

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 клиновой задвижки, на основе ПЧ-АД

УДК 62-83:621.646.986:621.314.632

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Латыфский Альберт Эльмирович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	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	Латыфскому Альберту Эльмировичу

Тема работы:

Электропривод клиновой задвижки, на основе ПЧ-АД	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 4754/с от 05.06.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2019г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на задвижку
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Подробное изучение технологического процесса, выбор двигателя, частотного преобразователя, исследование динамической модели АД во вращающейся системе координат, оптимизация контуров регулирования, исследование электропривода на модели нелинейного асинхронного электропривода с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат.

Перечень графического материала	Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода Структурная схема ЭП с векторным управлением Схема имитационной модели электропривода Переходные процессы асинхронного электропривода с векторным управлением
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	Ланграф С.В.	К.Т.Н.		05.04.2019г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Латыфский Альберт Эльмирович		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:

Бакалаврская работа

(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

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

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

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

Реферат

Выпускная квалификационная работа 118 с., 53 рисунка, 27 таблиц, 41 источников.

Ключевые слова: клиновая задвижка, электропривод, асинхронный двигатель, управление векторное, имитационная модель.

Существенным элементом при добычи, транспортировке, а также хранения газа и нефти является арматура запорная. От нее зависит технологический процесс во всех режимах функционирования.

Одним из путей совершенствования функциональности и надежности трубопроводной арматуры является использование интеллектуального электропривода, способного быстро и качественно выполнить технологическую задачу.

Объектом исследования является задвижка клиновая ЗКЛП 200-16.

Цель работы заключается в исследовании асинхронного электропривода механизма клиновой задвижки при различных режимах работы.

В результате исследования были настроены контуры управления электроприводом. На имитационной модели получены переходные процессы скорости, тока и момента в различных режимах.

Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: обеспечение плавного пуска, плавное изменение скорости, ограничение крутящего момента.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2003, также для расчетов использовалась программа MathCad 15, среда Simulink MATLAB.

Содержание

Введение.....	9
1. Технологический процесс	11
1.1 Назначение и технические характеристики клиновой задвижки ЗКЛП 200-16	11
1.2 Определение области работы регулируемого электропривода.....	14
2. Выбор электрооборудования, расчет параметров элементов и характеристик.....	16
2.1 Схема реализации силовой части регулируемого электропривода с преобразователем частоты	16
2.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя	17
2.3 Выбор типа преобразователя и способа регулирования скорости.....	21
2.4 Выбор структурной схемы силового канала электропривода.....	23
3. Расчет статических и предельных характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД	25
3.1 Расчет дополнительных параметров двигателя и преобразователя.....	25
3.2 Естественные механическая и электромеханическая характеристики электропривода.....	26
3.3 Определение заданной области работы электропривода.....	28
4 Расчет линеаризованной САУ электропривода	33
4.1 Структурная схема линеаризованной САУ частотно регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением	35
4.2 Оптимизация контуров регулирования.....	35
5. Имитационное моделирование электропривода задвижки	53
5.1 Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении	53
5.3. Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с моделью двигателя в двухфазной системе координат.....	59
5.4 Результаты имитационного моделирования	61
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	65
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	66
6.1 SWOT-анализ асинхронного электропривода задвижки нефтепровода	66
6.2 Организация работ технического проекта.....	70
6.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования.....	70
6.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП	73
6.2.3 Разработка графика проведения технического проекта.....	73
6.3 Расчёт затрат на осуществление технического проекта	77
6.3.2 Полная определены заработная плата определяем исполнителей темы... ..	78
6.3.2 Смета затрат на ПНР	80
6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	80
6.3.4 Накладные расходы.....	80

6.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта	81
6.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта.....	82
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	84
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	86
Введение.....	86
7.1 Производственная безопасность и обеспечение безопасности.....	86
7.1.1 Анализ вредных факторов.....	88
7.1.2 Анализ опасных факторов.....	92
7.2. Экологическая безопасность.....	95
7.2.1 Воздушный бассейн.....	90
7.3.Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	97
7.3.1 Типичные ЧС	97
7.3.2 Меры предупреждения ЧС	98
7.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	99
7.4.1 Правовые нормы трудового законодательства.....	99
7.4.2 Эргономичность рабочей зоны.....	100
Заключение	102
Conclusion.....	104
Список использованных источников	105

Введение

Современный трубопроводная арматура оснащается электрическим приводом для с целью увеличения надежности, функциональности и быстродействия технологического процесса. Электрический привод переменного тока включает в себя приводной преобразователь частоты со звеном постоянного тока и инвертором с широтно-импульсной модуляцией. В настоящее время наиболее широко применяются преобразователи с автономными инверторами напряжения. Поскольку в качестве источника питания используется 3-х фазная сеть переменного тока, то в состав преобразователя частоты входит 3-х фазный управляемый или неуправляемый выпрямитель. В преобразователь встроена система управления электроприводом с микропроцессорным управлением и внешним интерфейсом, обеспечивающим пользователю широкие возможности практического применения. Набор имеющихся аппаратных средств в сочетании с встроенным программным обеспечением позволяет реализовать различные конфигурации электропривода от простейших разомкнутых систем до сложных замкнутых систем регулирования скорости и положения.

Если к приводу не предъявляется жестких требований в отношении диапазона и точности регулирования скорости, используются простейшие системы регулирования без обратной связи по скорости, работающие по принципу U/f - регулирования при различных соотношениях между напряжением и частотой. Расширение диапазона регулирования достигается применением IR- компенсации путем увеличения напряжения в области низких скоростей и компенсации скольжения путем увеличения частоты с ростом нагрузки.

При больших диапазонах регулирования скорости и высоких требованиях к динамике применяется векторное управление без датчиков и с датчиками обратной связи. Векторное управление с датчиком обратной связи по скорости позволяет получить диапазон регулирования не менее 1000 при постоянной перегрузочной способности привода и высоких динамических

показателях. Способность такого привода поддерживать момент на валу при скорости равной нулю позволяет использовать его в системах управления положением при активной нагрузке.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Выбрать электродвигатель и преобразователь частоты, построить механические и электромеханические характеристики электродвигателя.

2. Разработать структурную схему САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением, произвести оптимизацию контуров регулирования.

3. Разработать имитационную модель в программной среде Matlab, позволяющую исследовать электропривод механизма клиновой задвижки.

1. Технологический процесс

1.1 Назначение и технические характеристики клиновой задвижки ЗКЛП 200-16

Трубопроводной арматурой называют устройства, монтируемые на трубопроводах, котлах, аппаратах, агрегатах, емкостях и других установках, предназначенные для управления потоками сред путем отключения трубопроводов или их участков, распределение потоков по требуемым направлениям, регулирования различных параметров среды (давления P , расхода G , температуры T и т.д.), выпуска среды по требуемому направлению и т.д. путем изменения проходного сечения в рабочем органе арматуры[8].

Арматура - неотъемлемая часть любой трубопроводной системы. Расходы на нее составляют, как правило, 10-12% капитальных вложения и эксплуатационных затрат. При работе в различных системах арматура подвергается самым различным воздействиям: высоким и низким температурам, значительным давлениям, вибрациям, воздействию агрессивных жидкостей. Вследствие этого требования, предъявляемые к арматуре, чрезвычайно разнообразны. Основные из них - прочность, увеличение срока службы, надежность и долговечность, низкая стоимость и технологичность изготовления, взрывобезопасность, коррозионная стойкость - являются противоречивыми и не могут быть обеспечены одновременно. Поэтому на сегодняшний день существует огромное количество различных конструкций, каждая из которых представляет определенный компромисс между этими противоречивыми требованиями [9, 10].

Задвижки имеют затвор в виде листа, диска или клина, перемещающийся вдоль уплотнительных поверхностей седла корпуса перпендикулярно оси потока среды.

Седло клиновой задвижки представляет из себя две кольцевые поверхности, расположенные под небольшим углом по отношению к оси

движения потока, образуя клиновую поверхность. Затвор представляет из себя одну или две тарелки (диска), закрепленные на шпинделе. Он бывает однодисковый или двухдисковый, упругий или сплошной. При перемещении затвора в конце хода при приближении к положению «закрыто» тарелки задвижки примыкают к седлу и за счет наличия клиновой поверхности плотно прижимаются к нему, будучи расклинены за счет усилия, создаваемого при движении шпинделя.

Преимуществом задвижек является то, что при перемещении рабочего органа он не преодолевает давления среды, что позволяет уменьшить усилие, необходимое для перемещения затвора. Преимуществом является так же то, что поток движется прямоточно, без поворотов, вследствие чего этот тип трубопроводная арматура имеет малое значение коэффициента местного сопротивления в открытом положении.

Благодаря симметричности конструкции задвижки могут эксплуатироваться при любом направлении движения потока.

Недостатком задвижек является сильное трение уплотнительных поверхностей в момент перемещения рабочего органа, большой габарит в направлении выдвижения штока (как минимум два диаметра трубопровода). Существенным недостатком задвижек является то, что в промежуточном положении затвора, когда тарелки частично перекрывают сечение седла, часть уплотнительных кольцевых поверхностей находится в зоне активного обтекания потоком и подвергается сильному абразивному износу твердыми включениями, содержащимися в рабочей среде. После работы в таком режиме уплотнительные поверхности изнашиваются настолько, что не обеспечивают достаточной герметичности при закрытии задвижки - задвижка «не держит».

Задвижки используются на крупных трубопроводах диаметром более 50 мм, где требуется медленное перекрытие сечения для предотвращения возникновения гидравлического удара.

В данном дипломном проекте рассматривается привод для механизма клиновой задвижки ЗКЛП 200-16 (рис. 1).

Таблица 1 – Основные характеристики клиновой задвижки ЗКЛП 200-16

Диаметр задвижки, мм	Крутящий момент, кгс·м	Частота вращения шпинделя, об/мин	Время полного закрытия или открытия, с
200	10-30	50	44



Рисунок 1 – Внешний вид клиновой задвижки ЗКЛП 200-16

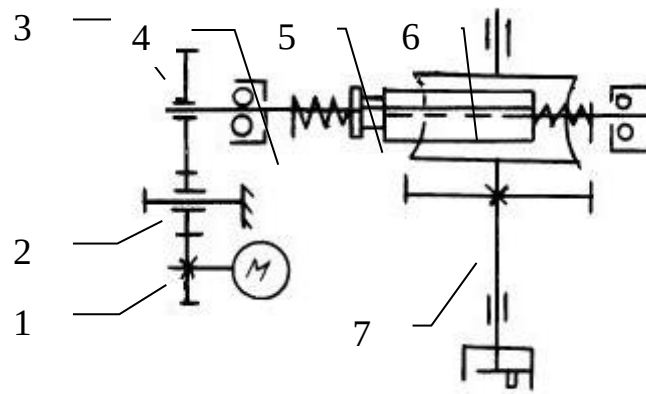


Рисунок 2 – Кинематическая схема привода клиновой задвижки

При пуске электродвигателя вращение в выходному валу 7 передаётся через цилиндрические колёса 1, 2, 3, шлицевый вал 4, червячный вал 5 и червячное колесо 6.

1.2 Определение области работы регулируемого электропривода

Область работы электропривода рис. 3 задана в 4-х квадрантах плоскости координат[1]:

Область длительной работы электропривода ограничена:

- максимальной скоростью $\omega_{ЭП.макс} = 146 \text{ рад / с}$;
- интервалом изменения полезной нагрузки $M_{с.мин} \div M_{с.макс}$ где

$$M_{с.макс} = 8,21 \text{ Нм};$$

$$M_{с.мин} = M_{с.хх} = 0,15 \cdot M_{с.макс} = 0,15 \cdot 8,21 = 1,23 \text{ Нм}.$$

Область кратковременной работы привода ограничена:

- максимальной скоростью $\omega_{ЭП.макс} = 146$;
- максимальным моментом электропривода

$$M_{ЭП.макс} = 1,6 \cdot M_{с.макс} = 1,6 \cdot 8,21 = 13,15 \text{ Нм}.$$

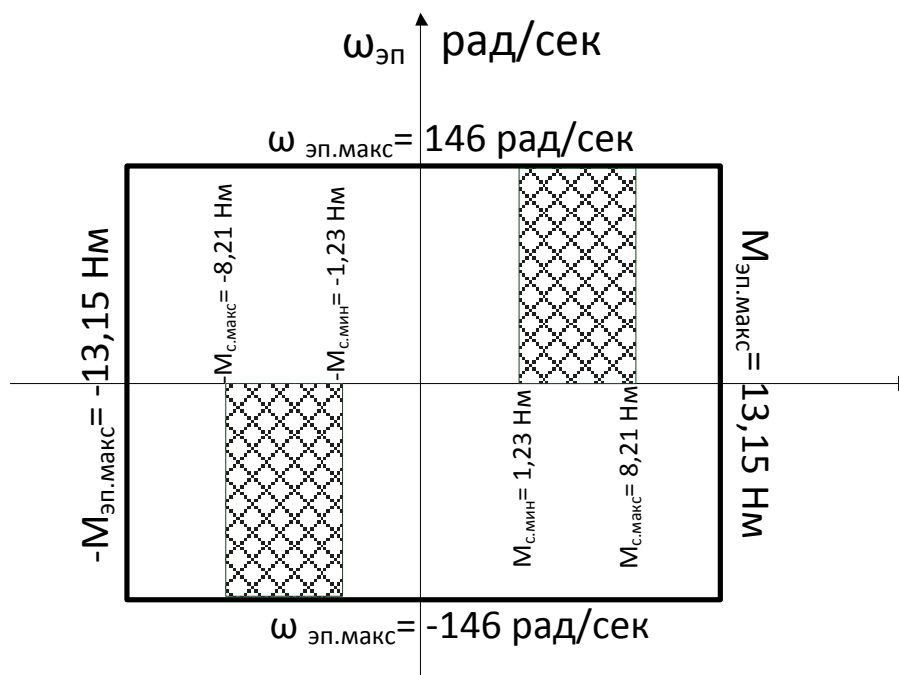


Рисунок 3—Заданная область работы электропривода

2. Выбор электрооборудования, расчет параметров элементов и характеристик

2.1 Схема реализации силовой части регулируемого электропривода с преобразователем частоты

В основе принципа векторной широтно-импульсной модуляции лежит представление о независимых базовых векторах напряжения, т.е. пространственных векторах, которые могут быть сформированы из трехфазных напряжений, действующих на выходах автономного инвертора напряжения. Каждое из напряжений, может принимать одно из пяти возможных значений, в отличие от распространенных пространственных векторов, которые в установившемся режиме равномерно вращаются в электрическом пространстве, шесть возможных нулевых комбинаций включенных состояний ключей инвертора создают шесть фиксированных положений пространственного вектора выходного напряжения. Из одного положения в другое вектор перемещается скачком, поворачиваясь при каждом последовательном переключении ключей инвертора на 60 градусов. Каждое из шести положений пространственного вектора рассматривается как самостоятельный вектор. Кроме того, есть два положения, при которых включены все три ключа нечетной группы или три ключа четной группы. При этом напряжение на выходе инвертора равно нулю. По аналогии с нулевыми векторами, такому состоянию ключей соответствует нулевой вектор. Шесть нулевых векторов и два нулевых вектора называются базовыми векторами напряжения. Данный способ регулирования ЭП переменного тока является наилучшим для положения системы в целом.

Для реализации векторной системы управления электроприводом воспользуемся схемой преобразователя частоты на рис. 4. Преобразователь состоит из неуправляемого диодного силового выпрямителя, автономного инвертора, системы управления ШИМ, системы автоматического

регулирования, дросселя L и конденсатора фильтра C . Регулирование выходной частоты $f_{\text{вых.}}$ и напряжения $U_{\text{вых}}$ осуществляется в инверторе за счет высокочастотного широтно-импульсного управления.

Широтно-импульсное управление характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя.

Длительность этих состояний внутри периода ШИМ модулируется по синусоидальному закону. При высоких (обычно 2...15 кГц) тактовых частотах ШИМ, в обмотках электродвигателя, вследствие их фильтрующих свойств, протекают синусоидальные токи.

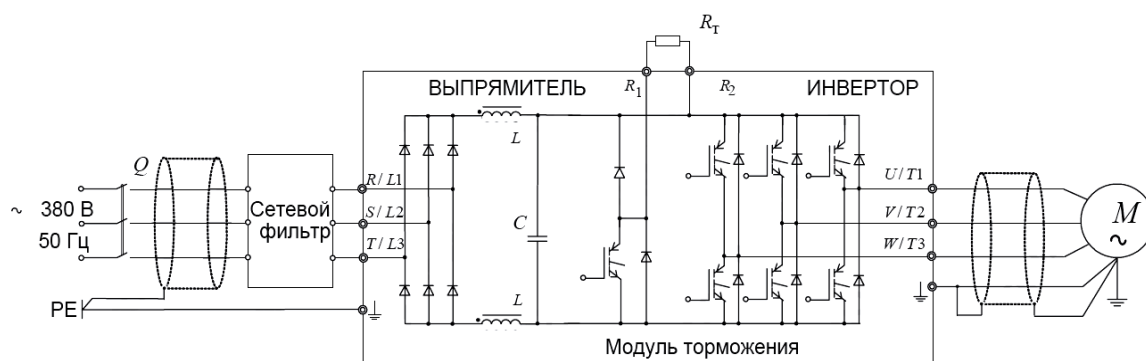


Рисунок 4– Схема силовой части регулируемого электропривода с преобразователем частоты

2.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя

Задвижка ЗКЛП 200-16 с электроприводом оснащается асинхронным двигателем АИМ-80В4, мощностью 1,5 кВт. Технические данные двигателя АИМ-80В4 представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические данные электродвигателя

Тип двигателя	$n_{\text{ном}},$ об/мин	$U_{1H},$ В	$P_{\text{дв.н}},$ кВт	При номинальной нагрузке			$s_K, \%$	$J_{\text{дв}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
				$s_H, \%$	$\cos \varphi_H$	$\eta, \%$		
АИМ-80В4	1500	380	1,5	7	0,80	80,3	42,7	0,0034

$m_{\Pi} = \frac{M_{\text{ПУСК}}}{M_H}$	$m_K = \frac{M_{\text{МАКС}}}{M_H}$	$m_M = \frac{M_{\text{МИН}}}{M_H}$	$k_{\text{ДВ}} = \frac{I_{\text{ПУСК}}}{I_H}$	Степень защиты
1,8	2,3	1,3	5,1	IEXdllBT4

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{ДВ.Н}} = (1 - s_H) n_0 = (1 - 0,07) \cdot 1500 = 1395 \text{ об / мин}$$

$$\omega_{\text{ДВ.Н}} = \pi \frac{n_{\text{ДВ.Н}}}{30} = 3,14 \cdot \frac{1395}{30} = 146,01 \text{ рад / с}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{ДВ.Н}} = \frac{P_H \cdot 10^3}{\omega_{\text{ДВ.Н}}} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{146,01} = 10,273 \text{ Нм}$$

Номинальное фазное напряжение при соединении обмоток в звезду:

$$U_{\Phi H} = \frac{U_H}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

Номинальный фазный ток при соединении обмоток в звезду:

$$I_{1\Phi H} = I_{\text{ЛН}} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{\Phi H} \cdot \eta \cdot \cos \psi} = \frac{1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,803 \cdot 0,80} = 3,538 \text{ А}$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при пуске:

$$I_{\text{МАКС}} = k_{\text{ДВ}} I_{\text{ЛН}} = 5,1 \cdot 3,538 = 18,043 \text{ А}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике:

$$M_K = m_K \cdot M_{\text{ДВ.Н}} = 2,3 \cdot 10,273 = 23,629 \text{ Нм}$$

Пусковой момент при прямом пуске:

$$M_{\text{ДВ.ПУСК}} = m_{\Pi} \cdot M_{\text{ДВ.Н}} = 1,8 \cdot 10,273 = 18,492 \text{ Нм}$$

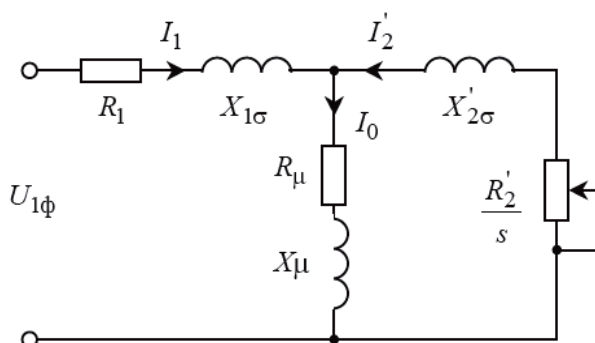


Рисунок 5 – Т-образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p' \cdot I_{1H}(1-s_n) / (1-p' \cdot s_n)]^2}{1 - [p'(1-s_n) / (1-p' \cdot s_n)]^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2,823^2 - [0,75 \cdot 3,538(1-0,07) / (1-0,75 \cdot 0,07)]^2}{1 - [0,75(1-0,07) / (1-0,75 \cdot 0,07)]^2}} = 1,608 \text{ A}$$

где I_{1H} - номинальный ток статора двигателя:

$$I_{1H} = \frac{P_H}{m \cdot U_{\phi H} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,80 \cdot 0,803} = 3,538 \text{ A}$$

$m=3$ – число фаз асинхронного двигателя;

I_{11} – ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$$I_{11} = \frac{p' \cdot P_H}{m \cdot U_{\phi H} \cdot \cos \varphi_{p'} \cdot \eta_{p'}} = \frac{0,75 \cdot 1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,752 \cdot 0,803} = 2,823 \text{ A}$$

$\cos \varphi_{p'}$ - коэффициент мощности при частичной нагрузке

$$\cos \varphi_{p'} = 0,94 \cdot \cos \varphi = 0,752 \text{ o.e.}$$

$\eta_{p'} = \eta_H = 0,803 \text{ o.e.}$ - КПД при частичной нагрузке;

$p' = 0,75 \text{ o.e.}$ - коэффициент нагрузки двигателя.

Критическое скольжение:

$$s_k = s_H \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} =$$

$$= 0,07 \frac{2,3 + \sqrt{2,3^2 - [1 - 2 \cdot 0,07 \cdot 1,3 \cdot (2,3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,07 \cdot 1,5 \cdot (2,3 - 1)} = 0,427 \text{ o.e.}$$

где m_k – кратность максимального момента;

значение коэффициента β , находится в диапазоне $0,6 \div 2,5$. Принимаем $\beta=1,5$.

Определим коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{\text{дв}} \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{1,608}{2 \cdot 5,1 \cdot 3,538} = 1,045 \text{ o.e.};$$

где $k_{\text{дв}}$ – кратность пускового тока.

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\phi H}^2 \cdot (1-s_n)}{2 \cdot C_1 \cdot m_k \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1-0,07)}{2 \cdot 1,045 \cdot 2,3 \cdot 1500} = 18,735 \text{ o.e.}$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора АД:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_k) \cdot C_1} = \frac{18,735}{(1,5 + 1/0,427) \cdot 1,045} = 4,669 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,045 \cdot 4,669 \cdot 1,5 = 7,316 \text{ Ом}$$

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

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0,427) - 1,5^2} = 1,798 \text{ о.е.}$$

Тогда

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 1,798 \cdot 1,045 \cdot 4,669 = 8,767 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_{2\sigma}' = 0,58 \cdot X_{KH} / C_1 = 0,58 \cdot 8,767 / 1,045 = 4,868 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 8,767 = 3,682 \text{ Ом}$$

ЭДС ветви намагничивания E_m , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{\phi H} \cdot \cos \varphi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{\phi H} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{1H}} + X_{1\sigma} \cdot I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,80 - 7,316 \cdot 3,538)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,80^2} - 3,682 \cdot 3,538)^2} = 208,729 \text{ В} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_m}{I_o} = \frac{208,769}{1,608} = 129,769 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{3,682}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,012 \text{ Ом}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\sigma}' = \frac{X_{2\sigma}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{4,868}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,016 \text{ Ом}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания),

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{129,769}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,413 \text{ Ом}$$

Таблица 3– Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, мГн	X_{μ} , мГн	L_{μ} , Гн	R'_2 , Ом	$X'_{2\sigma}$, Ом	$L'_{2\sigma}$, мГн	X_{KH} , Ом
7,316	3,682	0,012	129,769	0,413	4,669	4,868	0,016	8,767

2.3 Выбор типа преобразователя и способа регулирования скорости

Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220 В, 50Гц

Выходные параметры преобразователя частоты:

- максимальная выходная частота

$$f_{П.МАКС} > 50 \frac{\omega_{ЭП.МАКС}}{\omega_0(1-s_K)};$$

$$50 \frac{\omega_{ЭП.МАКС}}{\omega_0(1-s_K)} = 50 \cdot \frac{146}{146 \cdot (1-0,427)} = 81,16 \text{ Гц};$$

$$f_{П.МАКС} > 81,16 \text{ Гц}.$$

- минимальная выходная частота преобразователя

$$f_{П.МИН} < 50 \frac{\omega_{ЭП.МИН}}{\omega_0};$$

$$50 \cdot \frac{\omega_{ЭП.МИН}}{\omega_0} = 50 \cdot \frac{54}{157} = 17,97 \text{ Гц};$$

$$f_{П.МИН} < 17,97 \text{ Гц}.$$

Длительно допустимый ток

$$I_{н.н} \geq I_{1ФН} \frac{M_{с_{макс}}}{M_{ДВ.Н}}$$

$$I_{1ФН} \cdot \frac{M_{с_{макс}}}{M_{ДВ.Н}} = 3,538 \cdot \frac{8,22}{10,273} = 2,83 \text{ А}$$

$$I_{н.н} \geq 2,83 \text{ А}$$

Кратковременно допустимый ток

$$I_{И.МАКС} \geq I_{1ФН} \frac{M_{ЭПмакс}}{M_{ДВ.Н}}$$

$$I_{1ФН} \frac{M_{ЭПмакс}}{M_{ДВ.Н}} = 3,538 \cdot \frac{13,15}{10,273} = 4,528 \text{ А}$$

$$I_{И.МАКС} \geq 4,528 \text{ А}$$

Преобразователь частоты выбираем:

- по номинальному и максимальному кратковременному току
- по выходным параметрам частоты
- по параметрам питающей сети

Таблица 4 - Способ управления

Способ управления	Диапазон регулирования
Векторное управление, без датчика скорости (с внутренней моделью)	100 - 120

Выбираем преобразователь частоты фирмы Schneider-Electric серии ALTIVAR 31. Технические параметры представлены в таблице 5. Преобразователь частоты ATV31 в защитном кожухе отвечает требованиям применений с тяжелыми условиями эксплуатации, для которых необходима степень защиты IP 55. Защищенный ПЧ может устанавливаться в непосредственной близости от двигателя.

Таблица 5 - Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение	Выходная частота	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя
	$U_{1Л}$	f_c	U_H	f_H	$I_{И.Н}$	$I_{И.МАКС}$	P_2
	В	Гц	В	Гц	А	А	кВт

ATV31 CU15N4	3x380	50/60	380..500	0.5..500	4,1	6,2	1,5
$f_{\text{ШИМ}} = 8 \text{ кГц}$							
Степень защиты – IP55							

2.4 Выбор структурной схемы силового канала электропривода

В первом приближении воспользуемся упрощенной структурной схемой силового канала электропривода, изображенной на рис. 6. В данном случае асинхронный двигатель представлен апериодическим звеном первого порядка.

Далее после настройки расчета регуляторов и настройки контуров регулирования воспользуемся моделью асинхронного двигателя в двухфазной системе координат (рис. 7).

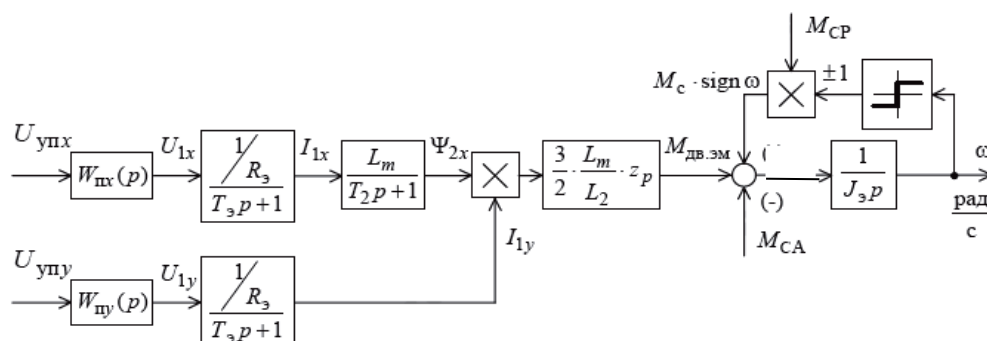


Рисунок 6—Упрощенная структурная схема силового канала системы преобразователь -асинхронный электродвигатель

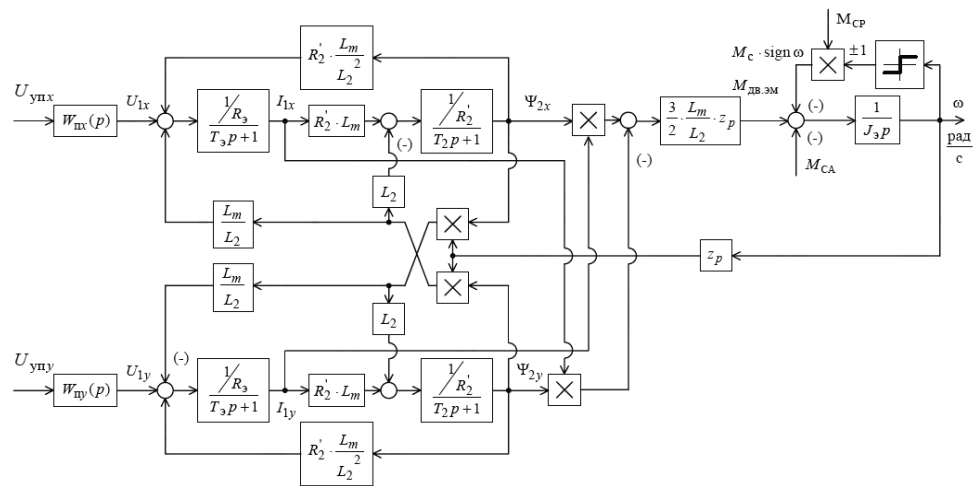


Рисунок 7—Структурная схема силового канала системы преобразователь – асинхронный электродвигатель в двухфазной неподвижной системе координат

3. Расчет статических и предельных характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД

3.1 Расчет дополнительных параметров двигателя и преобразователя

Проведем расчет дополнительных параметров преобразователя.
Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя

$$k_H = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\Phi H}}{U_{уп.макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,11.$$

где $U_{уп.макс}$ - максимальное значение напряжения управления.

Принимаем $U_{уп.макс} = 10В$

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_H = \frac{0,5}{f_{ШИМ}} = \frac{0,5}{8000} = 6,25 \cdot 10^{-5} с.$$

Проведем расчет дополнительных параметров двигателя.
Эквивалентные индуктивности обмоток:

-статора $L_1 = L_{1\sigma} + L_\mu = 0,012 + 0,413 = 0,425 Гн$,

-ротора $L_2 = L'_{2\sigma} + L_\mu = 0,016 + 0,413 = 0,429 Гн$,

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_1 L_2} = 1 - \frac{0,413^2}{0,425 \cdot 0,429} = 0,063 о.е.,$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_\Sigma = R_1 + R'_2 \frac{L_\mu^2}{L_2^2} = 7,316 + 4,669 \frac{0,413^2}{0,429^2} = 11,654 Ом,$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_\Sigma = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_\Sigma} = \frac{0,063 \cdot 0,425}{11,654} = 2,288 \cdot 10^{-3} с,$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} = \frac{0,429}{4,669} = 0,092 с,$$

Расчет параметров механизма

$$J_M = 0,5 \cdot J_{ДВ} = 0,5 \cdot 3,4 \cdot 10^{-3} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Эквивалентный момент инерции привода

$$J_{\Sigma} = J_{ДВ} + J_M = 3,4 \cdot 10^{-3} + 1,7 \cdot 10^{-3} = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

3.2 Естественные механическая и электромеханическая характеристики электропривода

Механическая характеристика $M(s)$ системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель рассчитывается для частоты $f_H = f_{1H} = 50 \text{ Гц}$ по выражению

$$M(s) = \frac{3U_{1\Phi H}^2 R'_2}{\omega_0 s \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 R'_2}{s X_{\mu}} \right)^2 \right]}$$

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega(M)$, где

$$\omega = \omega_0(1-s)$$

$$\begin{aligned} M_{\Sigma M.H} &= \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 4,669}{157 \cdot 0,07 \left[8,55^2 + \left(7,316 + \frac{4,669}{0,07} \right)^2 + \left(\frac{7,316 \cdot 4,669}{0,07 \cdot 129,769} \right)^2 \right]} = 11,083 \text{ Нм}; \end{aligned}$$

Момент трения на валу двигателя:

$$M_{с.ДВ} = M_{\Sigma M.H} - M_{ДВ.H} = 11,083 - 10,273 = 0,81 \text{ Нм}.$$

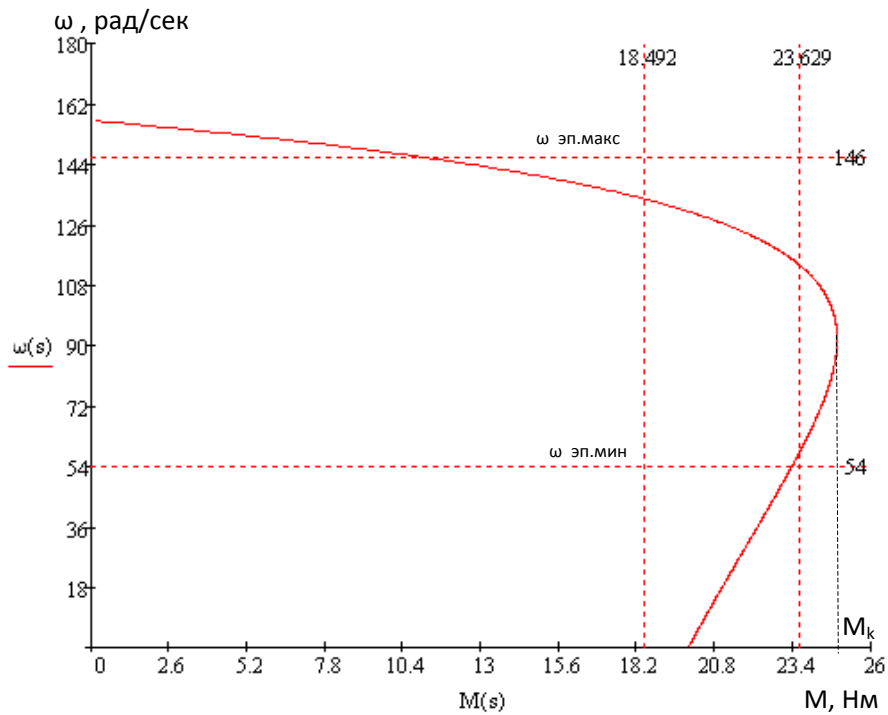


Рисунок 8 - Механическая характеристика АД

2. Электромеханическая характеристика $I(s)$ системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель рассчитывается для частоты $f_H = f_{1H} = 50 \text{ Гц}$ по выражению:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \phi_2(s)};$$

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{KH})^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}};$$

$$\sin \phi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{KH})^2}};$$

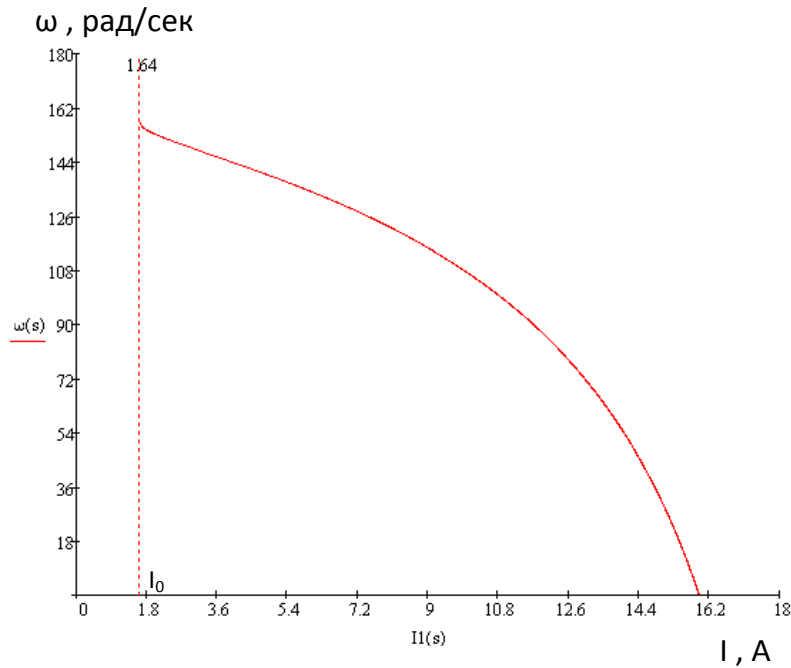


Рисунок 9 – Электромеханические характеристики АД

3.3 Определение заданной области работы электропривода

1. На полученную механическую характеристику $M(\omega)$ наносятся граничные характеристики для длительного и кратковременного режимов работы

$$\begin{aligned} -M_{C.МИН}(\omega) &= const; \\ -M_{C.МАКС}(\omega) &= const; \\ -M_{ЭП.МАКС}(\omega) &= const. \end{aligned}$$

2. Рассчитывается и строится зависимость длительно допустимого момента электродвигателя $M_{дв.длит.доп}(\omega)$

- в зоне работы с номинальным потоком при $f_{л} \leq f_{лн}$

$$M_{дв.длит.доп}(\omega) = M_{двн} \cdot \left(0,5 + \frac{\omega}{\omega_{двн}} \right) \quad \text{при} \quad \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{двн};$$

$$M_{дв.длит.доп}(\omega) = M_{двн} \quad \text{при} \quad 0,5 \cdot \omega_{двн} < \omega \leq \omega_{двн}.$$

Таблица 6 - Результаты расчета зависимости $M_{дв.длит.доп}(\omega)$

$\omega, рад / с$	0	$0,5 \cdot \omega_{дв.н} = 73$	$\omega_{дв.н} = 146,01$
$M_{дв.длит.доп}, Н \cdot м$	8,37	10,273	15,41

3. Рассчитывается и строится зависимость максимального допустимого момента электродвигателя $M_{дв.макс}(\omega)$

- в зоне работы с номинальным потоком при $f_H \leq f_{1H}, \omega \leq (\omega_0 \cdot (1 - S_K))$;

$$M_{дв.макс}(W) = M_K \Big|_{f_H=f_{1H}} = const,$$

где

$$M_K = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{KH}^2)} \cdot \left[1 + \left(\frac{R_2'}{X_\mu} \right)^2 \right] \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157 \cdot \left[7,316 + \sqrt{(7,316^2 + 8,55^2)} \cdot \left[1 + \left(\frac{4,669}{129,769} \right)^2 \right] \right]} = 24,892 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

- в зоне работы с ослабленным потоком при $f_H > f_{1H}, (\omega > \omega_0 \cdot (1 - S_K))$

$$M_{дв.макс}(\omega) = M_K \cdot \frac{\omega_0 \cdot (1 - S_K)}{\omega}$$

Таблица 7 - Результаты расчета зависимости $M_{дв.макс}(\omega)$

$\omega, рад / с$	0.0001	$\omega_0 = 157$
$M_{дв.макс}, Н \cdot м$	24,892	24,892

4. Рассчитывается и строится зависимость допустимого длительного тока электродвигателя $I_{дв.длит.доп}(\omega)$

- в зоне работы с номинальным потоком ($f_H \leq f_{1H}$)

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = M_{двн} \cdot \left(0,5 + \frac{\omega}{\omega_{двн}} \right) \text{ при } \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{двн};$$

$$I_{\text{дв.длит.доп.}}(\omega) = I_{\text{двн}} \quad \text{при} \quad 0,5 \cdot \omega_{\text{двн}} < \omega \leq \omega_{\text{двн}}.$$

Таблица 8 - Результаты расчета зависимости $I_{\text{дв.длит.доп.}}(\omega)$

$\omega, \text{рад} / \text{с}$	0	$0,5 \cdot \omega_{\text{дв.н}} = 73$	$\omega_{\text{дв.н}} = 146$
$I_{\text{дв.длит.доп.}}, \text{А}$	2,983	3,538	5,307

5. Рассчитывается и строится зависимость $I_{\text{С.макс}}(\omega)$, соответствующая длительной максимальной нагрузке $M_{\text{С.макс}}(\omega) = \text{const}$. Для этого необходимо определить соответствующее $M_{\text{С.макс}}$ значение скольжения, решив относительно s уравнение:

$$\frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = M_{\text{С.макс}}$$

И далее рассчитать значение тока $I_{\text{С.макс}} \big|_{f_H = f_{1H}}$ и скорости ($\omega_{T5} = \omega_0 \cdot (1 - S)$).

Зависимость $I_{\text{С.макс}}(\omega)$ рассчитывается по выражениям:

$$I_{\text{С.макс}}(\omega) = I_{\text{С.макс}} \big|_{f_H = f_{1H}}$$

Таблица 9 - Результаты расчета зависимости $I_{\text{С.макс}}(\omega)$

$\omega, \text{рад} / \text{с}$	$\omega_{\text{ЭП.мин}} = 54$	$\omega_{\text{ЭП.макс}} = 146$
$I_{\text{С.макс}}, \text{А}$	2,76	2,76

6. Рассчитывается и строится зависимость $I_{\text{ЭП.макс}}(\omega)$, соответствующая длительной максимальной нагрузке $M_{\text{ЭП.макс}}(\omega) = \text{const}$. Для этого необходимо определить соответствующее $M_{\text{ЭП.макс}}(\omega)$ значение скольжения, решив относительно S уравнение

$$\frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = M_{\text{ЭП.макс}}.$$

И далее рассчитать значение тока $I_{\text{ЭП.макс}} \big|_{f_H = f_{1H}}$, и скорости ($\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$)

$$I_{\text{ЭП.макс}}(\omega) = I_{\text{ЭП.макс}} \big|_{f_H = f_{1H}}$$

Таблица 10 - Результаты расчета зависимости $I_{ЭП.МАКС}(\omega)$

$\omega, \text{рад/с}$	$\omega_{ЭП.МИН} = 54$	$\omega_{ЭП.МАКС} = 146$
$I_{ЭП.МАКС}, \text{А}$	4,132	4,132

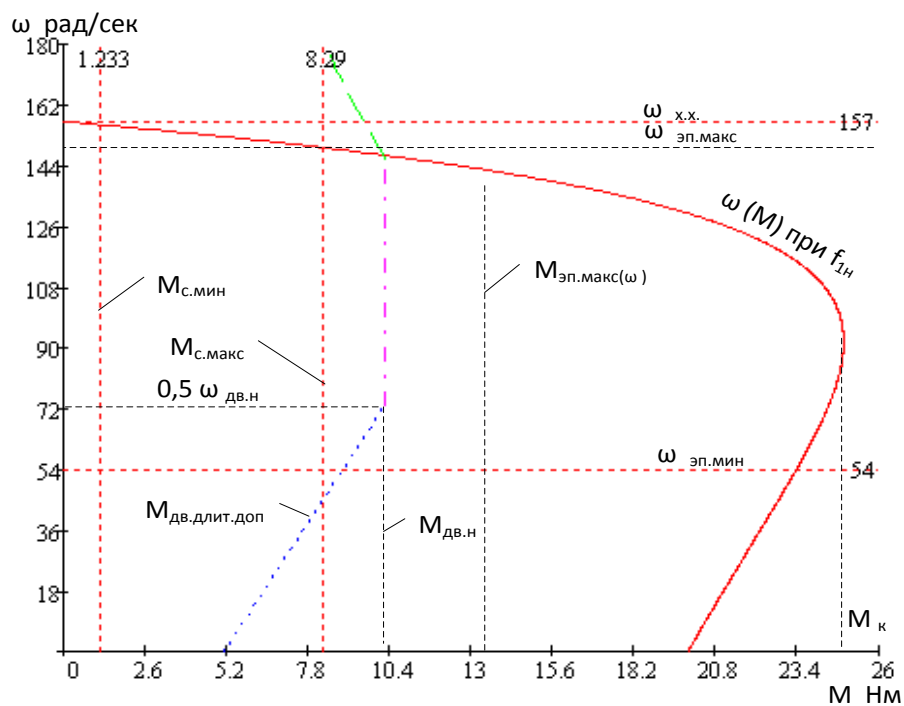


Рисунок 10 - Механическая характеристика электропривода и нагрузки при векторном управлении

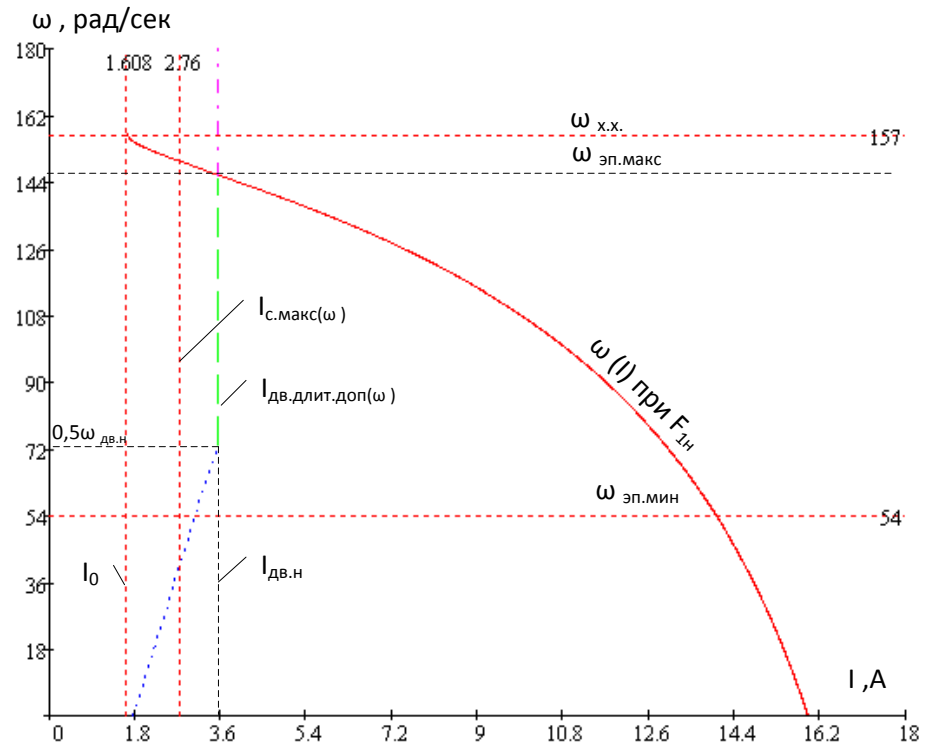


Рисунок 11 - Электромеханическая характеристика электропривода и нагрузки при векторном управлении

Проверка правильности выбора двигателя

По результатам построения механических и электромеханических характеристик электропривода (рис. 10-11) проверяется правильность выбора двигателя

$$M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq M_{\text{с.макс}} \quad 8,37 \dots 15,41 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 8,29 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{дв.макс}}(\omega) \geq M_{\text{эп.макс}} \quad 24,892 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 13,15 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq I_{\text{с.макс}} \quad 2,983 \dots 5,307 \text{ А} \geq 2,76 \text{ А}$$

Проверка правильности выбора преобразователя

По результатам построения механических и электромеханических характеристик электропривода (рис. 8-9) проверяется правильность выбора преобразователя

$$I_{\text{с.макс}}(\omega) \leq I_{\text{и н}}, \quad 2,76 \text{ А} \leq 4,1 \text{ А};$$

$$I_{\text{эп макс}}(\omega) \leq I_{\text{и макс}}, \quad 4,132 \text{ А} \leq 6,2 \text{ А}.$$

4 Расчет линейризованной САУ электропривода

4.1 Структурная схема линейризованной САУ частотно-

регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением

Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рис. 12 [3].

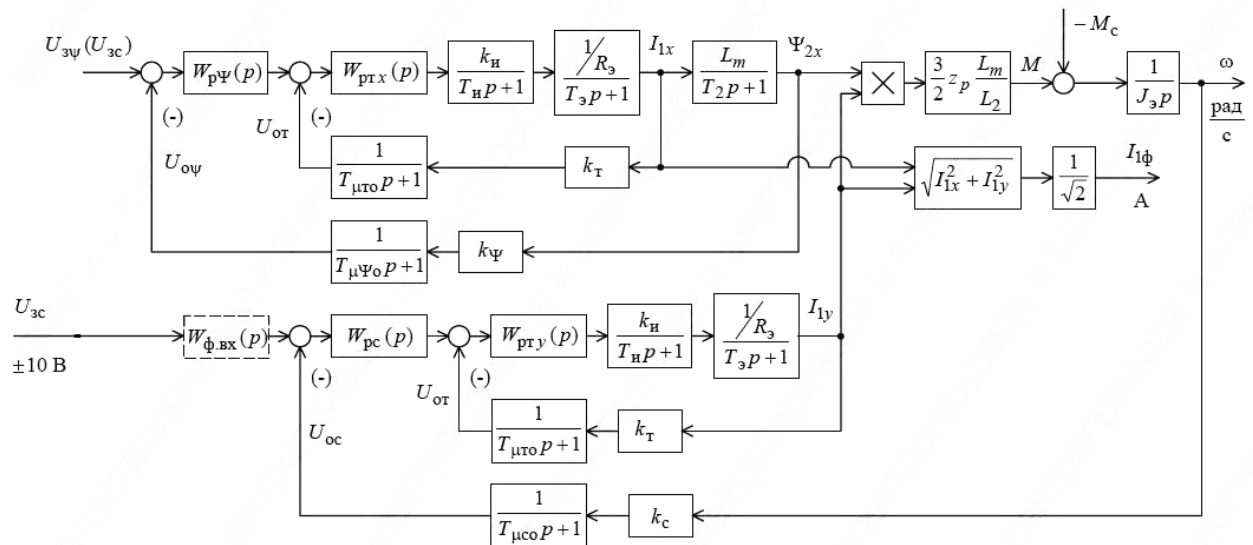


Рисунок 12 - Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении.

Электропривод реализован по схеме с независимым управлением потокоцеплением.

На схеме приняты следующие обозначения:

$W(p)_{р\tau}$, $W(p)_{р\psi}$, $W(p)_{рc}$ – передаточные функции регуляторов;

k_{τ} – коэффициент обратной связи по току, В/А;

k_{ψ} – коэффициент обратной связи по потокоцеплению ротора, В/Вб;

k_{c} – коэффициент обратной связи по скорости В×с/рад;

$T_{сГ} = \frac{1}{f_{шм}} \cdot n_T = 1 \cdot 10^{-3}$ - период сглаживания результатов измерений тока, с.

Количество измерений принимаем равным $n_T = 8$

$$T_{\mu To} = \frac{T_{cT}}{3} = 3,333 \cdot 10^{-3} \text{ - малая постоянная времени цепи обратной связи по}$$

току, с.

$$T_{c\Psi} = (16 \cdot \frac{1}{f_{\text{шшм}}}) \cdot n_{\Psi} = 0,01 \text{ - период расчета потокосцепления, с.}$$

Принимаем $n_{\Gamma} = 5$.

$$T_{\mu\psi o} = \frac{T_{c\Psi}}{3} = 2,667 \cdot 10^{-3} \text{ - малая постоянная времени цепи обратной связи по}$$

потокосцеплению, с.

$$T_{cc} = (16 \cdot \frac{1}{f_{\text{шшм}}}) \cdot n_c = 0,01 \text{ - период расчета (измерения) скорости, с.}$$

Принимаем $n_c = 5$.

$$T_{\mu co} = \frac{T_{cc}}{3} = 3,333 \cdot 10^{-3} \text{ - малая постоянная времени цепи обратной связи по}$$

скорости, с.

Для настройки контуров регулирования необходимо определить следующие дополнительные параметры системы:

– значение номинального потокосцепления двигателя

$$\psi_{2XH} = \frac{M_{\text{ЭМ.Н}}}{\frac{3}{2} z_p \frac{L_{\mu}}{L_2} \sqrt{2} \sqrt{I_1^2(s_n) - I_0^2}} = \frac{11,083}{\frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0,413}{0,429} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3,538^2 - 1,646^2}} = 0,86 \text{ Вб}$$

– максимально допустимое значение тока при постоянном токоограничении

$$I_{\text{Эп.макс}} = \text{const}$$

$$I_{1Y.MAKC} = \sqrt{2} \sqrt{I_{\text{Эп.макс}}^2 - I_0^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{325,555^2 - 1,664^2} = 25,41 \text{ А}$$

– максимально допустимое значение тока при зависимом токоограничении

$$M_{\text{Эп.макс}} = \text{const}$$

$$I_{1Y.MAKC} = \sqrt{2} \sqrt{I_{1MAKC}^2 - (I_0 \cdot \frac{\omega_{T.15}}{\omega_{T.14}})^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{325,555^2 - 1,618^2} = 25,41 \text{ А}$$

4.2 Оптимизация контуров регулирования

Характерной особенностью частотно-регулируемых электроприводов переменного тока является относительно большая инерционность в цепи обратной связи контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости.

Оптимизация контура тока с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и полной компенсацией внутренней отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя приведена на рис. 13. Контуров токов и идентичные.

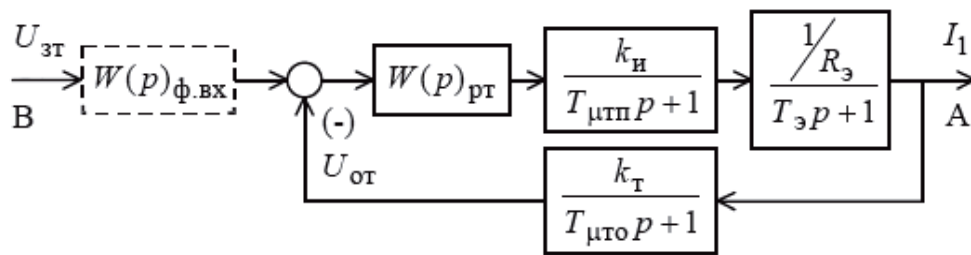


Рисунок 13 - Структурная схема контура тока.

$U_{3T} = 10V$ - напряжение задания на ток;

$T_{иПТ} = T_{и} = \frac{0,5}{f_{ШИМ}} = 6,25 \cdot 10^{-5} c$ - малая постоянная времени в прямом канале;

$T_{э} = 2,288 \cdot 10^{-3} c$ - постоянная времени регулятора;

$k_T = \frac{U_{ЭТ.МАКС}}{I_{1У.МАКС}} = \frac{10}{25,41} = 0,393$ - коэффициент обратной связи по току, В/А;

$k_{рТ} = \frac{T_{э} \cdot R_{э}}{k_{и} \cdot k_T \cdot a_T \cdot T_{иТэ}} = 2,752$ - коэффициент усиления регулятора тока;

a_T - коэффициент оптимизации.

$k_{и} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1ФН}}{U_{УП.МАКС}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,113$ - максимальный коэффициент регулятора;

$R_{э} = 11,654 \Omega$ - эквивалентное сопротивление;

Постоянная времени регулятора $T_{рТ} = T_{э}$

Для уменьшения перерегулирования на входе контура устанавливаем фильтр с передаточной функцией:

$$W(p)_{\phi.вх} = \frac{1}{T_{\phi.вх2}p + 1}$$

постоянная времени которого равна $T_{\phi.вх2} = T_{\mu To} = 3,333 \cdot 10^{-4} \text{ с}$.

Контур тока имеет следующую передаточную функцию разомкнутого контура

$$W(p)_{раз.Т} = \frac{1}{a_T \cdot T_{\mu ПП} \cdot T_{\mu To} \cdot T_{\mu Тэ} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu Тэ}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu Тэ} \cdot p}$$

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

$$\begin{aligned} W(p)_{Т.зам} &= \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu To} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu ПП} \cdot T_{\mu To} \cdot T_{\mu Тэ} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu Тэ}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu Тэ} \cdot p + 1} \approx \\ &\approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu To} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu Тэ}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu Тэ} \cdot p + 1} \end{aligned}$$

где, $T_{\mu Тэ} = T_{\mu ПП} + T_{\mu To} = 3,958 \cdot 10^{-4}$ - эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура, с;

Настройка контура близка к настройке на модульный оптимум системы второго порядка. Контур является астатической системой регулирования первого порядка по управлению. Ожидаемые показатели качества работы замкнутого контура тока по управлению с фильтром на входе:

- установившаяся ошибка $\Delta I_{уст} = 0$
- полоса пропускания по модулю и фазе

$$\omega_{II}^{(\phi)} = \omega_{II}^{(м)} = \frac{0,71}{T_{\mu ПП} + T_{\mu To}} = 1,794 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

- перерегулирование и время первого и окончательного вхождения в 5 % зону при отработке ступенчатого управляющего воздействия

$$\sigma \approx 4,3\% \quad t_{py1} = t_{py2} \approx 4,1 \cdot (T_{\mu ПП} + T_{\mu To}) = 1,623 \cdot 10^{-3}$$

На рис. 14 представлена имитационная модель контура тока, а на рис. 15-17 результаты моделирования. В табл. 11 сведены полученные показатели качества работы контура тока.

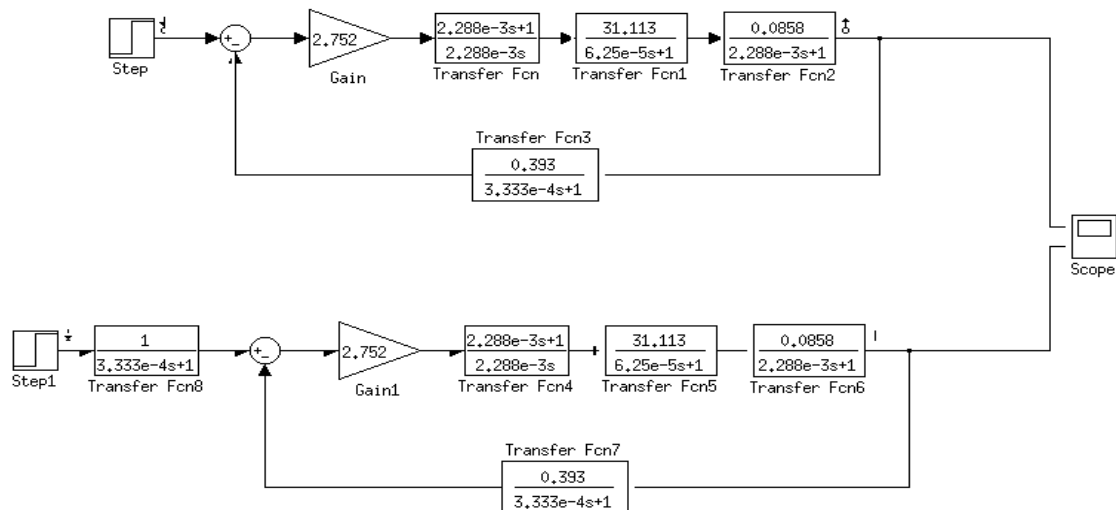


Рисунок 14 - Внешний вид имитационной модели контура тока в программной среде MATLABSimulink

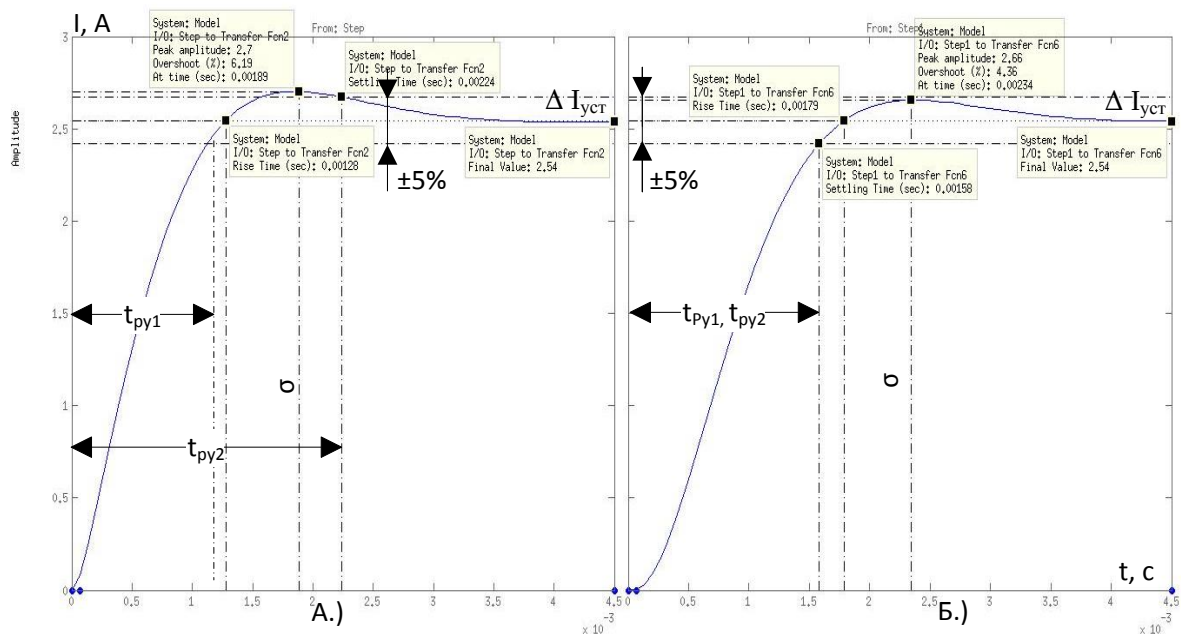


Рисунок 15 - Переходные процессы контура тока с оптимизацией (А – без фильтра, Б- с фильтром)

Таблица 11 - Показатели качества работы контура тока

t_{py1}, c	t_{py2}, c	$\sigma, \%$	$\Delta I_{уст}, A$	
Ожидаемые показатели				
0,001623	0,001623	4,3%	2,54	
Результаты моделирования без фильтра				
0,001723	0,00224	6,19%	2,54	
Результаты моделирования с фильтром				
0,00158	0,00158	4,36%	2,54	
Частотные показатели				
Замкнутый контур без фильтра	Ожидаемые показатели		Результаты моделирования	
	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад / сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / сек$	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад / сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / сек$
	1794	1794	1920	1790
Разомкнутый контур с фильтром	Запас по модулю $\Delta L, дБ$		Запас по фазе $\Delta\varphi, град$	
	15		41	

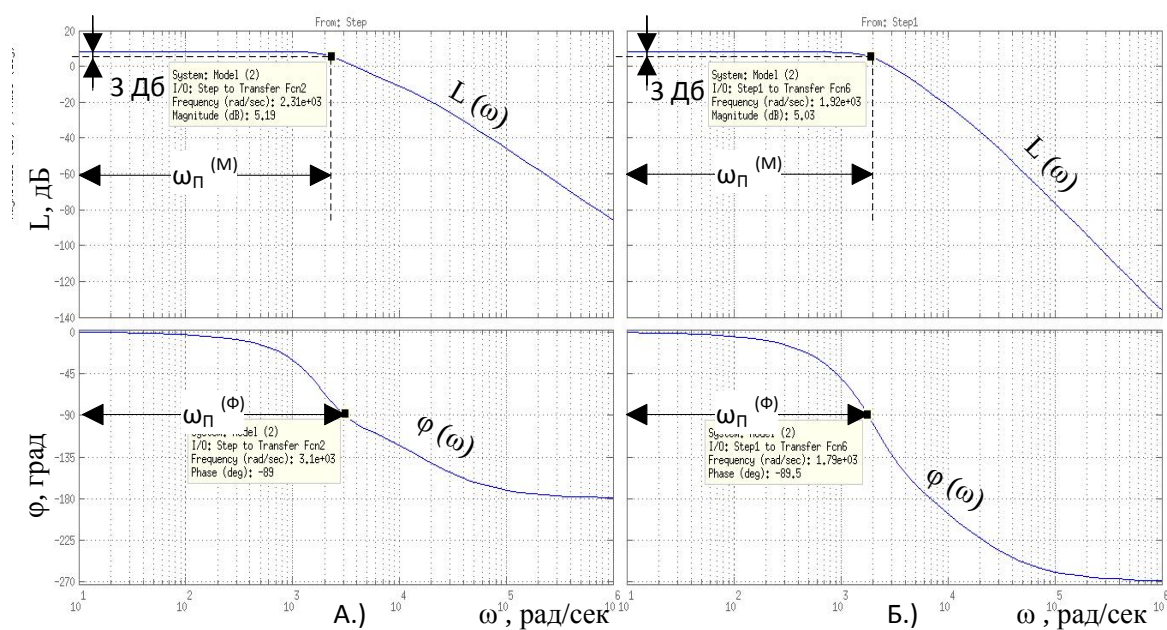


Рисунок 16 - Частотные характеристики замкнутого контура тока
(А- без фильтра, Б- с фильтром)

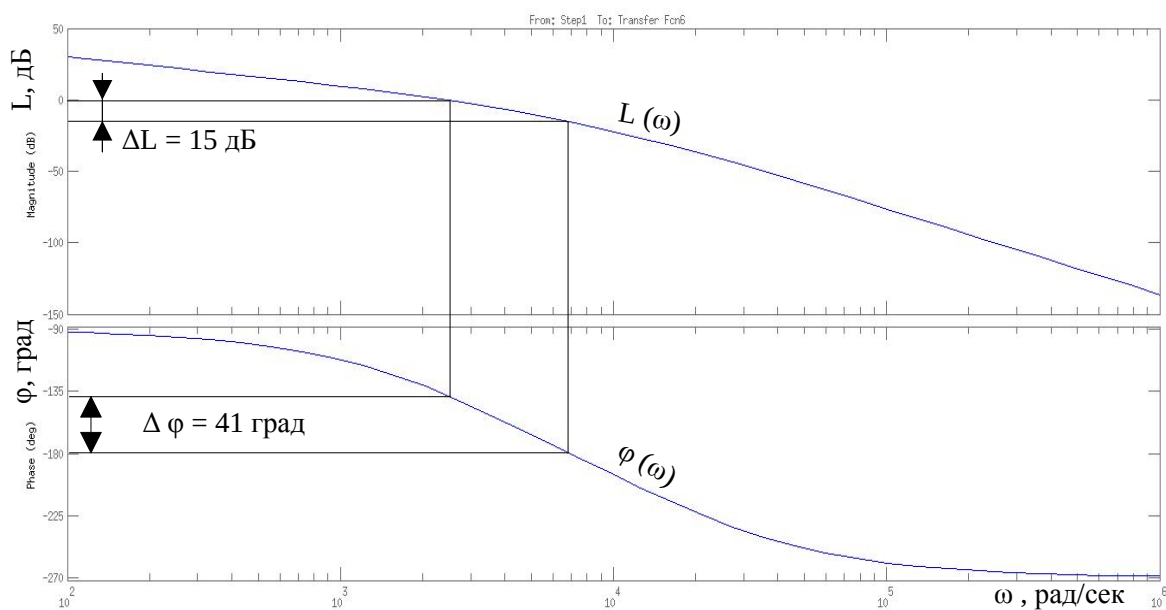


Рисунок 17 - Частотные характеристики разомкнутого контура тока

Оптимизация контура потокосцепления с инерционной обратной связью

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{зам.т}} \approx \frac{1}{T_T \cdot p + 1}$$

где, $T_T = a_T \cdot T_{\mu T_0} = a_T \cdot (T_{\mu TP} + T_{\mu T_0}) = 7,917 \cdot 10^{-4}$ — эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

Структурная схема контура потокосцепления с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рис. 18.

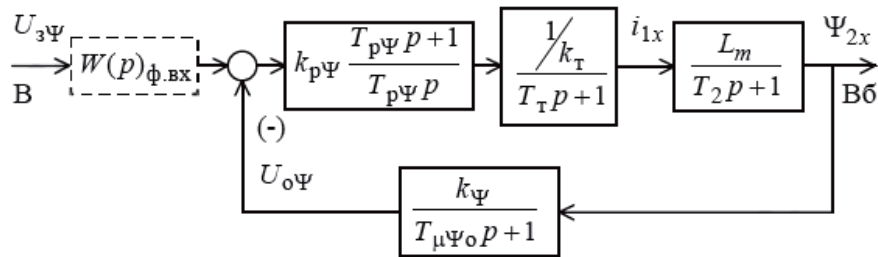


Рисунок 18 - Структурная схема контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W(p)_{p\Psi} = k_{p\Psi} \cdot \frac{T_{p\Psi} \cdot p + 1}{T_{p\Psi} \cdot p}$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления определяются по выражениям

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_\Psi} \cdot \frac{1}{a_\Psi \cdot (T_T + T_{\mu\Psi 0})} = 1,087$$

$$T_{p\Psi} = T_2 = 0,092 \text{ с}$$

где, $k_{\Psi} = \frac{U_{\Psi_{\max}}}{\Psi_{2\text{хн}}} = \frac{10}{0,803} = 11,628$ – коэффициент обратной связи по

потокосцеплению, В/Вб. Принимаем $U_{\Psi_{\max}} = 10\text{В}$.

$a_{\Psi} = 2$ - коэффициент оптимизации

Контур потокосцепления с ПИ-регулятором настроенный таким образом имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{раз.}\Psi} = \frac{1}{a_{\Psi} \cdot T_T \cdot T_{\mu\Psi_0} \cdot T_{\mu\Psi_3} \cdot p^3 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_3}^2 \cdot p^2 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_3} \cdot p}$$

– замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{\text{з.конт}} = \frac{\frac{1}{k_{\Psi}} \cdot (T_{\mu\Psi_0} \cdot p + 1)}{a_{\Psi} \cdot T_T \cdot T_{\mu\Psi_0} \cdot T_{\mu\Psi_3} \cdot p^3 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_3}^2 \cdot p^2 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_3} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\Psi_0} \cdot p + 1)}{a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_3}^2 \cdot p^2 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_3} \cdot p + 1}$$

где, $T_{\mu\Psi_3} = T_T + T_{\mu\Psi_0} = 8,542 \cdot 10^{-4}$ – эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура, с.

Настройка контура близка к настройке на модульный оптимум системы второго порядка. Контур является астатической системой регулирования первого порядка по управлению и обеспечивает нулевую установившуюся ошибку $\Delta\Psi_{\text{уст}}=0$. В зависимости от соотношения малых постоянных времени T_T и $T_{\mu\Psi_0}$ контур имеет следующие динамические показатели качества работы:

– полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{T_{\mu\Psi_3}} = 831 \div 1054 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

– перерегулирование

$$\sigma = (4,3 \div 6,7)\%$$

– время первого вхождения в 5 % зону

$$t_{py1} = (4,1 \div 2,75) \cdot T_{\mu P_3} = 3,502 \cdot 10^{-3} \div 2,349 \cdot 10^{-3} c$$

На рис. 19 представлена имитационная модель контура потокосцепления, а на рис. 20-22 результаты моделирования. В табл. 12 сведены полученные показатели качества работы контура.

При полученных значениях перерегулирования в контуре потокосцепления установка на входе контура фильтра нецелесообразна.

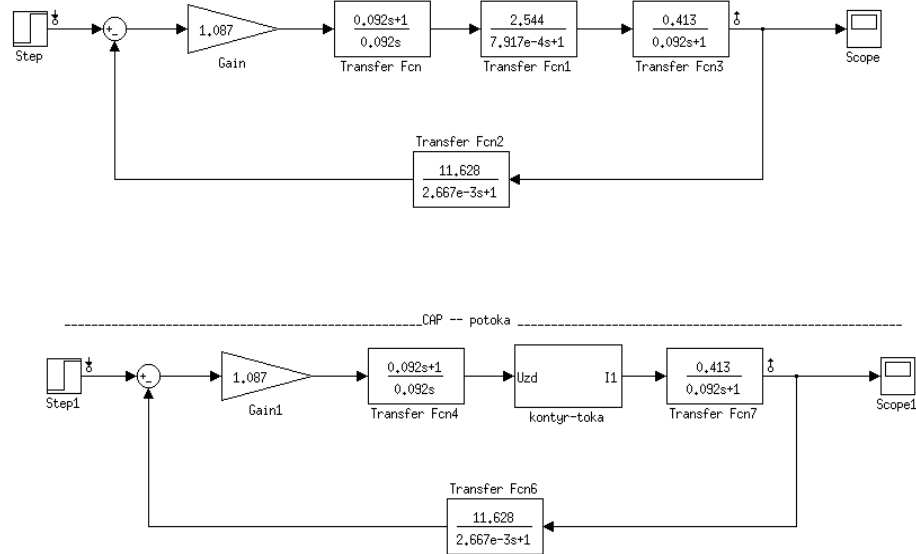


Рисунок 19 - Внешний вид имитационной модели контура потокосцепления и CAP потока в программной среде MATLABSimulink

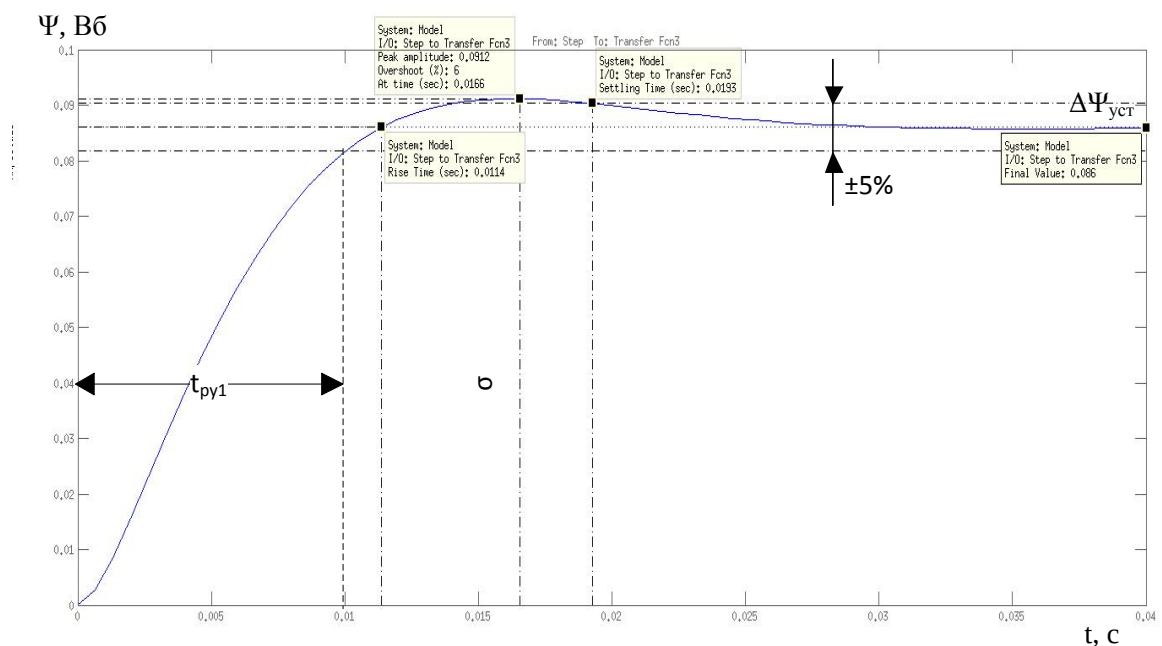


Рисунок 20 - Переходные процессы контура потокосцепления

Таблица 12 - Показатели качества работы контура потокосцепления

t_{py1}, c		t_{py2}, c		$\sigma, \%$		$\Delta\Psi_{уст}, Bб$		
Ожидаемые показатели								
0,00951– 0,014		-		4,3-6,7		0,86		
Результаты моделирования								
0,009917		-		6		0,86		
Частотные показатели								
Замкнутый контур	Ожидаемые показатели			Результаты моделирования				
	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\phi)}, рад / сек$		Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / сек$		Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\phi)}, рад / сек$		Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / сек$	
	-		205-260		329		225	
Разомкнутый контур	Запас по модулю $\Delta L, дБ$			Запас по фазе $\Delta\varphi, град$				
	45			43				

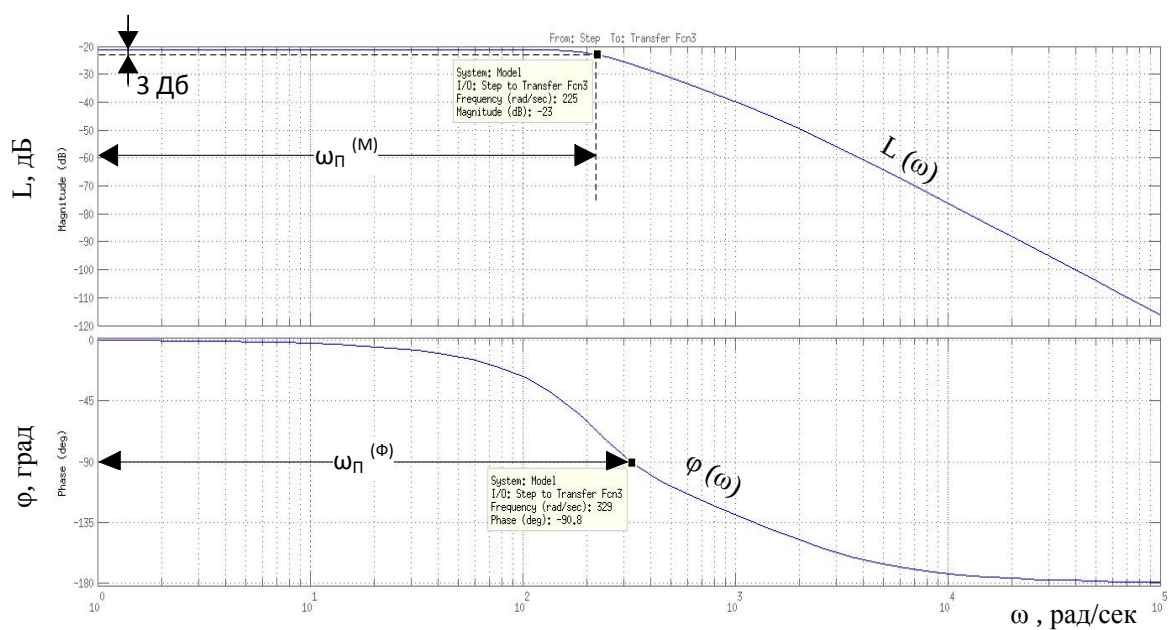


Рисунок 21 - Частотные характеристики замкнутого контура потокосцепления

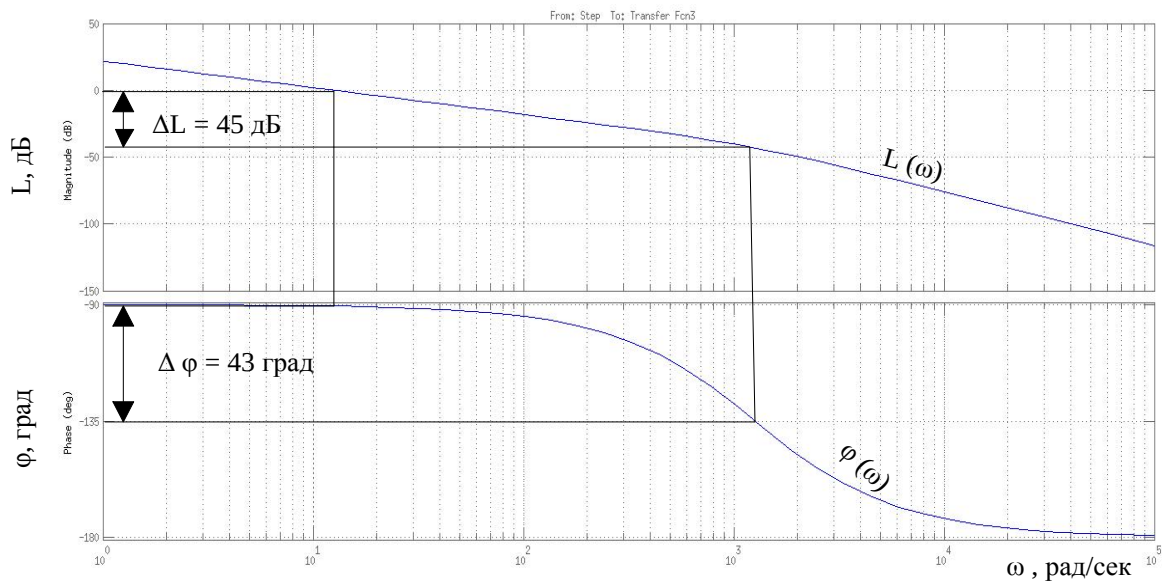


Рисунок 22 - Частотные характеристики разомкнутого контура потокосцепления

Оптимизация контура скорости с ПИ-регулятором

Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рис. 23

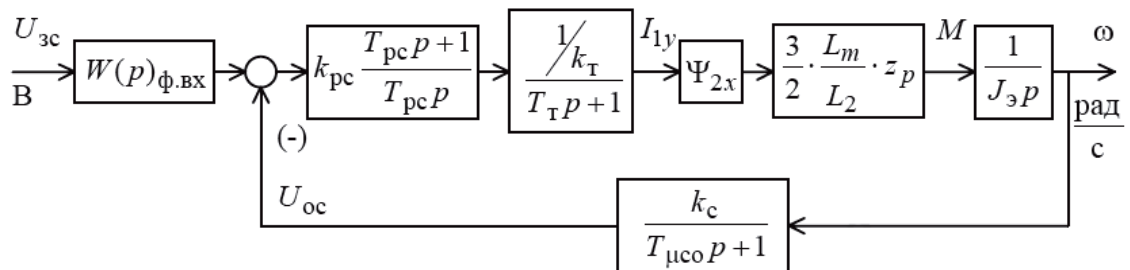


Рисунок 23 - Структурная схема контура скорости с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости

$$W(p)_{pc} = k_{pc} \cdot \frac{T_{pc} \cdot p + 1}{T_{pc} \cdot p}$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям:

$$k_{pc} = \frac{J_э \cdot k_T}{\Psi_{2x} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c(T_T + T_{\mu co})} = 1,428$$

$$T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot (T_T + T_{\mu co}) = 0,017 c$$

где, $b_c = a_c = 2$ – коэффициенты оптимизации

Оптимизированный контур скорости с ПИ-регулятором имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W(p)_{раз.с} = \frac{b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu cэ} \cdot p + 1}{b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu co} \cdot T_{\mu cэ}^2 \cdot p^4 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu cэ}^3 \cdot p^3 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu cэ}^2 \cdot p^2}$$

– замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{T.зам} = \frac{1}{k_c} \cdot \frac{(b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu cэ} \cdot p + 1) \cdot (T_{\mu co} \cdot p + 1)}{b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu co} \cdot T_{\mu cэ}^2 \cdot p^4 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu cэ}^3 \cdot p^3 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu cэ}^2 \cdot p^2 + b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu cэ} \cdot p + 1}$$

где, $T_{\mu cэ} = T_T + T_{\mu co}$ – эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура, с.

Оптимизированный контур при обработке ступенчатых управляющих воздействий обеспечивает высокое быстродействие при перерегулировании в общем случае более 4,3 %. Если на входе контура установить фильтр с передаточной функцией:

$$W(p)_{ф.вх} = \frac{1}{T_{ф.вх2} p + 1}$$

постоянная времени которого равна $T_{ф.вх2} = b_c \cdot a_c \cdot (T_T + T_{\mu co}) + T_{\mu co} = 0,02 c$.

Настройка контура без фильтров на входе близка к настройке на СО, а с фильтрами – на МО для системы 3-го порядка.

Контур скорости с фильтрами на входе представляет собой астатическую систему 1-го порядка и обеспечивает нулевую статическую ошибку по управлению

Динамические показатели качества работы контура:

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе изменяется в пределах

$$\omega_H^{(M)} = \frac{(0,5 \div 0,54)}{T_T + T_{\mu co}} = 121 \div 131 \frac{рад}{с} \quad \omega_H^{(\Phi)} = \frac{(0,36 \div 0,42)}{T_T + T_{\mu co}} = 87 \div 102 \frac{рад}{с}$$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5 % зону при обработке скачка задания

$$\sigma = (8,1 \div 10)\%$$

$$t_{py1} = (7 \div 5,8) \cdot (T_T + T_{\mu co}) = 0,029 \div 0,024 c \quad t_{py2} = (12 \div 9,5) \cdot (T_T + T_{\mu co}) = 0,05 \div 0,039 c$$

На рис. 24 представлена имитационная модель контура скорости, а на рис. 25-27 результаты моделирования. В табл. 13 сведены полученные показатели качества работы контура скорости.

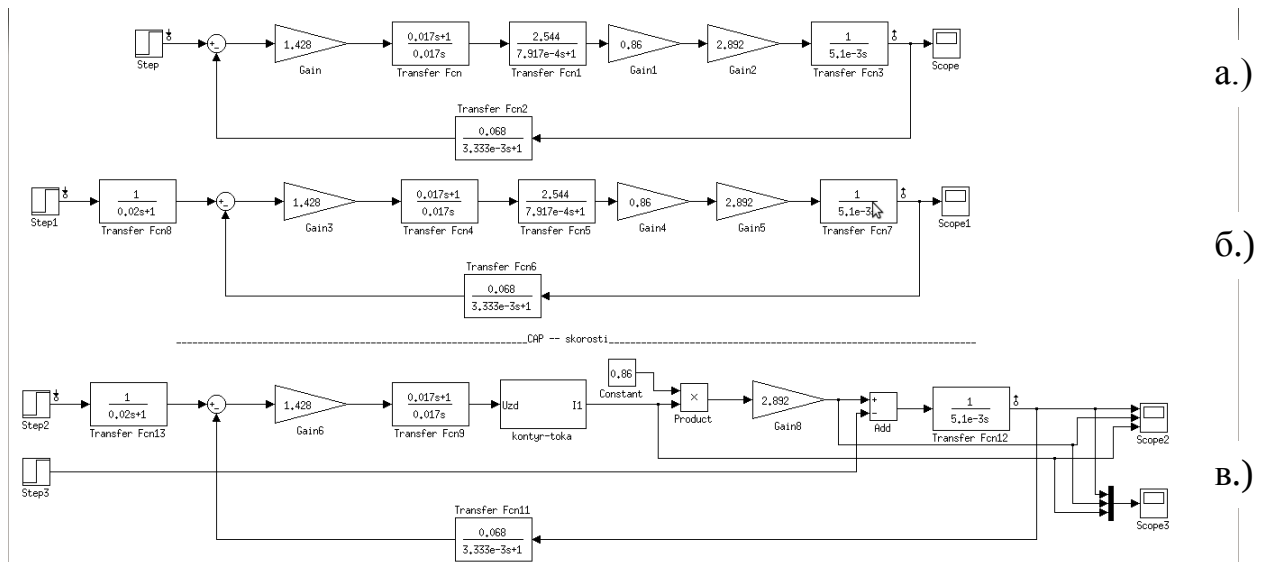


Рисунок 24 - Внешний вид имитационной модели контура скорости с ПИ-регулятором в программной среде MATLABSimulink
(а – без фильтра, б – с фильтром, в – САР скорости)

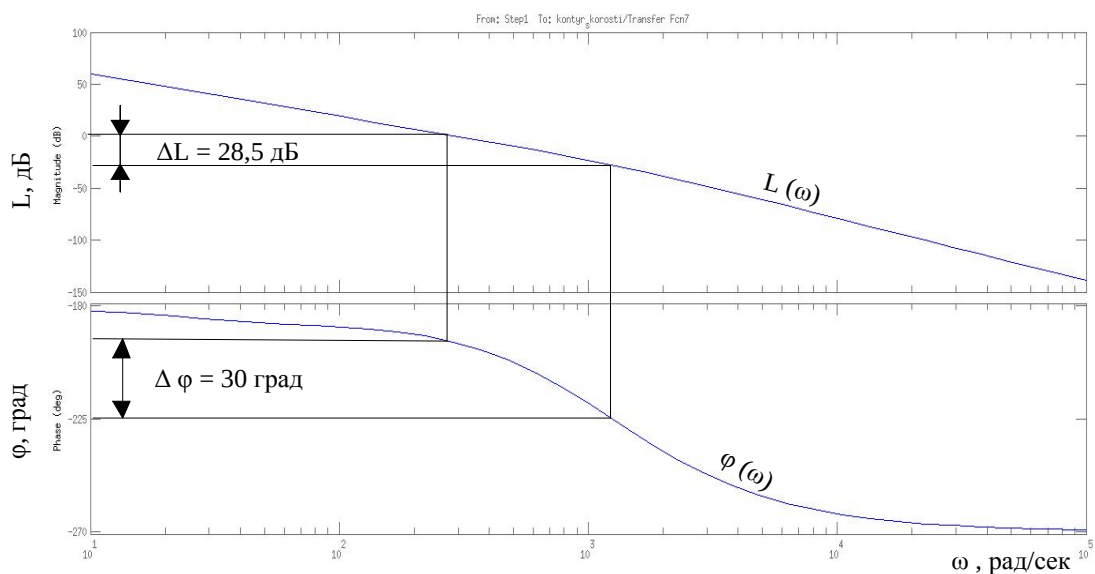


Рисунок 25 - Частотные характеристики разомкнутого контура скорости с фильтром

Таблица 13 - Показатели качества работы контура скорости

t_{py1}, c	t_{py2}, c	$\sigma, \%$	$\Delta\omega_{уст}, \frac{рад}{с}$	
Ожидаемые показатели				
0,029-0,024	0,05-0,039	8,1-10	0	
Результаты моделирования без фильтра				
0,00845	0,0542	48,3	0	
Результаты моделирования с фильтром				
0,0295	-	1,87	0	
Частотные показатели				
Замкнутый контур без фильтра	Ожидаемые показатели		Результаты моделирования	
	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад / сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / сек$	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад / сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / сек$
	87-102	121-131	95,5	117
Разомкнутый контур с фильтром	Запас по модулю $\Delta L, дБ$		Запас по фазе $\Delta\varphi, град$	
	28,5		30	

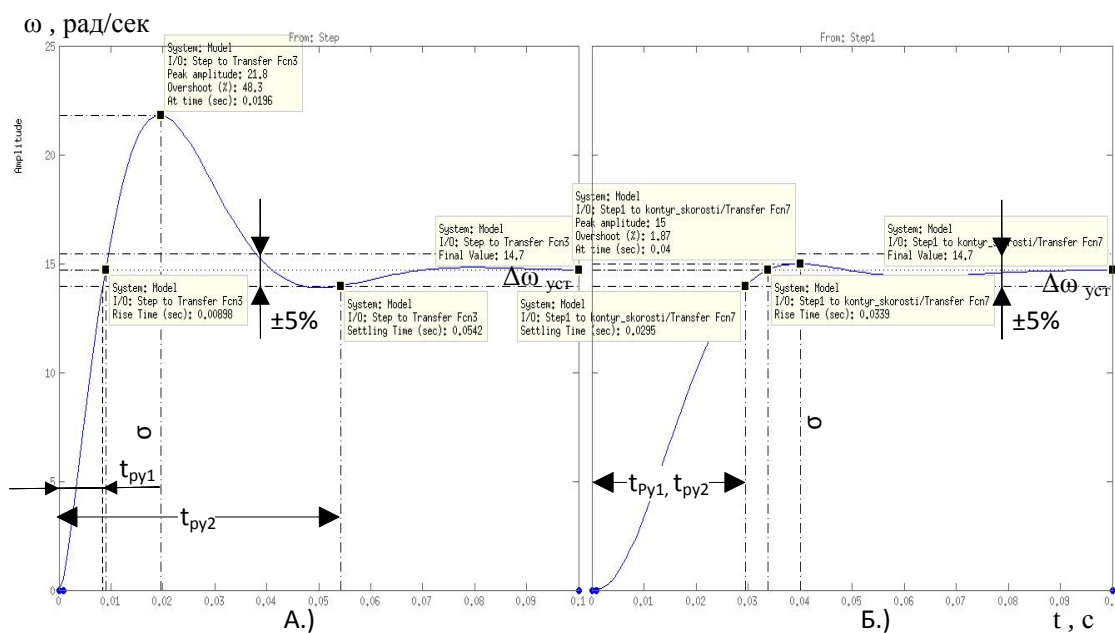


Рисунок 26 - Переходные процессы контура скорости с ПИ-регулятором
(А - без фильтра, Б- с фильтром)

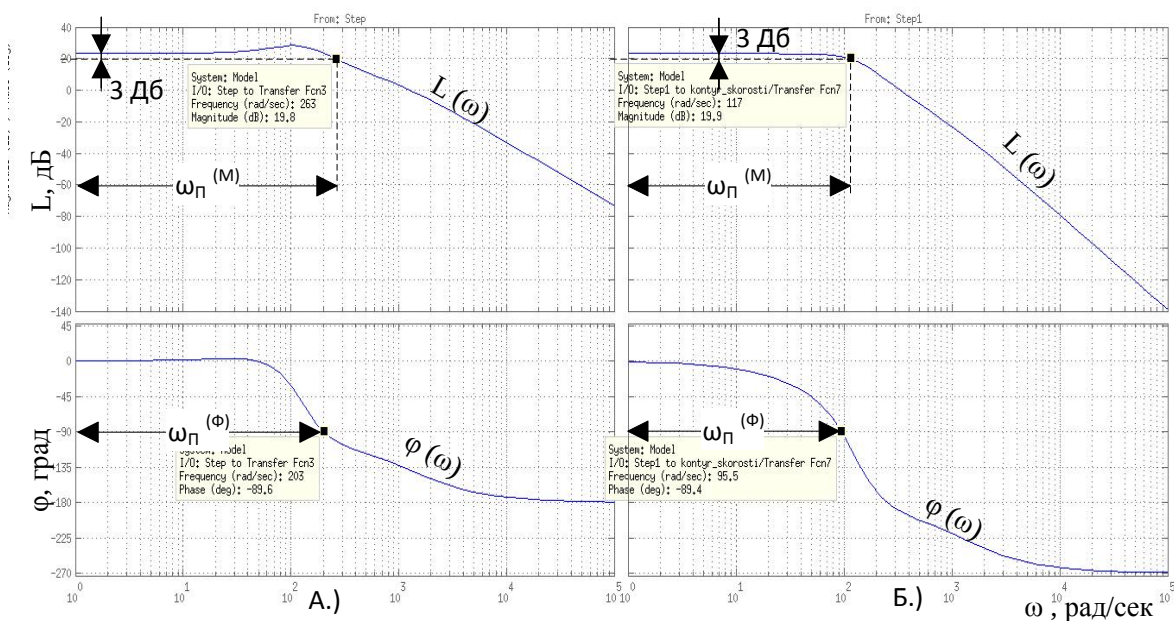


Рисунок 27 - Частотные характеристики замкнутого контура скорости
(А - без фильтра, Б- с фильтром)

Оптимизация контура положения с П- регулятором и безынерционной обратной связью, и контуром скорости с ПИ-регулятором

Для регулировки положения клина задвижки в промежуточных положениях, а также для остановки привода в крайних положениях «открыто» и «закрыто» применяют два варианта.

1. Необходимо установить абсолютный, энергонезависимый датчик положения. Остановка в промежуточных положения клина или в крайних положениях будет происходить, основываясь на показаниях датчика положения. При этом необходимо откалибровать привод: открыто – 0%, закрыто – 100%.

2. Второй способ это введение контура положения. Положение можно высчитать из датчика скорости, но в этом случае при отсутствии питания электропривода контроллер потеряет текущее значение положения.

Структурная схема контура положения с безынерционной обратной связью приведена на рис. 28.

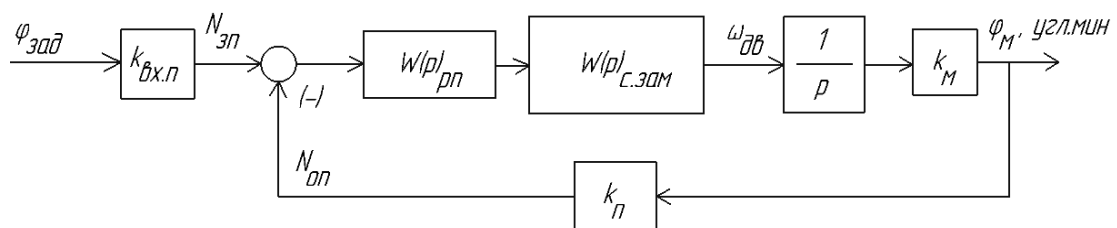


Рисунок 28 – Структурная схема контура положения с безынерционной обратной связью

Передаточная функция П-регулятора положения

$$W(p)_{pn} = k_{pn}$$

Коэффициент усиления регулятора положения находится по выражению:

$$k_{pn} = \frac{k_c}{k_m \cdot k_n \cdot a_n \cdot T_{\mu Пэ}} = 3,966 \cdot 10^{-3}$$

где $T_{\mu Пэ} = b_c \cdot a_c \cdot (T_T + T_{\mu со}) = 0,017 \text{ с}$ – эквивалентная малая постоянная времени контура положения.

Оптимизированный контур положения с П-регулятором положения и внутренним контуром скорости с ПИ-регулятором скорости в общем случае имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W(p)_{n.раз} = \frac{1}{a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^3 \cdot T_{мсэ}^4 \cdot p^4 + a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^3 \cdot T_{мсэ}^3 \cdot p^3 + a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^2 \cdot T_{мсэ}^2 \cdot p^2 + a_n \cdot b_c \cdot a_c \cdot T_{мсэ} \cdot p + 1}$$

замкнутого контура по управлению, записанную для входного сигнала $\varphi_{зад}$ в общем случае,

$$W(p)_{n.раз} = \frac{k_{ex.n} \cdot \frac{1}{k_n}}{a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^3 \cdot T_{мсэ}^4 \cdot p^4 + a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^3 \cdot T_{мсэ}^3 \cdot p^3 + a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^2 \cdot T_{мсэ}^2 \cdot p^2 + a_n \cdot b_c \cdot a_c \cdot T_{мсэ} \cdot p + 1}$$

Настройка контура положения при коэффициенте оптимизации $a_n=2$ точно соответствует настройке на МО системы 4-го порядка. Замкнутый контур положения представляет собой астатическую систему 1-го порядка по управлению. Показатели качества работы замкнутого контура положения по управлению определяются следующими значениями:

- статическая ошибка по управлению при постоянном значении задающего сигнала $\varphi_{зад} = \text{const}$

$$\Delta\varphi_{уст} = 0$$

- полоса пропускания контура по модулю и по фазе:

$$\omega_{П}^{(M)} = \frac{0,282}{T_{мсэ}} = 68,36 \frac{рад}{с} \quad \omega_{П}^{(\Phi)} = \frac{0,182}{T_{мсэ}} = 44,12 \frac{рад}{с}$$

- перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5%-ю зону при обработке скачка задания:

$$\sigma = 6,24\%$$

$$t_{py1} = 13,2 \cdot T_{мсэ} = 0,054 \text{ с} \quad t_{py2} = 20,3 \cdot T_{мсэ} = 0,084 \text{ с}$$

На рис. 29 представлена имитационная модель контура положения, а на рис. 30-32 результаты моделирования. В табл. 14 сведены полученные показатели качества работы контура положения.

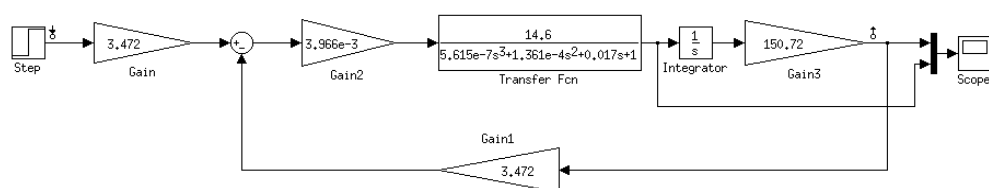


Рисунок 29 – Схема набора имитационной модели контура положения с безынерционной связью в программной среде MATLABSimulink

Таблица 14 – Показатели качества работы контура положения

t_{PV1}, c	t_{PV2}, c	$\sigma, \%$	$\Delta\varphi_{уст}, \text{угл.мин}$	
Ожидаемые показатели				
0,054	0,084	6,24	0	
Результаты моделирования				
0,054	0,088	6,5	0	
Частотные показатели				
Замкнутый контур	Ожидаемые показатели		Результаты моделирования	
	Запас по фазе	Запас модулю	Запас по фазе	Запас модулю
	$\Delta\omega_{II}^{(\phi)}, \text{рад} / \text{сек}$	$\Delta\omega_{II}^{(M)}, \text{рад} / \text{сек}$	$\Delta\omega_{II}^{(\phi)}, \text{рад} / \text{сек}$	$\Delta\omega_{II}^{(M)}, \text{рад} / \text{сек}$
	44,12	68,36	43,8	65,9
Разомкнутый контур	Запас по модулю		Запас по фазе	
	$\Delta L, \text{дБ}$		$\Delta\varphi, \text{град}$	

	8,5	62
--	-----	----

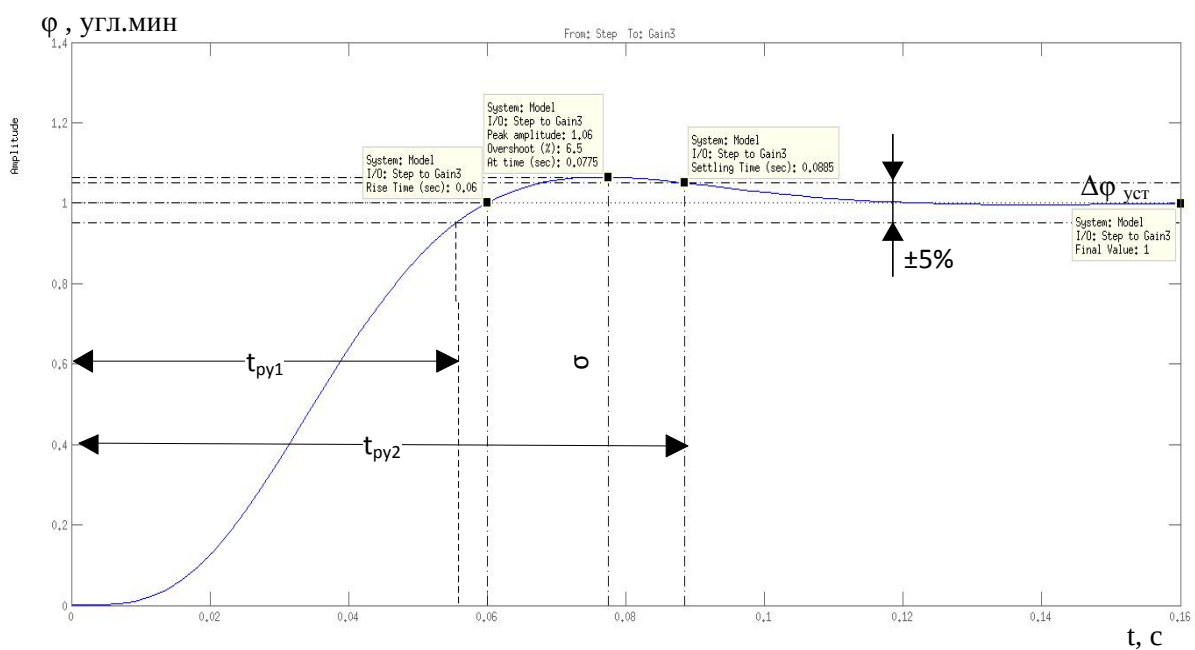


Рисунок 31 - Переходные процессы контура положения

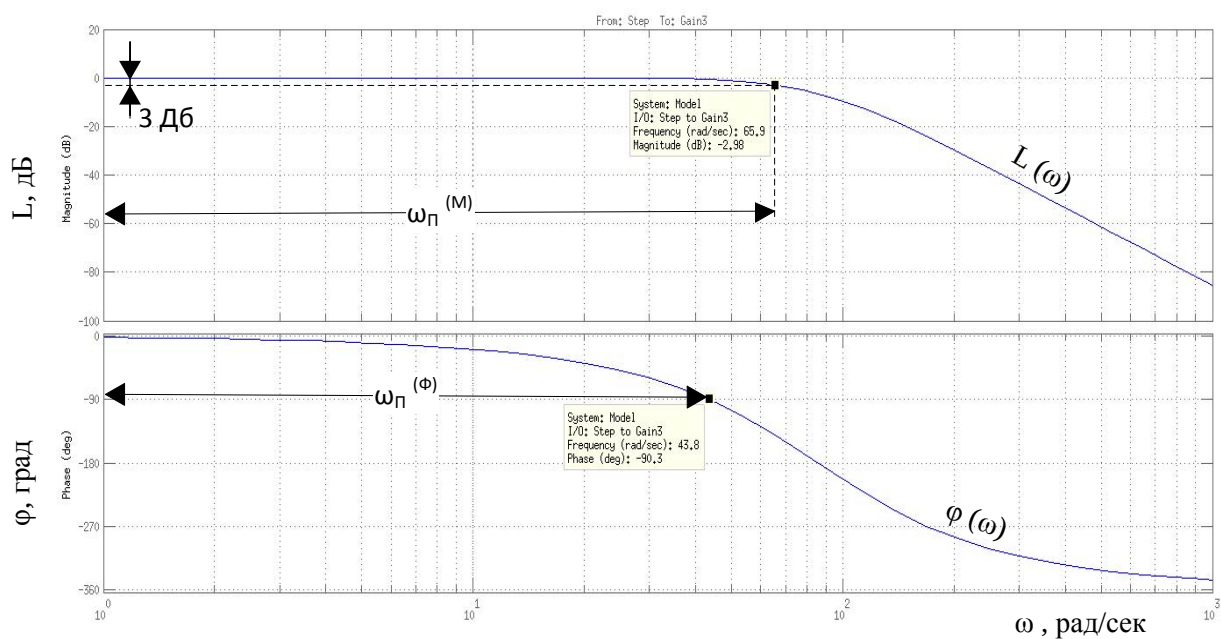


Рисунок 32 - Частотные характеристики замкнутого контура положения

5. Имитационное моделирование электропривода задвижки

5.1 Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

Структурная схема нелинейной САУ асинхронного электропривода с векторным управлением и с обратной связью по положению приведена на рис. 33.

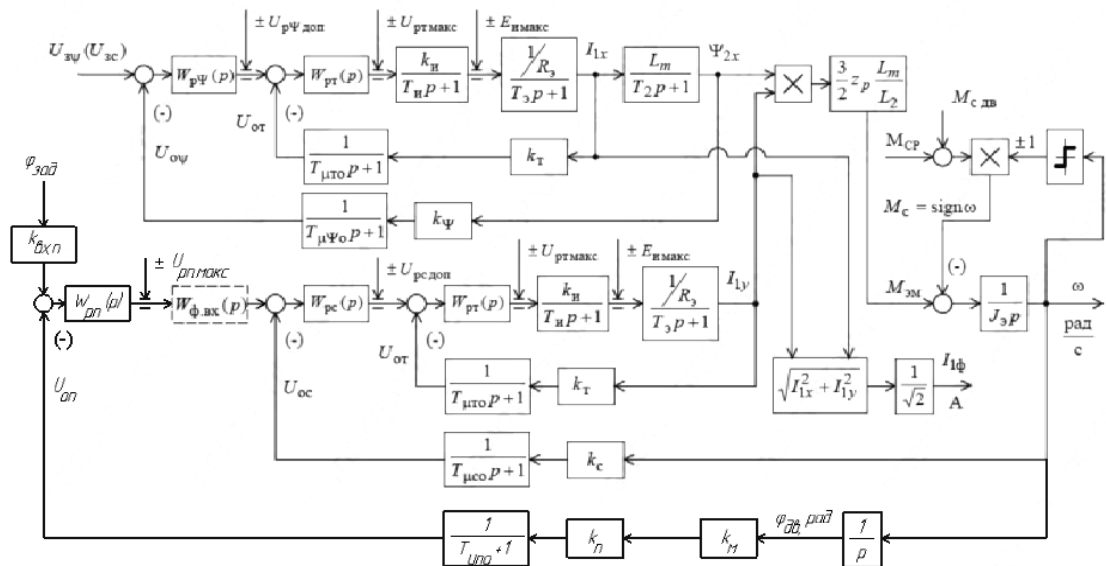


Рисунок 33 - Структурная схема нелинейной непрерывной САУ асинхронного электропривода при векторном управлении с упрощённой моделью двигателя

По схеме рис. 33 была построена имитационная модель в среде Matlab, рис. 34. Данная модель включает в себя отдельные блоки, которые собраны по функциональному назначению. Блок “Kontur_1” (рис. 35) отвечает за канал регулирования потока и включает в себя контур потокосцепления и контур тока. Блок “Kontur_2” (рис. 36) отвечает за канал регулирования скорости и включает в себя контур скорости и второй контур тока. Блока “Reaktivnaya nagruzka” (рис. 37) отвечает за реактивную нагрузку клиновой задвижки. На рис. 38 представлено блок вычисления тока “VichislitelIfn”, на рис. 39 – блок регулятора скорости “Regylator-skorosti”, на рис. 40 – регулятор потока “Regylator-potoka”, на рис. 41 – регулятор тока “Regylator-toka”.

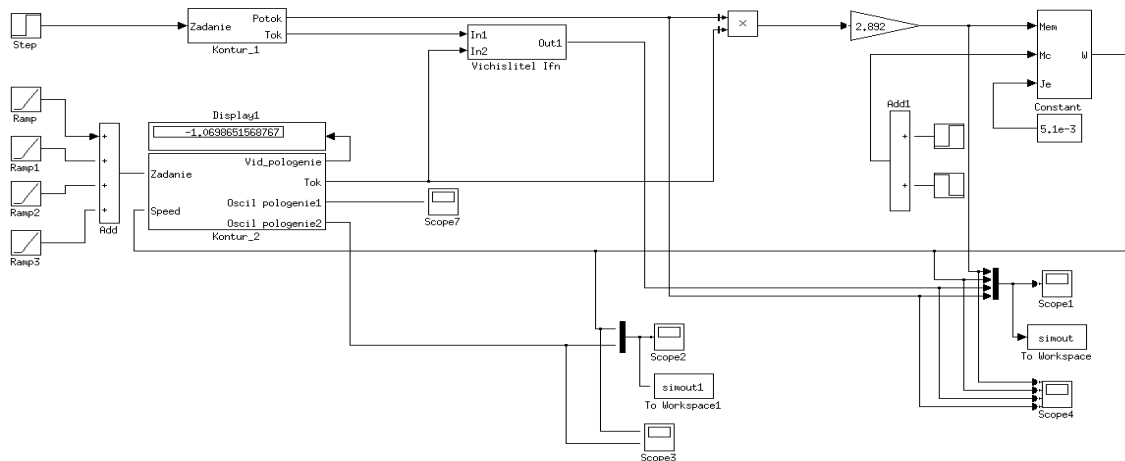


Рисунок 34 - Имитационная модель нелинейной непрерывной САУ асинхронного электропривода при векторном управлении с упрощённой моделью двигателя среде MATLAB

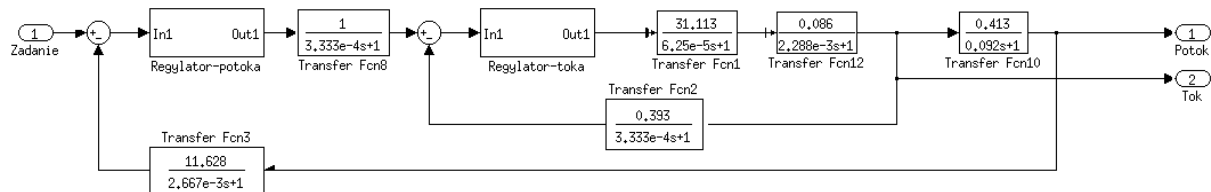


Рисунок 35 – Содержание блока “Kontur_1”

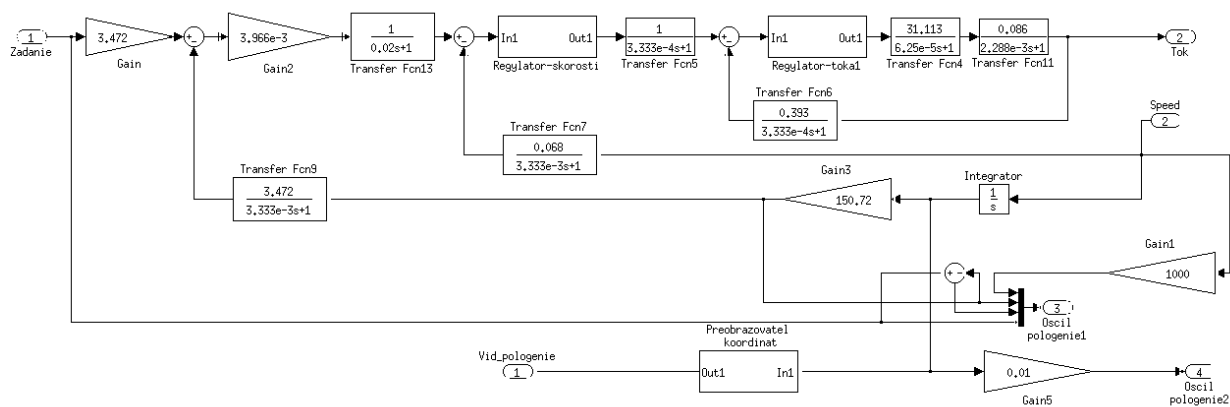


Рисунок 36 – Содержание блока “Kontur_2”

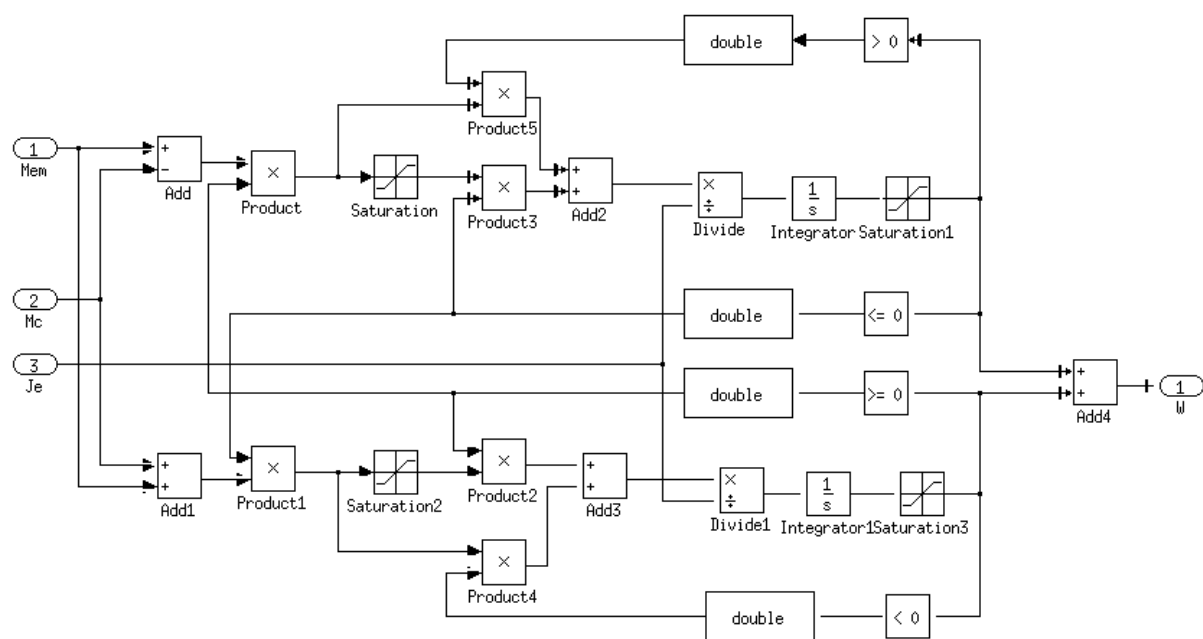


Рисунок 37 – Содержание блока “Reaktivnaya nagruzka”

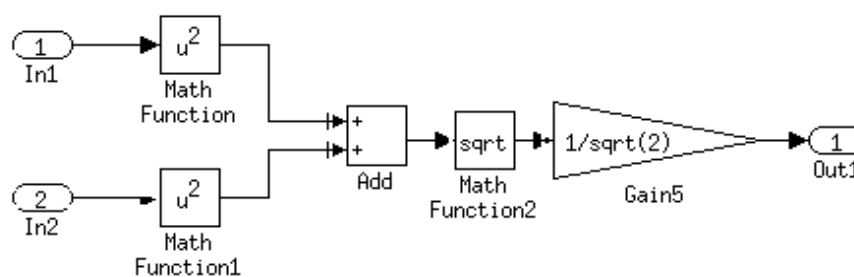


Рисунок 38 – Содержание блока “Vichislitel fn”

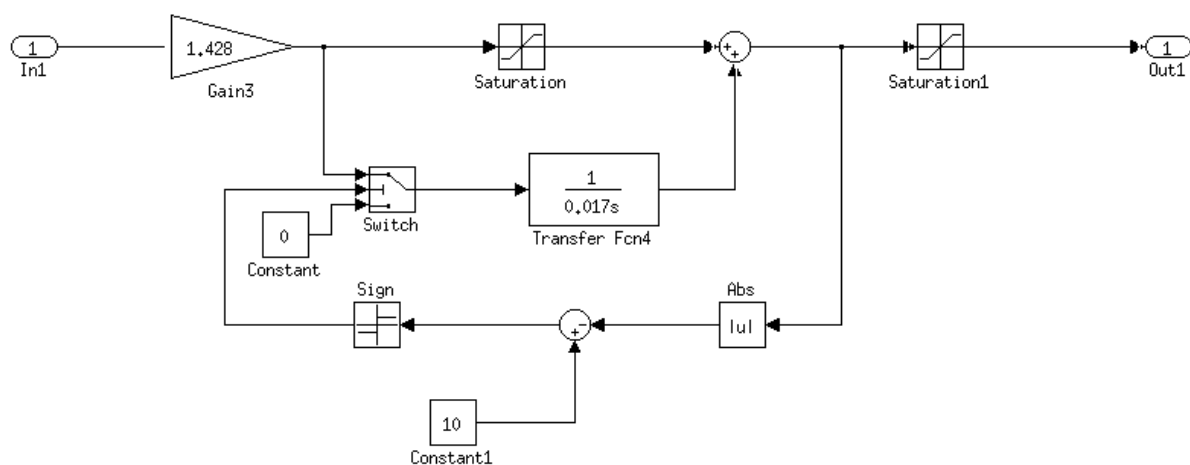


Рисунок 39 – Содержание блока “Regylator-skorosti”

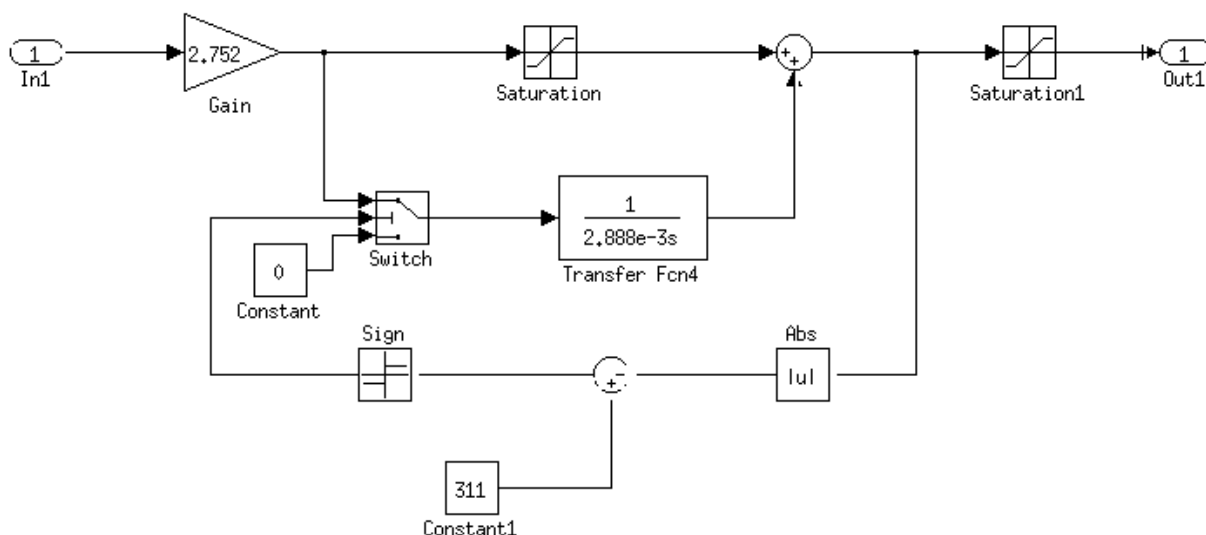


Рисунок 40 – Содержание блока “Regylator-potoka”

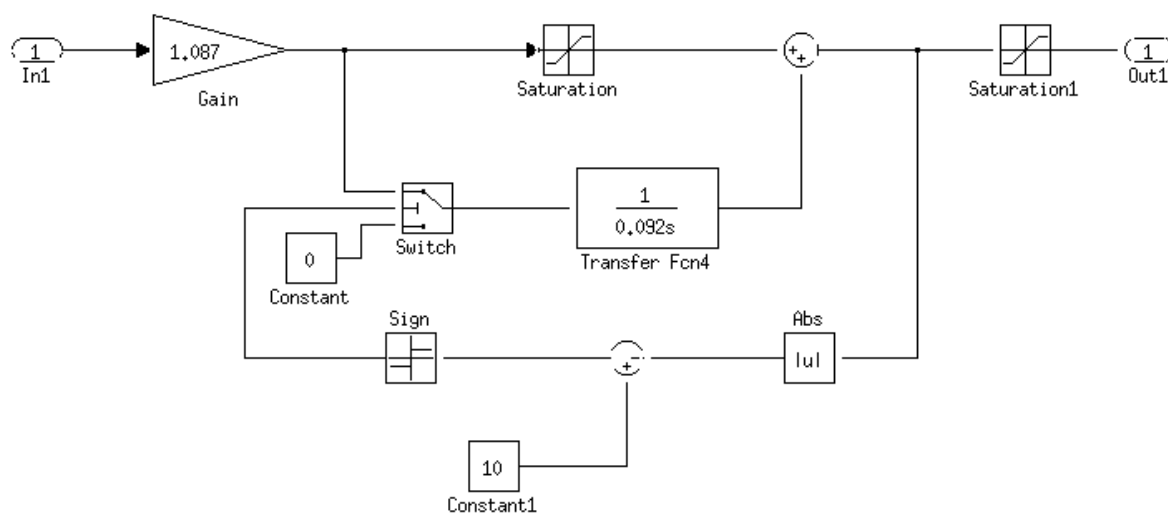


Рисунок 41 – Содержание блока “Regylator-toka”

В результате расчётов контура тока, контура потокосцепления и контура скорости было выявлено, что наилучшие показатели можно достичь, поставив фильтр перед контуром скорости. Остальные контура в фильтрах не нуждаются.

Основные нелинейности характеристик САУ:

- насыщение регуляторов тока, потокосцепления и скорости

$U_{\text{рт макс}} = \pm 10 \text{ В}$, $U_{\text{р}\Psi \text{ макс}} = \pm 10 \text{ В}$, $U_{\text{рс макс}} = \pm 10 \text{ В}$;

- постоянное по величине ограничение максимального тока электропривода в переходных режимах и кратковременных перегрузках, которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора скорости на уровне $U_{\text{редоп}}(\omega) = \pm k_T \cdot I_{\text{эл макс}}$;
- ограничение выходного напряжения инвертора $E_H = \sqrt{2} \cdot U_{1\Phi H}$;
- реактивный характер нагрузки $M_c(\omega) = M_c \sin(\omega)$.

5.2. Исследование работы электропривода в динамических режимах

На рис. 42-44 представлены переходные процессы скорости, момента, тока и потокосцепления асинхронного электропривода. Пуск и работа САУ, без нагрузки, при максимальной скорости. На этих графиках хорошо видна отработка контурами тока и скорости нагрузок, САУ обеспечивает ограничение тока и момента, скорость достигает своего установившегося значения.

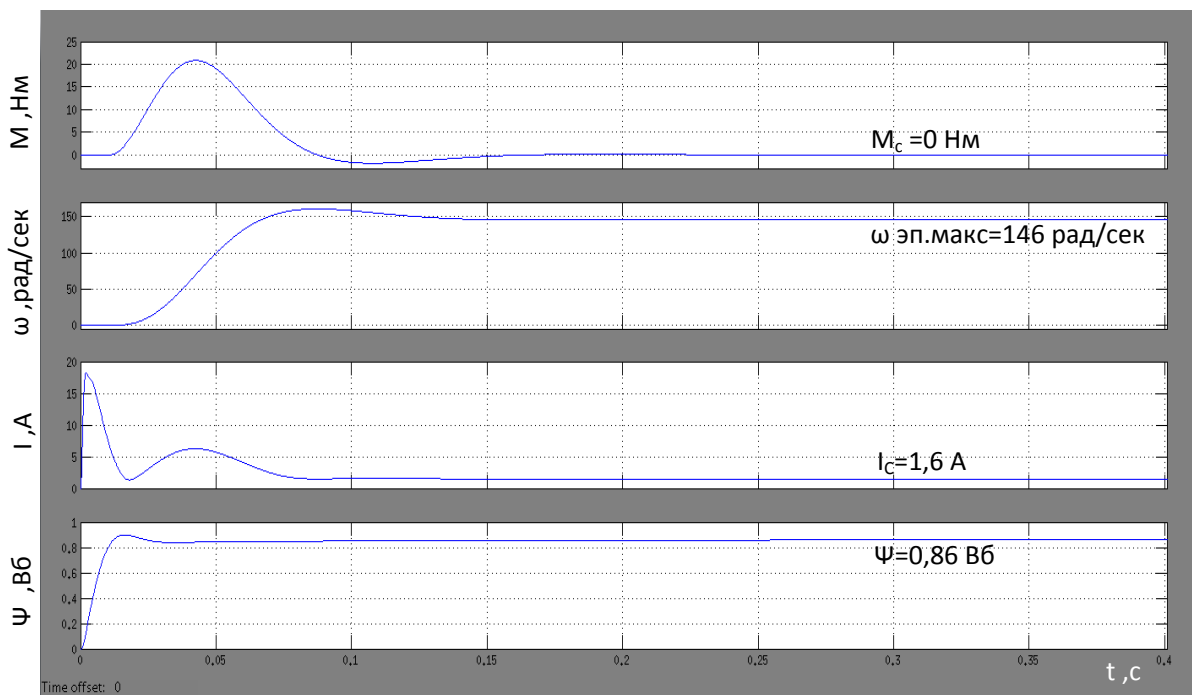


Рисунок 42 – Пуск и работа САУ, без нагрузки, при максимальной скорости

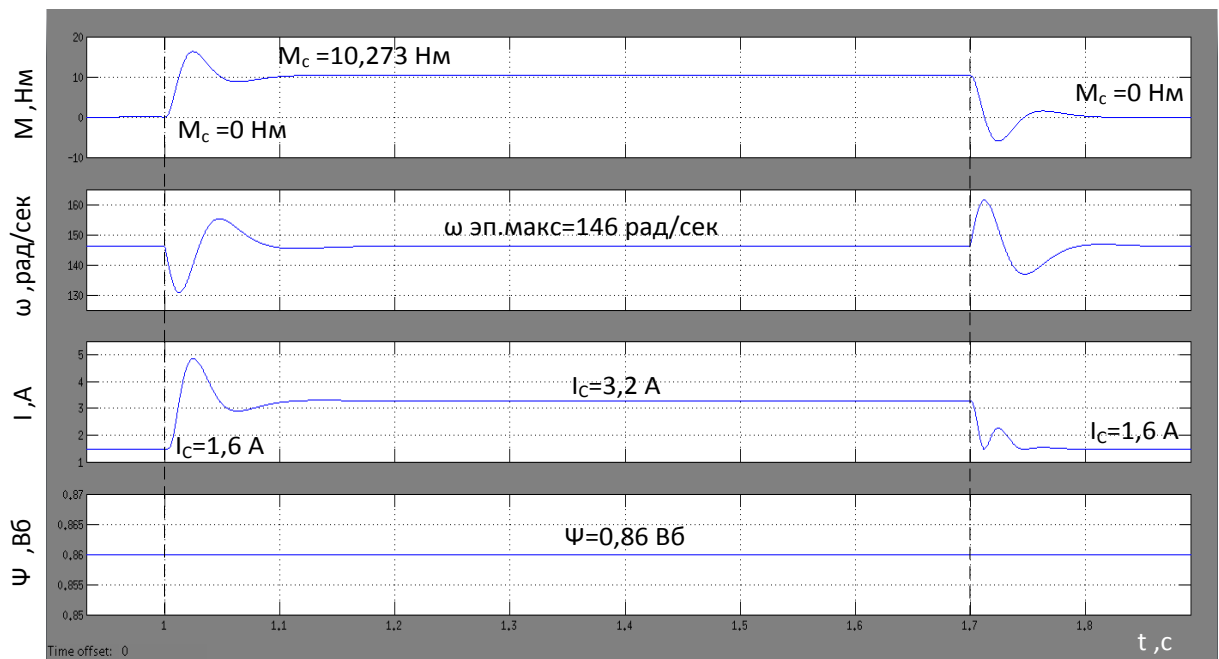


Рисунок 43–Наброс $t=1$ сек и сброс $t=1,7$ сек нагрузки $M_c=10,273 Hm$, при максимальной скорости электропривода

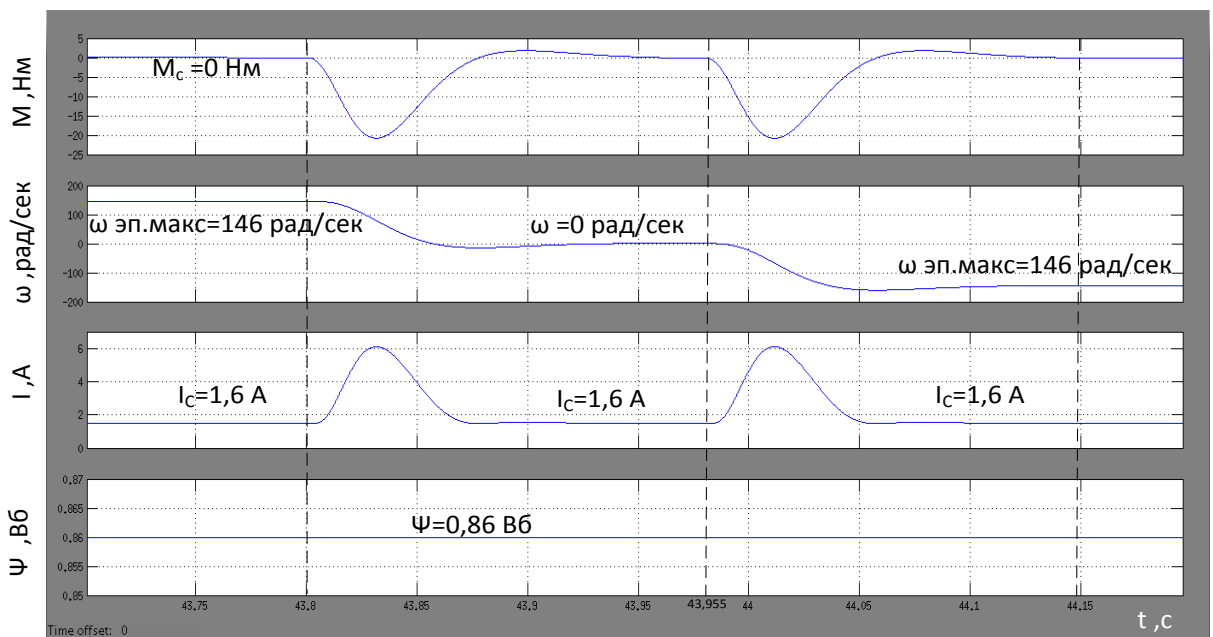


Рисунок 44 - Реверс САУ, без нагрузки в течении времени $t=43,8 - 44,35$ сек, при максимальной скорости электропривода

5.3. Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с моделью двигателя в двухфазной системе координат

Схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с имитационной моделью асинхронного двигателя в двухфазной системе координат реализована в программной среде MATLABSimulink (рис. 45).

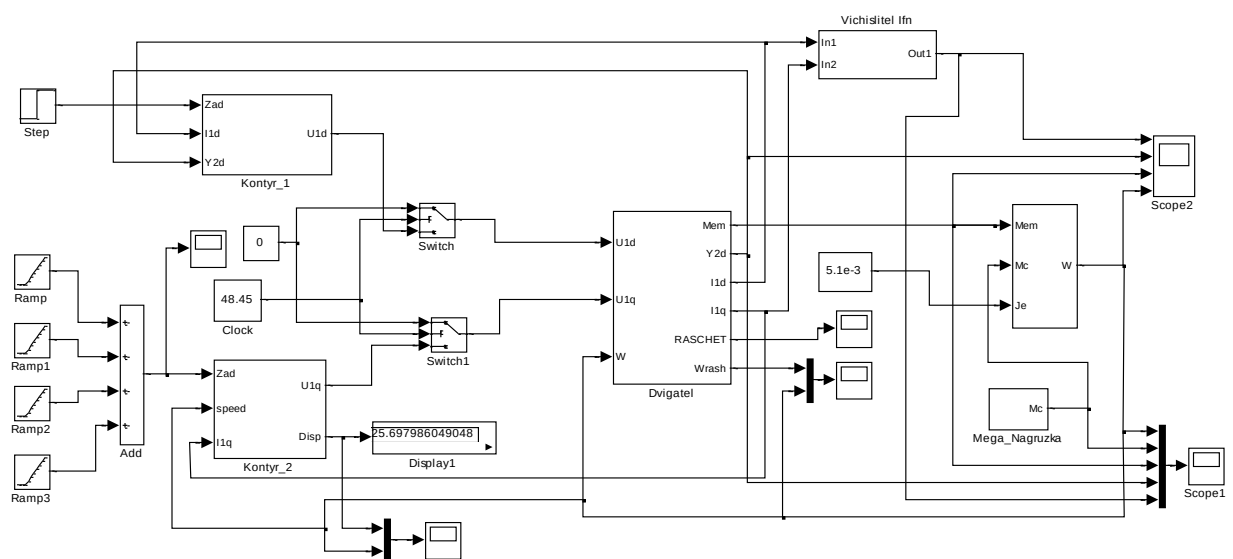


Рисунок 45—Схема нелинейной непрерывной САУ следящего частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с моделью двухфазного двигателя в программной среде MATLABSimulink

Схема имитационной модели двигателя представлена на рис. 46

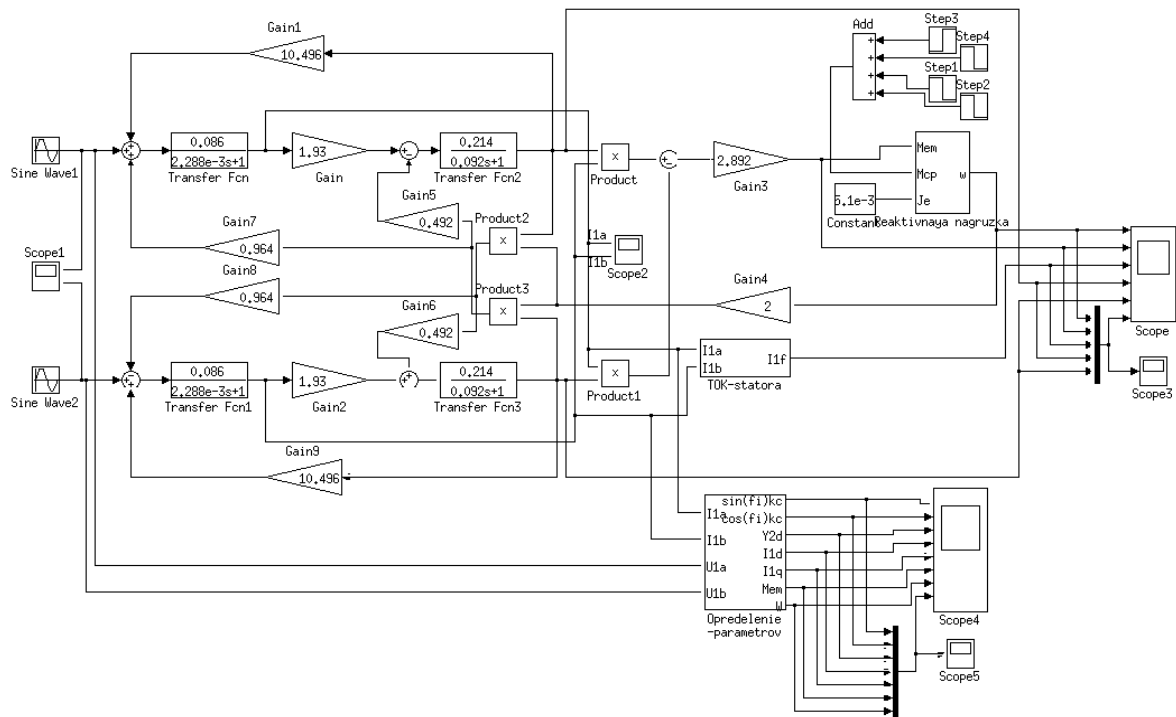


Рисунок 46 – Внешний вид имитационной модели асинхронного электродвигателя с неподвижной двухфазной системой координат α, β

Дополнительно, в состав САУ, был введён блок “ZIS” – задатчик интенсивности, обеспечивающий формирование управляющего сигнала на скорость с ограниченными значениями первой и второй производных.

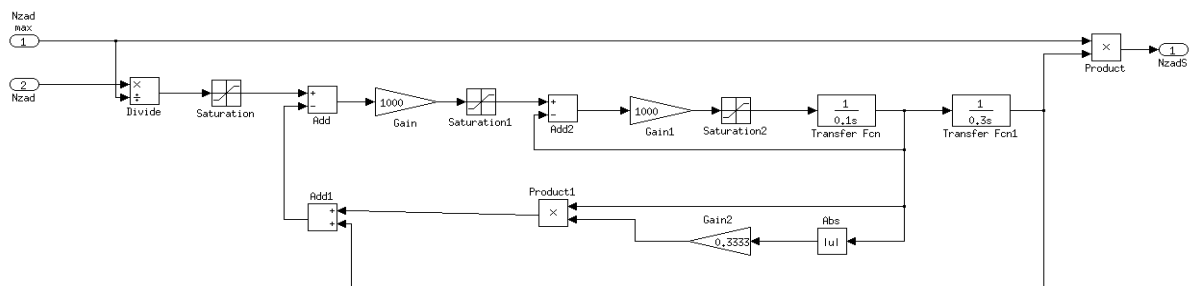


Рисунок 47 – Содержание блока “ZIS”

За имитацию нагрузочного момента отвечает блок “Mega_Nagruzka” (рис. 48)

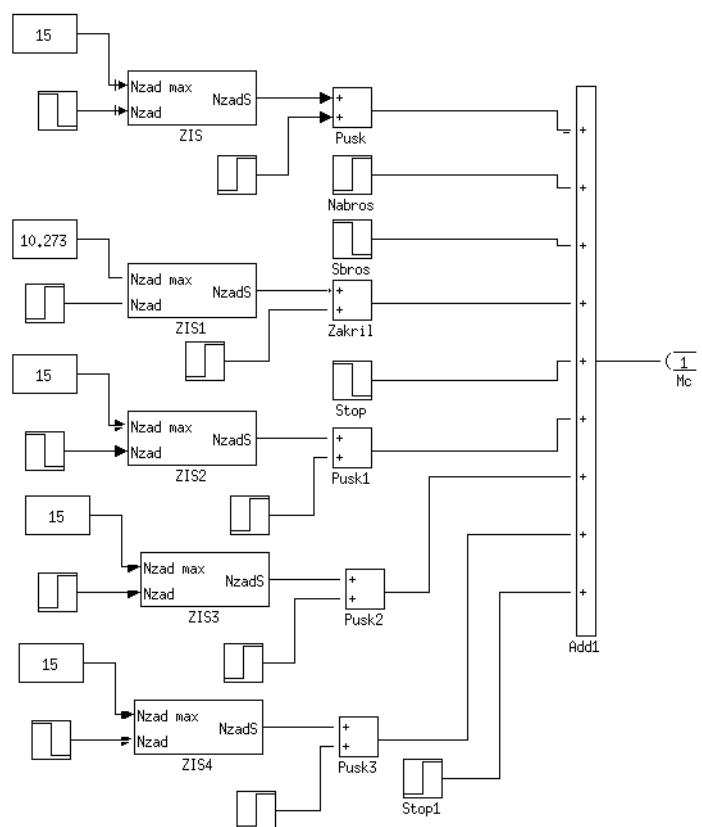


Рисунок 48 – Содержание блока “Mega_Nagruzka”

5.4 Результаты имитационного моделирования

На рис. 49-53 представлены результаты моделирования электропривода клиновой задвижки при векторном положении и с обратной связью по положению.

На рис. 49 представлен пуск под нагрузкой, на первом участке формирование потока, затем плавный разгон двигателя. При наброске и сбросе нагрузки (рис. 50) происходит бросок скорости, отработка регулятора скорости показывает, что система ведет себя как астатическая.

На рис. 51 представлен реверс электропривода. В данном режиме работает блок реактивной нагрузки. На рис. 52 работает режим ограничения крутящего момента. Это необходимо когда привод доехал до крайних положений, или произошел заклин механической части, например редуктора. В имитационной модели эта ситуация реализован путем линейного нарастания момента нагрузки.

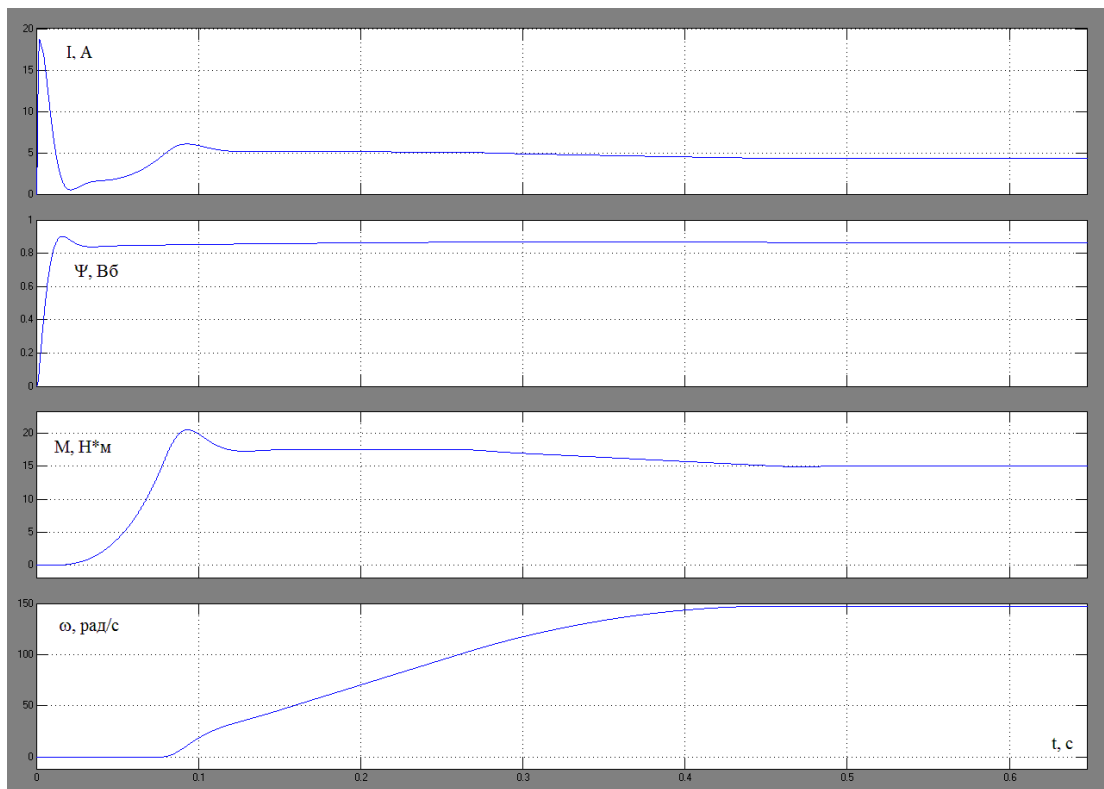


Рисунок 49–Переходные процессы пуска двигателя под нагрузкой $M_c=15$ Нм

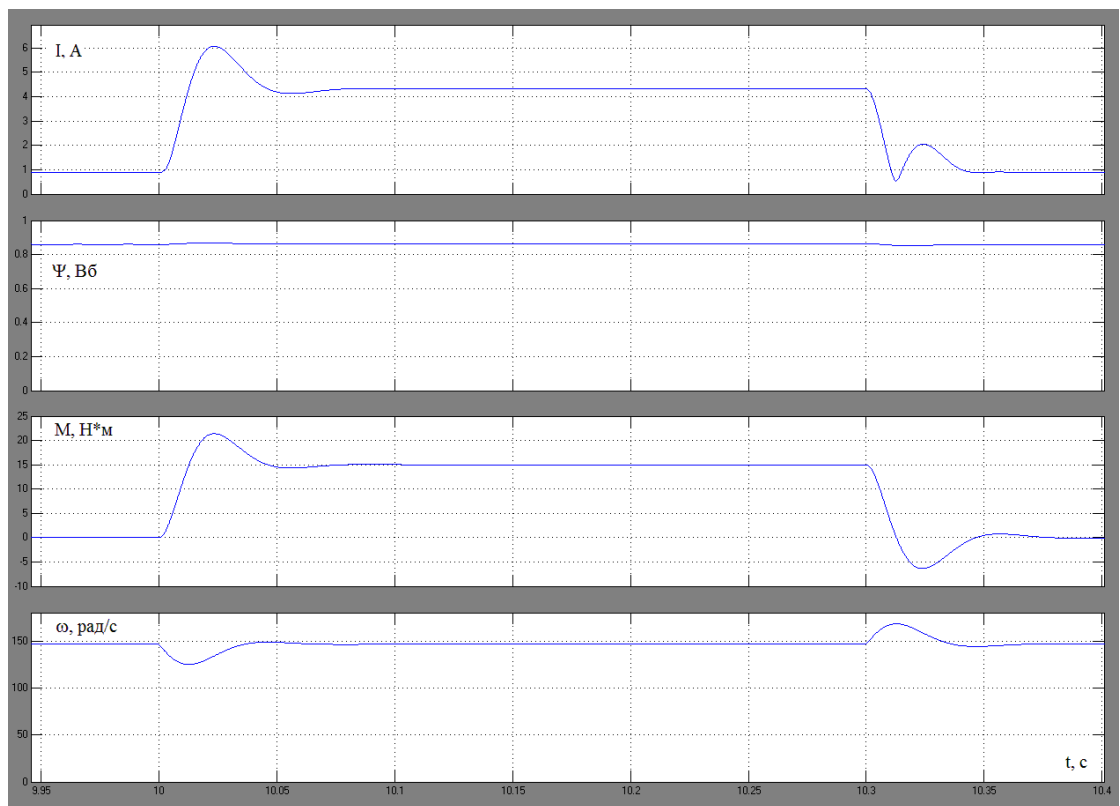


Рисунок 50– Переходные процессы наброса и сброса нагрузки $M_c=15$ Нм

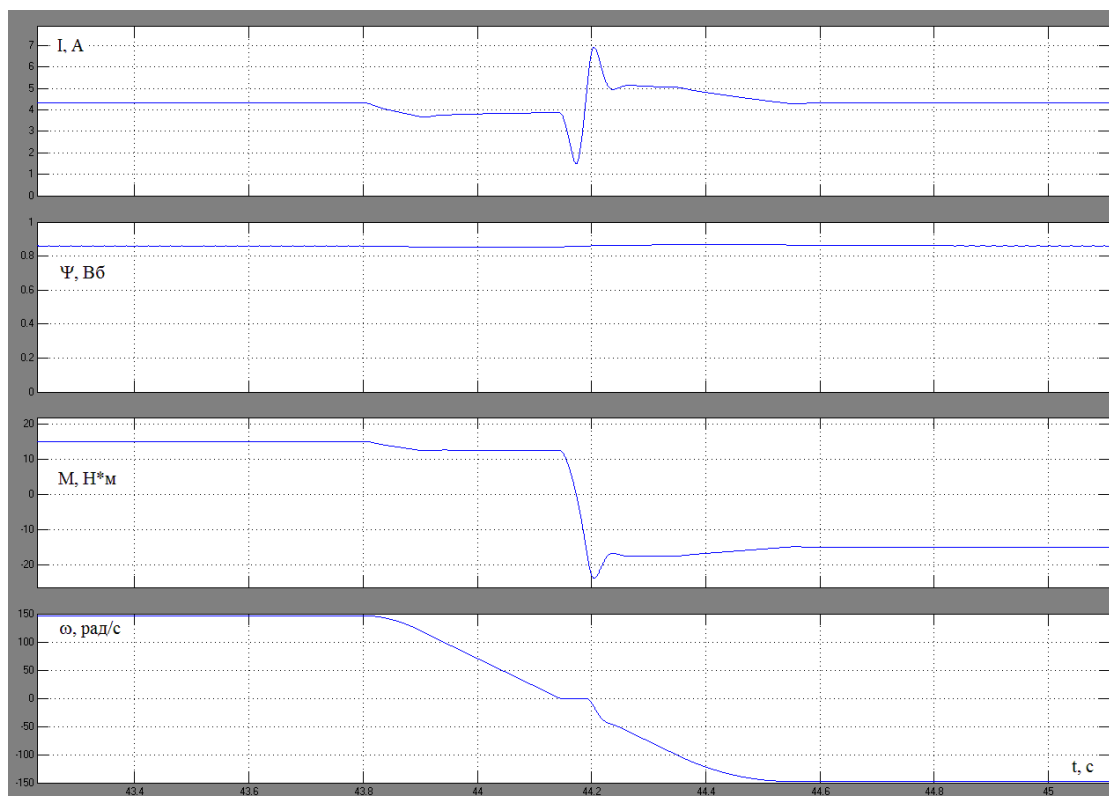


Рисунок 51– Переходный процесс реверса электропривода

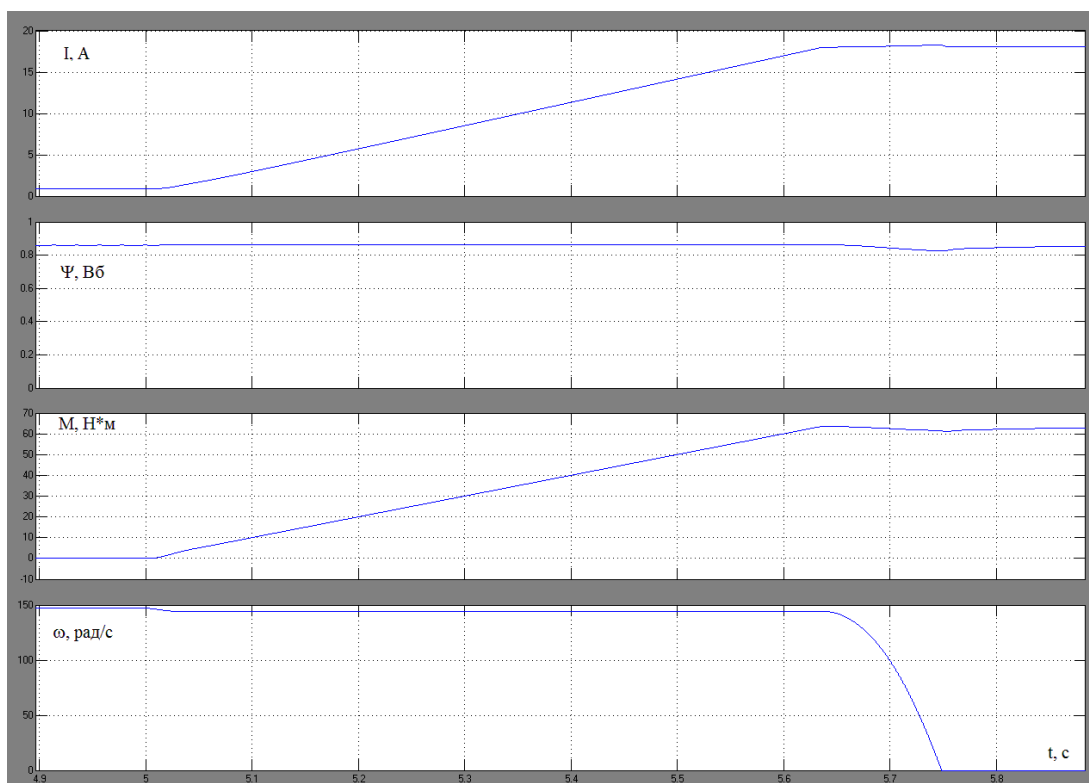


Рисунок 52– Процесс отработки ограничения момента

На рис. 53 представлен переходный процесс положения выходного звена электропривода при полном закрытии и полном открытии. Полный ход занимает около 90 с.

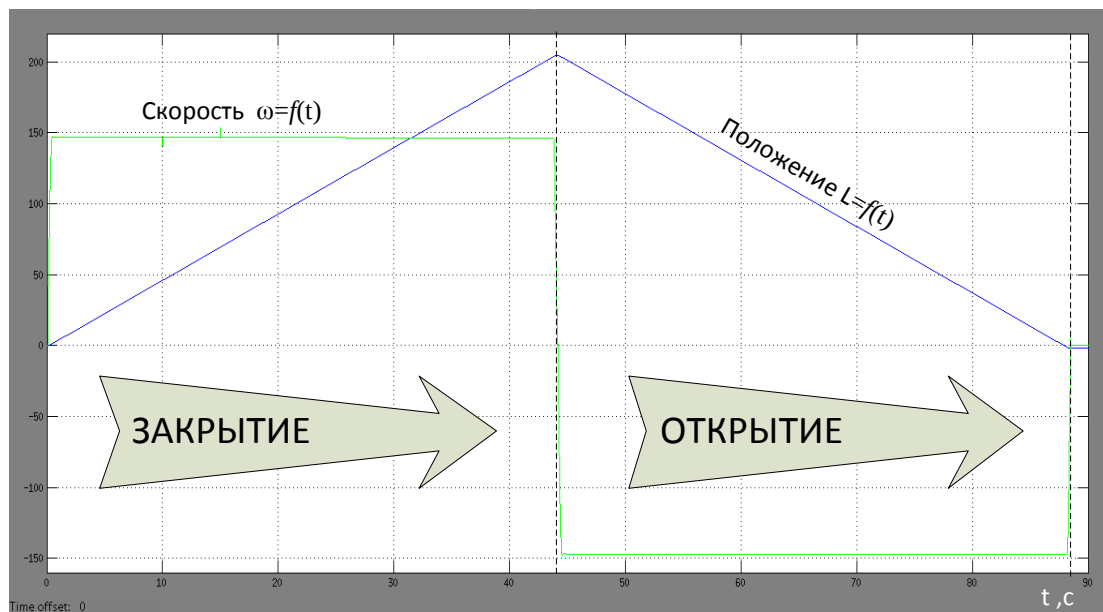


Рисунок 53 – Отработка по положению выходного органа

Исходя из полученных графиков мы можем видеть, что электропривод отрабатывает входные воздействия. Параметры системы в процессе моделирования не превышают пороговых. Процесс закрытия и открытия задвижки происходит в необходимых временных рамках $t = 44$ сек (рис. 64) и с заданным моментом.

**ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Латыфский Альберт Эльмирович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Диаграмма Ганта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.02.19.
---	-----------

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	Латыфский Альберт Эльмирович		

	Сильные стороны проекта: С1. Высокое качество питающего напряжения С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии С4. Квалифицированный персонал С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание Оборудования	Слабые стороны проекта: Сл1. Повышенный уровень шума Сл2. Аварийные ситуации Сл3. Значительная стоимость оборудования
Возможности: В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя. В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода В3.Резервное питание электропривода шахтного вентилятора В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В1 С1С2С3С4 В2 С2С4С5 В3 С1С2С4С5 В4 С1С3С5	В1 Сл2Сл3; В2 Сл1Сл2 В3 Сл2Сл3.
Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологии производства У2. Риск несвоевременной поставки оборудования У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	У1 С5 У2 С5 У3 С4	У1 Сл3 У3 Сл2

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

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие) [15].

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 16 и 17.

Таблица 16 - Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	С1. Высокое качество питающего напряжени я	С2. Надежност ь систем защит и аварийной сигнализац ии	С3. Большая экономия потребляем ой эл.энергии	С4. Квалифици рованный персонал	С5. Небольши е затраты на ремонт и обслужив ание оборудова ния
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	+	+	+	+	-
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	-	+	-	+	+
В3.Резервное питание электропривода шахтного вентилятора	+	+	-	+	+
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	+	-	+	-	+

Возможности	Сильные стороны проекта		
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+	+
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	+	+	-
В3.Резервное питание электропривода шахтного вентилятора	-	+	+
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	-	-	-

Таблица 17 – Интерактивная матрица угроз

Угроза	Сильные стороны проекта				
	С1. Высокое качество питающего напряжени я	С2. Надежност ь систем защит и аварийной сигнализац ии	С3. Большая экономия потребляем ой эл.энергии	С4. Квалифици рованный персонал	С5. Небольши е затраты на ремонт и обслужив ание оборудова ния
У1 Развитая конкуренция технологии производства	-	-	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	-	+
У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	-	-	-	+	-

Угроза	Сильные стороны проекта		
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования
У1 Развитая конкуренция технологии производства	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-
У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	+	-	-

По результатам интерактивных матриц, приведенных в ниже, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременное ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой электрической энергии и высокое качество питающего напряжения показывают перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта

6.2 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;
- разработка графика проведения технического проектирования.

6.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и студент. 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 18:

№ 1 – разработка технического задания (ТЗ) – представляет собой изучение первичной информации об объекте, требования к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, в том числе области применения оборудования, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – сбор исходных данных – это выбор из изученных источников электрических схем соединения; параметров двигателя; параметров частотного преобразователя.

№ 4 – подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет естественных характеристик электродвигателя, расчет параметров схемы замещения;

№ 5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов – перепроверка всех введенных значений, формул и схем;

№ 6 – выбор оборудования – необходимо произвести выбор оборудования из изученных ранее источников. Данная работа формируется из приводного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, частотного преобразователя и определения типа вентилятора местного проветривания;

№ 7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при холостом пуске и пуске с нагрузкой;

№ 8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение семейства механических $\omega (M_{эм})$ и электромеханических $\omega(I_1)$ характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATLAB;

№ 9 – оформление пояснительной записки – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите, подготовка презентации;

№ 10 – сдача проекта – это заключительный этап выполнения ВКР, в котором, студент осуществляет защиту своей работы.

Таблица 18 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Ознакомление с производственной документацией	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования завода	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
Расчеты и проектирование системы электроснабжения площадки сбора руды	3	Изучение исходных данных, параметров двигателя и ПЧ	Студент, научный руководитель
	4	Подготовка данных, расчет схемы замещения, составление схем замещения	Студент, научный руководитель
	5	Проведение тестовых расчетов, проверка всех введенных значений	Студент, научный руководитель
	6	Выбор оборудования	
	7	Построение характеристик в среде MATLAB	Студент
Обобщение и оценка результатов	8	Расчет и проверки модели в среде MATLAB	Студент, Научный руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	9	Составление пояснительной записки	Студент
	10	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	11	Подготовка к защите ВКР	Студент, Научный руководитель

В результате определения структуры работ в рамках технического проекта было выявлено пять основных этапов (разработка технического задания, выбор направления технического проектирование, расчеты и проектирование и модуляция АД-ПЧ в среде MATLAB, построение семейства характеристик, обобщение и оценка результатов, оформление отчета по техническому проектированию, сдача выпускной квалификационной работы) и 11 работ.

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП

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

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 $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

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

где $t_{ож\ i}$ – 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.

6.2.3 Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

Диаграмма Ганта – представляет собой ленточную диаграмму, которая имеет две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. В соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче, он откладывается на временной шкале.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 19 строим план-график проведения работа (таблица 20)

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 12 декад, начиная со второй декады февраля и заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического в календарных днях заняла 100 дней. Из них:

100 дней – продолжительность выполнения работ студента;

10 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителя;

Таблица 19 – Расчёт продолжительность работ чел.-дн.

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел-дни					
		Минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i-ой работы		Максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i-ой работы		Ожидаемая трудоёмкость выполнения i-ой работы	
		Науч. рук-ль	Студент	Науч. рук-ль	Студент	Науч. рук-ль	Студент
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	3	-	7		5
3	Изучение исходных данных параметров двигателя и ПЧ	1	19	1	23	1	21
4	Подготовка данных, расчет схемы замещения, составление схем замещения	1	17	1	25	1	20
5	Проведение тестовых расчетов, перепроверка всех введенных значений	1	14	1	21	1	17
6	Выбор оборудования	1	3	1	6	1	4
7	Построение характеристик в среде MATLAB	1	14	1	18	1	16
8	Построение характеристик в среде MATLAB	1	6	1	8	1	7
9	Составление пояснительной записки	-	3	-	12	-	7
10	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	-	1	-	1	-
11	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	1	2	3	4	2	3

Таблица 20 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнители	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	Ознакомление с производственной документацией	Руководитель	1	-												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	5	-												
3	Изучение исходных данных параметров двигателя и ПЧ	Руководитель	1			-										
		Студент	21	-	-	-										
4	Подготовка данных, расчет схемы замещения, составление схем замещения	Руководитель	1					-								
		Студент	20				-	-								
5	Проведение тестовых расчетов, перепроверка всех введенных значений	Руководитель	1							-						
		Студент	17					-	-	-						
6	Выбор оборудования	Руководитель	1									-				
		Студент	4								-					
7	Построение характеристик в среде MATLAB	Руководитель	1										-			
		Студент	16								-	-				
8	Построение характеристик в среде MATLAB	Руководитель	1											-		
		Студент	7									-	-			
9	Составление пояснительной записки	Студент	7											-		
10	Проверка ВКР руководителем	Руководитель	1												-	
11	Подготовка к защите ВКР	Руководитель	2													-
		Студент	3												-	

6.3 Расчёт затрат на осуществление технического проекта

Целью планирования себестоимости проведения технического проекта является экономически обоснованное определение величины затрат на его выполнение. Исходными данными для расчета затрат является план работ и перечень требуемой аппаратуры, оборудования, сырья и материалов.

Затраты на осуществление технического проекта рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

- расходы на оплату труда;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- расходы на материалы и комплектующие изделия;
- расходы на спецоборудование;
- накладные расходы.

8.3.1 Расчет материальных затрат технического проекта

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении технического проекта;

$N_{расхi}$ – 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.);

К материальным затратам можно отнести: бумага, ручка, корректор, USB-накопитель, блокнот, линейка, мульти фора.

Материальные затраты, необходимые для данной работы, указаны в таблице 21.

Таблица 21 – 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	305
Линейка	Шт.	1	85	85
Мульти фора	Шт.	10	2	20
Блокнот	Шт.	1	100	100
Корректор	Шт.	1	55	55
Итого:				1000

6.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается полная заработная плата научного руководителя и студента, которая рассчитывается по формуле:

$$З_{п} = З_{осн} + З_{доп} ,$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = Т_{р} \cdot З_{дн},$$

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

$Т_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м}}{Д_{мес}},$$

где: $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$Д_{мес}$ – количество рабочих дней, раб. дн.

Таблица 22 – 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	43763	1683	10	16830
Бакалавр	12300	15990	615	100	61500
Итого $З_{осн}$:					78300

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают оплату при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}$$

где: $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Таблица 23 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	коэффициент дополнительной заработной платы, $k_{доп}$, руб	Основная заработная плата одного работника, $З_{осн}$, руб.	Дополнительная заработная плата, $З_{доп}$, руб.	Полная заработная плата, $З_{п}$, руб.
Руководитель	15%	1683 0	2525	1930 0
Бакалавр	12%	6150	7380	6890

		0		0
Итого:				8820 0

6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной разделе 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.)

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

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 88,2 = 26,6 \text{ тыс. руб}$$

6.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: амортизация активам, расходы, связанные с рекламой и т.д. Их величина составляет 16% от общей суммы затрат на проектирование.

6.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта

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

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 24.

Таблица 24 – Смета затрат технического проекта

Наименование разделов	Сумма, тыс. руб	Структура затрат, %
Материальные расходы	1,0	0,7
Затраты по полной заработной плате исполнителей ТП	88,2	64,3
Отчисления во внебюджетные фонды	26,6	19,0
Накладные расходы	24,2	16,0
Итого	140,0	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 100 раб. дней для дипломника и 10 раб. дней для научный руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 140 тыс.руб, из которых более половины (64 %) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

6.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [15]:

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

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. Эргономичность: оптимальная условия труда с целью увеличения производительности и сохранения сил, времени, энергии, работоспособность и здоровья человека;
2. Ремонтопригодность: долговечности и увеличения срок эксплуатации электроустановки;
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 электроборудования 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 25.

Таблица 25 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Эргономичность	0,13	5
2. Ремонтопригодность	0,16	5
3. Безопасность	0,14	4
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,18	4
5. Надежность	0,15	5
6. Простота и удобство в эксплуатации	0,09	4
7. Энергоэффективность	0,15	5
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_p = 5 \cdot 0,13 + 5 \cdot 0,16 + 4 \cdot 0,14 + 4 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,09 + 5 \cdot 0,15 = 4,6$$

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 и 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 площадки сбора руды путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Латыфский Альберт Эльмирович

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	1. Асинхронный электропривод запорно-регулирующей арматуры газотранспортной системы для транспортировки или регулировки газа в закрытом помещении.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при эксплуатации проектируемого изделия. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при эксплуатации проектируемого изделия.	1.1 Анализ вредных факторов: Повышенная запыленность и загазованность; Микроклимат; Освещение; Повышенный уровень шума; Повышенный уровень вибрации; 1.2 Анализ опасных факторов: Движение механических частей; Электробезопасность; Оборудование работающих по давлению.
2. Экологическая безопасность:	2.1 Загрязнение воздушного бассейна
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Типичные ЧС Пожарная безопасность.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Специальные правовые нормы трудового законодательства. Эргономичность рабочей зоны.

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	Латыфский Альберт Эльмирович		

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе запорно-регулируемого электропривода задвижки, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

В данном проекте рассматривается асинхронный электропривод клиновой задвижки. Преимуществом такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока является обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Степень защиты корпусов электродвигателей от попадания механических частиц и проникновения пыли. Это важно для рассматриваемого производства и требует степень защиты электрических машин не ниже IP54.

7.1 Производственная безопасность и обеспечение безопасности

В данном разделе ВКР рассматривается влияние и воздействие эксплуатации асинхронного электропривода запорно-регулирующей арматуры газотранспортной системы в закрытом помещении, непосредственно связанный с эксплуатацией арматуры, а так же аспекты влияния на окружающую среду, с учетом специфики данного объекта.

Эксплуатация электропривода для транспортировки (регулирования расхода) газа является работой повышенной опасности, вследствие потенциальной возможности влияния опасных и вредных факторов.

Таблица 26 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Ра зработка	Из готовлен	Эк сплуатан	
1.Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны				1.ПДК вредных веществ производственных помещений. Санитарные правила и нормы. ГН 2.2.5.1313-03 2.Защита от шума СНиП 23- 03-2003 3.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. 4.Требования к освещению устанавливаются СП5 52.13330.2016; Естественное и искусственное освещение. СНиП 23-05-95*[59].
2.Повышенный уровень шума				
3.Повышенный уровень вибрации				
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны				
5..Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды (отклонение показателей микроклимата)				5.Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]: СанПиН 2.2.4.548-96
6.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека				6.Электротехнические устройства СНиП 3.05.06-85; Электроустановки зданий ГОСТ Р 50571.1-93;ПУЭ издание 7.

7.1.1 Анализ вредных факторов.

Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны.

Химические вещества вызывают расстройства нервной системы, мышечные судороги, влияют на кроветворные органы, взаимодействуют с гемоглобином крови, воздействуют на слизистые оболочки и дыхательные пути.

Источником загазованности вредными химическими веществами является утечка, нарушение герметичности соединений, либо прорыв газопровода.

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях. Этот контроль осуществляется посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК).

Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет $1,1-10 \text{ мг/м}^3$, для смеси газа пропан-бутана ПДК равно 300 мг/м^3 . ПДК транспортируемых газов, вредных примесей и некоторых применяемых веществ:

- Смесь пропан-бутана по санитарным нормам относится к 4-му классу опасности (малоопасные вредные вещества со значением ПДК в пересчете на углерод) – 300 мг/м^3 .

- ПДК сероводорода в присутствии углеродов (C1–C5) – 3 мг/м^3 (3-й классу опасности).

- ПДК сернистого газа (SO_2) в воздухе рабочей зоны 10 мг/м^3 (3 класс – умеренно опасные вредные вещества).

– ПДК метанола (CH_3OH) в воздухе рабочей зоны (по санитарным нормам) – 5 мг/м^3 . (3 – класс опасности)

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами.

Уменьшение неблагоприятного воздействия запыленности и загазованности воздуха достигается за счет регулярной вентиляции рабочей зоны.

Работающие в условиях пылеобразования должны быть в противопыльных респираторах, защитных очках и комбинезонах.

Повышенный уровень шума

Шум отрицательно действует только на органы слуха. Люди, работающие в условиях шума, более быстро утомляются, жалуются на головные боли. Повышается давление крови, учащается или замедляется ритм сердечных сокращений, могут возникать различные заболевания нервной системы (неврастения, неврозы, расстройство чувствительности).

Интенсивный шум отрицательно действует на весь организм человека. Ослабляется внимание, снижается производительность труда.

Допустимый уровень шума на площадках скважин и на рабочих местах составляет 80 дБА. Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления, превышающими 135 дБА.[2]

Источниками звукового давления и уровней шума являются движение тяжелого (в том числе грузового) автотранспорта, работа насосного оборудования и приводной арматуры.

К коллективным средствам и методам защиты от шума относятся:

- Своевременное обслуживание оборудования и совершенствование технологии ремонта;

- Использование средств звукоизоляции (звукоизолирующие кожухи), средств звукопоглощения.

Также необходимо использовать рациональные режимы труда и отдыха работников.

В качестве СИЗ Государственным стандартом предусмотрены заглушки–вкладыши "Беруши", заглушающая способность которых составляет 6–8 дБА. В случаях более высокого превышения уровней шума следует использовать наушники. Наушники могут быть встроенными в головной убор или в другое защитное устройство.[5]

Повышенный уровень вибрации

Длительное воздействие вибрации на организм человека приводит к серьезным последствиям под названием «вибрационная болезнь». Это профессиональная патология, которая возникает в результате длительного влияния на организм человека производственной вибрации, превышающей предельно допустимый уровень (ПДУ).

Объектами повышения уровней вибрации являются площадки скважин и рабочие места. Источниками вибраций являются движение тяжелого (в том числе грузового) автотранспорта, работа насосного оборудования и приводной арматуры (задвижки, дисковые затворы и т.п.).

Для первой категории общей вибрации, по санитарным нормам скорректированное по частоте значение виброускорения составляет 62 дБ, а для виброскорости – 116 дБ. Наиболее опасной для человека является вибрация с частотой 6-9 Гц.[3]

Вибробезопасные условия труда должны быть обеспечены:

- применением вибробезопасного оборудования и инструмента;
- применением средств виброзащиты, снижающих воздействие на работающих вибрации на путях ее распространения от источника возбуждения;
- организационно-техническими мероприятиями.

Микроклиматические условия воздушной среды

В основу нормирования микроклимата положены условия, при которых организм человека сохраняет нормальный тепловой баланс за счет определенных физиологических процессов (прилив крови к кожаному покрову, потоотделение и др.), благодаря которым осуществляется терморегуляция, обеспечивающая сохранение постоянной температуры тела путем теплового обмена с внешней средой. При несоблюдении норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]:

1-температурой воздуха:

- в холодный период года $t=19-21^{\circ}\text{C}$;
- в тёплый период года $t=20-22^{\circ}\text{C}$;

2-влажностью воздуха:

- в холодный период года 60-40 %;
- в тёплый период года 60-40%;

3-скорость движения воздуха:

- в холодный период года 0,2 м/с;
- в тёплый период года 0,2 м/с.

Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность)

Безопасность на производстве в значительной мере зависит от освещения. Свет влияет на физиологическое состояние человека, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV Г [17]. Требуемая норма освещения $E_{\text{нор}}=200$ ЛК. Для создания $E_{\text{нор}}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения большое значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

7.1.2 Анализ опасных факторов

Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования.

В нашей работе движущимися частями обладают асинхронный привод и арматура, которые находятся в закрытом корпусе и защищены от попадания посторонних предметов.

Движущиеся части должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства, предотвращающие травмирование.

Также необходимо соблюдать технику безопасности при работе оборудования, машин и механизмов, а их эксплуатацию должны выполнять только лица, имеющие на это право.

Электробезопасность

Источником поражения человека электрическим током могут являться токоведущие части с нарушенной изоляцией, корпус объекта с нарушением нулевого заземления, несоблюдение техники безопасности.

Для предупреждения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением, используют защитные сетчатые и смешанные ограждения (переносные временные ограждения и плакаты). Ограждению подлежат неизолированные токоведущие части выключателей, подающих напряжение на установки.

Предусмотреть технические средства электробезопасности: применение малых напряжений (12 - 42 В), защитное заземление (4 - 10 Ом), устройство защитного отключения.

Для защиты от поражения электрическим током персонала используются следующие средства индивидуальной защиты: диэлектрические перчатки и галоши, резиновые коврики, изолирующие подставки.

Для защиты от электрической дуги и металлических искр при сварке необходимо использовать: защитные костюмы, защитные каски или очки и т.п.

Защита взрывоопасных сооружений и наружных установок от прямых ударов молнии выполняется отдельно стоящими стержневыми молниеотводами и прожекторными мачтами с молниеотводами. Все металлические, нетоковедущие части электрооборудования, которые могут

оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции, заземляются, т.е. присоединяются к многократно заземляющемуся нулевому проводу.

Для защиты от электрической индукции и отвода зарядов статического электричества все технологическое оборудование и аппараты заземляются путем присоединения к защитному контуру заземления или специально сооружаемому для этой цели очагу заземления.

Предусматривается глухое заземление нейтрали силовых трансформаторов на стороне низкого напряжения. Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала от поражения электрическим током предусматривается защитное зануление и устройства защитного отключения (УЗО).

Все металлические части электроустановок, нормально не находящиеся под напряжением, подлежат занулению путем электрического соединения с глухозаземленной нейтралью источника питания посредством нулевых защитных проводников.

Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением

Причинами разрушения или разгерметизации систем повышенного давления могут быть: внешние механические воздействия, старение систем (снижение механической прочности); нарушение технологического режима; конструкторские ошибки; изменение состояния герметизируемой среды (газа); неисправности в контрольно–измерительных, регулирующих, запорных (трубопроводная арматура) и предохранительных устройствах; ошибки обслуживающего персонала и т. д.

Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования, работающего под давлением, распространяются:

- работающие под давлением пара или газа свыше 0,07 МПа;

- на баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07 МПа;
- на цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает давление 0,07 МПа;
- на цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создается периодически .

Специальные требования предъявляются к сварным швам. Они должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации, располагаться вне опор сосудов.

Сварные швы делаются только стыковыми. Ответственность за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосудов должна быть возложена на специалиста, которому подчинен персонал.

7.2 Экологическая безопасность

Воздушный бассейн

Основные источники загрязнения слоя атмосферы при трубопроводном транспорте газа - аварийные выбросы газа при отказах линейной части магистральных газопроводов и выбросы при проведении технологических операций. Для предупреждения неблагоприятных последствий загрязнения воздуха содержание вредных веществ в атмосфере регламентируется соответствующими нормативными документами. Для предотвращения возможных выбросов необходимо поддержание всей трубопроводной

системы, арматуры в исправном состоянии, контроль над состоянием оборудования, своевременный ремонт.

Пожарная безопасность

Опасность эксплуатации связана с наличием в трубопроводе газопродуктов, которые при утечках способны образовывать с воздухом взрывоопасные и пожароопасные смеси.

Трубопровод, находящийся под давлением свыше 0,07 МПа, может привести в аварийном случае к выбросу вредных, взрывопожароопасных веществ в окружающую среду и к различным поражающим факторам.

К противопожарным мероприятиям в помещении относят следующие мероприятия:

- помещение должно быть оборудовано: средствами тушения пожара
- средства связи в помещении должны быть постоянно исправны. К средствам сигнализации относятся ручные пожарные извещатели;
- каждый сотрудник должен знать место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнить номера телефонов для сообщения о пожаре; уметь пользоваться средствами пожаротушения.

Помещение обеспечено средствами пожаротушения в соответствии с нормами. На 100 м² пола имеется:

- порошковый огнетушитель ОП-5 – 1 шт.;
- углекислотный огнетушитель ОУ-5 – 1 шт.;
- ящик с песком на 0,5 м³ – 1 шт.;
- железные лопаты – 2 шт.

Каждый работник, заметивший загорание, задымление и другие явления, могущие привести к пожару в цехе, обязан:

– немедленно вызвать пожарную часть по телефону 01 , 051 или при помощи ручного пожарного извещателя;

– вызвать к месту пожара начальника смены, начальника участка, начальника цеха.

Основными факторами, способными привести к чрезвычайным ситуациям техногенного происхождения на объекте, являются:

-нарушение технологии строительства;

-отступление от проектных решений;

-нарушение правил эксплуатации и технологических регламентов;

-несанкционированные действия посторонних лиц;

-умышленное или непреднамеренное повреждение оборудования и технических средств;

-нарушение правил противопожарной безопасности и норм безопасности труда;

-ускоренная амортизация оборудования вследствие несоблюдения правил и норм технического обслуживания и ремонта;

-террористический акт.

7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

7.3.1 Типичные ЧС

Основными типичными факторами, способными привести к чрезвычайным ситуациям на объекте, являются:

- нарушение технологии строительства;
- отступление от проектных решений;
- нарушение правил эксплуатации и технологических регламентов;
- несанкционированные действия посторонних лиц;
- умышленное или непреднамеренное повреждение оборудования и технических средств;
- нарушение правил противопожарной безопасности и норм безопасности труда;
- ускоренная амортизация оборудования вследствие несоблюдения правил и норм технического обслуживания и ремонта;
- террористический акт.

7.3.2 Меры предупреждения ЧС

При условии полного выполнения положений и требований технической документации по сооружению и эксплуатации трубопровода, реализации мер по эффективному и постоянному контролю герметичности трубопровода, соблюдению режимов деятельности в полосе отвода вероятность аварий сводится к минимально возможному уровню для объектов такого вида.

Аварии на магистральном и внутриплощадочных трубопроводах могут происходить в виде свищей, трещин, реже в виде порывов. Для предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера предусматривается периодический контроль за состоянием тела трубы, швов с помощью средств диагностики. При проведении

своевременных диагностик, ревизий и капитальных ремонтов трубопроводов, аварийные ситуации с негативными последствиями для окружающей среды могут быть сведены до минимальных.

7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.4.1 Правовые нормы трудового законодательства.

Сотрудники, работающие в опасных условиях труда, должны быть обеспечены льготами в соответствии с классом вредности (ст. 210 ТК). Объем льгот не может быть меньше предусмотренного законодательством.[10] Их конкретное значение указывается в трудовом договоре. При желании работодатель может увеличить компенсацию, зафиксировав этот факт в тех же документах. Виды льгот и меры предосторожности:

1. Сокращение рабочего времени до 36 ч. в неделю (вместо положенных 40 ч.).
2. Ежегодный дополнительный отпуск за вредные условия труда с сохранением средней заработной платы длительностью не менее недели.
3. Доплата в размере 4% от заработка для должностей, сопровождающихся третьим классом опасности вне зависимости от подкласса (ст. 147 ТК).
4. Выдача молока в количестве не менее 1,5 л в день или другого продукта работникам вредных профессий, выдача продуктов может быть компенсирована в денежном выражении, согласно стоимости указанных продуктов.
5. Прохождение периодических медосмотров с целью обнаружения профзаболевания на ранней стадии (ст. 212 ТК).

6. Страхование лиц, чья работа осуществляется в условиях третьего класса вредности, от травм и несчастных случаев (ФЗ № 125). В случае наступления таковых работнику компенсируется лечение и обеспечивается реабилитационный курс в курортном учреждении (ст. 17 ТК).

7. Лицам, условия труда которых относятся к третьему классу вредности, запрещено совмещать работу с другой, осуществляющейся в сходных обстоятельствах.

8. Выход на пенсию раньше установленного срока.

7.4.2 Эргономичность рабочей зоны

Обод штурвала, захватываемый кистью руки, в поперечном сечении должен иметь круглую, овальную или близкую к ним форму. Поверхность обода должна быть тщательно обработана, без острых углов и заусенцев, и при необходимости надежного удержания в местах соприкосновения с пальцами должна иметь соответствующую им волнистую профилировку.

Форма и размер рукояток вращения маховиков должны обеспечивать максимальное удобство их захвата и надежного удержания в процессе управления. При этом предпочитают рукоятки удлиненных форм (цилиндрической, веретенообразной, грушевидной и др.) с плавными округлыми обводами и тщательно обработанной гладкой или рифленой поверхностью.

Маховики управления и штурвалы необходимо устанавливать на рабочем месте в пределах зоны досягаемости моторного поля оператора. Плоскость вращения маховика, не имеющего рукоятки, и штурвала должна находиться при вращении двумя руками: стоя - под углом от 0 до 90° к горизонтали с осью вращения в сагиттальной плоскости тела оператора. Плоскость вращения маховика без рукоятки, вращаемого одной рукой как

сидя, так и стоя, должна находиться под углом от 10 до 60° по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки. Плоскость вращения маховика, снабженного рукояткой должна находиться по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки под углом: от 10 до 90° - при вращении кистью с предплечьем от 10 до 45° - при вращении всей рукой.[11]

Так же присутствуют требования к управлению электроприводом. Приводной элемент кнопочных выключателей и переключателей в сечении горизонтальной плоскости должен иметь круглую или прямоугольную форму со стороны рабочей поверхности. Кромки рабочей поверхности кнопок и клавишей должны быть закруглены и на них не должно быть заусенцев и зазубрин.

Для надежного фиксирования пальца рабочая поверхность кнопок и клавишей должна иметь небольшую вогнутость. Кнопочные и клавишные выключатели и переключатели должны иметь в момент нажатия на приводной элемент обратную связь. Кнопочные и клавишные выключатели должны иметь индикацию положений «включено» или «выключено»: для фиксирующихся выключателей и переключателей высота выступающей над панелью кнопки или клавиши 5—10 мм для положения «выключено» и 1—3 мм для положения «включено»; при необходимости могут дополняться индикацией со световым сигналом.

Приводные элементы кнопочных и клавишных выключателей и переключателей, используемых для наиболее ответственных операций, во избежание случайного нажатия следует ограждать ободком, делать бортики между кнопками и клавишами, помещать их ниже поверхности используемой панели или применять дополнительные устройства блокировки.

Заключение

В данном дипломном проекте был рассмотрен и рассчитан следящий электропривод переменного тока с учетом нелинейностей. ЭП питается от 3х – фазной промышленной сети переменного тока с линейным напряжением 380 В частотой 50 Гц.

Был проведен расчет параметров элементов силового канала построена область существования электромеханических характеристик, электромеханические характеристики. Смоделирована работа электропривода механизма клиновой задвижки. Модель отвечает изначальным требованиям по скорости, моменту и времени закрытия\открытия задвижки.

Синтез параметров оптимальной настройки выполнен в предположении линейности системы. Определены ожидаемые показатели качества переходных процессов.

Переходные процессы в реальном САУ СЭП обычно близко совпадают с процессами в линеаризованных системах только при малых сигналах задания перемещения, но при средних и больших перемещениях переходные процессы в реальных системах имеют значительные количественные отличия от полученных в идеализированных системах, что обусловлено, в первую очередь наличием насыщения регуляторов и ограничения тока в реальном электроприводе. Однако влияние нелинейных характеристик отдельных элементов САУ СЭП могут привести не только к количественному, но и к качественному изменению переходных процессов. Все это требует проведения дополнительных исследований по настройке реальной САУ СЭП.

В результате выполнения поставленных задач в разделе «Финансовый менеджмент», 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 и 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 площадки сбора руды путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

Conclusion

In this graduation project, a servomotor electric drive of alternating current was considered and calculated taking into account nonlinearities. The EP is powered by a 3-phase AC industrial network with a line voltage of 380 V with a frequency of 50 Hz.

The calculation of the parameters of the elements of the power channel was performed, the region of existence of electromechanical characteristics, electromechanical characteristics was constructed. The work of the electric drive of the wedge gate mechanism is modeled. The model meets the initial requirements for the speed, timing and closing time of the valve opening.

Synthesis of optimal tuning parameters is performed under the assumption of linearity of the system. The expected indicators of the quality of transient processes are determined.

Transient processes in a real ACS EPA usually closely coincide with processes in linearized systems only for small signals of the displacement reference, but for medium and large displacements, transient processes in real systems have significant quantitative differences from those obtained in idealized systems, which is due, primarily, to saturation regulators and current limitation in a real electric drive. However, the influence of the nonlinear characteristics of individual elements of the SAU EPS can lead not only to a quantitative, but also to a qualitative change in transient processes. All this requires carrying out additional studies on setting up a real ACS EP.

Список использованных источников

1. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. – Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 144 с.
2. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 469 с.
3. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. – Применение программы DORRA-FUZZY в расчётах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 156 с
4. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.
5. Усынин Ю. С. Системы управления электроприводов: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 328 с.
6. Черных И. В. Моделирование электрических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink — СПб. ; М. : Питер : ДМК Пресс, 2008. — 288 с.
7. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 : Основы применения : Полное руководство пользователя — М. : СОЛОН-Пресс, 2002-768 с.
8. Гошко А.И.. Арматура трубопроводная целевого назначения. Выбор. Эксплуатация. Ремонт – М.:Машиностроение, 2003-432с.
9. Гошко А.И.. Трубопроводная арматура. Классификация. Исполнения. Термины и определения. Технический справочник из серии “Эксплуатация и ремонт арматуры, трубопроводов, оборудования.” – М.:Инструмент, 2003-126с.

10. Гумеров А.Г., Гумеров Р.С., Акбердин А.М. Эксплуатация оборудования нефтеперекачивающих станций . – М.:ООО “Недра-Бизнесцентр”, 201. – 475с.
11. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием, М.: Академия, 2006. – 272 с.
12. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
13. Сковрцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
14. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.
15. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Техничко-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
16. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. 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.
17. <http://www.esbk.ru/price.html> цена АИМ-80В4 (7045)
18. <http://electroautomatica.ru/atv31cu15n4?yclid=2406435179076782312> цена ПЧ ATV31CU15N4
19. <http://www.etm.ru/cat/nn/9640174/> ПЧ SINAMICS
20. <http://www.saa.su/product/fv---1,5-kvt-3-x-380v-preobrazovatel-chastoty-1,5kw-380v-bosch-rexroth-lcd-display/> Bosch Rexroth серии Fv
21. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.

22. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
23. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.
24. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
25. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. 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.
26. <http://www.esbk.ru/price.html> цена АИМ-80В4 (7045)
27. <http://electroautomatica.ru/atv31cu15n4?yclid=2406435179076782312> цена ПЧ ATV31CU15N4
28. <http://www.etm.ru/cat/nn/9640174/> ПЧ **SINAMICS**
29. <http://www.saa.su/product/fv---1,5-kvt-3-x-380v-preobrazovatel-chastoty-1,5kw-380v-bosch-rexroth-lcd-display/> Bosch Rexroth серии Fv
30. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
31. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
33. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
34. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

35 .ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума.

Классификация

36 .ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.

37 .ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

38 .ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.

39 .Трудовой кодекс РФ.

40 .ГОСТ 21752-76. Система «человек-машина». Маховики управления и штурвалы. Общие эргономические требования.

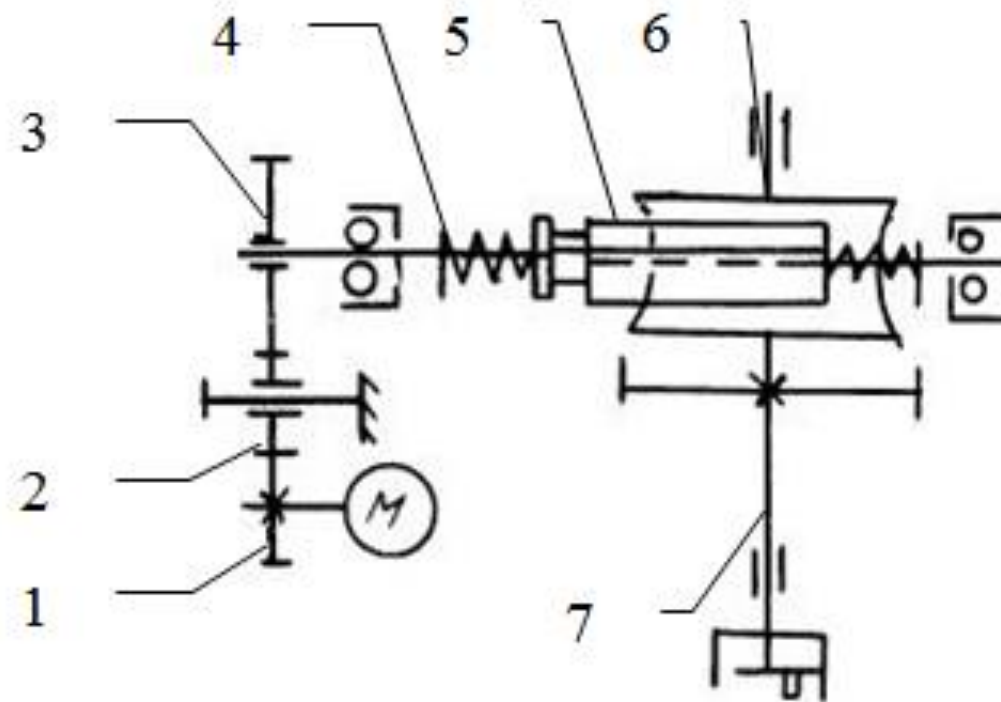
41 .ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования

Приложение А

Графический

материал.

Кинематическая схема клиновой задвижки



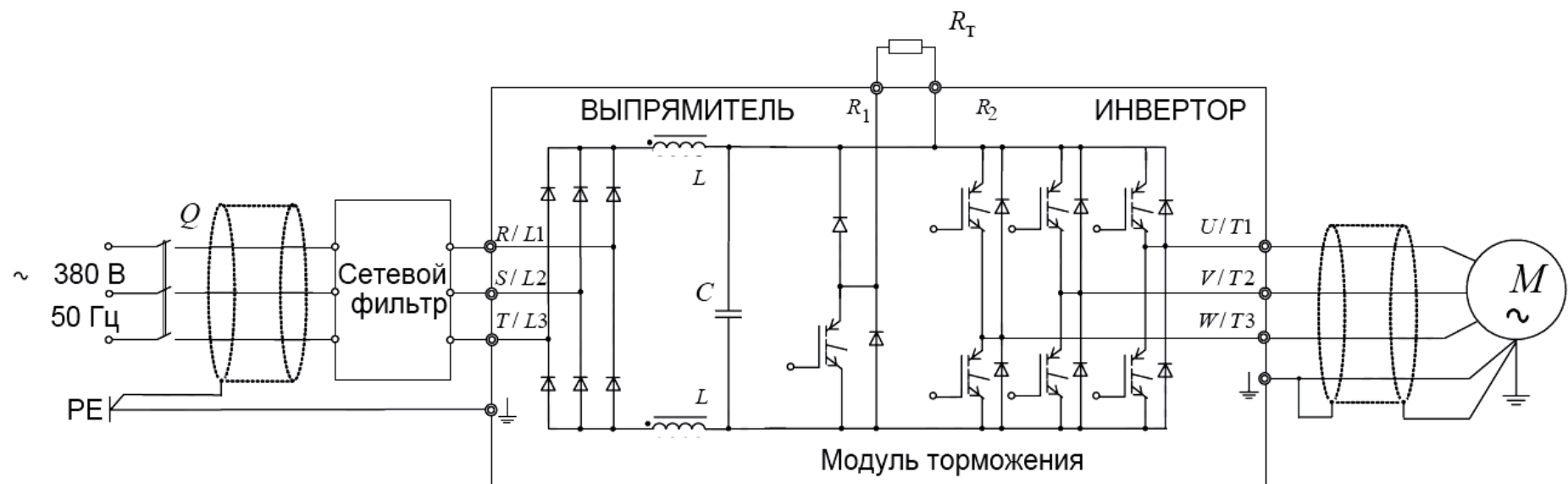
Технические данные электродвигателя

Тип двигателя	$n_{ном},$ об/мин	$U_{1H},$ В	$P_{дв.н},$ кВт	При номинальной нагрузке			$s_K, \%$	$J_{дв}, кг \cdot м^2$
				$s_H, \%$	$\cos \varphi_H$	$\eta, \%$		
АИМ-80В4	1500	380	1,5	7	0,80	80,3	42,7	0,0034
$m_{II} = \frac{M_{пуск}}{M_H}$		$m_K = \frac{M_{макс}}{M_H}$		$m_M = \frac{M_{мин}}{M_H}$		$k_{дв} = \frac{I_{пуск}}{I_H}$	Степень защиты	
1,8		2,3		1,3		5,1	IExdIIIBT4	

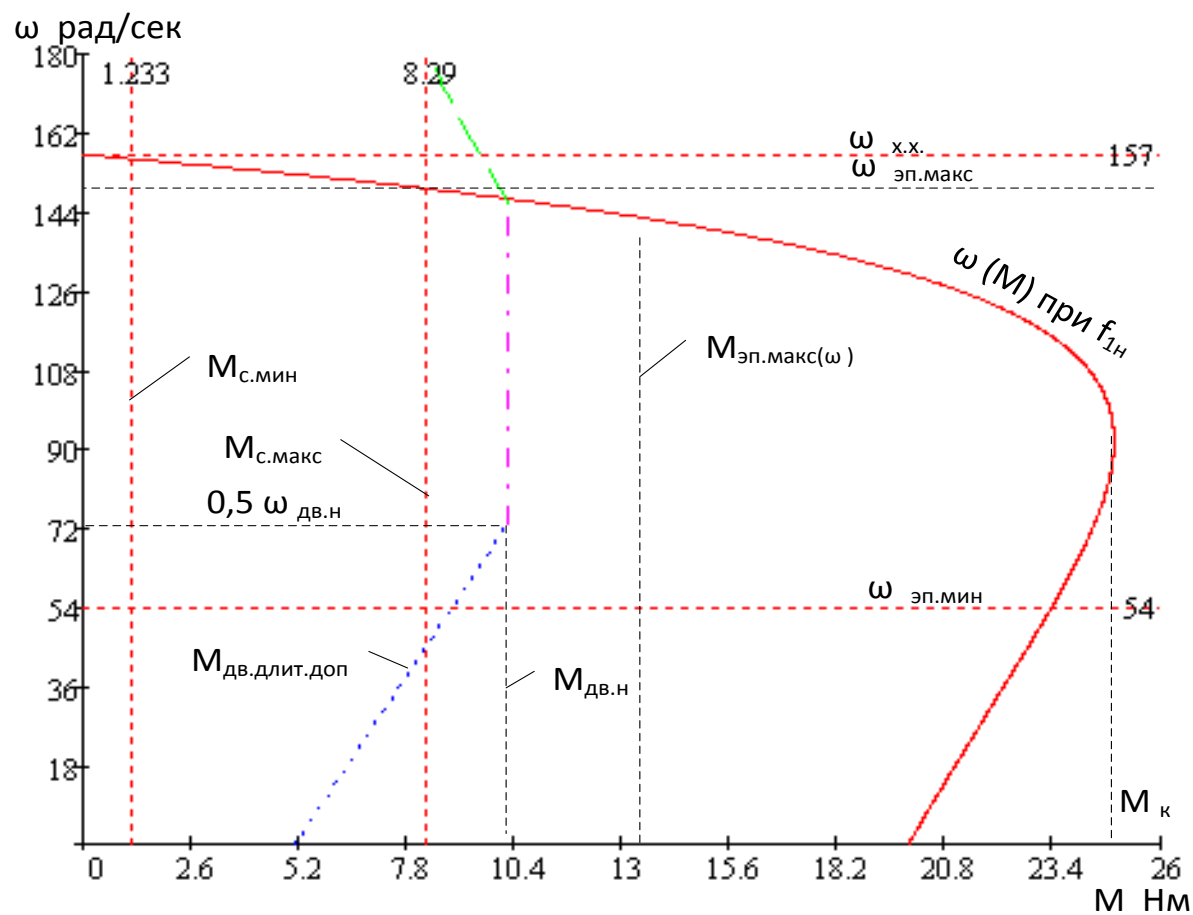
Параметры преобразователя частоты

R_1 , Ом	Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение	Выходная частота	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя	X_{KH} , Ом
		$U_{1Л}$	f_c			$I_{И.Н}$	$I_{И.МАКС}$		
		В	Гц			А	А		
7,316	ATV31 CU15N4	3x380	50/60	380..500	0.5..500	4,1	6,2	1,5	8,767
$f_{ШИМ} = 8 \text{ кГц}$									
Степень защиты – IP55									

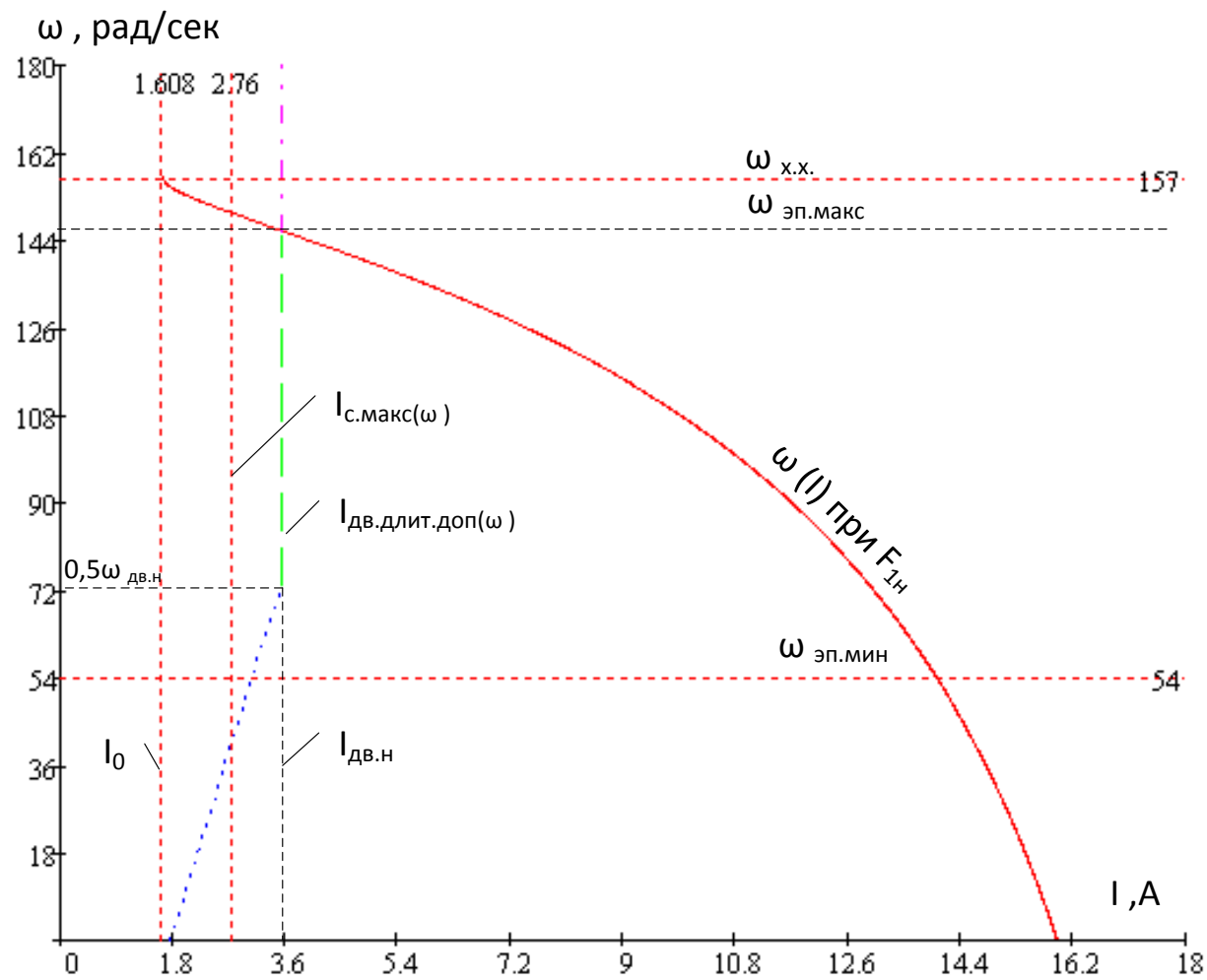
Схемасиловойчастирегулируемогоэлектропривода



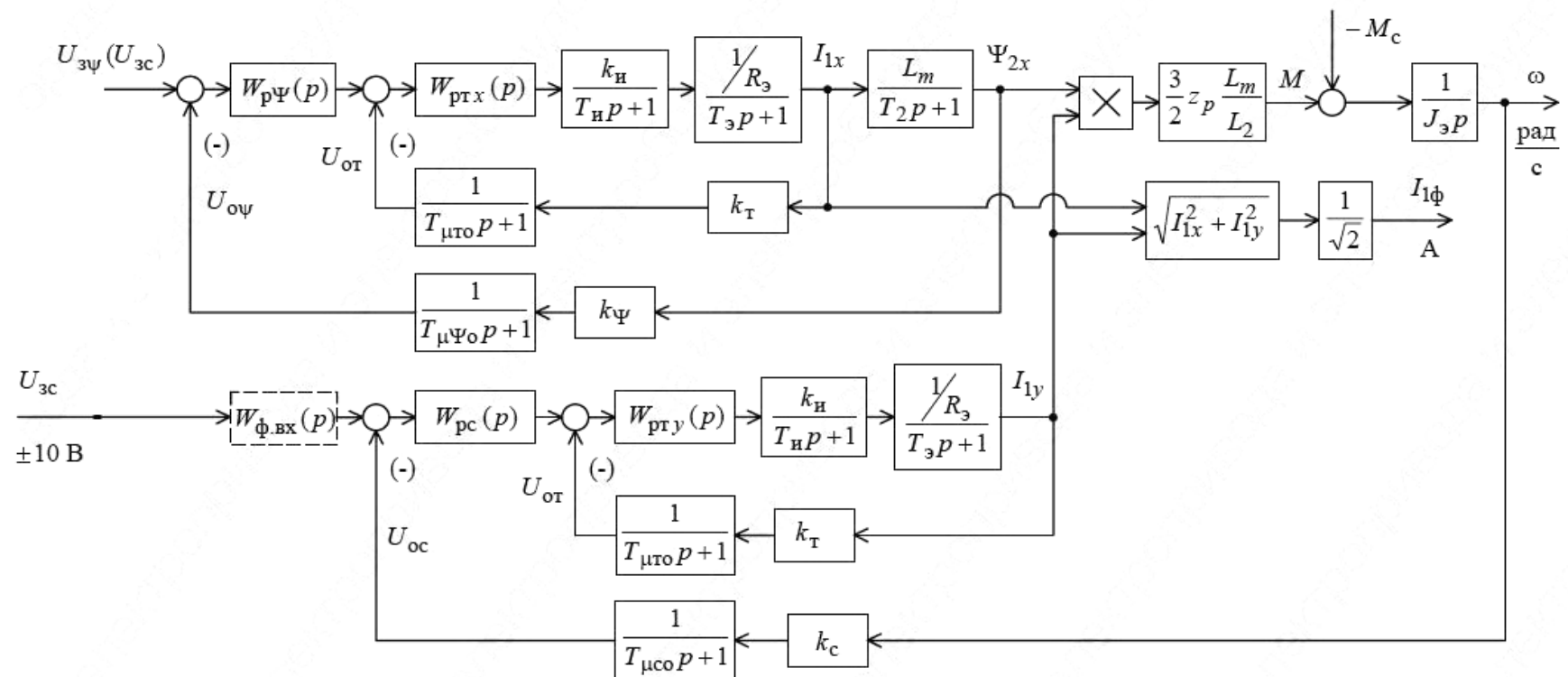
Механическая характеристика и область работы электропривода



Электромеханическая характеристика и область работы электропривода



Структурная схема векторного управления электроприводом



Имитационная модель электропривода клиновой задвижки

