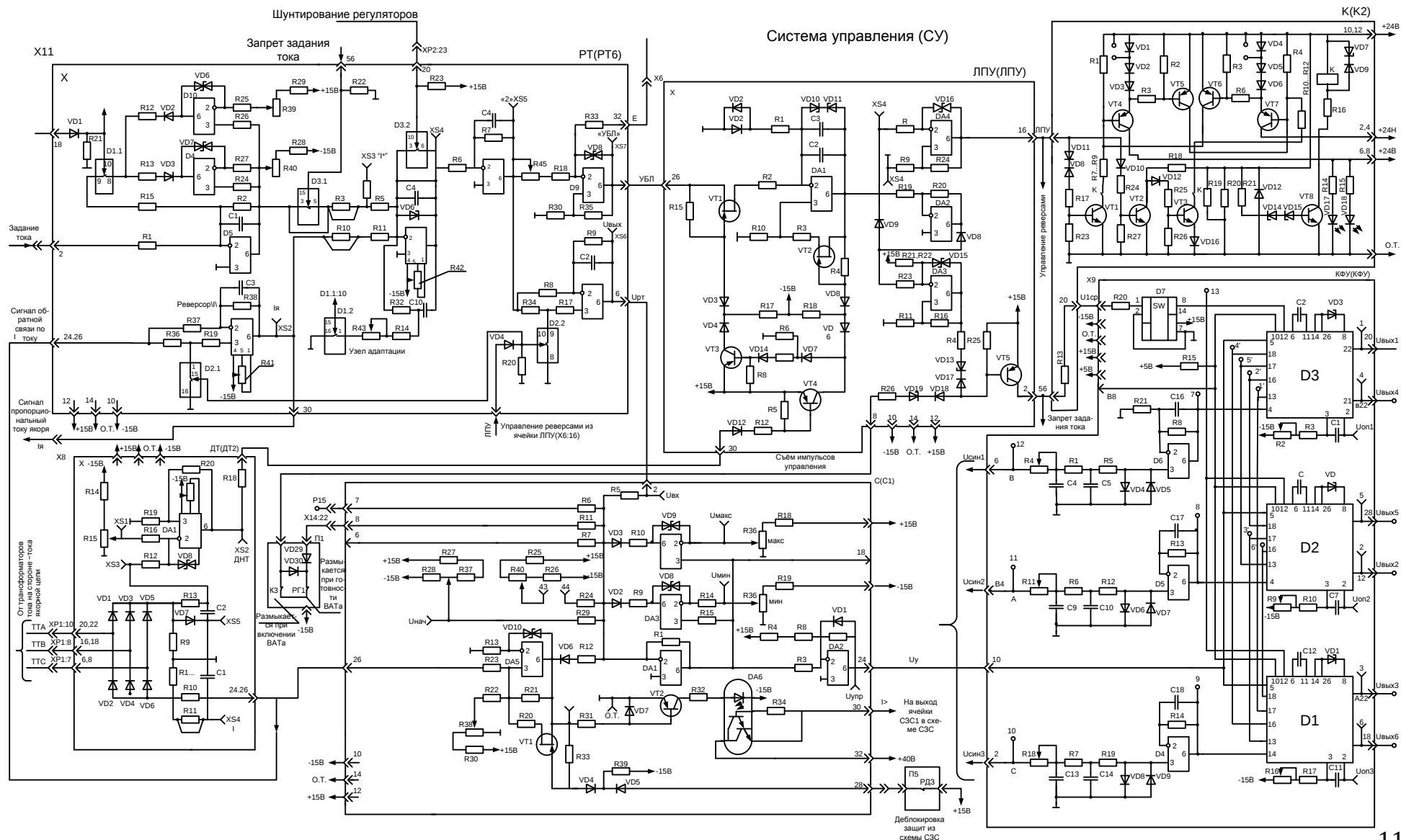
1-Ключ включения регулируемого режима

2-Ключ включения следящего режима

Принципиальная схема электропривода маятниковых ножниц непрерывно заготовочного-стана



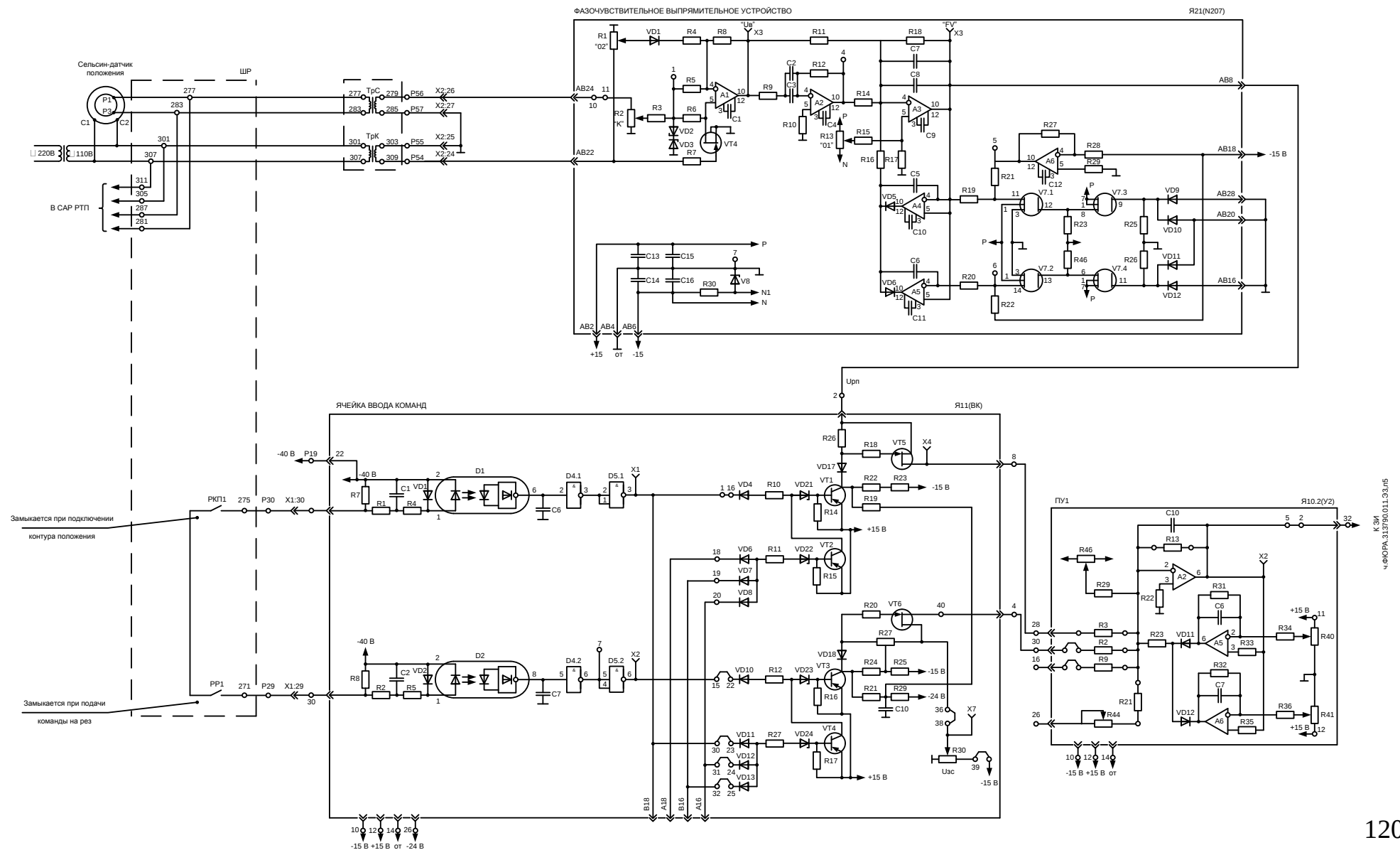
Принципиальная схема электропривода маятниковых ножниц непрерывно заготовочного-стана

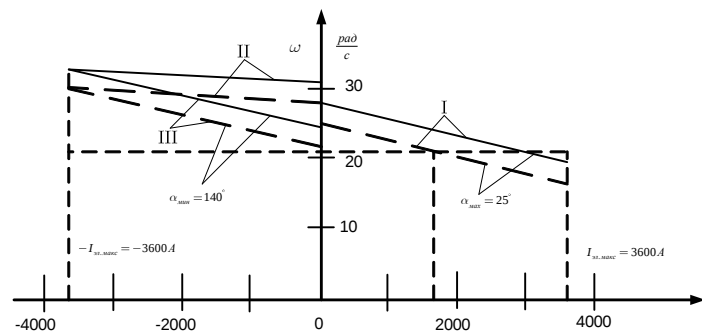


ΤΠΘ

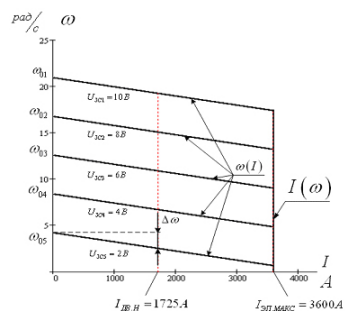


Принципиальная схема электропривода маятниковых ножниц непрерывно заготовочного-стана

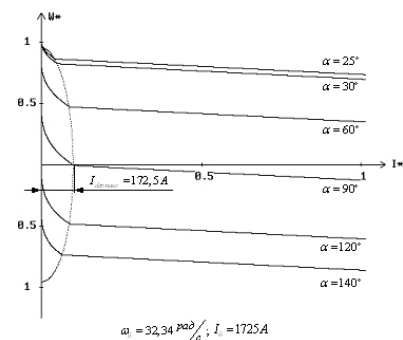




Заданная область работы и
электрохимические характеристики
разомкнутой системы ТП-Д



Статические характеристики
замкнутой системы электропривода



Электрохимические характеристики
системы УВ-Д

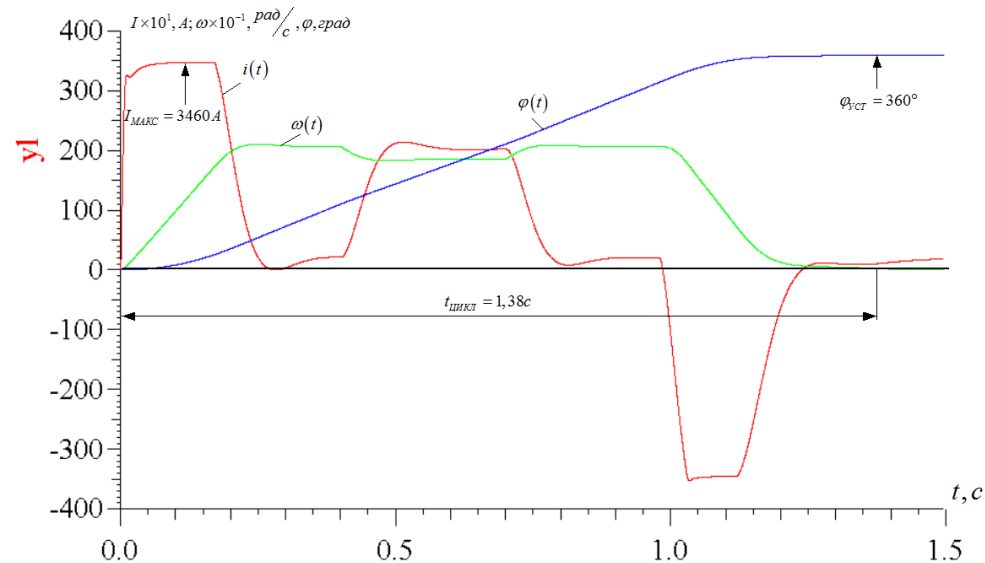
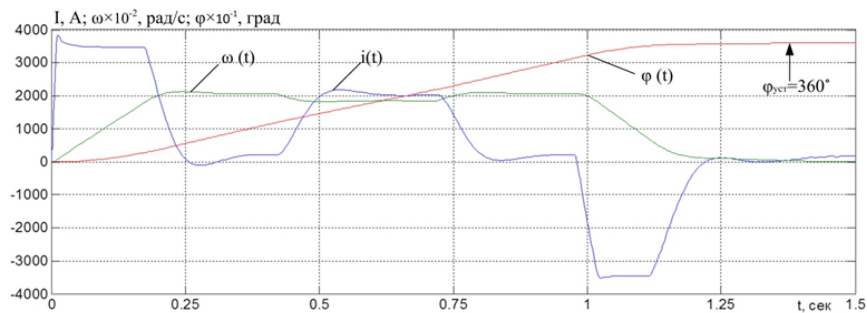
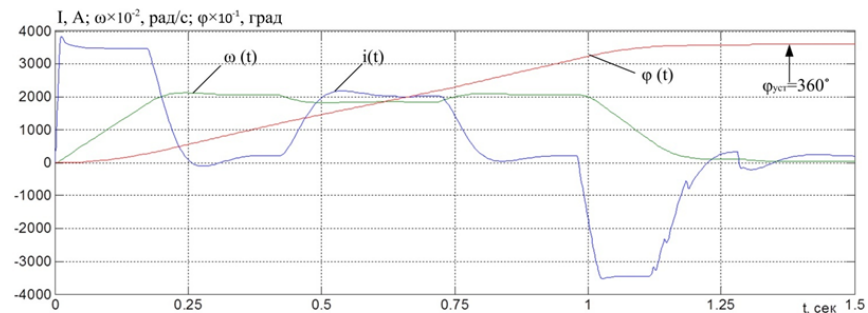


Диаграмма цикла работы электропривода маятниковых ножниц
при резе металла



— Цикл работы маятниковых ножниц с энкодером на 4096
отсчетов/оборот



Цикл работы маятниковых ножниц с энкодером на 256
отсчетов/оборот