

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно -регулируемый электропривод ЭПЦ-4000 запорной арматуры УДК 62-83-523:621.646.651

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Кологровов Владимир Олегович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпушкин Сергей Викторович	Кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко Александр Сергеевич	Кандидат технических наук		

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 расчёта <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 отчётов 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 учётом 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>

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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Профиль Электропривод и автоматика

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4А1	Кологринов Владимир Олегович		

Тема работы:

Частотно -регулируемый электропривод ЭПЦ-4000 запорной арматуры	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 06.05.2019 № 3483/с

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация на электропривод ЭПЦ-4000</i>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<i>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.</i>
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<i>Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода Структурная схема ЭП с векторным управлением Схема имитационной модели электропривода</i>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Ассистент Сотникова Анна Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, кандидат экономических наук Мелик-Гайказян Мария Вигеновна

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

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпушкин Сергей Викторович	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Кологривов Владимир Олегович		

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

**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)
23.05.19	Основная часть	60
15.05.19	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	20
17.05.19	Социальная ответственность	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпушкин Сергей Викторович	Кандидат технических наук		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко Александр Сергеевич	Кандидат технических наук		

Реферат.

Ключевые слова: запорная арматура, электропривод, асинхронный двигатель, векторное управление, имитационная модель.

Существенным элементом при добыче, транспортировке, а также хранения газа и нефти является арматура запорная. От нее зависит процесс технологический 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 электропривод ЭПЦ-4000.

Цель работы заключается в исследовании асинхронного электропривода механизма запорной арматуры при различных режимах работы.

В результате исследования были настроены контура 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 2016, также для расчетов использовалась программа MathCad 15, среда Simulink MATLAB.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	10
1. Технологический процесс	13
1.1 Описание промышленной установки и анализ технологического процесс	13
1.2 Структурная схема электропривода	14
1.3 Синтез системы векторного управления асинхронным электродвигателем запорной арматуры	15
2. Выбор электрооборудования, расчёт параметров элементов и характеристик	17
2.1 Схема реализации силовой части регулируемого электропривода с преобразователем частоты	17
2.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя	18
2.3 Выбор преобразователя и способа регулирования скорости	22
2.4 Выбор структурной схемы силового канала электропривода	24
3. Расчёт статических характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД	26
3.1 Расчёт дополнительных параметров двигателя и преобразователя	26
3.2 Естественные механическая и электромеханическая характеристика электропривода	27
3.3 Определение заданной области работы электропривода	28
4. Расчёт линеаризованной САУ электропривода	33
4.1 Структурная схема линеаризованной САУ частотно регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением	33
4.2 Оптимизация контуров регулирования	35
5. Имитационное моделирование электропривода ЭПЦ-4000	46
5.1 Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении	46

5.2 Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с моделью двигателя в двухфазной системе координат	50
5.3 Результаты имитационного моделирования	52
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56
6.1 SWOT-анализ по разработке проекта асинхронного электропривода ЭПЦ-4000	57
6.2 Планирование технического проекта	61
6.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования	61
6.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ	62
6.3 Составление сметы технического проекта	65
6.3.1 Затраты на специализированное оборудование	65
6.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР	66
6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	67
6.3.4 Накладные расходы	68
6.3.5 Формирование сметы технического проекта	68
6.4 Определение ресурсоэффективности проекта	69
7. Социальная ответственность	72
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
7.2 Производственная безопасность	76
7.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среда	76
7.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	79

7.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	80
7.3 Экологическая безопасность	82
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
7.4.1 Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок	84
7.4.2 Воспламенения изоляции в следствии повышения температуры	85
Заключение	87
Conclusion	88
Список использованных источников	89

ВВЕДЕНИЕ

Современный автоматизированный электропривод любого производственного механизма является сложной системой, электрическая и механическая части которой находятся в постоянном взаимодействии. В общем случае электрическая часть привода содержит ряд накопителей и преобразователей энергии, объединенных электрическими и магнитными связями, а механическая часть имеет более или менее развитую инерционную многомассовую структуру с упругими механическими связями. Управляющие и возмущающие воздействия в такой системе вызывают переходные процессы, связанные с накоплением, отдачей энергии, а также с обменом энергией между ее элементами; переходные процессы, возникающие в динамических режимах, определяют появление динамических нагрузок электропривода. Данная работа посвящена исследованию динамических режимов асинхронного электропривода запорной арматуры.[8]

Современный электропривод арматуры представляет собой сложную электромеханическую систему, составными частями которой являются асинхронный двигатель, редуктор, система управления. Исследования в области электроприводов запорной арматуры (ЭПЗА), комбинированных средств управления запорной арматурой с помощью электродвигателя и вручную является актуальной задачей на сегодняшний день, о чем говорит значительное количество патентов, а также различных научно-исследовательских работ, выполненных в этом направлении. Основной целью является повысить надежность, отказоустойчивость ЭПЗА.[9,10]

В динамическом режиме при неравномерном набросе нагрузки возможно разрушение основных элементов ЭПЗА. Для этого вводят ограничения динамических нагрузок электропривода.

Ограничение динамических нагрузок допустимыми значениями является одной из наиболее общих и сложных задач, решаемых при

проектировании автоматизированного электропривода запорной арматуры. Надежность, долговечность и производительность механизмов непосредственно зависят от надежности и динамических качеств системы электропривода. Поэтому изучение динамических свойств электропривода, анализ влияния его параметров на эти свойства имеют важное практическое значение.

Этот комплекс вопросов особенно важен для электроприводов реверсивных механизмов. Ограничения, накладываемые на электрические и механические параметры, всегда в той или иной степени снижают производительность таких механизмов. Максимальная производительность достижима только при условии эффективного использования допустимых токов, моментов, усилий и ускорений во всех переходных процессах. Так возникает необходимость формирования оптимальных переходных процессов электропривода, обеспечивающих при наложенных ограничениях максимум производительности механизма.

Оптимальная форма переходных процессов электропривода, как правило, определяется наложенными ограничениями, а ее абсолютно точная реализация не является необходимой. Производительность механизма, достаточно близкая к максимальной, практически обеспечивается формированием процессов, близких к оптимальным. При этом выбор оптимальной структуры системы управления может быть произведен на основании анализа физических особенностей условий работы механизма, а также требований, предъявляемых к нему.

1. Технологический процесс.

1.1 Описание промышленной установки и анализ технологического процесса

Важным условием в процессе функционирования электропривода является соответствие заданным критериям и показателям качества.

При анализе работы запорной арматуры, процессов, протекающих в динамических режимах (пуск , реверс , наброс нагрузки , торможение) необходимо управление выходными координатами, такими, как скорость и момент, развиваемый приводом . С этой целью необходимо выбрать подходящую структуру системы управления.

Одной из таких является структура систем подчиненного регулирования параметров электропривода, в частности система векторного управления, ориентированная по вектору потокосцепления ротора.

Так как по трубопроводам могут транспортироваться различного рода жидкости, в том числе и взрывоопасные , то необходимо, чтобы электропривод выполнялся во взрывобезопасном исполнении.

На рисунке 1 изображен электропривод «ЭПЦ-4000», который удовлетворяет данному перечню требований.



Рисунок 1- Внешний вид электропривода «ЭПЦ-4000» и его составные части

1.2 Структурная схема электропривода

На рисунке 2 представлена структурная схема электропривода «ЭПЦ-4000», на которой схематически показаны элементы, из которых состоит электропривод.

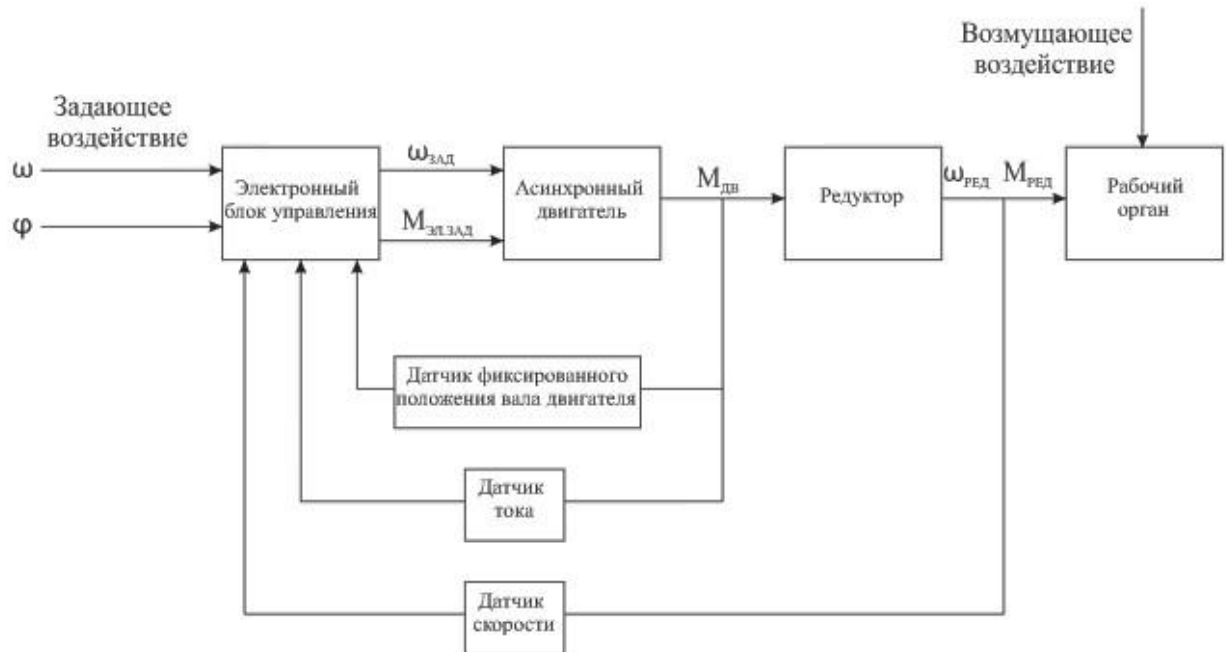


Рисунок 2 - Структурная схема электропривода

На вход системы в электронный блок управления подается управляющее воздействие в виде задания на скорость (кривая разгона), задания на угол поворота (задается в каждом отдельном случае при настройке электропривода). В зависимости от управляющих и возмущающих воздействий электронный блок управления формирует сигнал задания на скорость и электромагнитного момента. Система является замкнутой по возмущению с использованием датчиков тока и скорости.

Все вышесказанное позволяет сделать заключение, что в исследовании электроприводов запорной арматуры с целью повышения их надежности и отказоустойчивости динамические режимы (пуск, реверс, наброс нагрузки, торможение) играют важную роль, так как именно на этих этапах могут возникнуть повреждения или разрушения элементов электропривода или запорной арматуры.

Для повышения динамических характеристик электропривода необходимо рассмотреть его составные части: электродвигатель, редуктор, система управления электроприводом.

1.3 Синтез системы векторного управления асинхронным электродвигателем запорной арматуры.

Системы векторного управления в настоящее время являются одними из наиболее распространенных среди систем управления электроприводами переменного тока. Они позволяют просто и эффективно управлять такими сложными объектами как асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, что в свою очередь, позволяет существенно расширить область его применения, почти полностью вытесняя из автоматизированных управляемых приводов двигатели постоянного тока.

Это связано в первую очередь с развитием силовой электроники, позволяющей создавать надежные и относительно дешевые преобразователи, а также с развитием быстродействующей микроэлектроники, способной реализовать алгоритмы управления практически любой сложности. Поэтому высококачественный асинхронный векторный электропривод в настоящее время является по существу техническим стандартом. В электронном блоке управления электропривода «ЭПЦ-4000» также заложена система векторного управления.

На рисунке 3 изображен блок управления электроприводом:



Рисунок 3 - Электронный блок управления

Электронный силовой модуль системы управления электроприводом БУР/4-10М с преобразователем на основе IGBT и интеллектуальными возможностями интегрируется в АСУ ТП или единую систему телемеханики предприятия. Система управления электроприводом обеспечивает выполнение следующих функций:

- открытие, закрытие и регулировка проходного сечения трубопроводной арматуры с точной остановкой в любых положениях на всей длине хода за счет динамического торможения электродвигателя;
- обеспечение любого закона движения на всей длине хода отдельно на открытие и закрытие арматуры;
- отключение электродвигателя при превышении заданных усилий;
- работа в аварийных ситуациях: обрыв одной из фаз, случайное чередование фаз, превышение стандартных допусков напряжения (± 30 процентов от номинала);
- обеспечение защиты в течение 50 секунд при превышении напряжения на 50 процентов и защита от микросекундных импульсов перенапряжения до 2000 В;
- контроль сопротивления изоляции между фазами и корпусом электродвигателя;
- сигнализация об отсутствии электродвигателя в приводе;
- цифровая и световая индикация параметров и режимов работы;
- защита от перегрева обмоток электродвигателя;
- защита от несанкционированных или ошибочных действий оператора

2. Выбор электрооборудования, расчет параметров элементов и характеристик.

2.1 Схема реализации силовой части регулируемого электропривода с преобразователем частоты.

За основу принципа векторного широтно-импульсного модулирования взято представление о независимых базовых векторах напряжения, то есть о векторах, сформированных из трехфазных напряжений автономного инвертора. Любое из этих напряжений принимает каждое из пяти возможных значений, которые отличаются от вращающихся в пространстве традиционных векторов в установившемся режиме. Шесть комбинаций проводящих состояний вентилях в составе инвертора дают равное количество состояний пространственного вектора на выходе преобразователя.

Смена положения вектора происходит дискретно с шагом 60 градусов. Все шесть вариантов положения вектора рассматриваются как отдельное положение. Кроме того, существуют варианты, при которых в проводящем режиме оказываются все вентили четной группы или нечетной. В это случае, напряжение инвертора на выходе оказывается равным нулю, а такой ситуации соответствует нулевой вектор. Такая группа из шести ненулевых векторов и двух нулевых называется базовыми векторами напряжения. Подобный метод управления электроприводами переменного тока подходит наиболее хорошо для состояния комплекса в целом.

Схема векторного управления ЭП при помощи преобразователя частоты приведена на рис. 4. В состав данного комплекса входят неуправляемый мостовой выпрямитель, автономный инвертор, ШИМ контроллер, осуществляющий регулирование выходной частоты и напряжения; СИФУ ШИМ, САР, дросселя, и фильтра.

Период модуляции, при котором обмотки статора в зависимости от времени по очереди подключаются к разноименным полюсам выпрямителя как раз и характеризует ШИР.

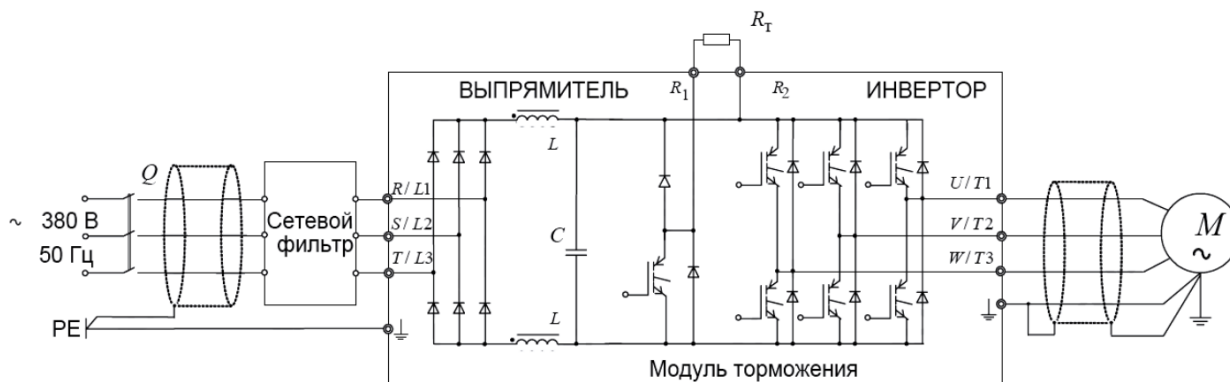


Рисунок 4 - Схема силовой части электропривода с ПЧ

2.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя.

Электропривод ЭПЦ-4000 оснащается асинхронным двигателем АИМЛ 100S2-2Б4, мощностью 4кВт. Технические данные двигателя представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические данные электродвигателя.

Тип двигателя	n _{ном} , об/мин	U _{1н} , В	Р _{дв.н} , кВт	При номинальной нагрузке			S _к , %	J _{дв} , кг·м ²
				S _н , %	cosφ _н	η, %		
АИМЛ100S2	3000	380	4	5	0,88	82	40	0,0055
$m_{II} = \frac{M_{ПУСК}}{M_H}$	$m_K = \frac{M_{МАКС}}{M_H}$	$m_M = \frac{M_{МИН}}{M_H}$	$k_{дв} = \frac{I_{ПУСК}}{I_H}$	Степень защиты				
2,3	2,8	1,8	6,7	1ExdIIBT4				

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{дв.н} = (1 - 0,05) \cdot 3000 = 2850 \text{ об/мин}$$

$$\omega_{дв.н} = \pi \frac{n_{дв.н}}{30} = 3,14 \cdot \frac{2850}{30} = 298,45 \text{ рад/с}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{4 \cdot 10^3}{298,45} = 13,4 \text{ Нм}$$

Номинальное фазовое напряжение при соединении обмоток в звезду:

$$U_{\text{фн}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

Номинальный фазный ток при соединении обмоток в звезду:

$$I_{1\text{фн}} = I_{\text{ин}} = \frac{P_{\text{н}}}{3 \cdot U_{\text{фн}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{3000}{3 \cdot 220 \cdot 0,82 \cdot 0,88} = 6,3 \text{ А}$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при пуске:

$$I_{\text{макс}} = k_{\text{дв}} \cdot I_{\text{лн}} = 6,7 \cdot 6,3 = 42,21 \text{ А}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике:

$$M_{\text{к}} = m_{\text{к}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,8 \cdot 13,4 = 37,52 \text{ Нм}$$

Пусковой момент при прямом пуске:

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,3 \cdot 13,4 = 30,82 \text{ Нм}$$

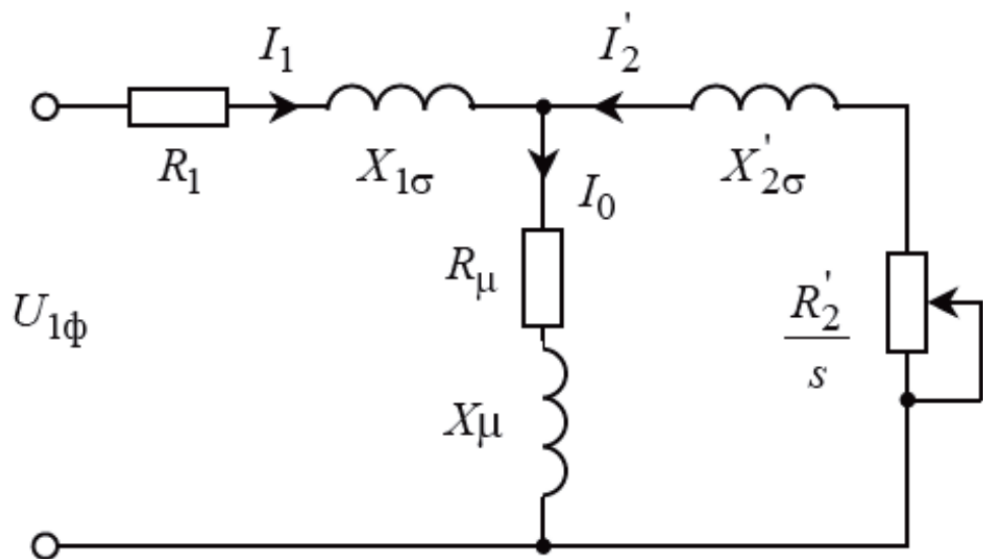


Рисунок 5 - Т-образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы

Ток холостого хода:

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

$$= \sqrt{\frac{5,03^2 - [0,75 \cdot 6,3(1 - 0,05)/(1 - 0,75 \cdot 0,05)]^2}{1 - [0,75(1 - 0,05)/(1 - 0,75 \cdot 0,05)]^2}} = 2,8 \text{ A}$$

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

$$I_{1H} = \frac{P_H}{m \cdot U_{\Phi H} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{3000}{3 \cdot 220 \cdot 0,82 \cdot 0,88} = 6,3 \text{ A}$$

$m=3$ - число фаз асинхронного двигателя

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

$$I_{11} = \frac{p' \cdot P_H}{m \cdot U_{\Phi H} \cdot \eta_{p'} \cdot \cos \varphi_{p'}} = \frac{0,75 \cdot 3000}{3 \cdot 220 \cdot 0,82 \cdot 0,827} = 5,03 \text{ A}$$

$\cos \varphi_p$ - коэффициент мощности при частичной нагрузке

$$\cos \varphi_{p'} = 0,94 \cdot \cos \varphi = 0,827 \text{ о. е.}$$

$\eta_p = \eta_H = 0,82$ о.е. - КПД при частичной нагрузке;

$p'=0,75$ о.е. - коэффициент загрузки двигателя.

Критическое скольжение:

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

$$= 0,05 \frac{2,8 + \sqrt{2,8^2 - [1 - 2 \cdot 0,05 \cdot 1,5 \cdot (2,8 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,05 \cdot 1,5 \cdot (2,8 - 1)} = 0,374 \text{ о. е.}$$

где m_k -кратность максимального момента;

значение коэффициента β , находится в диапазоне $0,6 \div 2,5$.

Принимаем $\beta=1,5$.

Определим коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{\text{ДВ.}} \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{2,8}{2 \cdot 6,7 \cdot 6,3} = 1,03 \text{ о. е.}$$

где $k_{\text{ДВ.}}$ - кратность пускового тока.

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\Phi H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot m_k \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,05)}{2 \cdot 1,03 \cdot 2,8 \cdot 4000} = 5,98 \text{ о. е.}$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора АД:

$$R'_2 = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_k) \cdot C_1} = \frac{5,98}{(1,5 + 1/0,374) \cdot 1,03} = 1,391 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,03 \cdot 1,391 \cdot 1,5 = 2,15 \text{ Ом}$$

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

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0,374^2) - 1,5^2} = 2,2 \text{ о. е.}$$

Тогда

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 2,2 \cdot 1,03 \cdot 1,391 = 3,15 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки, приведённое к статорной:

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{X_{KH}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{3,15}{1,03} = 1,77 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 3,15 = 1,323 \text{ Ом}$$

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

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{\Phi H} \cdot \cos \varphi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + \left(U_{\Phi H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{1H}} - X_{1\sigma} \cdot I_{1H} \right)^2} \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,88 - 2,15 \cdot 6,3)^2 + \left(220 \cdot \sqrt{1 - 0,88^2} - 1,323 \cdot 6,3 \right)^2} \\ &= 204,123 \text{ В} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_m}{I_0} = \frac{204,123}{2,8} = 72,9 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{1,323}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,004 \text{ Ом}$$

Приведённая индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{1,77}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,006 \text{ Ом}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{72,9}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,232 \text{ Ом}$$

Таблица 2 - 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
2,15	1,323	0,004	72,9	0,232	1,391	1,77	0,006	3,15

2.3 Выбор типа преобразователя и способа регулирования скорости.

Область длительной работы электропривода ограничена:

- максимальной скоростью $\omega_{ЭП. макс} = 298 \text{ рад/с}$
- интервалом изменения полезной нагрузки $M_{с мин} \div M_{с макс}$ где

$$M_{с макс} = 8 \text{ Нм}$$

$$M_{с мин} = 0,15 \cdot M_{с макс} = 0,15 \cdot 8 = 1,2 \text{ Нм}$$

Область кратковременной работы электропривода ограничена:

- максимальной скоростью $\omega_{ЭП. макс} = 298 \text{ рад/с}$
- максимальным моментом электропривода

$$M_{ЭП. макс} = 1,6 \cdot M_{с макс} = 1,6 \cdot 8 = 12,9 \text{ Нм}$$

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

Выходные параметры преобразователя частоты:

-максимальная выходная частота

$$f_{\text{П.макс}} > 50 \frac{\omega_{\text{ЭП.макс}}}{\omega_0(1 - s_{\text{К}})};$$

$$50 \frac{\omega_{\text{ЭП.макс}}}{\omega_0 \cdot (1 - s_{\text{К}})} = 50 \frac{298}{298 \cdot (1 - 0,374)} = 79,87 \text{ Гц};$$

$$f_{\text{П.макс}} > 79,87.$$

-минимальная выходная частота преобразователя

$$f_{\text{П.мин}} > 50 \frac{\omega_{\text{ЭП.мин}}}{\omega_0};$$

$$50 \frac{\omega_{\text{ЭП.мин}}}{\omega_0} = 50 \frac{94}{298} = 15,77 \text{ Гц};$$

$$f_{\text{П.макс}} > 15,77.$$

Длительно допустимый ток

$$I_{\text{НН}} \geq I_{1\text{ФН}} \frac{M_{\text{Смакс}}}{M_{\text{ДВ.Н}}}$$

$$I_{1\text{ФН}} \frac{M_{\text{Смакс}}}{M_{\text{ДВ.Н}}} = 6,3 \cdot \frac{8}{13,4} = 3,7 \text{ А}$$

$$I_{\text{НН}} \geq 3,7 \text{ А}$$

Кратковременно допустимый ток

$$I_{\text{Нмакс}} \geq I_{1\text{ФН}} \frac{M_{\text{ЭП.макс}}}{M_{\text{ДВ.Н}}}$$

$$I_{1\text{ФН}} \frac{M_{\text{ЭП.макс}}}{M_{\text{ДВ.Н}}} = 6,3 \cdot \frac{12,9}{13,4} = 6 \text{ А}$$

$$I_{\text{Нмакс}} \geq 6 \text{ А}$$

Преобразователь частоты выбираем:

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

Таблица 3 - Способ управления

Способ управления	Диапазон регулирования
Векторное управление, без датчика скорости	100-120

Выбираем преобразователь частоты фирмы Schneider - Electric серии ALTIVAR 31. Технические параметры представлены в таблице 4.

Преобразователь частоты ATV31 в защитном кожухе отвечает требованиям применений с тяжёлыми условиями эксплуатации, для которых необходима защита IP 55.

Таблица 4 - Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение	Выходная частота	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя
	В	Гц	В	Гц	А	А	кВт
ATV31 CU15N4	3x380	50/60	380..500	0,5..500	4,1	6,2	4
$f_{\text{ШИМ}} = 8 \text{ кГц}$							
Степень защиты - IP55							

2.4 Выбор структурной схемы силового канала электропривода.

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

Далее после настройки расчёта регуляторов и настройки контуров регулирования воспользуемся моделью асинхронного двигателя в двухфазной системе координат(рис.6).

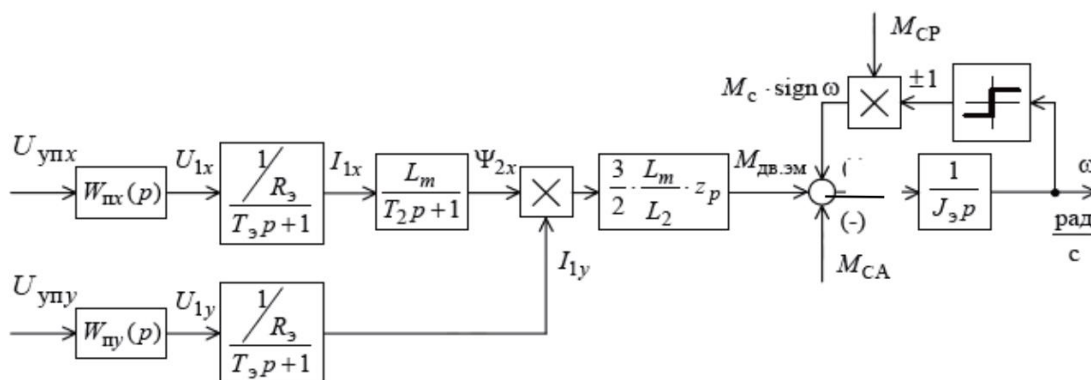


Рисунок 6 -Упрощённая структурная схема силового канала системы преобразователя - асинхронный электродвигатель

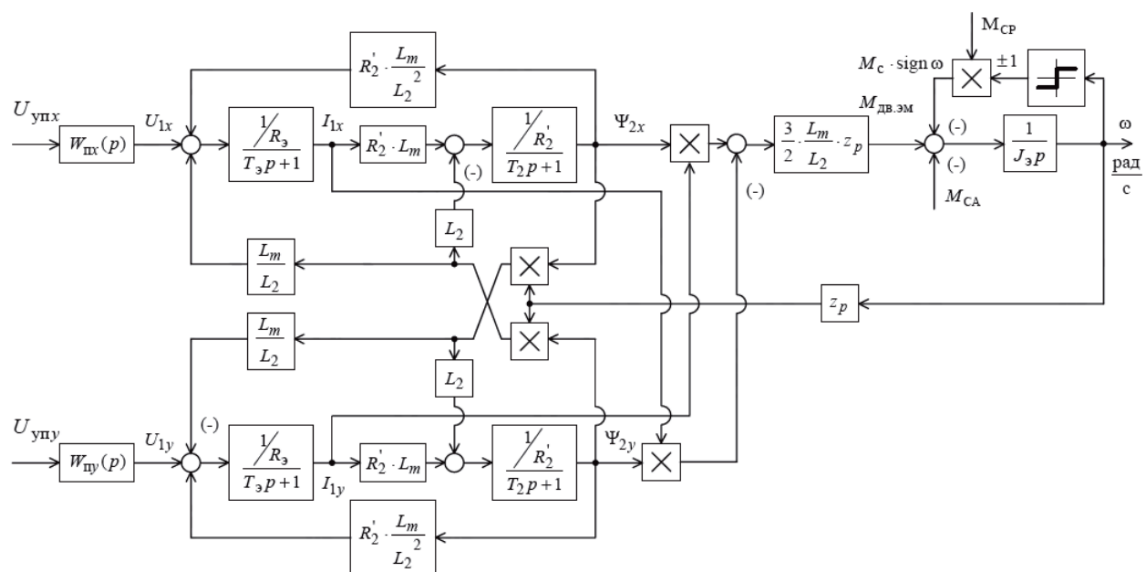


Рисунок 7 - Структурная схема силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в двухфазной неподвижной системе координат

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

3.1 Расчёт дополнительных параметров двигателя и преобразователя.

Проведём расчёт дополнительных параметров преобразователя.
Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя

$$k_{\text{и}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\text{ФН}}}{U_{\text{УП.макс}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,11.$$

где $U_{\text{УП.макс}}$ - максимальное значение напряжения управления.

Принимаем $U_{\text{УП.макс}} = 10 \text{ В}$

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

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

Проведём расчёт дополнительных параметров двигателя.

Эквивалентные индуктивности обмоток:

-статора $L_1 = L_{1\sigma} + L_{\mu} = 0,004 + 0,232 = 0,236 \text{ Гн}$,

-ротора $L_2 = L'_{2\sigma} + L_{\mu} = 0,006 + 0,232 = 0,238 \text{ Гн}$,

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,232^2}{0,236 \cdot 0,238} = 0,041 \text{ о. е.}$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_{\text{э}} = R_1 + R'_2 \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 2,15 + 1,391 \frac{0,232^2}{0,238^2} = 3,47 \text{ Ом}$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_{\text{э}} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{\text{э}}} = \frac{0,041 \cdot 0,236}{3,47} = 2,88 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} = \frac{0,238}{1,391} = 0,17 \text{ с,}$$

Расчёт параметров механизма

$$J_{\text{М}} = 0,5 \cdot J_{\text{ДВ.}} = 0,5 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3} = 2,75 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Эквивалентный момент инерции привода

$$J_{\Sigma} = J_M + J_{дв.} = 2,75 \cdot 10^{-3} + 5,5 \cdot 10^{-3} = 8,25 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

3.2 Естественные механическая и электромеханическая характеристика электропривода.

Механическая характеристика $M(s)$ системы преобразователя частоты - асинхронный двигатель рассчитывается для частоты 50 Гц по выражению

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

По результатам расчёта строится механическая характеристика $\omega(M)$, где $\omega = \omega_0(1-s)$

$$\begin{aligned} M_{\Sigma M.H} &= \frac{3U_{1\Phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1,391}{298 \cdot 0,05 \left[3,15^2 + \left(2,15 + \frac{1,391}{0,05} \right)^2 + \left(\frac{2,15 \cdot 1,391}{0,05 \cdot 72,9} \right)^2 \right]} \\ &= 14,91 \text{ Нм;} \end{aligned}$$

Момент трения на валу двигателя:

$$M_{с дв.} = M_{\Sigma M.H} - M_{дв.H} = 14,91 - 13,4 = 1,61 \text{ Нм}$$

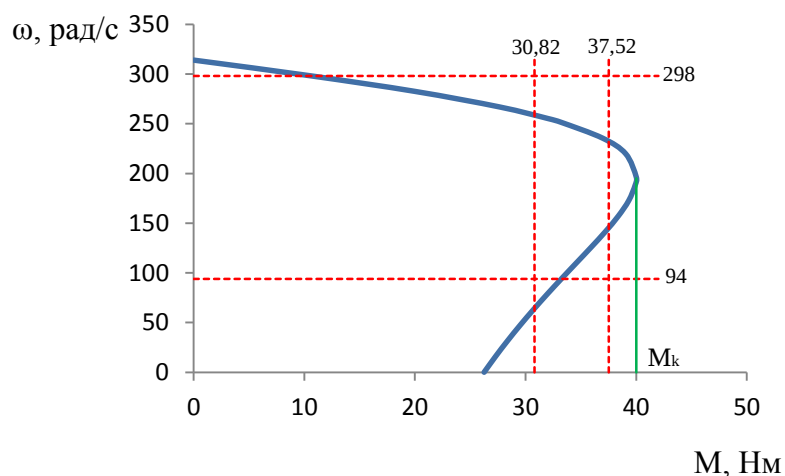


Рисунок 8 - Механическая характеристика АД

Электромеханическая характеристика $I(s)$ системы преобразователь частоты - асинхронный двигатель рассчитывается для частоты 50 Гц по выражению:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)};$$

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

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + (X_{KH})^2}};$$

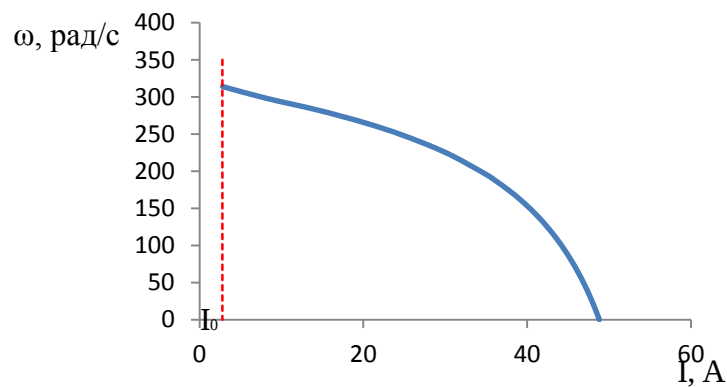


Рисунок 9 - Электромеханические характеристики АД

3.3 Определение заданной области работы электропривода.

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

- $M_{с.мин}(\omega) = const$;
- $M_{с.макс}(\omega) = const$;
- $M_{ЭП.макс}(\omega) = const$.

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

- в зоне работы с номинальным потоком при $f_{и} \leq f_{1H}$

$$M_{\text{ДВ.ДЛИТ.ДОП}}(\omega) = M_{\text{ДВ.Н}} \cdot \left(0,5 + \frac{\omega}{\omega_{\text{ДВ.Н}}} \right) \text{ при } \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{\text{ДВ.Н}}$$

$$M_{\text{ДВ.ДЛИТ.ДОП}}(\omega) = M_{\text{ДВ.Н}} \text{ при } 0,5 \cdot \omega_{\text{ДВ.Н}} < \omega \leq \omega_{\text{ДВ.Н}}$$

Таблица 5 - Результаты расчёта зависимости $M_{\text{ДВ.ДЛИТ.ДОП}}(\omega)$

ω , рад/с	0	$0,5 \cdot \omega_{\text{ДВ.Н}}=149$	$\omega_{\text{ДВ.Н}}=298$
$M_{\text{ДВ.ДЛИТ.ДОП}}$, Нм	6,7	13,4	20,1

Рассчитывается и строится зависимость максимально допустимого момента электродвигателя $M_{\text{ДВ.МАКС}}(\omega)$:

- в зоне работы с номинальным потоком при

$$f_{\text{И}} \leq f_{1\text{Н}}, \omega \leq (\omega_0 \cdot (1 - S_K));$$

$$M_{\text{ДВ.МАКС}}(\omega) = M_K | f_{\text{И}} = f_{1\text{Н}} = \text{const},$$

где

$$\begin{aligned}
 M_K &= \frac{3 \cdot U_{1\text{ФН}}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{КН}}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_2'}{X_\mu} \right)^2 \right]} \right]} \\
 &= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 314 \cdot \left[2,15 + \sqrt{(2,15^2 + 3,15^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{1,391}{72,9} \right)^2 \right]} \right]} \\
 &= 38,76 \text{ Нм},
 \end{aligned}$$

- в зоне работы с ослабленным потоком при

$$f_{\text{И}} > f_{1\text{Н}}, \omega > (\omega_0 \cdot (1 - S_K));$$

$$M_{\text{ДВ.МАКС}}(\omega) = M_K \frac{\omega_0 \cdot (1 - S_K)}{\omega}$$

Таблица 6 - Результаты расчёта зависимости $M_{\text{ДВ.МАКС}}(\omega)$

ω , рад/с	0,0001	$\omega_0=314$
$M_{\text{ДВ.МАКС}}$, Нм	38,76	38,76

Рассчитывается и строится зависимости допустимого тока электродвигателя $I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega)$:

- в зоне работы с номинальным потоком ($f_{\text{и}} \leq f_{1\text{н}}$)

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

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

Таблица 7 - Результаты расчёта зависимости $I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega)$

ω , рад/с	0	$0,5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}=149$	$\omega_{\text{дв.н}}=298$
$I_{\text{дв.длит.доп}}$, А	3,15	6,3	9,45

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:

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

И далее рассчитать значение тока $I_{\text{с. макс}}$ и скорость ($\omega_{\text{ТС}}=\omega_0 \cdot (1-S)$).

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

$$I_{\text{с. макс}}(\omega) = I_{\text{с. макс}}|_{f_{\text{и}} = f_{1\text{н}}}$$

Таблица 8 - Результаты расчёта зависимости $I_{\text{с. макс}}(\omega)$

ω , рад/с	$\omega_{\text{ЭП. мин}}=94$	$\omega_{\text{ЭП. макс}}=298$
$I_{\text{с. макс}}$	4	4

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 $M_{\text{ЭП. макс}}$ значение скольжения, решив относительно s уравнение:

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

И далее рассчитать значение тока $I_{\text{ЭП.макс}}$ и скорость ($\omega_{\text{TS}} = \omega_0 \cdot (1-S)$)

$$I_{\text{ЭП.макс}}(\omega) = I_{\text{ЭП.макс}} | f_{\text{и}} = f_{1\text{н}}$$

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

ω , рад/с	$\omega_{\text{ЭП.мин}}=94$	$\omega_{\text{ЭП.макс}}=298$
$I_{\text{ЭП.макс}}$	6,2	6,2

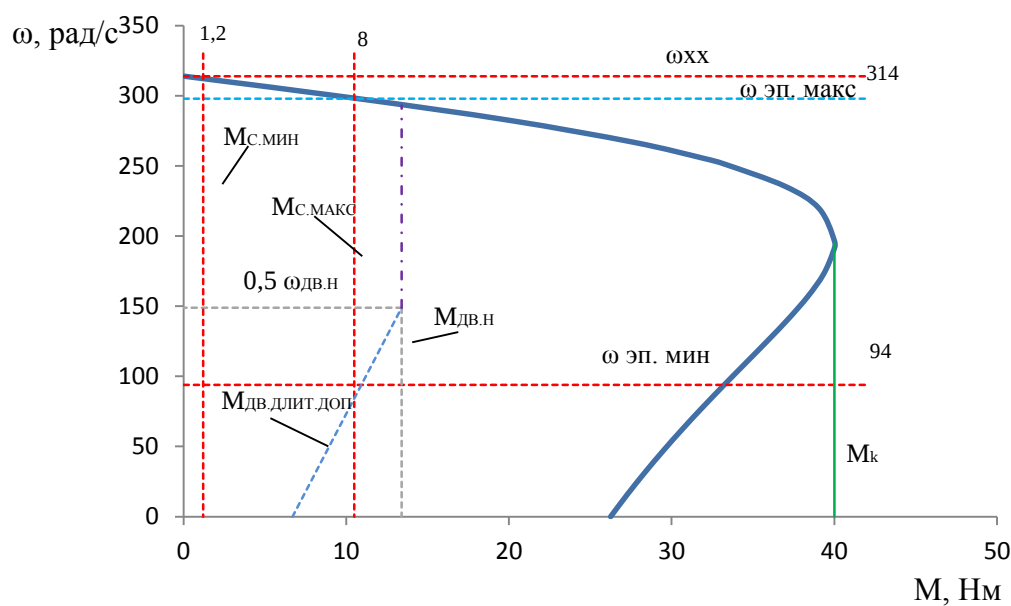


Рисунок 10 - Механическая характеристика электропривода и нагрузки при векторном управлении

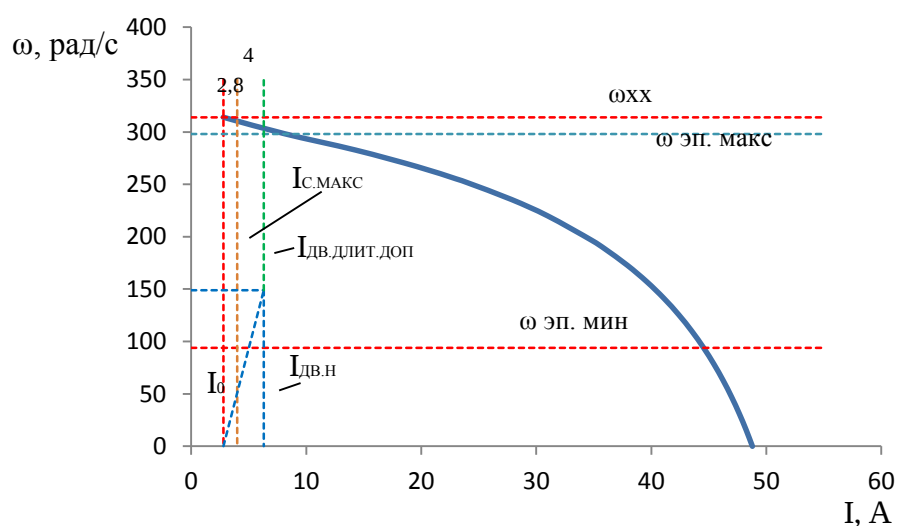


Рисунок 11 - Электромеханическая характеристика электропривода

Проверка правильности выбора двигателя

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

$$M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq M_{\text{с.макс}} \quad 6,7 \dots 20,1 \text{ Нм} \geq 8 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{дв.макс}}(\omega) \geq M_{\text{эп.макс}} \quad 38,76 \text{ Нм} \geq 12,9 \text{ Нм}$$

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq I_{\text{с.макс}} \quad 3,15 \dots 9,45 \text{ А} \geq 4 \text{ А}$$

Проверка правильности выбора преобразователя

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

$$I_{\text{с.макс}}(\omega) \leq I_{\text{ин}} \quad 4 \text{ А} \leq 6,3 \text{ А}$$

$$I_{\text{эп.макс}}(\omega) \leq I_{\text{и макс}} \quad 6,2 \text{ А} \leq 6,3 \text{ А}$$

4. Расчёт линейризованной САУ электропривода.

4.1 Структурная схема линейризованной САУ частотно регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением.

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

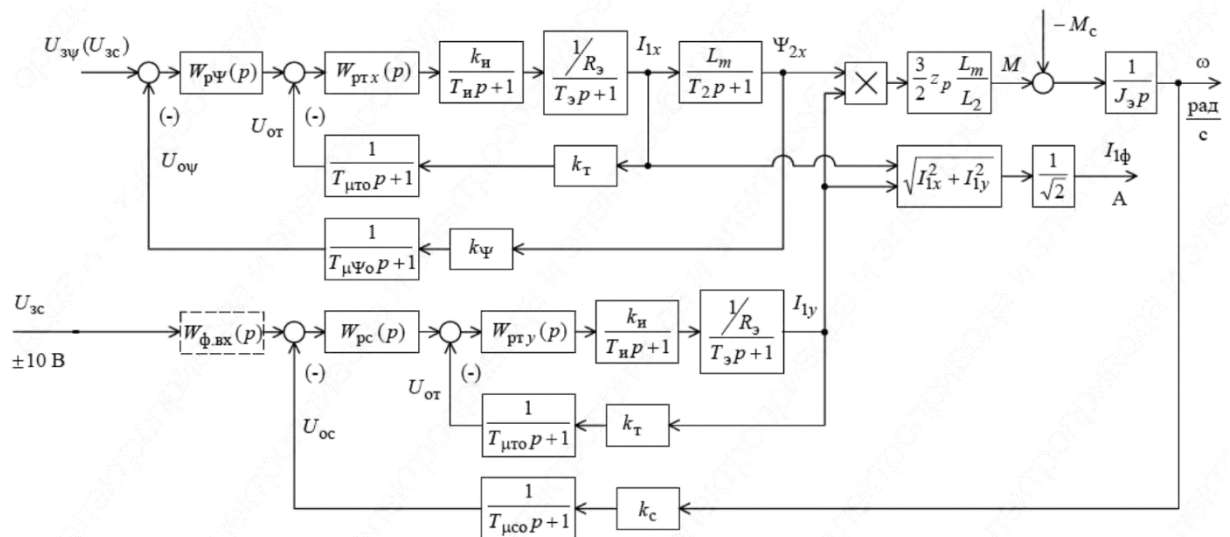


Рисунок 12 - Структурная схема линейризованной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

Электропривод реализован по схеме с независимым управлением потоком сцепления.

На схеме приняты следующие обозначения:

$W(p)_{pr}$, $W(p)_{p\psi}$, $W(p)_{pe}$ - передаточные функции регуляторов;

k_T - коэффициент обратной связи по току, В/А;

k_ψ - коэффициент обратной связи по потоком сцеплению ротора, В/Вб;

k_c - коэффициент обратной связи по скорости, В·с/рад;

$T_{сТ} = \frac{1}{f_{шим}} \cdot n_T = 1 \cdot 10^{-3}$ - период сглаживания результатов измерений

тока, с.

Количество измерений принимаем равным $n_T=8$

$$T_{\mu T_0} = \frac{T_{CT}}{3} = 3,333 \cdot 10^{-3} - \text{малая постоянная времени цепи обратной}$$

связи по току, с.

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

Принимаем $n_T=5$.

$$T_{\mu\psi_0} = \frac{T_{c\psi}}{3} = 2,667 \cdot 10^{-3} - \text{малая постоянная времени цепи обратной}$$

связи по потокосцеплению, с.

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

Принимаем $n_c=5$.

$$T_{\mu c_0} = \frac{T_{cc}}{3} = 3,333 \cdot 10^{-3} - \text{малая постоянная времени цепи обратной}$$

связи по скорости, с.

Для настройки контуров регулирования необходимо определить следующие дополнительные параметры системы:

- значение номинального потокосцепления двигателя

$$\begin{aligned} \psi_{2.хн} &= \frac{M_{ЭМ.Н}}{\frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot \sqrt{2} \sqrt{I_1^2 \cdot (s_H) - I_0^2}} = \frac{14,91}{\frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0,232}{0,006} \cdot \sqrt{2} \sqrt{6,3^2 - 2,8^2}} \\ &= 0,86 \text{ Вб} \end{aligned}$$

- максимально допустимое значение тока при постоянном токоограничении $I_{ЭП.МАКС}=\text{const}$

$$I_{1Y.МАКС} = \sqrt{2} \sqrt{I_{ЭП.МАКС}^2 - I_0^2} = 25,41 \text{ А}$$

- максимально допустимое значение тока при постоянном токоограничении $M_{ЭП.МАКС}=\text{const}$

$$I_{1Y.МАКС} = \sqrt{2} \sqrt{I_{ЭП.МАКС}^2 - \left(I_0 \cdot \frac{\omega_{T.15}}{\omega_{T.14}} \right)^2} = 25,41 \text{ А}$$

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. Контуры токов и идентичные.

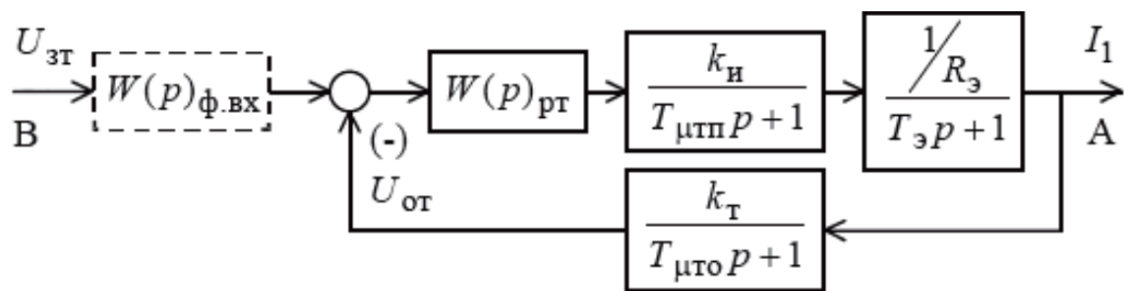


Рисунок 13 - Структурная схема контура тока.

$U_{3T} = 10\text{В}$ - напряжение задания на ток;

$T_{\mu\text{ТП}} = T_{\text{И}} = \frac{0,5}{f_{\text{ШИМ}}} = 6,25 \cdot 10^{-5}\text{с}$ - малая постоянная времени в прямом канале;

$T_{\text{Э}} = 2,288 \cdot 10^{-3}\text{с}$ - постоянная времени регулятора;

$k_r = \frac{U_{3T.\text{МАКС}}}{I_{1Y.\text{МАКС}}} = \frac{10}{25,41} = 0,393$ - коэффициент обратной связи по току , В/А;

$k_{PT} = \frac{T_{\text{Э}} \cdot R_{\text{Э}}}{k_{\text{И}} \cdot k_{\text{Т}} \cdot a_{\text{Т}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}} = 2,752$ - коэффициент усиления регулятора тока;

$a_{\text{Т}}$ - коэффициент оптимизации.

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

$R_{\text{Э}}=11,654\text{ Ом}$ - эквивалентное сопротивление;

Постоянная времени регулятора $T_{\text{РТ}}=T_{\text{Э}}$

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

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

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

Контур тока имеет следующую передаточную функцию разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{раз.т}} = \frac{1}{a_T \cdot T_{\mu\text{ТП}} \cdot T_{\mu\text{То}} \cdot T_{\mu\text{Тэ}} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu\text{Тэ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{Тэ}}^2 \cdot p}$$

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

$$W(p)_{\text{раз.т}} = \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\text{То}} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu\text{ТП}} \cdot T_{\mu\text{То}} \cdot T_{\mu\text{Тэ}} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu\text{Тэ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{Тэ}}^2 \cdot p}$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\text{То}} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu\text{Тэ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{Тэ}} \cdot p + 1}$$

где, $T_{\mu\text{Тэ}}=T_{\mu\text{ТП}}+T_{\mu\text{То}}=3,958 \cdot 10^{-4}$ - 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 по управлению с фильтром на входе:

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

$$\omega_{\text{П}}^{(\text{ф})} = \omega_{\text{П}}^{(\text{м})} = \frac{0,71}{T_{\mu\text{ТП}}+T_{\mu\text{То}}} = 1,794 \cdot 10^3 \text{ рад/с}$$

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

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

На рис. 14 представлена имитационная модель контура тока, а на рис. 15-17 результаты моделирования. В таблице 10 сведены полученные показатели качества работы контура тока.

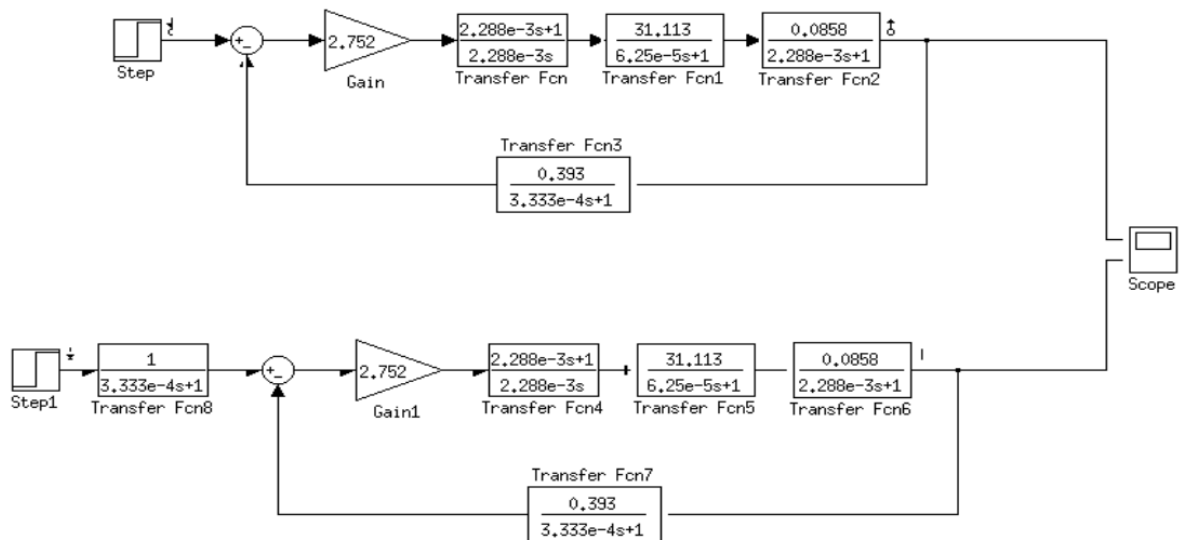


Рисунок 14 - Внешний вид имитационной модели контура тока в программной среде MATLAB Simulink

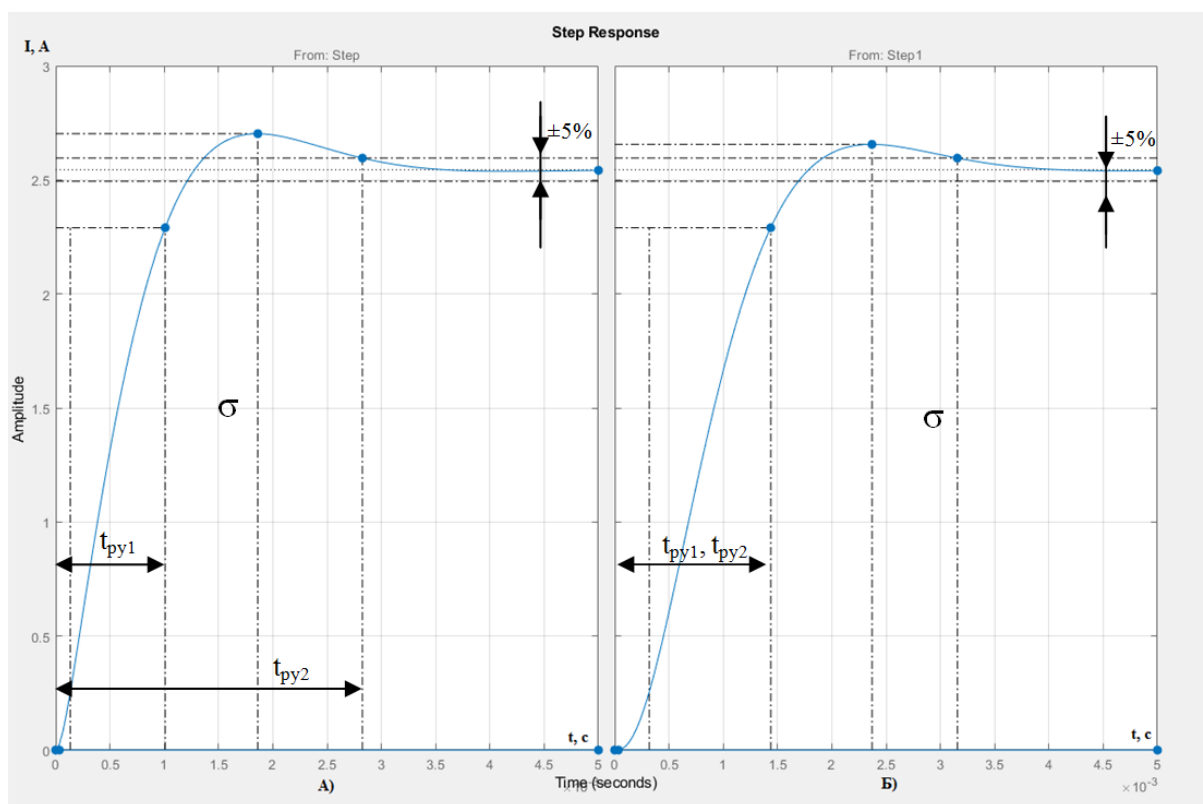


Рисунок 15 - Переходные процессы контура тока с оптимизацией (А - без фильтра, Б - с фильтром)

Таблица 10 - 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
Результат моделирования без фильтра				
0,001723		0,00224	6,19%	2,54
Результат моделирования с фильтром				
0,00158		0,00158	4,36%	2,54
Частотные показатели				
Замкнутый контур без фильтра	Ожидаемые показатели		Результаты моделирования	
	Запас по фазе $\Delta\omega^{(ф)}, \text{ рад/с}$	Запас по модулю $\Delta\omega^{(м)}, \text{ рад/с}$	Запас по фазе $\Delta\omega^{(ф)}, \text{ рад/с}$	Запас по модулю $\Delta\omega^{(м)}, \text{ рад/с}$
	1794	1794	1920	1920
Разомкнутый контур с фильтром	Запас по модулю $\Delta L, \text{ дБ}$		Запас по фазе $\Delta\varphi, \text{ град}$	
	15		41	

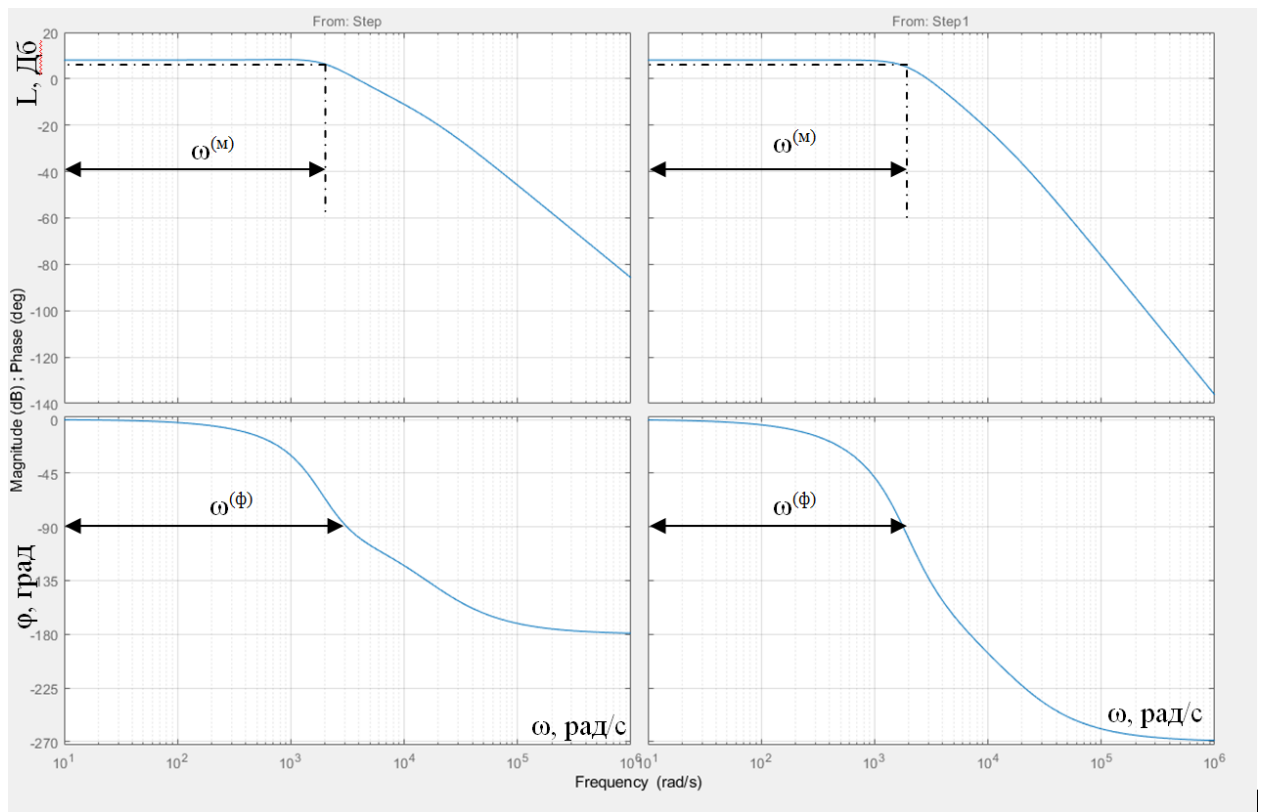


Рисунок 16 - Частотные характеристики замкнутого контура тока (А - без фильтра, Б - с фильтром)

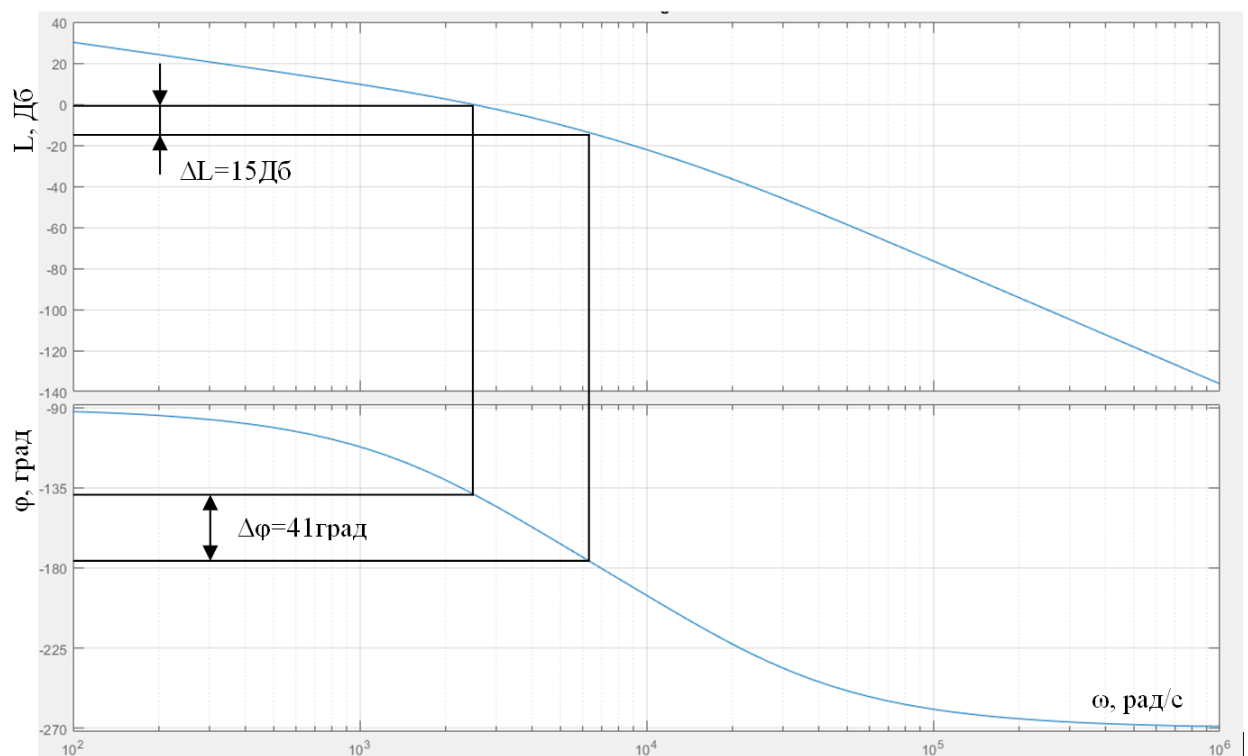


Рисунок 17 - Частотные характеристики разомкнутого контура тока

Оптимизация контура потокосцепления с инерционной обратной связью.

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

$$W(p)_{\text{зам.Т}} \approx \frac{\frac{1}{k_r}}{T_r p + 1}$$

где, $T_r = a_T \cdot T_{\mu\text{Тэ}} = a_T \cdot (T_{\mu\text{ТП}} + T_{\mu\text{То}}) = 7,917 \cdot 10^{-4}$ - эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

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

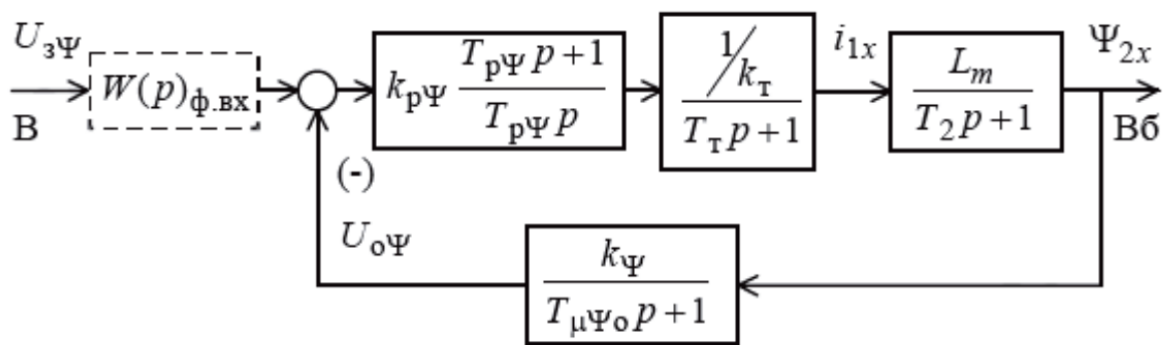


Рисунок 18 - Структурная схема контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

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

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления определяется по выражениям

$$k_{p\psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_\psi} \cdot \frac{1}{a_T \cdot (T_{\mu\text{ТП}} + T_{\mu\text{То}})} = 1,087$$

$$T_{p\psi} = T_2 = 0,092 \text{ с}$$

где, $k_\psi = \frac{U_{\psi\text{макс}}}{\psi_{2\text{хн}}} = \frac{10}{0,803} = 11,628$ - коэффициент обратной связи по потокосцеплению, В/Вб. Принимаем $U_{\psi\text{макс}} = 10\text{В}$.

$a_\psi = 2$ -коэффициент оптимизации.

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

- разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{раз.}\psi} = \frac{1}{a_\psi \cdot T_T \cdot T_{\mu\psi 0} \cdot T_{\mu\psi \varepsilon} \cdot p^3 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi \varepsilon}^2 \cdot p^2 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi \varepsilon}^2 \cdot p}$$

- замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{\text{раз.Т}} = \frac{\frac{1}{k_\psi} \cdot (T_{\mu\psi 0} \cdot p + 1)}{a_\psi \cdot T_T \cdot T_{\mu\psi 0} \cdot T_{\mu\psi \varepsilon} \cdot p^3 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi \varepsilon}^2 \cdot p^2 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi \varepsilon}^2 \cdot p}$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_\psi} \cdot (T_{\mu\psi 0} \cdot p + 1)}{a_\psi \cdot T_{\mu\psi \varepsilon}^2 \cdot p^2 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi \varepsilon} \cdot p + 1}$$

где, $T_{\mu\psi \varepsilon} = T_T + T_{\mu\psi 0} = 8,542 \cdot 10^{-4}$ - 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

$$\omega_{\Pi}^{(м)} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{T_{\mu\psi \varepsilon}} = 831 \div 1054 \text{ рад/с}$$

- перерегулирование

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

- время первого вхождения в 5% зону

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

На рис. 19 представлена имитационная модель контура потокосцепления, а на рис. 20-22 результаты моделирования. В таб. 11 сведены полученные показатели качества работы контура.

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

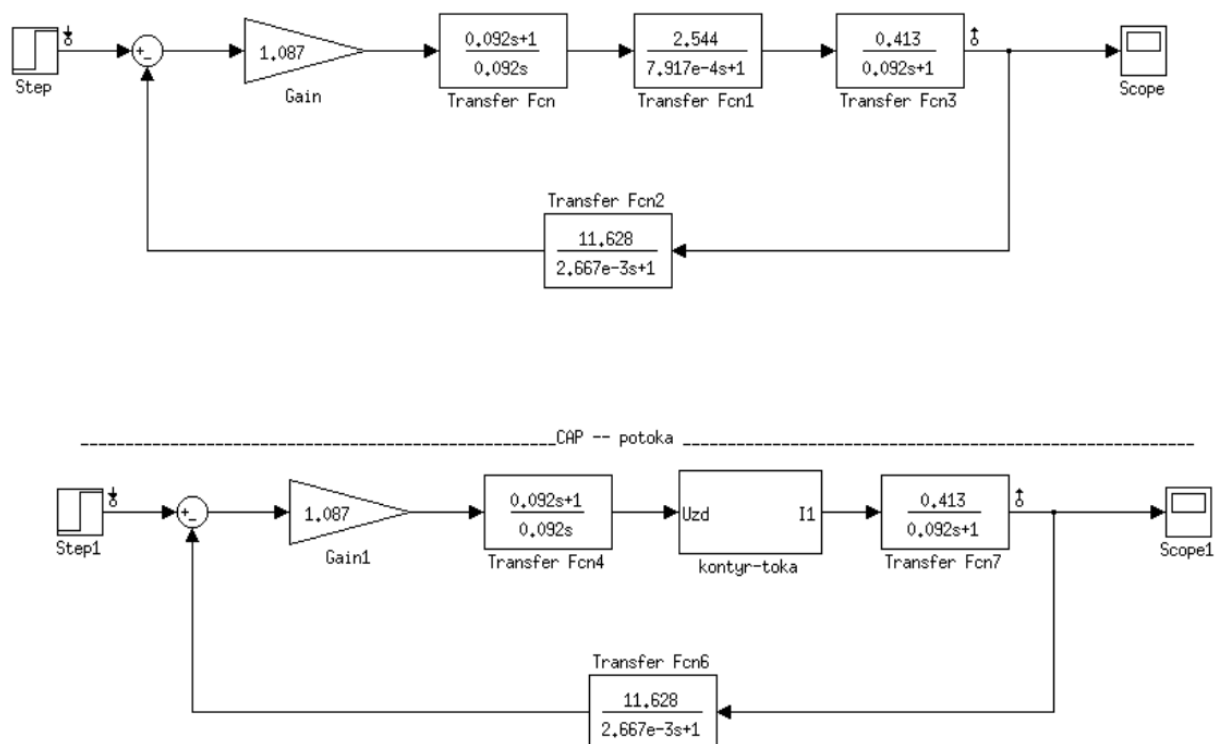


Рисунок 19 - Внешний вид имитационной модели контура потокосцепления в CAP потока в программной среде MATLAB Simulink

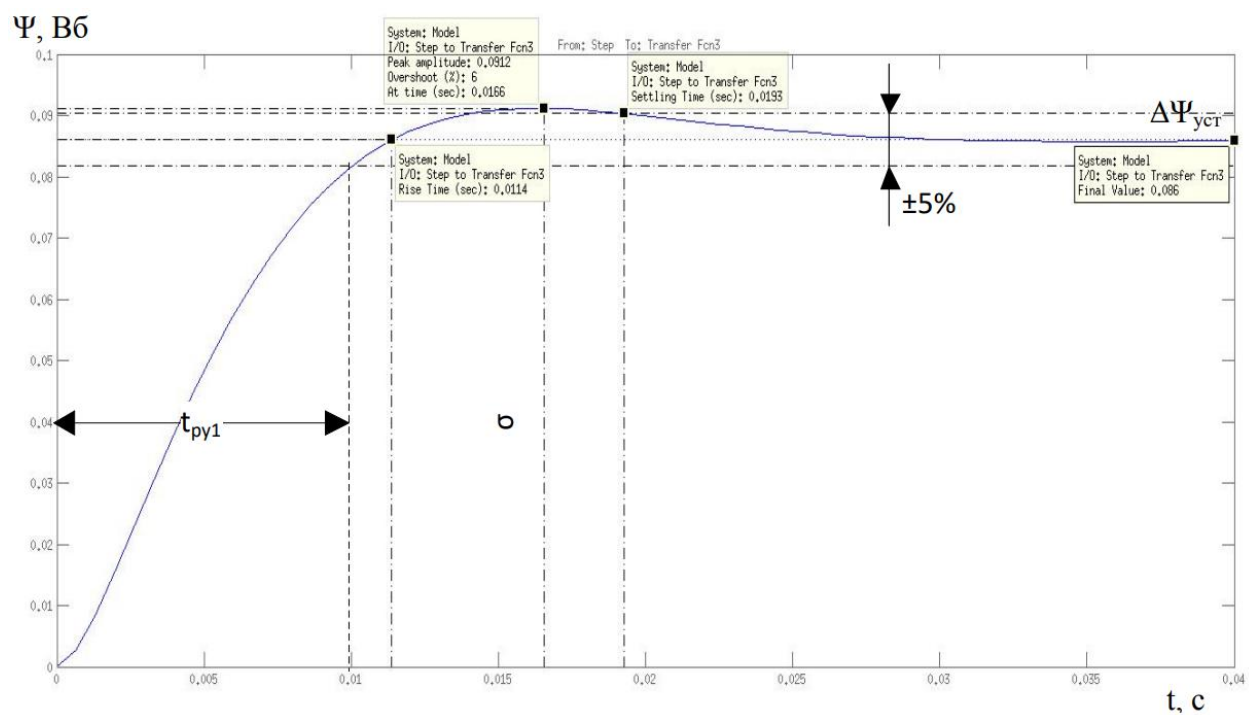


Рисунок 20 - Переходные процессы контура потокосцепления

Таблица 11 - Показатели качества работы контура тока

t_{py1}, c		t_{py2}, c	$\sigma, \%$	$\Delta\psi_{уст}, A$
Ожидаемые показатели				
0,00951-0,014		-	4,3-6,7	0,86
Результат моделирования без фильтра				
0,009917		-	6	0,86
Частотные показатели				
Замкнутый контур без фильтра	Ожидаемые показатели		Результаты моделирования	
	Запас по фазе $\Delta\omega^{(\phi)}$, рад/с	Запас по модулю $\Delta\omega^{(M)}$, рад/с	Запас по фазе $\Delta\omega^{(\phi)}$, рад/с	Запас по модулю $\Delta\omega^{(M)}$, рад/с
	-	205-260	329	225
Разомкнутый контур с фильтром	Запас по модулю ΔL , дБ		Запас по фазе $\Delta\phi$, град	
	45		43	

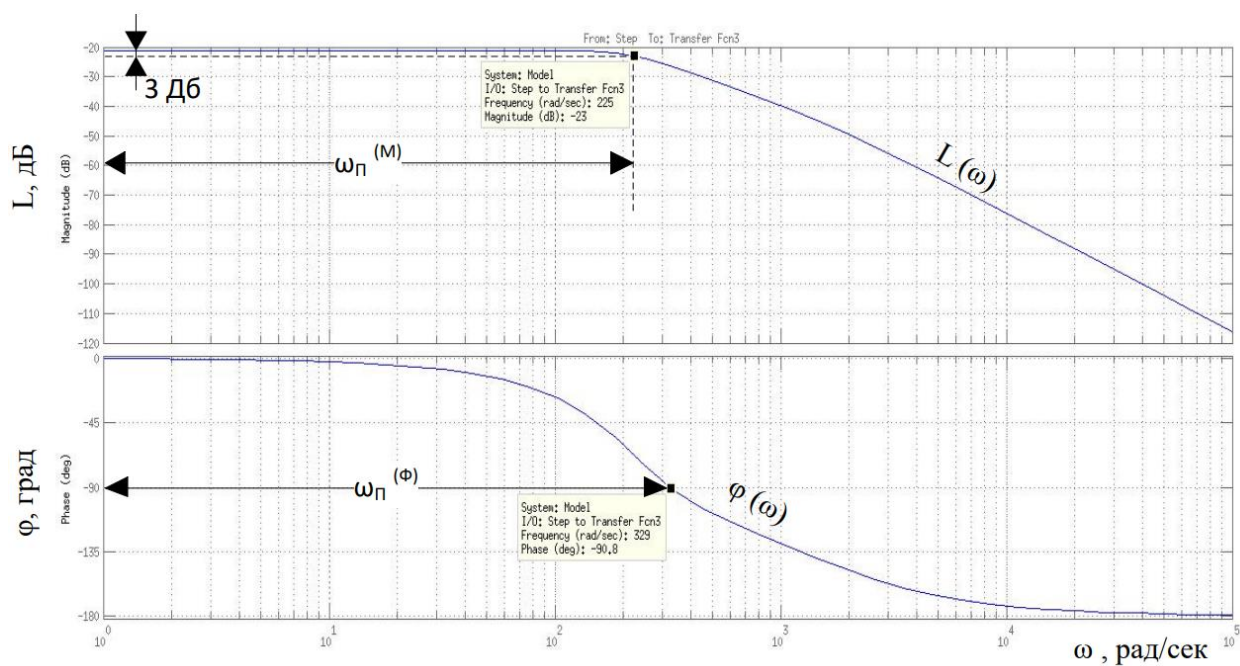


Рисунок 21 - Частотные характеристики замкнутого контура потокосцепления

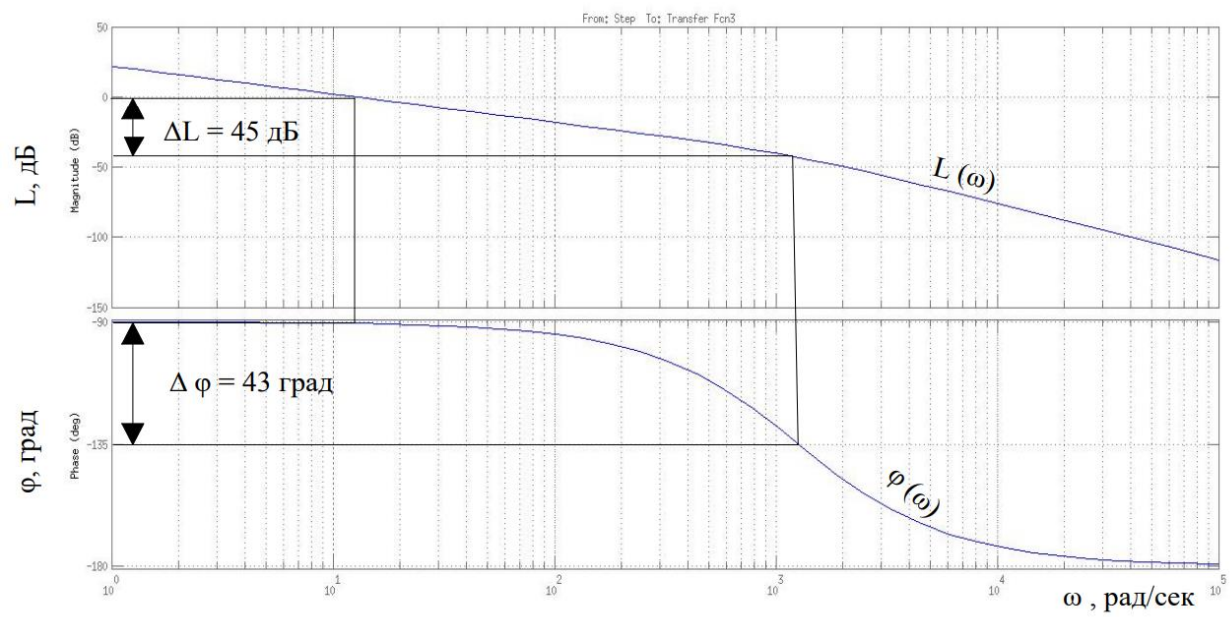


Рисунок 22 - Частотные характеристики разомкнутого контура
потокосцепления

5. Имитационное моделирование электропривода ЭПЦ-4000.

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.23.

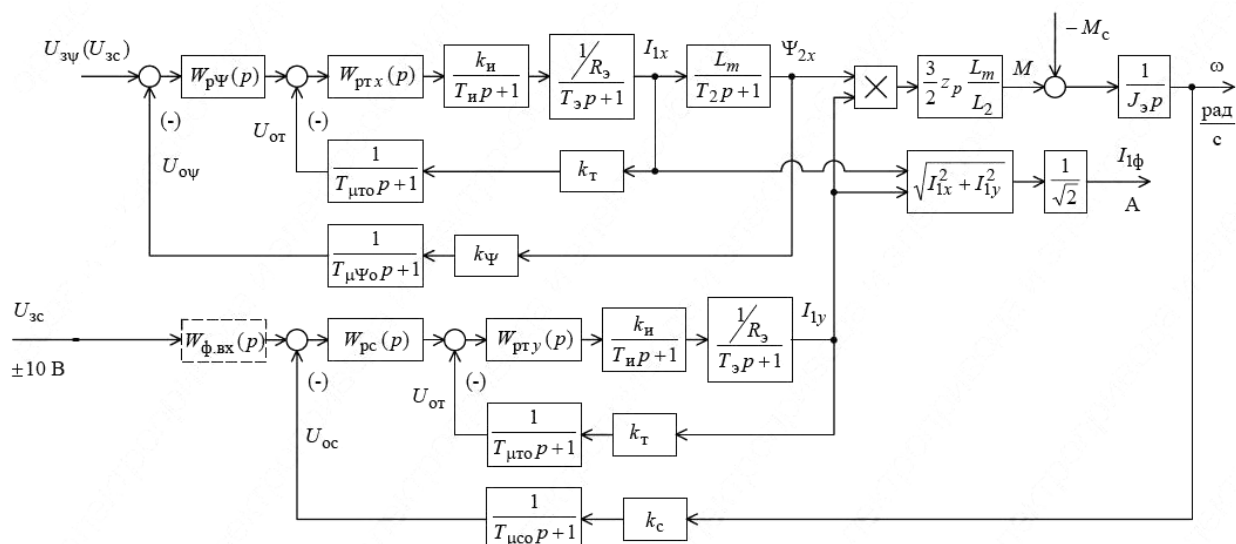


Рисунок 23 - Структурная схема нелинейной САУ асинхронного электропривода при векторном управлении с упрощённой моделью двигателя

По схеме рис.23 была построена имитационная модель в среде Matlab, рис. 24. Данная модель включает в себя отдельные блоки, которые собраны по функциональному назначению. Блок "Kontur_1" (рис. 25) отвечает за канал регулирования потока и включает в себя контур потокоцепления и контур тока. Блок "Kontur_2" (рис. 26) отвечает за канал регулирования скорости и включает в себя контур скорости и второй контур тока. На рис. 27 регулятор потока "Regylator_potoka", на рис. 28 регулятор тока "Regylator_toka".

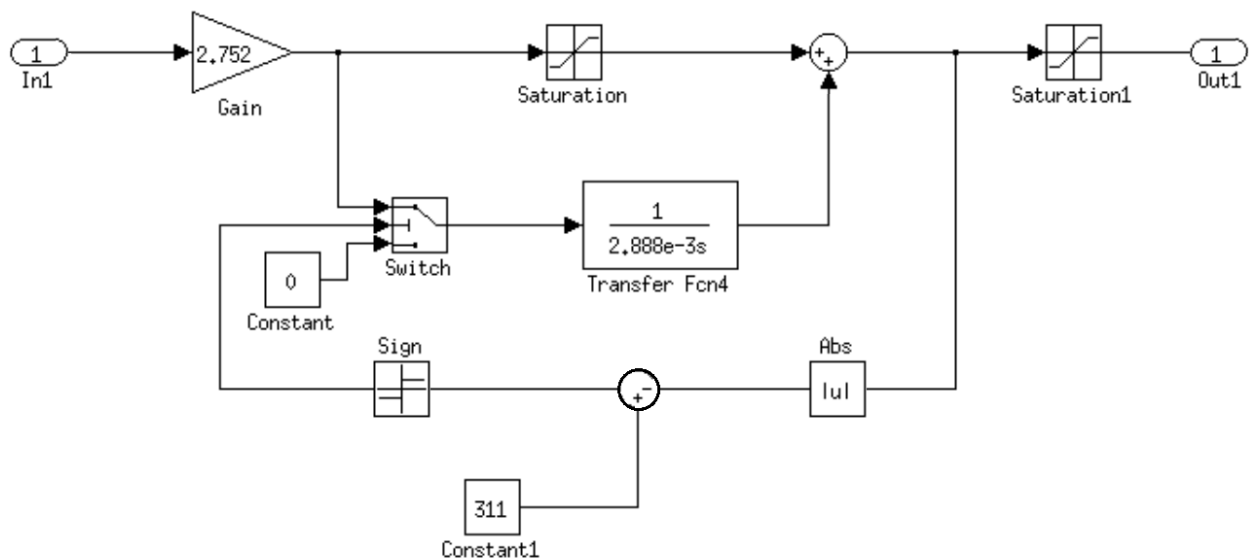


Рисунок 27 - Содержание блока "Regylator_potoka"

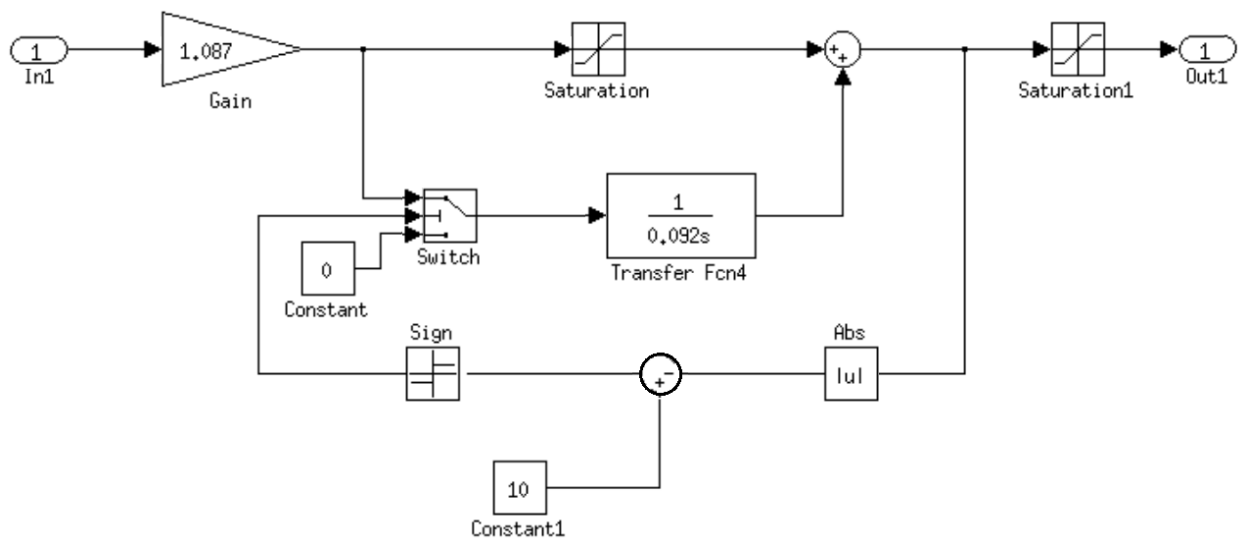


Рисунок 28 - Содержание блока "Regylator_toka"

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

Основные нелинейности характеристик САУ:

- насыщение регуляторов тока, потокосцепления и скорости

$$U_{рт.макс} = \pm 10V, U_{р\psi.макс} = \pm 10V, U_{рс.макс} = \pm 10V$$

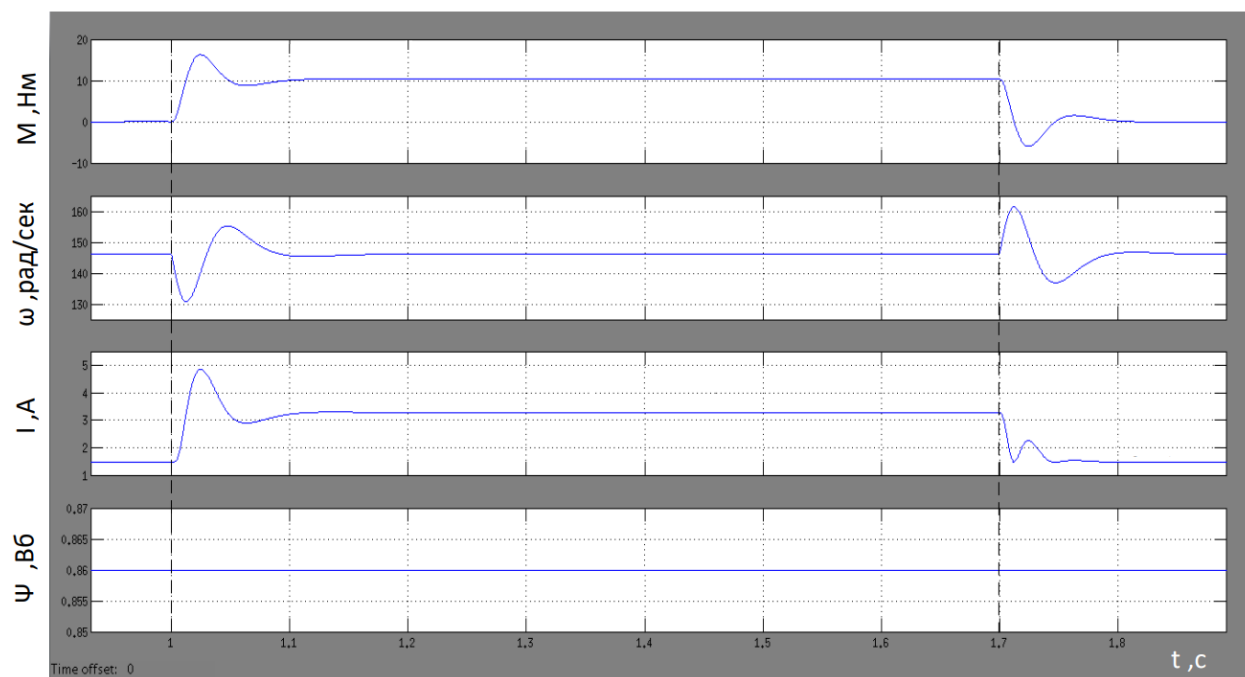


Рисунок 29 - Ввод $t=1$ с и сброс $t=1,7$ с нагрузки , максимальная скорость ЭП

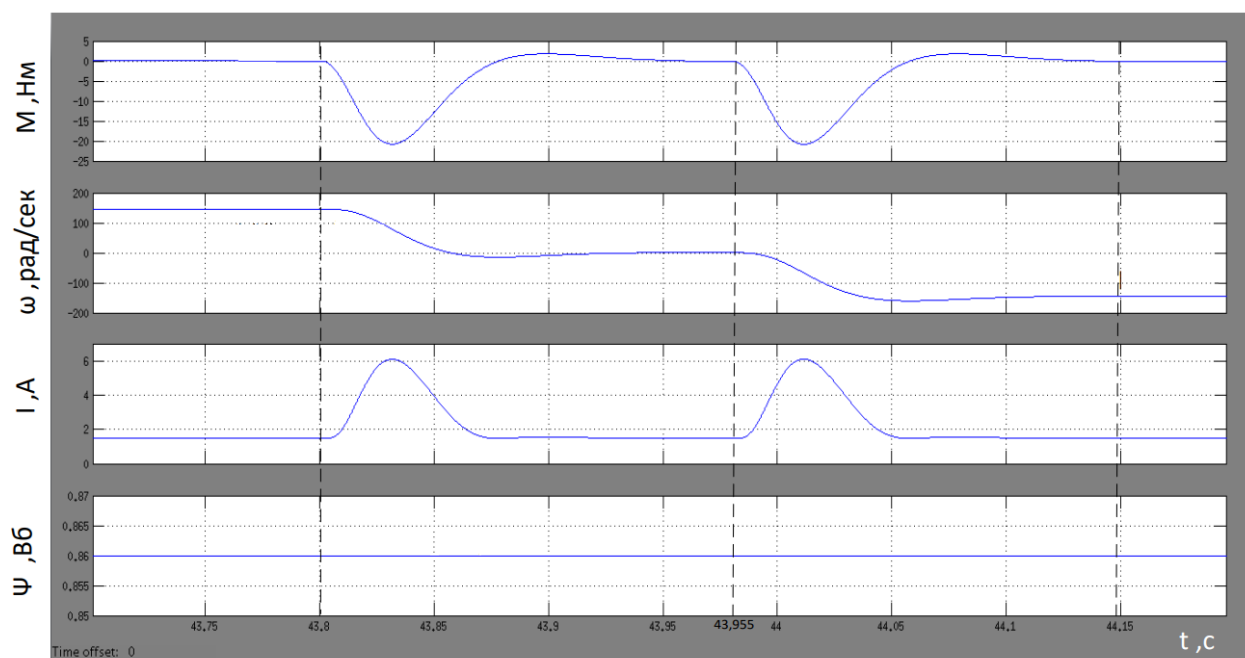


Рисунок 30 - Реверс САУ, без нагрузки в течении времени $t=43,8-44,35$ с

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

Используя программный продукт MATLAB Simulink, реализуем нелинейную непрерывную систему автоматического регулирования частоты АД при векторном управлении с имитацией АД (рис. 31).

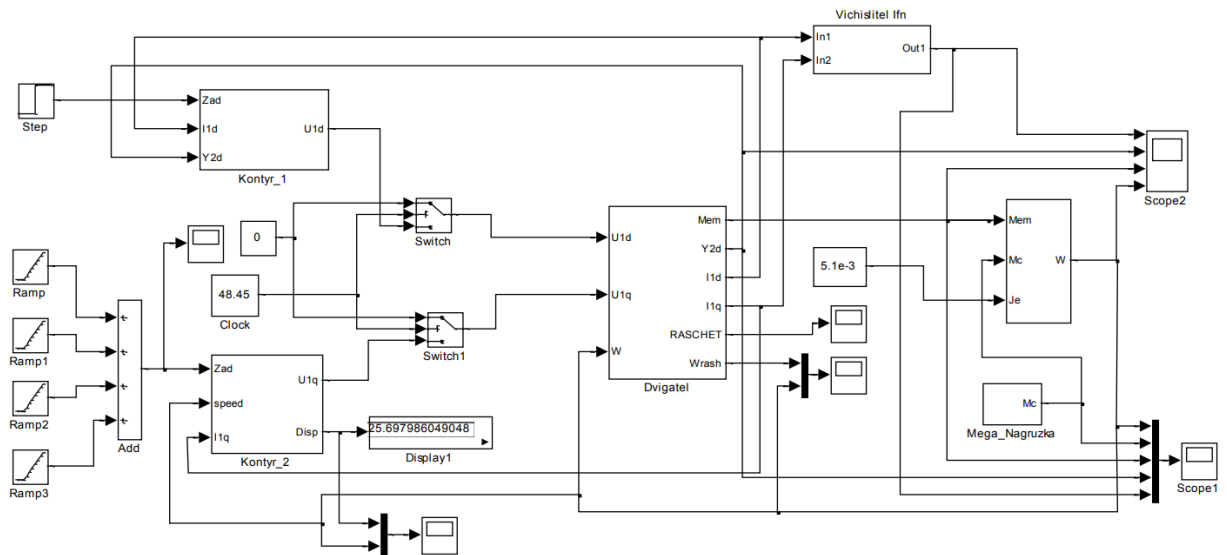


Рисунок 31 – Схема нелинейной непрерывной САУ следящего частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с моделью двухфазного двигателя в программной среде MATLAB Simulink

Схема имитационной модели двигателя представлена на рис. 32.

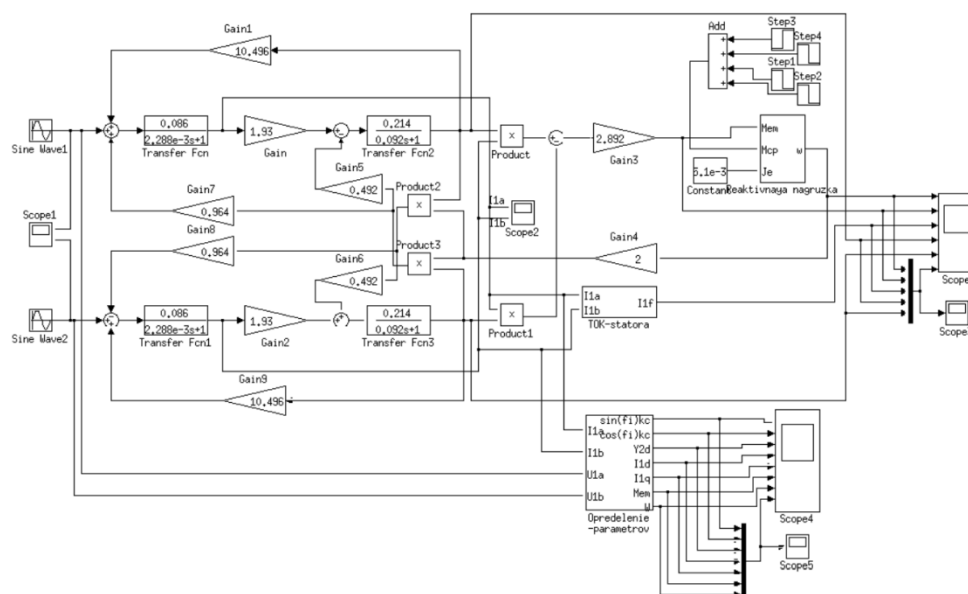
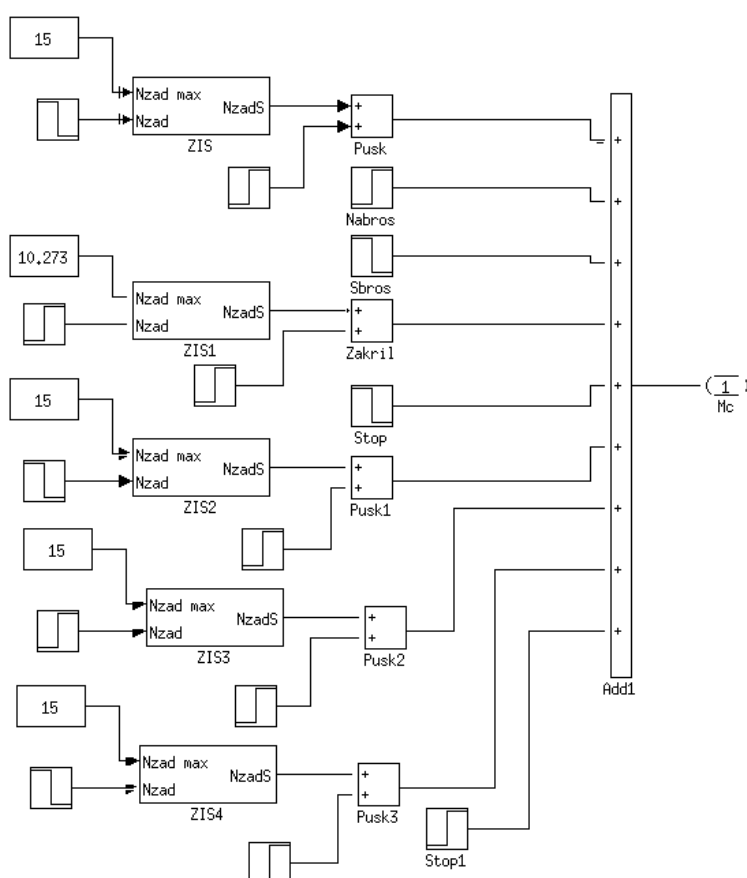


Рисунок 32 – Внешний вид имитационной модели асинхронного электродвигателя в неподвижной двухфазной системе координат α, β

The block diagram illustrates a control system for a motor. It features two inputs: $N_{zad\ max}$ (labeled 1) and N_{zad} (labeled 2). The output is N_{zad5} . The system includes a feedback loop with a gain of 0.3333 and a saturation block. The forward path consists of a gain of 1000, a saturation block, a gain of 1000, a saturation block, a transfer function of $\frac{1}{0.1s}$, and a transfer function of $\frac{1}{0.3s}$. The control signal is calculated as the difference between the reference and the feedback, then passed through the forward path blocks to produce the output.

За имитацию нагрузочного момента отвечает блок “Mega_Nagruzka” (рис. 34).



50

5.3 Результаты имитационного моделирования.

Рисунки 35-39 показывают результаты имитации ЭП клиновой запорной арматуры при векторном управлении, с обратной связью по положению.

Рисунок 35 показывает запуск в присутствии нагрузки на начальном этапе формирования потока, а затем и плавный разгон. На рис. 36 видно, что система ведет себя астатично, так как при набросе и сбросе нагрузки происходит так же и бросок скорости.

На рис. 37 показан реверс двигателя. В этом случае задействован блок реактивной нагрузки. На рис. 38 в работе режим ограничения крутящего момента, что требуется в тот момент, когда затвор достиг своих крайних точек, либо когда случилась нештатная блокировка какого либо из механических узлов самой арматуры. В данном случае подобные условия работы заданы путем линейного увеличения момента нагрузки.

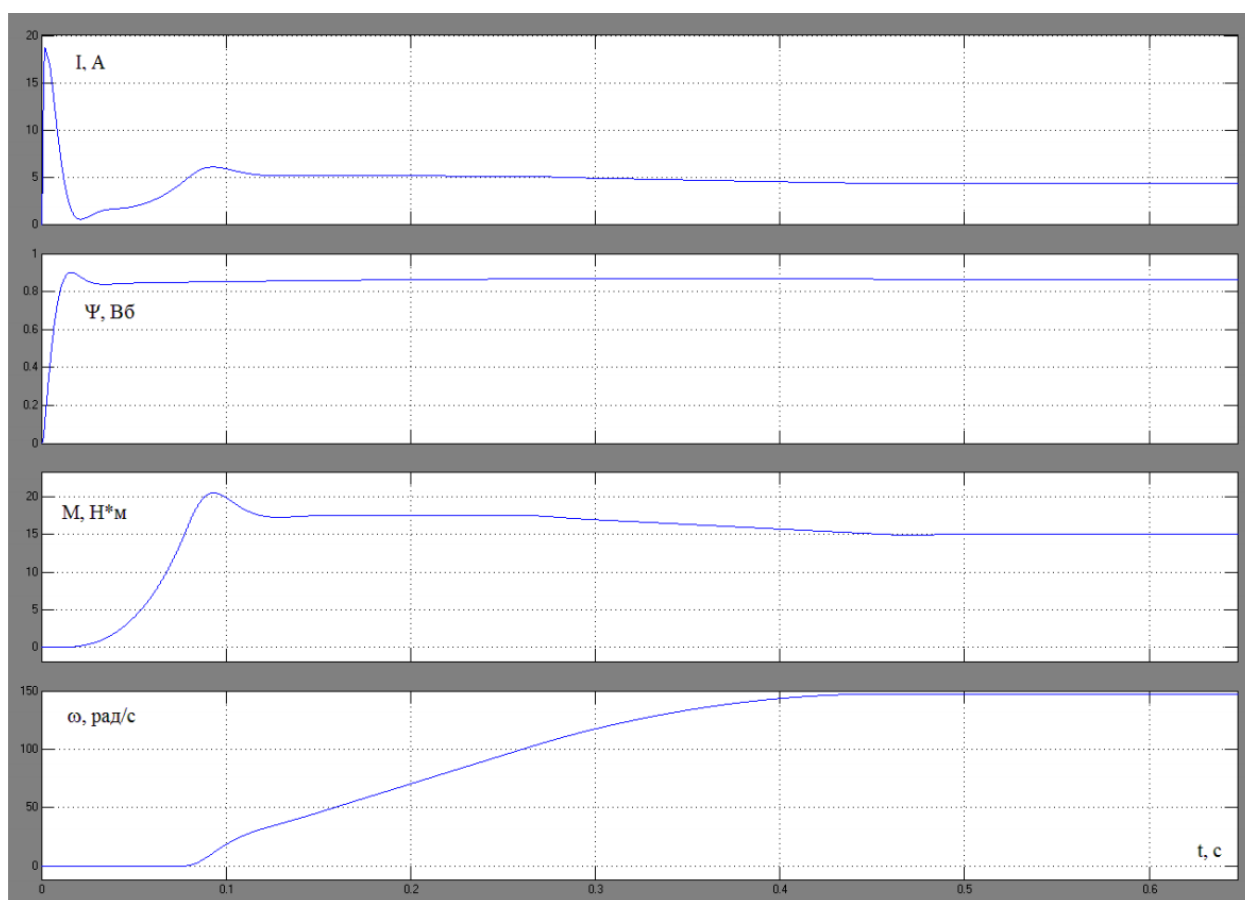


Рисунок 35 - Переходные процессы пуска двигателя под нагрузкой $M_c=15$ Нм

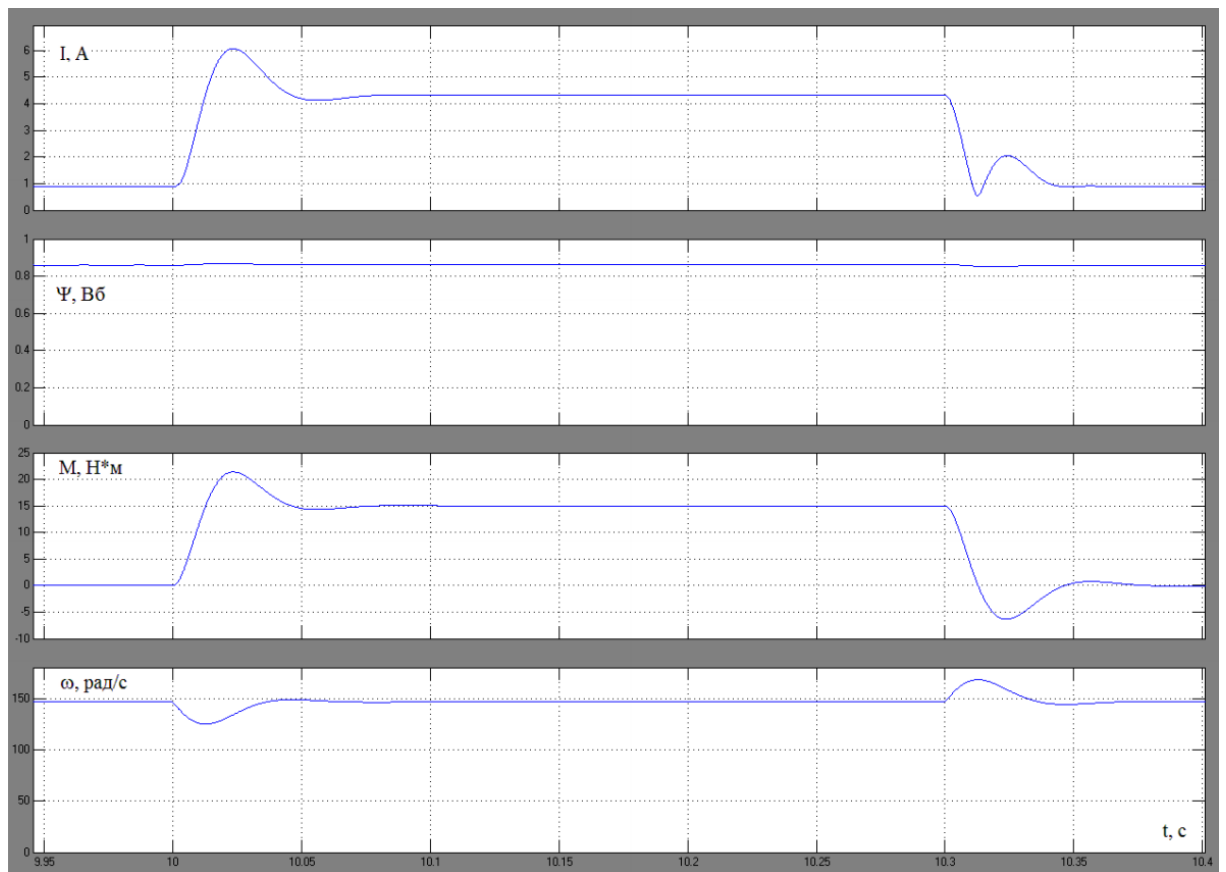


Рисунок 36 - Переходные процессы наброса и сброса нагрузки $M_c=15 Нм$

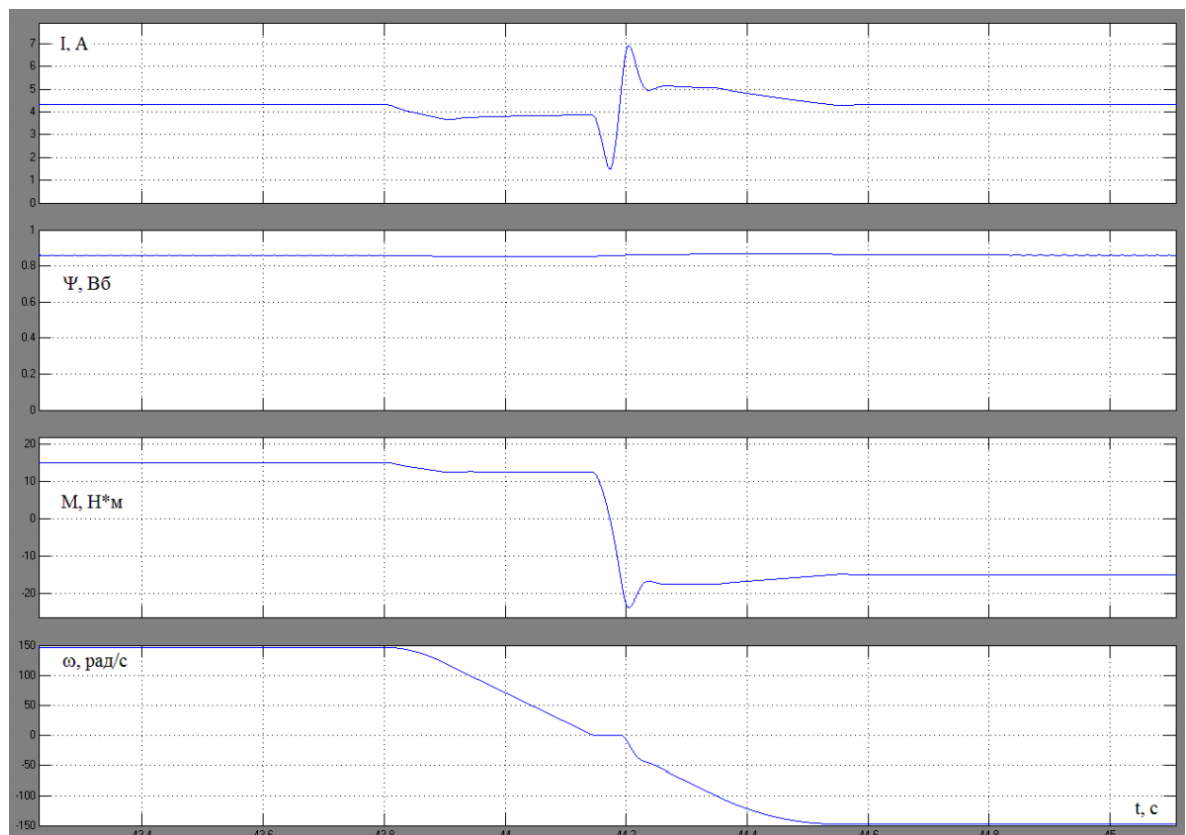


Рисунок 37 - Переходный процесс реверса электропривода

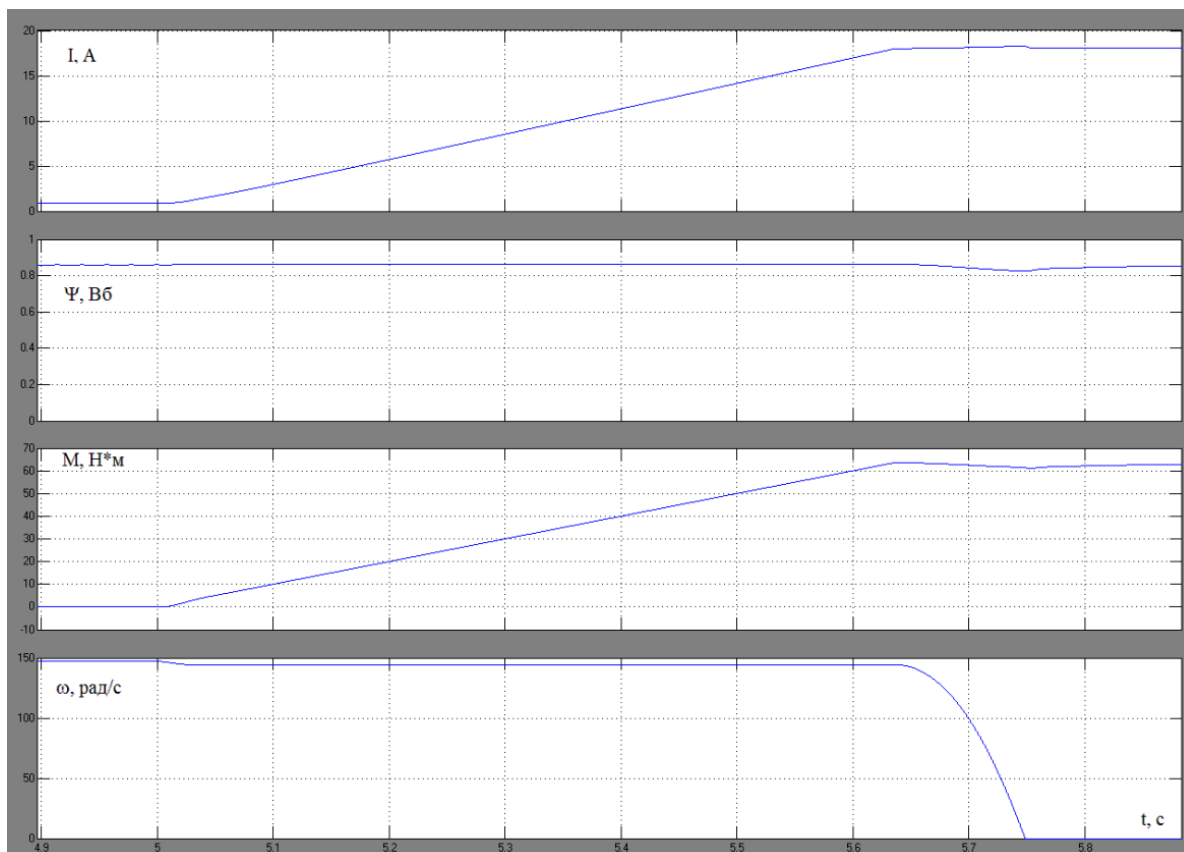


Рисунок 38 - Процесс отработки ограничения момента

Рис. 39 показывает переходный процесс поожения выходного элемента ЭП при положении "закрыто" и "открыто". Время полного цикла составляет порядка 90 секунд.

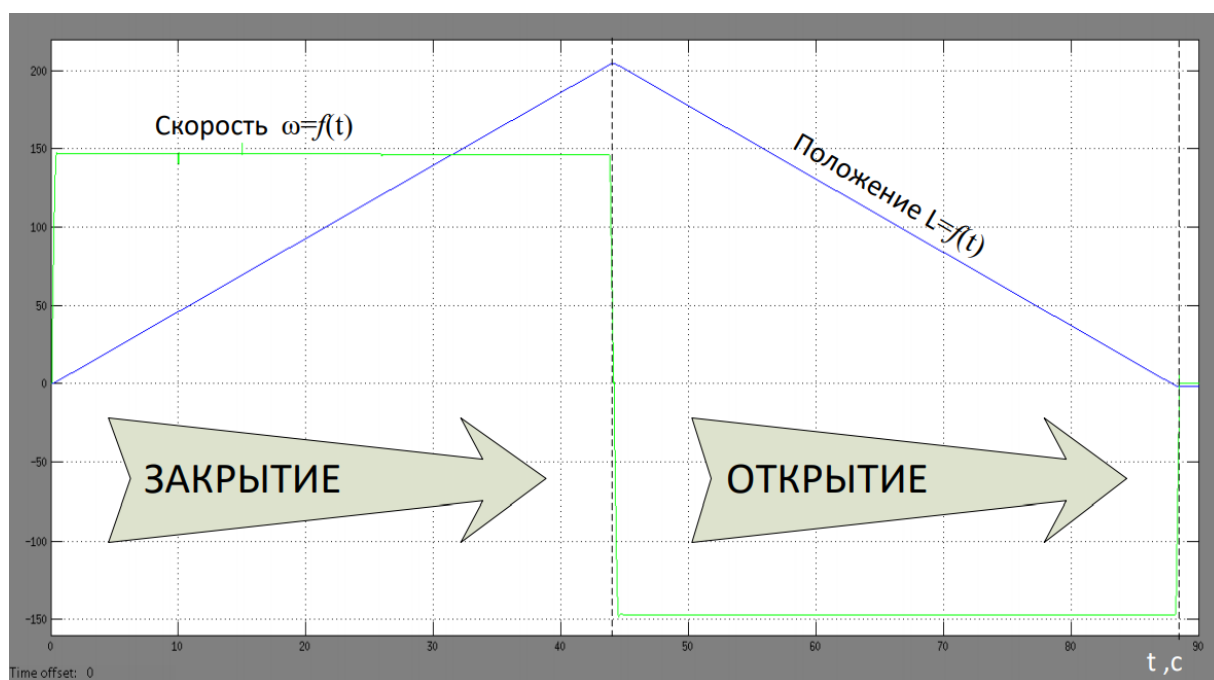


Рисунок 39 - Отработка по положению выходного органа

Основываясь на полученных результатах моделирования , можно сделать вывод , что ЭП реагирует на входные воздействия . Показатели работы комплекса, не превосходят критических значений, а время закрытия и открытия задвижки с заданным моментом находится в приемлемых временных интервалах времени 44 секунды.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Кологривов Владимир Олегович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость затрат технического проекта	В техническом проекте были задействованы 2 человека (руководитель, дипломник). Стоимость материальных ресурсов была взята с интернета. Зарботная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. Продолжительность выполнения	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта	Для составления графика по проектированию асинхронного электропривода ЭПЦ-4000 • оценить технический проект выявляя при этом сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы • определить трудоёмкость работ для каждого исполнителя. По полученным данным построить диаграмму Ганта, которая, позволяет спланировать процесс реализации технического проекта.
3. Формирование сметы технического проекта	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: • материальные затраты; • полная заработная плата исполнителей; • отчисления во внебюджетные фонды; • накладные расходы.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Диаграмма Ганта	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	Кандидат экономических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Кологривов Владимир Олегович		

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- расчет затрат на проектные работы электропривода ЭПЦ-4000;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

6.1 SWOT-анализ по разработке проекта асинхронного электропривода ЭПЦ-4000

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Подразумевает комплексное исследование сильных и слабых сторон технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [8].

Применительно к проекту по разработке электропривода шахтного вентилятора, SWOT-анализ позволит оценить положительные и отрицательные стороны проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT-анализа стоит использовать следующие обозначения: **С** – сильные стороны проекта; **Сл** – слабые стороны проекта; **В** – возможности; **У** – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 1.

Таблица 12 - Матрица SWOT-анализа технического проекта

	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.	В1 С1С2С3С4	В1 Сл2Сл3
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	В2 С2С4С5	В2 Сл1Сл2
В3.Резервное питание электропривода ЭПЦ-4000.	В3 С1С2С4С5	В3 Сл2Сл3
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В4 С1С3С5	
Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологии производства.	У1 С5	У1 Сл3
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования.	У2 С5	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции.	У3 С4	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 следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 13 и 14.

Таблица 13 – Интерактивная матрица возможностей

	Сильные стороны проекта				
Возможности	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
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	+	+	+	+	-
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	-	+	-	+	+
В3. Резервное питание электропривода ЭПЦ-4000.	+	+	-	+	+
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок.	+	-	+	-	+
	Слабые стороны проекта				
Возможности	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 ЭПЦ-4000.	-	+		+	
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок.	-	-		-	

Таблица 14 – Интерактивная матрица угроз

	Сильные стороны проекта				
Угрозы	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
У1 Развитая конкуренция технологии производства.	-	-	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования.	-	-	-	-	+
У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции.	-	-	-	+	-
	Слабые стороны проекта				
Угрозы	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 инспекции.	+	-	-		

В результате проведения SWOT-анализа, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременная 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 Планирование технического проекта

Организация работ технического проекта 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. Определение структуры работ в рамках технического проектирования

В данном разделе, представлен весь перечень этапов и работ, а также дано краткое описание работ, выполненных в ходе технического проектирования:

№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 блока управления и редуктора;

№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 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, подготовка к защите, подготовка презентации;

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

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта. Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным

путем в рабочих днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Методика оценки приведена в [9].

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости i $t_{ож}$ используется следующая формула:

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

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы раб.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.

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

№	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы,	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работ
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	6	10	8
3	Сбор исходных данных	Дипломник	6	10	8
4	Подготовка для ввода в базу	Дипломник	6	10	8
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
6	Выбор оборудования	Дипломник	2	4	3
7	Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
8	Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	5	9	7
		Руководитель	1	3	2
1	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1
0		Руководитель	1	1	1

Вид работ	Исполнители	Раб. дни	Продолжительность выполнения работ							
			Март	Апрель			Май			Июнь
			3	1	2	3	1	2	3	1
1. Составление ТЗ	Руководитель	1	—							
2 Сбор и изучение литературы	Дипломник	8	—							
3 Сбор исходных данных	Дипломник	8		—						
4 Подготовка для ввода в базу	Дипломник	8			—					
5. Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	13			—					
	Руководитель	1				—				
6. Выбор оборудования	Дипломник	3				—				
7. Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	13					—			
	Руководитель	1						—		
8. Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	13						—		
	Руководитель	1							—	
9. Оформление пояснительной записки	Дипломник	7							—	
	Руководитель	2							—	
10. Сдача Технического проекта	Дипломник	1								—
	Руководитель	1								—

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы в разработке проекта: руководитель 7 дней, дипломник 74 дня. Общая продолжительность выполнения ВКР составила 79 рабочих дней.

6.3 Составление сметы технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на специальное оборудование;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

6.3.1 Затраты на специализированное оборудование

Стоимость специализированного оборудования ЭПЦ-4000 приведена в таблице 16.

Таблица 16 Стоимость специализированного оборудования. [10]

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, руб
Двигатель 4BP100S2	1	13185
Преобразователь частотны Веспер	1	19360
БУР 4-10М	1	30520
Редуктор ЭПЦ-4000	1	74560
Итого:		110157

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ОБ}} = C * k_{\text{тр}} \text{ где:}$$

$C_{\text{ОБ}}$ - первоначальная стоимость оборудование

C - цена оборудование

$k_{\text{тр}}$ - коэффициент на транспортные расходы.

$$110157 * 1,1 = 121 \text{ тыс. руб.}$$

6.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР

В этом разделе включена основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \text{ где:}$$

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} * T_{\text{р}}, \text{ где:}$$

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

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

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.
(таблица 1.6).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{гс}} + З_{\text{р.к}}}{F_{\text{д}}}, \text{ где:}$$

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

$Z_{допл}$ – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{р.к.}$ – районная доплата, руб

F_d – количество рабочих дней в месяце, раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 17.

Таблица 17 – Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб	Среднедневная заработная плата в день, руб	Продолжительность работ, раб. дн	Основная заработная плата, руб
Руководитель	33664	10099	43758	1683	7	11781
Дипломник	12300	3690	15990	615	74	45510
Итого $Z_{осн}$, руб.						57291

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной.

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 18.

Таблица 18. – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб
Руководитель	0,15	11781	1767	13548
Дипломник	0,12	45510	5461	50971
Итого		57291	7228	64500

6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются: обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам, органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ)

и медицинского страхования (ФФОМС), страхование от несчастных случаев; от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \text{ где:}$$

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

$k_{\text{внеб}} = 30,2 \%$ в условиях ТПУ.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 64500 = 19,5 \text{ тыс. руб.}$$

6.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, и т.д. Величину накладных расходов принимаем в размере $K_{\text{нр}}$ - 16% от общей суммы затрат.

$$\Sigma_{\text{нр}} = \Sigma Z_{\text{осн}} * K_{\text{нр}}$$

6.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. Определение затрат на технический проект приведен в таблице 19

Таблица 19 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма тыс. руб.	Структура затрат %
Материальные затраты ТП	121	40
Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	64,5	21
Отчисления во внебюджетные фонды	19,5	6
Накладные расходы	93	32
Итого	298	100

Исходя из представленной выше таблицы 1.9, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 116 тыс.руб. Большая часть (40 %) составляют затраты на спецоборудование.

6.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности [11] проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i, \text{ где:}$$

I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию асинхронного электропривода ЭПЦ-4000 рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

- Надежность асинхронного электропривода – это длительный эксплуатационный ресурс. Надежность повышает исполнение всех деталей оборудования во взрывозащищенном и влагостойком корпусе, электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием,

что в свою очередь позволяет обеспечить безаварийность и бесперебойность в работе.

- Энергосбережение асинхронного электропривода ЭПЦ-4000 – это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

- Материалоемкость асинхронного электропривода ЭПЦ-4000 – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме. При проектировании электропривода ЭПЦ-4000 нужно учитывать, что его работа является кратковременной. Поэтому подбор осуществлялся таким образом, что при тех же условия подобрать электропривод, который бы расходовал меньше энергии.

- Производительность асинхронного электропривода ЭПЦ-4000 – должна обеспечить управление рабочими органами запорной арматуры магистральных нефтепроводов. Производительность достигается за счет правильного расчета и подбора электропривода для тех условий, в которых он будет работать, и использование качественных материалов во избежание не нужных утечек.

- Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа электропривода. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется наличием минимального количества резьбовых соединений, а легкость в настройке и управлении обеспечивает частотный преобразователь

- Производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают. Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Оценка разработки
Надежность	0,25	5
Энергосбережение	0,20	5
Материалоемкость	0,15	4
Производительность	0,15	4
Удобство	0,15	5
Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	4
Итого:	1,00	4,6

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi}=5*0,25+5*0,2+4*0,15+4*0,15+5*0,15+4*0,1=4,6$$

С точки зрения коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта отметим следующее:

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5 балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережения позволяют судить о надежности системы. В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы:

- произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. Составлена диаграмма продолжительности работ, позволяющая скоординировать работу исполнителей;

- рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 288 тыс.руб. Определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,6 (по 5- балльной шкале)

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
З-5Г4А1	Кологривов Владимир Олегович

Институт	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	Частотно-регулируемый электропривод ЭПЦ-4000
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является электропривод ЭПЦ-4000 производства АО «ТОМЗЭЛ». Объект исследования применяется на запорно-регулируемой арматуре нефтепровода.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды. 2.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.	- основные требования по обеспечению безопасной эксплуатации электропривода ЭПЦ-4000 - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны, где испытываются электропривода ЭПЦ-4000 <i>Основными вредными факторами являются:</i> - Механические колебаниями твердых тел и их поверхностей, (вибрация); - Акустические колебаниями в производственной среде (шум); - Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата); - Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны). <i>Опасными факторами испытательного участка являются:</i> Возможность получения травм в следствии: а) движения машин и механизмов; б) наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
3. Экологическая безопасность:	- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок; - воспламенения изоляции в следствии повышения температуры; - разработка мер по предотвращению перегрузок

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			21.02.19

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4А1	Кологривов Владимир Олегович		21.02.19

7. Социальная ответственность

Введение.

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе электропривода ЭПЦ-4000 на испытательном участке компании АО «ТОМЗЭЛ», анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

В данном проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. 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, так как оно связано с высокой концентрацией паров горючих веществ в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин не ниже 1ExdIIBT4.[14].

Помещение цеха выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R120 [18].

Напряжение питания 220 и 380 В. Электроустановки до 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовые отношения в компании АО «ТОМЗЭЛ» регулируются "Трудовым кодексом Российской Федерации"[23], коллективным договором данного предприятия, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

В соответствии с коллективным договором и правилами внутреннего распорядка рабочим считается время, в течение которого работник обязан находиться на рабочем месте и выполнять свои трудовые обязанности.

На предприятии организован непрерывный трудовой процесс в три смены:

I смена — с 8 часов утра до 17 часов;

II смена — с 8 часов до 20 часов;

III смена — с 20 часов до 8 часов утра.

Учетным периодом при суммированном учете рабочего времени является календарный месяц. Ночной сменой при указанном режиме признается III смена.

Когда условия производства (работы) не позволяют предоставить обеденный перерыв, работодатель обязан обеспечить возможность отдохнуть и перекусить в течение рабочего времени (ч. 3 ст. 108 Трудового кодекса РФ). В данном случае работодатель организует прием пищи работниками на рабочих местах, продолжительность отдыха и питания длится не более 45-60 минут. Перечень таких работ, время начала и окончания, и место приема пищи определяются коллективным договором предприятия.

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительность 28 календарных дней предоставляется работникам в соответствии со ст. 115 ТК РФ[23]. Людям, работающим по совместительству, ежегодные оплачиваемые отпуска предоставляются одновременно с отпуском по основной работе (ст. 286 Трудового кодекса РФ)[23]. Если на работе по совместительству работник не отработал 6 месяцев, отпуск предоставляется авансом. По соглашению между работником и работодателем ежегодный оплачиваемый отпуск может быть разделен на части. При этом хотя бы одна из частей этого отпуска должна быть не менее 14 календарных дней (ст. 125 Трудового кодекса РФ)[23].

На работах с вредными условиями труда, а также на работах, связанных с загрязнением, работникам выдается бесплатно по установленным нормам специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты. В соответствии со статьей 222 Трудового кодекса Российской Федерации на работах с вредными условиями труда предоставляется бесплатно по установленным нормам лечебно-профилактическое питание.

7.2 Производственная безопасность

Таблица 21 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплу тация	
1.Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания(запыленность, загазованность).			+	ПБ 05-580-03 Правила безопасности на предприятиях по транспортировке нефтепродуктов [24]
2. Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).		+	+	Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] цеху обогащения –90дБ.
3.Акустические колебаниями в производственной среде(шум)		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума. [20]
4.Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)			+	Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]: СанПиН 2.2.4.548-96
5.Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)			+	Требуемая норма освещения Енор=200 ЛК.СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[28].

7.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомляемость. К

производственным вредным факторам на рассматриваемом производстве относятся:

- **Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (запыленность, загазованность).**

В процессе транспортировки нефтепродуктов в областях запорной арматуры в воздушной среде повышается уровень загазованности. Неблагоприятное воздействие паров нефтепродуктов на организм может быть причиной возникновения различных заболеваний: специфических (пневмокониозы, аллергические болезни) и неспецифических (хронические заболевания органов дыхания, заболевания глаз и кожи) газовые поражения. Производственные пары нефтепродуктов рассматриваемого производства относятся к третьему классу опасности (умеренно опасные). ПДК паров нефтепродуктов в воздухе рабочей зоны не должны превышать 5001-50000 мг/куб.м.[21].

- **Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).**

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Источником вибрации на производстве являются станки и испытательные стенды. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами и ГОСТом. Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ[24] цеху обогащения –90дБ.

- **Акустические колебаниями в производственной среде(шум)**

Опасности психологической группы связаны с шумом на производстве, что приводит к снижению внимания, повышению травматизма. Источниками шума являются грохоты, станки, испытательные стенды в рабочем состоянии.

- **Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)**

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.

- **Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)**

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. 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.

7.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Возможность получения травм в следствии:

А) Движения машин и механизмов

Основными причинами травмирования рабочих при испытании электроприводов являются: отсутствие ограждений у движущихся и вращающихся частей муфт, маховиков; настройка и смазка электроприводов во время их работы;

включение электропривода без предупреждения; некачественное крепление приводных и натяжных головок; нарушение производственной и технологической дисциплины (переход через испытательный стенд во время его работы, эксплуатация цепи с повышенным износом и т.п.).

Для исключения возможности получения травм работе на испытательном стенде допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и настройки электроприводов, а так же прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Б) Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

К работам по испытанию электропривода допускаются не менее двух человек по письменному разрешению руководителя. При настройке схем, замене предохранителей и т.д. необходимо использовать приборы и средства защиты, предназначенные для работ на электроустановках до 1000 В. Средства защиты, к которым относятся резиновые галоши, коврики, изоляция инструмента и т.д., должны проверяться перед каждым использованием. При испытании привода необходимо применение запрещающих и предупреждающих плакатов. Испытание электропривода осуществляется сначала на холостом ходу, а затем под нагрузкой.

Виды электротравм: местные, когда возникает местное повреждение организма: общие, так называемый электрический удар, когда

непосредственно нарушается весь организм, из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем.

Местные электротравмы – это ярко выраженное местное нарушение целостности тканей тела, в том числе костных тканей, вызванное воздействием электрического тока или электрической дуги. Чаще всего это поверхностные повреждения, т. е. поражение кожи, а иногда и других мягких тканей, а также связок и костей. Опасность местных травм и сложность их лечения зависит от места, характера и степени повреждения тканей, реакции организма на это повреждение. Как правило, местные электротравмы излечиваются, и работоспособность пострадавшего восстанавливается полностью или частично. Смерть от местных электротравм - редкий случай (обычно при тяжелом ожоге человек погибает). Причиной смерти при этом является не ток, а местное повреждение организма, вызванное током. Характерные местные электротравмы.

электроожоги – 40 %

электрические знаки – 7 %

металлизация кожи – 3 %

механические повреждения – 0,5 %

электроофтальмия – 1,5 %

Смешанные (ожоги + др. местные электротравмы) – 23 %

Элетроожог – самая распространенная электротравма. Возникает у 63 % пострадавших от электротока. 23 % (т.е. треть из них) сопровождается другими травмами. 85 % ожогов приходится на электромонтеров, обслуживающих действующие ЭУ.

7.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (запыленность, загазованность). К индивидуальным средствам защиты относятся противогазы, защитные очки, специальная одежда. Производственный

процесс относится к 1а группе (избытки явного тепла незначительны, отсутствуют значительные выделения влаги, пыли, особо загрязняющих веществ)[15].

Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация)

Снижение неблагоприятного воздействия вибрации ручных механизированных устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты, которые представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации и руками оператора.

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

Акустические колебаниями в производственной среде(шум)

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

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

Работы оператора настройки электропривода относятся к категории средней тяжести 2а (физическая средней тяжести, энергозатраты до 200 ккал/ч) [15].

Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]:

- температурой воздуха:
- в холодный период года $t=19-21^{\circ}\text{C}$;

- в тёплый период года $t=20-22\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- влажностью воздуха:
- в холодный период года 40-60 %;
- в тёплый период года 40-60%;
- 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 рабочей зоны)

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. Требуемая норма освещения $E_{\text{нор}}=200\text{ ЛК}$. 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.

7.3 Экологическая безопасность

Безотходная технология является формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий. Под понятием «безотходная технология» следует понимать комплекс мероприятий в технологических процессах, от обработки сырья до использования готовой продукции. В результате чего сокращается до минимума количество вредных выбросов и уменьшается воздействие отходов на окружающую среду до приемлемого уровня. Все отходы должны сортироваться и накапливаться для дальнейшей переработки. В этот комплекс мероприятий входят:

- создание и внедрение новых процессов получения продукции с образованием наименьшего количества отходов;
- разработка различных типов бессточных технологических систем и водооборотных циклов на базе способов очистки сточных вод;

- разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы;

- создание территориально-промышленных комплексов, имеющих замкнутую структуру материальных потоков сырья и отходов внутри комплекса.

Достигнуты успехи в области создания и внедрения безотходной технологии в ряде отраслей промышленности, однако полный перевод ведущих отраслей промышленности на безотходную технологию потребует решения большого комплекса весьма сложных технологических, конструкторских и организационных задач. Поэтому до всестороннего внедрения безотходной технологии важными направлениями экологизации промышленного производства считаются:

- совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов примесей и отходов в окружающую среду;

- замена токсичных отходов на нетоксичные;

- замена не утилизируемых отходов на утилизируемые;

- применение пассивных методов защиты окружающей среды.

Пассивные методы защиты окружающей среды включают комплекс мероприятий по ограничению выбросов промышленного производства с последующей утилизацией или захоронением отходов. К их числу относятся:

- очистка сточных вод от примесей;

- очистка газовых выбросов от вредных примесей;

- рассеивание вредных выбросов в атмосфере;

- глушение шума на путях его распространения;

- мероприятия по снижению уровней инфразвука, ультразвука и вибраций на пути их распространения;

- экранирование источников энергетического загрязнения окружающей среды;

- захоронение токсичных и радиоактивных веществ.

Потребление электроэнергии является одной из наиболее серьезных проблем охраны окружающей среды. С увеличением компьютерных систем, внедряемых в производственную сферу, увеличивается и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Рост энергопотребления влечет за собой такие экологические нарушения, как:

- изменение климата – накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект);
- загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами;
- загрязнение водного бассейна Земли;
- опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов;
- изменение ландшафта Земли.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В данном технологическом процессе может возникнуть пожар из-за короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, что приводит к воспламенению изоляционного материала.

На рабочем месте каждый электропривод оборудования должен быть оснащен защищенной аппаратурой. Должна быть предусмотрена блокировка и защита на случай короткого замыкания и перегрузок. Установлены системы предотвращения пожара и противопожарной защиты.

7.4.1 Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок

Защита электрооборудования и электрических сетей от токов короткого замыкания и значительных по величине и продолжительных перегрузок

осуществляется предохранителями с плавкими вставками и автоматическими выключателями. При выборе аппаратов защиты должны быть соблюдены следующие условия:

- номинальное напряжение предохранителя должно быть равно или больше номинального напряжения сети
- плавкая вставка предохранителя не должна плавиться при расчетном токе
- плавкая вставка не должна расплавляться при пиковых токах

7.4.2 Воспламенения изоляции в следствии повышения температуры

С физической точки зрения, источниками загорания, проявляющимися при описанных аварийных электрических режимах, являются:

- а) сильное тепловыделение при прохождении тока. Это может происходить по причине несоответствия величины протекающего тока и сечения проводника – либо за счет того, что ток слишком велик для данного штатного проводника (перегрузка) или микроканала, по которому проходит ток утечки (нагрев при не полном коротком замыкании)
- б) искры, возникающие при больших переходных сопротивлениях, а также работе коммутационных устройств другого искрящего «электрооборудования»;
- в) макродуги, возникающие при коротком замыкании;
- г) раскаленные частицы и капли расплавленного металла, образующиеся при коротком замыкании

При анализе версий обычно учитывают, что источники зажигания как правило проявляют себя не поодиночке, а в комплексе. И при коротком замыкании, и при перегрузке, и больших переходных сопротивлениях часто имеет место сочетания последовательно или параллельно протекающих физических процессов и в каждом из них в ходе развития может проявиться несколько указанных факторов:

- при металлическом коротком замыкании – электрическая дуга с присущими «опасными факторами», но, плюс к этому, может проявиться и перегрузка за счет прохождения по электрической цепи тока короткого замыкания

- при неметаллическом коротком замыкании – утечка тока, нагрев изоляции, и ее карбонизация, разложение (если она представляет собой органический материал), но, в конечном счете, дело может закончиться пробоем и электрической дугой, опять же, с присущими ей «опасными факторами» и характерными следами (дуговыми оплавлениями)

- при перегрузке – нагрев проводников на протяженном участке и более сильный – в локальных зонах БПС. Если последние присутствуют в электрической цепи, то горение при перегрузке, скорее всего, возникнет в зоне их нахождения, если там имеются соответствующие горючие материалы. Если нет, то изоляция перегруженного провода может загореться в любом другом месте. Закончиться же все может, как и в предыдущих случаях, электрической дугой и дуговыми оплавлениями.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был рассмотрен и рассчитан следящий электропривод переменного тока с учетом нелинейностей, электропривод 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 запорной арматуры. 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 реальных системах автоматического управления 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 система автоматического управления СЭП могут привести не только к количественному, но и к качественному изменению переходных процессов. Все это требует проведения дополнительных исследований по настройке реальной система автоматического управления СЭП.

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. Скворцов 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. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
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 ■ИМЛ100S2 (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