

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

Институт Электронного обучения
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электропривод электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод главного движения токарного многорезцового полуавтамата.

УДК 62-83-523:621.941.23

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Абдуваитов Сардор Абдусаид угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф. ЭПЭО	Дементьев Ю.Н.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко А.А.	К.Э.Н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и БЖД	Король И.С.	К,Х Н. доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Дементьев Ю.Н.	К.Т.Н.		

Томск – 2017 г.

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

Институт Энергетический Направление подготовки 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»
 Кафедра Электропривод и электрооборудование

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Дементьев Ю.Н.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Б1	Абдуваитов Сардор Абдусаид угли

Тема работы:

Асинхронный электропривод главного движения токарного многорезцового полуавтомата.
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №3418/с от 16.05.2017
---	------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объектом исследования является регулируемый электропривод горизонтально-фрезерного станка на основе двигателя переменного тока. В качестве исходных данных представлены:</i> <i>Напряжение питающей сети, В – 380</i> <i>Частота питающей сети, Гц – 50</i> <i>Диапазон регулирования – 1:100</i> <i>Электропривод реверсивный</i> <i>Предусмотрена защита от перегрузок и коротких замыканий</i> <i>Перерегулирование скорости не более 10%</i> <i>Время регулирования скорости не более 6с</i></p>
<p>проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования,</i></p>	<p><i>- постановка задачи проектирования;</i> <i>Асинхронный электропривод, модернизация электропривода токарного многорезцового полуавтомата</i> <i>- детальное рассмотрение выбора типа преобразователя и способа регулирования скорости;</i> <i>- расчет и построение естественной механической и</i></p>

<p>проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>электрохимической характеристики электродвигателя; - обсуждение результатов выполненной работы; - разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; - разработка раздела «Социальная ответственность»;</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>- Структурная схема силового канала электропривода; - Имитационная модель линеаризованного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД в стационарной системе координат.; - Переходная характеристика контура тока, контура скорости.</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фигурко А.А.
«Социальная ответственность»	Король И.С.
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Не предусмотрено</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заф.каф. ЭПЭО	Дементьев Ю.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Абдуваитов С.А.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Б1	Абдуваитов Сардор Абдусайд угли

Институт	ЭНИН	Кафедра	ТПТ
Уровень образования	Бокалавр	ЭПОЭ	Электротехника и электроэнергетика

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

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, и человеческих.	Стоимость материальных затрат, оплаты труда, прочие затраты.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.	Отчисления на социальные нужды () и амортизационные отчисления.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Расчёт затрат на проектирование систем отопления и вентиляции.
2. Определение прибыли и договорной цены проекта отопления и вентиляции.
3. Технико-экономический расчёт системы отопления.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Расходы на этапе проектирования на материальные затраты.
2. Расходы на этапе проектирования на заработную плату.
3. Смета затрат.
4. Смета наличных капитальных затрат.
5. Результаты расчёта приведённых затрат.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Фигурко А. А.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Абдуваитов С.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Б1	АбдуваитовСардорАбдусаид угли

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p> <p>Асинхронный электропривод, модернизация электропривода токарного многоорецовогополуавтамата, ремонтный цех, электротехники промышленныйпредприятия металлорежущий станка.</p>	<p><i>Асинхронный электропривод, модернизация электропривода токарного многоорецового полуавтомата, ремонтный цех, электротехники промышленный предприятия металлорежущий станка.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; • действие фактора на организм человека; • приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); • предлагаемые средства защиты; • (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • механические опасности (источники, средства защиты); • термические опасности (источники, средства защиты); • электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); • пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Выявленные вредных факторов</i> <p>Шум .ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ Общие требования безопасности</p> <ul style="list-style-type: none"> - допустимые уровни шума шума до– 60 дБ - глушители аэродинамического шума.наушники, беруши, противошумные каски, специальная одежда <p>Пыль СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование</p> <p><i>воздуха используется общеобменная, механическая приточно-вытяжная вентиляция. в атмосферу используются пылеотделители</i></p> <p>Освещение - СП 52.13330.2011Естественное и искусственное освещение дуговые ртутные лампы (ДРЛ).</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Выявленные опасных факторов в электроснабжение машиностроительного завода</i> <p>токарные станки- соблюдения внутреннего трудового распорядка ОТ и ТБ, оградить доступность к рабочий зоне.</p> <p>термическое поражение при контакте с частями электроустановок (печь, установка высокочастотная ТВЧ</p> <ul style="list-style-type: none"> -соблюдения внутреннего трудового распорядка ОТ и ТБ <p>Электробезопасность - ГОСТ 12.1.038–82 ССБТО Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов оградить токоведущих частей на недоступную высоту , изоляция токоведущих частей, исправность защитного заземления на токарных станках на данном рабочем помещении</p> <p>Пожарная безопасность - Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности категории «Д»</p> <ul style="list-style-type: none"> - план эвакуации людей - пожарная сигнализация

	- ответственный, регулирующий действиями рабочего персонала в случае возгорания и указывающий места пожарной техники.
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> • защита селитебной зоны • анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); • анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); • анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); • разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p><i>Воздействие на окружающую среду; в нашей работе вредных выбросов в атмосферу нет, предприятия не наносят вред окружающей среде и опасности общества</i></p> <p><i>Для соблюдения экологической безопасности Удаление отходов необходимо предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).</i></p>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • выбор наиболее типичной ЧС; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p><i>Возможные наиболее типичной ЧС является пожар</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - проведение инструкции по пожарной безопасности в предприятие - цеха предприятия должны быть оборудованы первичными средствами пожаротушения, - оборудованы противопожарной сигнализацией, - план эвакуации работников при пожаре, - назначении ответственного лица в ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> • специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; • организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в установленном порядке. Первичное обучение рабочих безопасным методам и приемам труда обучаются руководителями и специалистами обучения проводится в организациях (учебных центрах), имеющих соответствующую лицензию. Федеральная служба по труду и занятости. В ее структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда Узбекистана.</i></p> <p><i>- общие правовые нормы согласно ТК РФ ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</i></p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король И.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Абдуваитов С.А.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 109стр, 55рис, 17табл, 22 источников, прил.

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИВОД, МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЙ СТАНОК, РЕЖИМ РЕЗАНИЯ, ПОЛУАВТОМАТ, КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА.

Цель работы – провести расчет и исследование модернизированного электропривода главного движения токарного многорезцового полуавтомата.

В работе произведен выбор асинхронного двигателя (АД), преобразователя частоты и способа управления скоростью АД.

Сделан расчет параметров двигателя, преобразователя, механической системы электропривода станка, предельных характеристик.

Анализ показателей качества подтвердил правильность рассчитанных параметров и их соответствие заданным.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС	12
1.1 Общие сведения о процессе резания металлов.....	13
1.2 Силы резания.....	15
1.3 Выбор режима резания	17
1.4 Общие сведения о металлорежущих станках.....	18
1.4.1 Классификация металлорежущих станков	18
1.4.2 Обозначение станков.....	19
1.4.3 Токарно-револьверные станки	20
1.4.4 Токарно-карусельные станки.....	21
1.4.5 Многорезцовые токарные полуавтоматические станки	22
1.4.6 Многорезцовые токарные полуавтоматические автоматы	23
2. ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ, РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОЙ ЦЕПИ	29
2.1 Выбор электродвигателя	29
2.2 Выбор типа преобразователя и способа регулирования скорости .	31
2.3 Структурная схема силового канала электропривода	33
2.4 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода	34
2.5 Расчет предельных характеристик разомкнутой системы преобразователь – двигатель. Проверка обеспечения заданной области работы электропривода	37
3. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ РЭП ⁵	45
3.1. Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ РЭП частотно – регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением	45
3.2 Оптимизация контуров регулирования	47
3.2.1 Оптимизация контура тока с инерционной обратной связью и ПИ- регулятором.....	47
3.2.2 Оптимизация контура скорости с инерционной обратной связью	56
3.2.3 Оптимизация контура скорости с ПИ – регулятором.....	60
3.2.4 Отработка контуром скорости возмущающих воздействий	66
4 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА НЕЛИНЕЙНОЙ САУ РЭП ЧАСТОТНО – РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	71
4.1 Расчет статических характеристик электропривода с векторном управлении.....	74
4.2 САР потокосцепления	75
4.3 Расчет статических характеристик частотно-регулируемого однозонного асинхронного электропривода с векторным управлением	77
4.4 Режим стабилизации тока	80
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	85
5.1 Организация ПНР.....	86

5.2 Структура проведения ПНР	87
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	92
6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	92
6.1.1 защита от шума	93
6.1.2 воздух рабочей зоны	93
6.1.3 освещение	94
6.1.2.1 электробезопасность	94
6.1.2.2 пожарная безопасность	96
6.2 Охрана окружающей среды	98
6.3 Чрезвычайные ситуации	99
6.4 Правовые и организационные безопасность	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	102
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	104
Приложение А.....	106
Приложение Б	107
Приложение В	108
Приложение Г	109

ВВЕДЕНИЕ

Металлорежущие станки являются основным видом заводского оборудования, предназначенного для производства современных машин, приборов, инструментов и других изделий, поэтому количество и качество металлорежущих станков, их техническая оснащенность в реальной степени характеризует производственную мощь страны.

Развитие вычислительной техники позволило создать высокопроизводительные металлорежущие станки с программным управлением, в том числе с автоматической сменой инструмента.

Для металлорежущего оборудования, выпускаемого в настоящее время, характерно быстрое расширение сферы применения числового программного управления с использованием микропроцессорной техники. Особое значение приобретает создание гибких производственных систем, благодаря неограниченным возможностям которых, без участия оператора можно выполнять функции управления технологическими процессами, профилактической диагностикой, самоналадки для поддержания регламентированных параметров процессов обработки, управления контрольно-измерительной и другими вспомогательными операциями, а так же осуществлять планирование.

На современном этапе технического развития существенно возрастает роль автоматизированного электропривода, который в значительной степени определяет прогресс в областях техники и технологии.

Непрерывное развитие хозяйства ставит перед конструктором, проектирующим новый металлорежущий станок, все более высокие требования к качеству станка. Основными критериями качества являются: безопасность и легкость обслуживания; точность работы; эксплуатационная надежность; производительность; себестоимость; материалоемкость; технологичность; уровень эксплуатационных расходов.

Осуществление в массовых масштабах автоматизации в машиностроении

в значительной мере определяется возможностью автоматизации процессов обработки на станках.

Все большую роль играют и вопросы точности станков, что связано с расширением производства точных приборов, повышением быстроходности и мощности машин, долговечность и надежность которых во многом определяется точностью изготовления деталей.

Очевидно, что в этих условиях становится настоятельно необходимым сочетание высокой точности и принципов автоматического управления, как важнейшей предпосылки повышения производительности труда на участках производства точных деталей, где занята наиболее квалифицированная рабочая сила.

Таким образом, автоматизация охватывает все больше и больше типов и моделей станков, в том числе универсальных и точных, которые должны вытеснить в производстве станки с ручным управлением.

В этих условиях все вопросы конструирования станков должны рассматриваться в тесной связи с проблемами автоматизации.

Целью данной выпускной квалификационной работы является проведение исследования и расчета модернизированного электропривода главного движения токарного многорезцового полуавтомата.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Обработка металлов и других конструкционных материалов резанием на металлорежущих станках — весьма распространенный производственный процесс, назначением которого является придание заготовкам с помощью режущего инструмента правильной геометрической формы, требуемых размеров и чистоты поверхности.

На большинстве машиностроительных заводов трудоемкость обработки резанием составляет 45—60% от общей трудоемкости изготовления машин, и поэтому совершенствование технологии резания металлов является актуальной народнохозяйственной задачей.

Изучение закономерностей явлений, связанных с резанием металлов, конструкцией режущих инструментов металлорежущих станков, необходимо не только для сознательного управления процессами резания, но и для проектирования более совершенных технологических процессов изготовления деталей машин и приборов.

Виды, обработки металлов резанием различаются между собой конструкцией используемого режущего инструмента и характером относительных движений, совершаемых инструментом и обрабатываемой заготовкой на металлорежущем станке (таблица 1.1).

Таблица 1.1— Характер движения при некоторых способах обработки

Способ обработки	Наименование режущего инструмента	Характер движения		Траектория относительного движения
		Режущего инструмента	обрабатываемой заготовки	
Точение (токарный станок)	Проходной резец	Поступательное прямолинейное, параллельно оси заготовки	Вращательное	Винтовая линия
Точение (токарный станок)	Отрезной резец	Поступательное прямолинейное, перпендикулярно оси заготовки	Вращательное	Архимедова спираль

Продолжение таблицы 1.1

Способ обработки	Наименование режущего инструмента	Характер движения		Траектория относительного движения
		режущего инструмента	обрабатываемой заготовки	
Строгание (продольно-строгальный станок)	Строгальный резец	Неподвижен в процессе резания. Периодическая поступательная подача	Прямолинейное, возвратно-поступательное	Прямая линия
Протягивание (протяжной станок)	Протяжка	Поступательное прямолинейное	Неподвижна	Прямая линия
Сверление, зенкерование, развертывание (сверлильный станок)	Сверло, зенкер, развёртка	Вращательное и поступательное	Неподвижна	Винтовая линия
Сверление (токарный станок)	Сверло	Поступательное	Вращательное	Винтовая линия
Фрезерование (фрезерный станок)	Фреза	Вращательное	Поступательное	Циклоида

1.1 Общие сведения о процессе резания металлов

Общие понятия и определения [5] рассмотрены на примере точения.

На обрабатываемой заготовке при снятии с нее стружки (рисунок 1.1) различают обрабатываемую поверхность, с которой срезается стружка; обработанную поверхность, с которой срезана стружка; поверхность резания, образованную главным режущим лезвием резца.

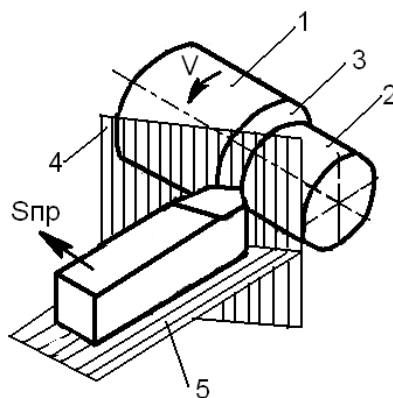


Рисунок 1.1 – Координатные плоскости и поверхности обрабатываемой заготовки (1 – обрабатываемая поверхность; 2 – обработанная поверхность; 3 –

и поверхность резания; 4 – плоскость резания; 5 – основная плоскость; S_{np} – продольная подача)

За координатные плоскости принимают плоскость резания 4, касательную к поверхности резания и проходящую через главное режущее лезвие резца, и основную плоскость 5, параллельную направлениям продольной и поперечной подач.

В случае токарной обработки главное движение — вращение заготовки, а движение подачи — поступательное перемещение резца.

Скорость резания v (м/мин) — это скорость перемещения точки режущего лезвия инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки в направлении главного движения. Ее определяют по формуле

$$v = \pi D n / 60 \quad (1.1)$$

Здесь D – диаметр заготовки, мм (по обрабатываемой поверхности);

n – число оборотов заготовки в мин.

Подача S (мм/об) – это перемещение инструмента в направлении движения подачи за один оборот заготовки.

Различают также минутную подачу $S_{мин} = S$ – перемещение инструмента за одну минуту.

Глубина резания t (мм) – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное в направлении, перпендикулярном к последней, за один проход:

$$t = (D - d) / 2 \quad (1.2)$$

где d – диаметр заготовки по обработанной поверхности, мм. Величины S и t определяют номинальную площадь поперечного сечения срезаемого слоя металла

$$f = tS \quad (1.3)$$

Объем металла, срезаемый за одну минуту:

$$G = vSt \quad (1.4)$$

Основное (технологическое) время обработки поверхности заготовки определяют из выражения

$$T_0 = Lh / nSt \quad (1.5)$$

где L – путь перемещения инструмента при обработке поверхности

заготовки за один проход; h – припуск на сторону. Отношение $h/t = i$ – число проходов.

Толщиной срезаемого металла a называется расстояние между двумя последовательными положениями главного режущего лезвия инструмента за время одного полного оборота заготовки. Ширина срезаемого слоя b – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по поверхности резания. Толщина a и ширина b срезаемого слоя могут быть выражены через S и t (см. рисунок 1.2):

$$a = S \cdot \sin \varphi \quad (1.6)$$

$$b = t / \sin \varphi \quad (1.7)$$

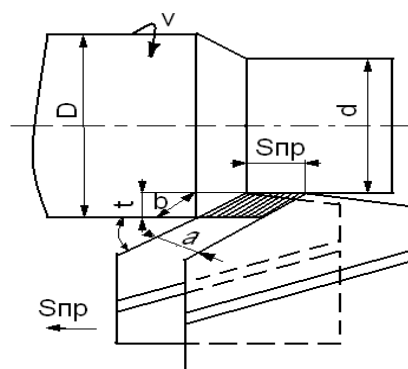


Рисунок 1.2 – Элементы резания и геометрия срезаемого слоя и геометрия срезаемого слоя.

Тогда площадь поперечного сечения срезаемого слоя равна

$$f = tS = ab \quad (1.8)$$

Приведенные соотношения показывают, что при неизменных t и S можно изменять форму поперечного сечения срезаемого слоя металла за счет изменения величины главного угла в плане.

1.2 Силы резания

Сопrotивление металла срезанию преодолевается силой резания. Работа силы резания затрачивается на упруго-пластическую деформацию металла и отрыв элемента стружки от основной массы металла, а также на преодоление трения на контактных поверхностях режущего инструмента.

В общем случае сила резания является равнодействующей сил

нормального давления и сил трения, приложенных к рабочим поверхностям инструмента.

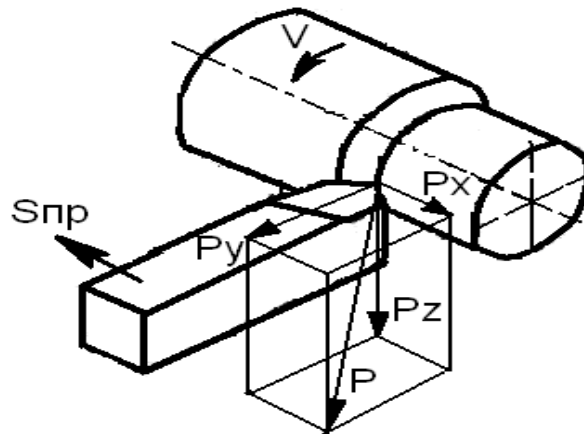


Рисунок 1.3 – Силы резания при точении

Для решения практических задач равнодействующую силу резания P заменяют ее составляющими как это показано на рисунке 1.3 для случая точения. Направление составляющих сил совпадает с движениями, совершаемыми на станке. Сила P_z – главная составляющая сила резания направлена по касательной к поверхности резания в направлении главного движения. Ее называют вертикальной или тангенциальной силой. По величине силы P_z определяют эффективную мощность резания и крутящий момент на обрабатываемой заготовке:

$$N_{рез} = P_z v / 60, M_{рез} = P_z D / 2 \quad (1.9)$$

где D – диаметр обрабатываемой заготовки. Момент резания воспринимается механизмом главного вращательного движения станка и используется при расчете этого механизма на прочность.

Сила P_y – радиальная составляющая сил резания, направлена перпендикулярно оси обрабатываемой заготовки.

Сила P_x – осевая составляющая силы резания – направлена параллельно оси заготовки. Она нагружает механизм продольной подачи – коробку подач и фартук станка.

Силы резания существенно зависят от условий резания и физико-механических свойств обрабатываемого материала. На практике их

определяют в каждом отдельном случае экспериментально.

Большое влияние на силы резания оказывают размеры срезаемого слоя, определяемые подачей и глубиной резания; с их увеличением силы резания возрастают.

Силы резания зависят также от геометрии режущей части инструмента. С увеличением угла резания все три составляющие силы возрастают. Более интенсивно растут силы P_y и P_x . С увеличением главного угла в плане до 60° сила резания P_z уменьшается, а при дальнейшем увеличении его несколько возрастает. Сила P_x растет, а сила P_y уменьшается с увеличением главного угла. Силы P_x и P_y возрастают с увеличением радиуса закругления режущего лезвия. По мере износа резца силы резания возрастают, особенно силы P_y и P_x . Применение смазывающе-охлаждающих жидкостей позволяет уменьшить значение силы резания на 15—30%.

Для определения величины сил резания используются экспериментальные формулы

$$P_z = C_p t^{X_p} S Y_p V^n K_\mu K_\delta K_\phi K_r \quad (1.10)$$

где C_p — удельная сила резания, зависящая от механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов. Коэффициенты $K_\mu K_\delta K_\phi K_r$ учитывают изменение условий резания в сравнении с заданными при определении C_p . Значения C_p , показателей степени X_p, Y_p и коэффициентов $K_\mu K_\delta$ и т. д. приводятся в справочниках.

1.3 Выбор режима резания

После того как определены оптимальная геометрия инструмента и его материал, выбирают режим резания. Величины v , S и t назначают такими, чтобы наиболее полно использовать режущие свойства инструмента и возможности металлорежущего станка.

Вначале задаются глубиной резания, так как она меньше всего влияет на стойкость инструмента. При выборе глубины резания стремятся снять припуск на обработку за один проход, оставляя лишь небольшую часть его для

последующей чистовой обработки.

Далее выбирают подачу, также стремясь принять ее возможно большей с учетом технологических ограничений: чистоты обработанной поверхности, прочности и жесткости заготовки и инструмента.

При принятых глубине резания и подаче, заданной стойкости и прочих условиях резания определяют скорость резания по расчетным эмпирическим формулам. Скорость резания, оказывающую наибольшее влияние на стойкость инструмента, выбирают такой, чтобы стойкость инструмента была близка к оптимальной. По полученному значению скорости резания определяют необходимое число оборотов шпинделя станка.

Производительность процесса резания зависит от скорости резания, подачи, глубины резания. Увеличение глубины резания ограничено припуском на обработку, который по мере совершенствования заготовительных операций непрерывно уменьшается. Увеличение подачи ограничено требованиями к точности формы и размеров изделия, чистоты обработанной поверхности.

С увеличением скорости резания точность формы и чистота обработанной поверхности улучшаются, но резко снижается стойкость инструмента.

Чтобы стойкость инструмента оставалась неизменной при увеличении скорости резания, используют современные износостойкие материалы, применяют режущий инструмент с оптимальной геометрией.

1.4 Общие сведения о металлорежущих станках

1.4.1 Классификация металлорежущих станков[7]

Станки классифицируют по характеру производимой обработки, по степени универсальности, по точности и весу[7].

В соответствии с классификационной таблицей станки по характеру производимой обработки подразделяются на 9 групп в каждой группе предусмотрены девять типов.

Станки одного типа могут отличаться компоновкой (например: фрезерные, горизонтальные, вертикальные), системой управления (полуавтоматы, автоматы), размерами и др.

Стандартами установлены основные размеры, характеризующие станки каждого типа. Для токарных и круглошлифовальных станков - это наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, для сверлильных станков – наибольший условный диаметр сверления, для фрезерных станков – размеры стола, на который устанавливают заготовку или приспособление, для токарно-револьверных станков – наибольший диаметр прутка, из которой изготавливают детали.

Группа однотипных станков, имеющих сходную компоновку, кинематику и конструкцию, но разные основные размеры, составляет размерный ряд.

По степени универсальности станки подразделяются на станки общего назначения, специализированные и специальные.

Станки общего назначения, универсальные, широкоуниверсальные предназначены для обработки деталей широкой номенклатуры и применяются преимущественно в единичном и мелкосерийном производстве.

Специализированные станки предназначены для обработки деталей ограниченной номенклатуры, например: корпусных деталей, ступенчатых валов, сходных по форме, но различных по размеру.

По степени точности станки разделяют на пять классов: Н – станки нормальной точности, П – станки повышенной точности, В – станки высокой точности, А – станки особо высокой точности, С – особоточные, или мастер-станки.

По массе различают станки легкие (до 1 т), средние (до 10 т) и тяжелые (свыше 10 т). Тяжелые, в свою очередь, делят на крупные (10-30 т), собственно тяжелые (30-100 т) и особо тяжелые, уникальные (более 100 т).

1.4.2 Обозначение станков

Модель станка обозначают тремя или четырьмя (иногда с добавлением

букв) цифрами. Первая цифра означает группу станка, вторая - его тип, третья цифра или третья и четвертая цифры отражают основной размер станка.

Например, станок 2Н125: цифра 2 означает, что станок относится ко второй группе – сверлильный; И – модернизированный; цифра 1 указывает на принадлежность станка к первому типу – вертикально-сверлильный; последние две цифры означают наибольший условный диаметр сверления (25 мм). В обозначение модели может входить буква, характеризующая точность станка: 16К20П – токарно-винторезный станок повышенной точности.

Станки с – числовым программным управлением (ЧПУ) в обозначении имеют букву Ф, а цифра за ней указывает на то, какая система ЧПУ используется.

1.4.3 Токарно-револьверные станки

Эти станки отличаются от универсальных, токарно-винторезных тем, что имеют вместо задней бабки продольный суппорт с револьверной головкой, в которой в определенной последовательности закрепляют различные инструменты. Станки предназначены для обработки заготовок сравнительно сложной формы при использовании большого количества инструментов. Можно обрабатывать детали из пруткового проката, а также литые, кованные и штампованные заготовки.

Благодаря большой степени механизации вспомогательных движений, снижению затрат времени на смену инструмента, одновременной работе нескольких инструментов револьверные станки более производительны, чем токарные, однако, сложность наладки оправдывает их использование лишь в серийном производстве.

По конструкции револьверные станки подразделяют на две группы: с вертикальной осью револьверной головки, чаще всего шестигранной, и с горизонтальной осью, как правило, с круглой головкой.

Общий вид токарно-револьверного станка с вертикальной осью револьверной головки показан на рисунке 1.4.

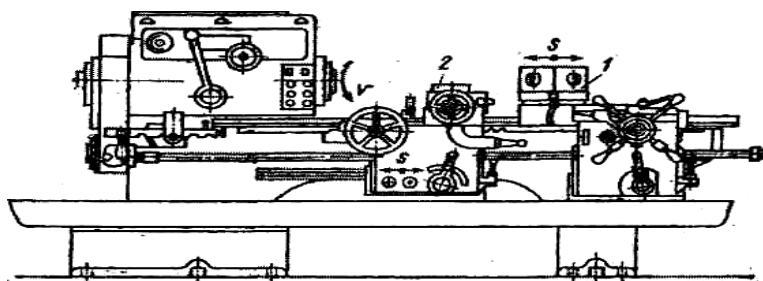


Рисунок 1.4 – Токарно-револьверный станок.

Поворотная револьверная головка смонтирована на продольном суппорте и вместе с ним совершает поступательное движение, ускоренное для подвода и отвода инструмента, и рабочее движение подачи в процессе резания.

После окончания обработки одним инструментом револьверная головка вместе с продольным суппортом возвращается в исходное положение и поворачивается для включения в работу следующего инструмента. Станок снабжен настраиваемыми упорами, которые ограничивают перемещение продольного суппорта с револьверной головкой и поперечного суппорта.

1.4.4 Токарно-карусельные станки

Токарно-карусельные станки предназначены для обработки крупногабаритных заготовок типа маховиков шкивов, дисков, у которых отношение высоты к диаметру не превышает 0,4 - 0,7, Карусельные станки с планшайбой диаметром до 1,6 м выпускают одностоечными и двухстоечными, если диаметр планшайбы больше 2 м. На рисунке 1.5 показан общий вид двухстоечного токарно-карусельного станка. Станок состоит из планшайбы 12, смонтированной на станине 1, и стоек 2, соединенных между собой поперечиной 6. По вертикальным направляющим стоек перемещается траверса 3. Движение траверсы — установочное S_y , т. е. ее устанавливают в зависимости от высоты заготовки. На траверсе установлены верхний суппорт 5 с коробкой подач 4 и револьверный суппорт 7 с револьверной головкой 8 и коробкой подач 9. Коробки подач имеют независимый привод. На правой стойке установлен боковой суппорт 10 с коробкой подач 11. Каждый из суппортов имеет вертикальную S_B и горизонтальную подачу S_r .

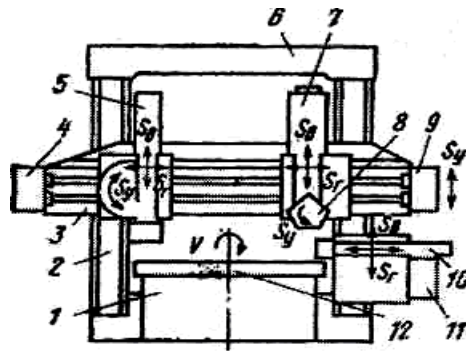


Рисунок 1.5 – Двухстоечный токарно-карусельный станок.

1.4.5 Многолезцовые токарные полуавтоматические станки

Эти станки используются чаще всего для обработки деталей типа ступенчатых валов. Они отличаются от обычных токарно-винторезных станков наличием нескольких суппортов и специальных резцедержателей, позволяющих проводить обработку одновременно несколькими резцами. Наладку резцов производят так, чтобы каждый резец обрабатывал определенный участок заготовки. Одновременная параллельная и последовательная работа резцов значительно ускоряет процесс Обработки. Этому способствует также работа станка по полуавтоматическому циклу, так как у него автоматизированы все главные и вспомогательные движения.

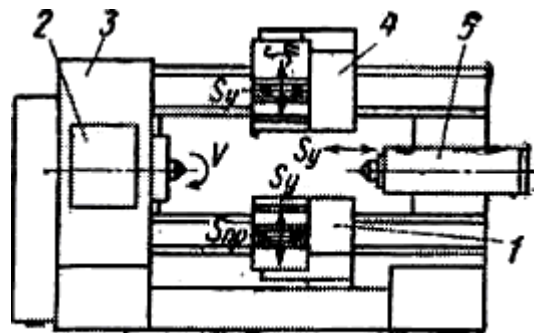


Рисунок 1.6 – Общий вид многолезцового токарного полуавтомата.

На рисунке 1.6 показан общий вид многолезцового токарного полуавтомата. На продольных направляющих станины смонтирован верхний суппорт 4, который осуществляет поперечное перемещение резцов S_x и установочное продольное перемещение S_y .

Нижний суппорт 1 осуществляет продольное перемещение резцов S_{np} и установочное поперечное перемещение. Заготовка закрепляется в центрах:

переднем, который устанавливается в шпинделе коробки скоростей 2, размещенной в передней бабке 3, и заднем, установленном в пиноли задней бабки 5. Крутящий момент заготовке передает закрепленный на переднем конце шпинделя зажимной патрон.

1.4.6 Многорезцовые токарные полуавтоматические автоматы

Данный многорезцовый полуавтомат [6] предназначен для токарной обработки поверхностей деталей одновременно несколькими резцами, установленными на передний и задний суппорты. Полуавтомат применяется в условиях массового или крупносерийного производств, для обработки деталей в центрах, либо зажатых в кулачки патрона. Особо эффективно обрабатываются на многорезцовых полуавтоматах многоступенчатые валы.

Общий вид и компоновка полуавтомата показаны в приложение А.

Основные узлы полуавтомата: станина 11, передняя бабка 3, задняя бабка 8, передний суппорт 6, задний суппорт 12, шкаф 10 пневматики, шкаф 2 с электрооборудованием, коробка подач 14, коробка 13 автоматике.

Кинематическая схема станка (Приложение Б, В)

Движения в станке: основные — главное движение; подачи — продольная переднего суппорта и поперечная заднего суппорта; вспомогательные — быстрое перемещение суппортов, перемещение суппортов вручную.

Кинематическая цепь привода главного движения. Вращение шпинделя III осуществляется от электродвигателя М1 через клиноременную передачу, сменные зубчатые колеса и конические зубчатые колеса $z=26$ и $z=78$.

Кинематическая цепь продольной подачи переднего суппорта. Движение на передний суппорт поступает от зубчатого колеса $z=54$ на левом конце шпинделя III полуавтомата.

Ходовой винт XI перемещает гайку и передний суппорт 6 в продольном направлении. Гайка от вращения удерживается зубчатой передачей с коническими колесами $z=42$, $z=25$ и двусторонней обгонной тормозной муфтой МфЗ.

Кинематическая цепь поперечной подачи заднего суппорта. Поперечная подача заднего суппорта осуществляется от зубчатой рейки 7 (Приложение В), закрепленной на переднем суппорте через зубчатое колесо $z=15$, конические колеса $z=25$, $z=25$, $z=28$, $z=22$, сменные зубчатые колеса e, f на барабанный кулачок 8 с шагом $t=74$ мм.

Кинематические цепи ускоренного перемещения суппортов. Ускоренные перемещения суппортов осуществляются от отдельного электродвигателя М2 через муфту обгона Мф2 и зубчатые колеса $z=20$ и $z=78$.

Направление перемещения суппортов зависит от направления вращения электродвигателя М2.

Перемещение суппортов вручную производится маховиком 2. При его вращении выступы диска 3, связанного с маховиком, расклинивают ролики 4 и вращают звездочку 5, конические колеса $z=25$, $z=42$ и гайку. При этом гайка вместе с суппортом перемещается по винту $P=10$ мм. Вместе с передним суппортом перемещается и зубчатая рейка 7, сообщающая движение заднему суппорту.

В цепи привода подач суппортов установлена предохранительная муфта Мф1. Она настраивается на передачу крутящего момента $M_{кр}=22,5$ Нм ($M_{кр}=2,3$ кгс-м), что соответствует наибольшей силе подачи переднего суппорта 34 300 Н (3500 кгс) и заднего суппорта 9810 Н (1000 кгс).

Конструкция и характеристика работы основных узлов станка

На станине 11 (Приложение А) смонтированы узлы и механизмы полуавтомата. В многорезцовых полуавтоматах станина имеет более жесткую конструкцию, чем у других токарных станков. Это обеспечивает высокую точность станка при обработке заготовки одновременно несколькими резцами.

В передней бабке 3 помещен шпиндель станка, а на передней стенке — пульт управления 5 и крышка 4, закрывающая сменные колеса.

Задняя бабка 8 имеет пневматический цилиндр 9, шток которого перемещает пиноль 7 и задний центр.

Коробка подач 14 служит для расположения в ней механизмов подач и

электродвигателя ускоренных перемещений суппортов. Под крышкой 1 помещены сменные колеса, устанавливаемые при настройке механизма подачи.

На передний суппорт 6 устанавливаются все резцы, работающие на продольных подачах и предназначенные для обточки цилиндрических, а иногда конических или фасонных поверхностей деталей (Приложение А).

Передний суппорт (Приложение Г) состоит из каретки 7, салазок 11, ползуна 14 и кронштейна 1. Кронштейн 1 крепится на направляющих станины 18 и удерживает копирную линейку 2 в неподвижном положении. Верхняя часть направляющих состоит из стальной закаленной планки 17, укрепленной на станине.

При движении каретки неподвижная копирная линейка 2 опирается нижней стороной на поверхность Γ каретки, а боковой стороной на промежуточные линейки 5 и 6, которые расположены между выступом в каретки и копирной линейкой 2. На каретке 7 имеются поперечные направляющие, по которым в поперечном направлении перемещаются салазки 11. Салазки соединены с ползуном 14 с помощью винта 12 и стопорного винта 13. На ползуне находится ось 15, на которой вращается ролик 16. Под действием пружины 9 салазки, ползун и находящиеся на нем ось и ролик перемещаются влево. Поэтому ролик 16 всегда прижат к поверхности копирной линейки 2. Сила давления пружины 9 регулируется винтом 10.

Во время цикла обработки каждой заготовки передний суппорт совершает по траектории 1—2—3—4—5—6—7—8 (Приложение Д) следующие движения:

а) при быстром подводе суппорта в направлении стрелки *Л* ролик 14 катится по профилю а—б—в копирной линейки 10. При положении ролика 14 на участке а—б линейки 10 салазки 11 (Приложение Г) и резцы отведены от заготовки. При движении ролика 14 на участке б—в линейки 10 (Приложение Д) происходит поперечное перемещение в направлении стрелки *Б* ползуна 14 (Приложение Г), салазок 11 и резцов и быстрый подвод резцов к поверхности обрабатываемой заготовки;

б) при нахождении ролика в точке в (Приложение Д) механизм автоматического управления станком выключает ускоренное движение суппорта и на участке в—г—д суппорт перемещается с установленной при наладке станка величиной продольной подачи.

При движении ролика 14 на участке в—г происходит медленное врезание резцов в тело обрабатываемой заготовки, а при движении на участке г—д — обработка цилиндрических поверхностей заготовки одновременно всеми резцами. Вместе с суппортом перемещаются промежуточные линейки 11 и 12 в положении, указанном на рис. 19, в;

в) при подходе ролика 14 к точке Д копирной линейки 10 линейка 12 наезжает на упор 13 и сдвигается относительно линейки 11. При этом три выступа ж линейки 12 попадают во впадины линейки 11, по этому суммарная толщина этих двух сложенных вместе линеек уменьшается и пружина 9 (Приложение Д) отводит салазки 11 с резцами, ролик 16 и копирную линейку 2 на величину выступов ж линейки 12 (Приложение Г). Происходит «отскок» резцов от обработанных поверхностей детали (участок 4—5 на траектории).

Для того чтобы при движении суппорта линейка 11 (Приложение Д) не сдвигалась, на каретке помещен штифт В, входящий в поперечный паз этой линейки (Приложение Г);

г) быстрый обратный ход суппорта включается автоматически после того, как произойдет «отскок» резцов. При быстром обратном ходе режущие кромки резцов перемещаются по аналогичной траектории, но в отведенном от обработанной поверхности положении. На участке траектории 8—1 линейка 12 наезжает на упор 9 и смещается относительно линейки 11 в положение, при котором выступы ж линейки 12 расположатся на выступах е линейки 11. В результате салазки с резцами возвращаются в исходное положение. При таком положении передний суппорт останавливается.

При обработке каждой следующей детали цикл движений переднего суппорта повторяется.

Для обработки на полуавтомате фасонных или конических поверхностей деталей копирная линейка 10 (Приложение Д), поставляемая со станком, должна быть заменена специальной копирной линейкой с профилем, соответствующим профилю обрабатываемой поверхности детали.

Поперечное перемещение салазок 11 (Приложение Г) и всех установленных на них резцов можно производить вручную, вращая маховик 4 и винт 12 при отпущенном винте 13.

Маховик 3 служит для перемещения вручную переднего суппорта в продольном направлении. Одновременно перемещается и задний суппорт, но в поперечном направлении.

На заднем суппорте устанавливаются резцы, работающие на поперечных подачах. Эти резцы предназначены для подрезки торцов, для проточки канавок, снятия фасок и обработки небольших по ширине фасонных поверхностей. Подача суппорта и его отвод производится барабанным кулачком 8 (Приложение В) при его повороте в одну и в другую сторону.

В коробке автоматики 13 (Приложение А) расположено устройство автоматического управления циклом работы полуавтомата. Управление производится кулачками 4, 7 и 8, установленными на диске 9 (Приложение Б).

Диск 1 с кулачками (Приложение В) установлен на валу XII и получает вращение через зубчатое колесо $z=15$ при перемещении зубчатой рейки 7 переднего суппорта.

В конце быстрого хода суппорта кулачок 7 (Приложение Г) нажимает на ролик 5 и переключатель 6 выключает вращение электродвигателя. М2 (Приложение В). Быстрый подвод переднего суппорта прекращается и он в дальнейшем перемещается с установленной рабочей подачей. Происходит обработка поверхностей заготовки одновременно резцами переднего и заднего суппортов.

Подача суппортов продолжается до момента, когда кулачок 8

(Приложение Б), нажав на ролик 3, повернет рычаг 2 вниз. При этом переключатель 1 включает обратное направление вращения электродвигателя М2, вследствие чего передний суппорт совершает быстрый обратный ход, а диск 9 вращается по часовой стрелке.

В то время, когда ролик 5 сойдет с выступа кулачка 7, переключатель 6 выключает вращение электродвигателя М1 и шпинделя III (Приложение В).

В конце обратного хода суппортов кулачок 4 (Приложение Б) нажимает на ролик 3 и поворачивает рычаг 2 в верхнее, изображенное на рисунке, положение. При этом переключатель 1 выключает электродвигатель М2. Оба суппорта останавливаются в отведенном исходном положении.

2. ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ, РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОЙ ЦЕПИ

2.1 Выбор электродвигателя

1. В качестве приводного двигателя выбираем электродвигатель общепромышленного назначения серии 4А.

Требуемая мощность двигателя (Приложение В)

$$P_{ТРЕБ} = 13 \text{ кВт};$$

2. Технические данные электродвигателя

Технические данные электродвигателя [1] сведены в таблицу 2.1, параметры схемы замещения – в таблицу 2.2.

Таблица 2.1 – Технические данные электродвигателя

типоразмер	$n_0, \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$	$U_{\text{лн}}, [В]$	$P_{\text{дв.н}}, [Вт]$	При номинальной нагрузке			S_K
				S_H %	$\cos\varphi$ %	η_H %	
4А180S4 У3	1500	380	$15 \cdot 10^3$	0.02	0.88	0.885	0.14

Продолжение таблицы 2.1

$J_{\text{дв}}, [кг \cdot м^2]$	$k_{II} = \frac{M_{\text{ПУСК}}}{M_H}$	$k_M = \frac{M_{\text{МАКС}}}{M_H}$	$k_{\text{ДВ}} = \frac{I_{\text{ПУСК}}}{I_H}$	Степень Защиты
0.19	1,4	1	7,5	IP

Таблица – 2.2 Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1', o.e$	$X_1', o.e$	$X_\mu', o.e$	$R_2'', o.e$	$X_2'', o.e$
0,047	0,085	4	0,025	0,13

3. Определение дополнительных параметров двигателя и параметров схемы замещения.

Синхронная угловая частота вращения

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 1500}{30} = 157.08, \text{ рад/с} \quad (2.1)$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - S_H) \cdot n_0 = (1 - 0.02) \cdot 1500 = 1470, \text{ об/мин} \quad (2.2)$$

Или $\omega_{\text{дв.н}} = (1 - S_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0.02) \cdot 157.08 = 153.9, \text{ рад/с.} \quad (2.3)$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{15 \cdot 10^3}{153.9} = 97.4, \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.4)$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный ток статора.

Для определения номинального фазного тока необходимо знать схему соединения обмоток статора. Если соединение обмоток неизвестно, то при расчете следует принять соединение Y.

$$U_{1\phi i} = \frac{U_{1\epsilon i}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219.3 \approx 220, \text{ В.} \quad (2.5)$$

$$I_{1\phi i} = I_{1\epsilon i} = \frac{D_{\text{дв.и}}}{3 \cdot U_{1\phi i} \cdot \cos \varphi_i \cdot \eta_i} = \frac{15 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.88 \cdot 0.885} = 29.18, \text{ А.} \quad (2.6)$$

$$I_{1\text{макс}} = k_{\text{дв}} \cdot I_{1\text{н}} = 7.5 \cdot 29.18 = 218.8, \text{ А.} \quad (2.7)$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_{\kappa} = k_M \cdot M_{\text{двн}} = 1.97.4 = 97.4, \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.8)$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{двпуск}} = k_{\text{п}} \cdot M_{\text{двн}} = 1.4 \cdot 97.4 = 136.4, \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.9)$$

Схема замещения асинхронного двигателя для фазы приведена на рис.2.1

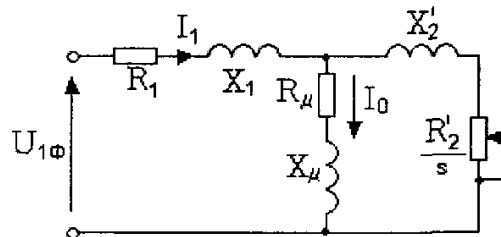


Рисунок 2.1 – Схема замещения асинхронного двигателя

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = R_1' \cdot \frac{U_{1\phi i}}{I_{1\phi i}} = 0.047 \cdot \frac{220}{29.18} = 0.354, \text{ Ом.} \quad (2.10)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора

$$X_{1\delta} = X_1' \cdot \frac{U_{1\phi i}}{I_{1\phi i}} = 0.085 \cdot \frac{220}{29.18} = 0.641, \text{ Ом.} \quad (2.11)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0.641}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 2 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн.} \quad (2.12)$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора

$$R_2' = R_2'' \cdot \frac{U_{1\delta i}}{I_{1\delta i}} = 0.038 \cdot \frac{220}{29.18} = 0.286, \text{ Ом.} \quad (2.13)$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора

$$X_{2\delta}' = X_2'' \cdot \frac{U_{1\delta i}}{I_{1\delta i}} = 0.13 \cdot \frac{220}{29.18} = 0.98, \text{ Ом.} \quad (2.14)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\delta}' = \frac{X_{2\delta}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0.98}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 3.12 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн.} \quad (2.15)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания при номинальном режиме

$$X_{KH} = X_{1\delta} + X_{2\delta}' = 0.641 + 0.98 = 1.62, \text{ Ом.} \quad (2.16)$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания (главное индуктивное сопротивление)

$$X_{\mu}' = X_{\mu}'' \cdot \frac{U_{1\delta i}}{I_{1\delta i}} = 4 \cdot \frac{220}{29.18} = 30.15, \text{ Ом.} \quad (2.17)$$

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

$$L_{\mu}' = \frac{X_{\mu}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{30.15}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.096, \text{ Гн.} \quad (2.18)$$

Ток холостого хода

$$I_0 = \frac{E_1}{X_{\mu}'} = \frac{220.8}{30.15} = 7.32, \text{ А.} \quad (2.19)$$

Где E_1 – ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме.

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1\Phi H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1\Phi H} \cdot R_1)^2 + (U_{1\Phi H} \cdot \sin \varphi_H + I_{1\Phi H} \cdot X_{1\delta})^2} = \\ &= \sqrt{(219.3 \cdot 0.88 - 29.18 \cdot 0.354)^2 + (219.3 \cdot 0.22 + 29.18 \cdot 0.641)^2} = 220.8, \text{ В} \end{aligned} \quad (2.20)$$

2.2 Выбор типа преобразователя и способа регулирования скорости

По выбранному АД рассчитываем:

- Требуемая максимальная выходная частота инвертора

$$f_{\dot{\epsilon}i \lambda \dot{\epsilon}N} = 50 \cdot \frac{\omega_{\dot{Y}i \lambda \dot{\epsilon}N}}{\omega_0(1-S_K)} = 50 \cdot \frac{178.01}{157.08(1-0.14)} = 65.8, \text{ Гц.} \quad (2.21)$$

- Требуемая минимальная выходная частота инвертора

$$f_{\dot{\epsilon}i \dot{\epsilon}i} = 50 \cdot \frac{\omega_{\dot{Y}i \dot{\epsilon}i}}{\omega_0} = 50 \cdot \frac{8.9}{157.08} = 2.83, \text{ Гц.} \quad (2.22)$$

Выбираем преобразователь по номинальному (длительно допустимому) току $I_{ин}$ и максимальному (кратковременно допустимому) току $I_{ЭПМАКС} = I_{ин} \cdot k_{ин}$, где $k_{ин}$ - коэффициент допустимой перегрузки инвертора по току, по следующим условиям:

- в однозонном электроприводе

$$I_{ин} \geq I_{1ЛН} \cdot \frac{M_{СМАКС}}{M_{ДВН}} \geq 29.18 \cdot \frac{40}{97.4} = 11.97, \text{ А.} \quad (2.23)$$

Принимаем $I_{ин} = 17, \text{ А}$

$$I_{ИМАКС} \geq I_{1ЛН} \cdot \frac{M_{ЭПМАКС}}{M_{ДВН}} \geq 29.18 \cdot \frac{104}{97.4} = 31.14, \text{ А.} \quad (2.24)$$

Принимаем $I_{ИМАКС} = 35, \text{ А}$

Выбор способа управления скоростью двигателя в системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель.

Основные способы управления асинхронным частотно-регулируемым электроприводом и их показатели приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Способы управления в системе ПЧ-АД и их показатели

№	Способ управления	Диапазон регулирования скорости	
		Разомкнутая система	Замкнутая система с датчиком скорости
1	Скалярное управление, закон управления $U_1 / f_1 = const$	до 10	до 100
2	Скалярное управление, закон управления $U_1 / f_1 = const$; компенсация момента и скольжения	10-15	100-120
3	Векторное управление	до 100 (с внутренней моделью)	до 1000

Принимаем способ управления – векторное управление без датчика скорости, диапазон регулирования 20.

Параметры преобразователя частоты

Параметры выбранного преобразователя частоты сведены в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение U_H %	Выходная частота, Несущая частота $f, Гц$	Выходной ток		Рекомендуемая мощность $P_2, Вт$
	$U_{1.лн}, В$	$f_c, Гц$			$I_{VLT.n}, А$	$I_{VLT.макс}, А$	
VLT506 Danfoss	380	50	(0-100)	(0-132); 8 кГц	44	70.7	$22 \cdot 10^3$

2.3 Структурная схема силового канала электропривода

В силовой канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

При решении задач анализа и синтеза регулируемых асинхронных электроприводов обычно применяются модели электродвигателя, составленные на базе обобщенной электрической машины и выполненные в неподвижной или вращающейся двухфазной системе координат (x, y). На рисунке 2.2 приведена структурная схема силового канала непрерывной линеаризованной системы преобразователь – асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат, а на рисунке 2.3 – во вращающейся системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора. Входными величинами структурных схем являются составляющие напряжения управления преобразователя $U_{упх}$ и $U_{упу}$, а выходной величиной – угловая скорость двигателя ω . Структурные схемы рисунка 2.2 и 2.3 характеризуются следующими промежуточными

координатами: $U_{1X}, U_{1Y}, I_{1X}, I_{1Y}, \psi_{2X}, \psi_{2Y}$ – составляющие напряжения, тока статора и потокосцепления ротора в ортогональной системе координат (x, y);

$M_{ДВЭМ}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

2.4 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

Расчет параметров преобразователя

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя

$$k_{И} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\phi}}{U_{УПМАКС}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31.113, \quad (2.24)$$

Где $U_{УПМАКС} = 10$ В, – максимальное значение напряжения управления.

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$\dot{O}_{\dot{E}} = \frac{0.5}{f_{\dot{E}}} = \frac{0.5}{8} = 0.06, \text{ с} \quad (2.25)$$

Где $f_{И}$ - несущая частота инвертора, Гц.

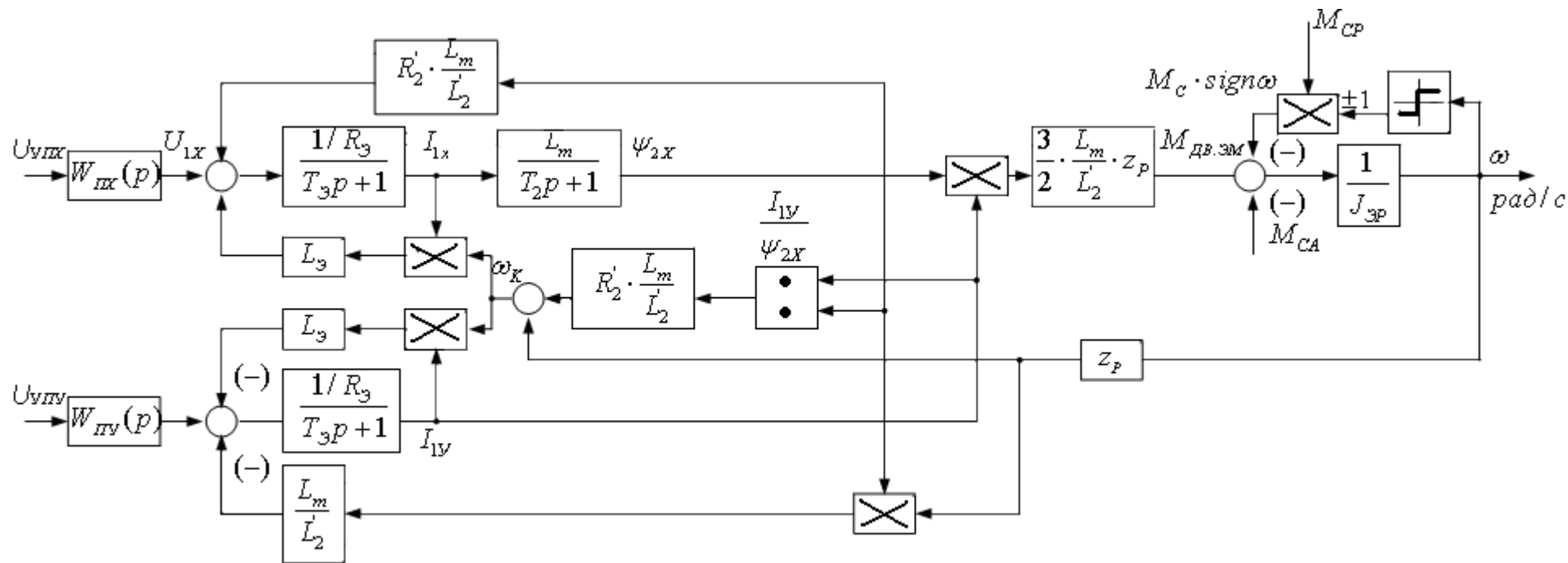


Рисунок 2.2 – Структурная схема силового канала системы преобразователь – асинхронный электродвигатель в неподвижной двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

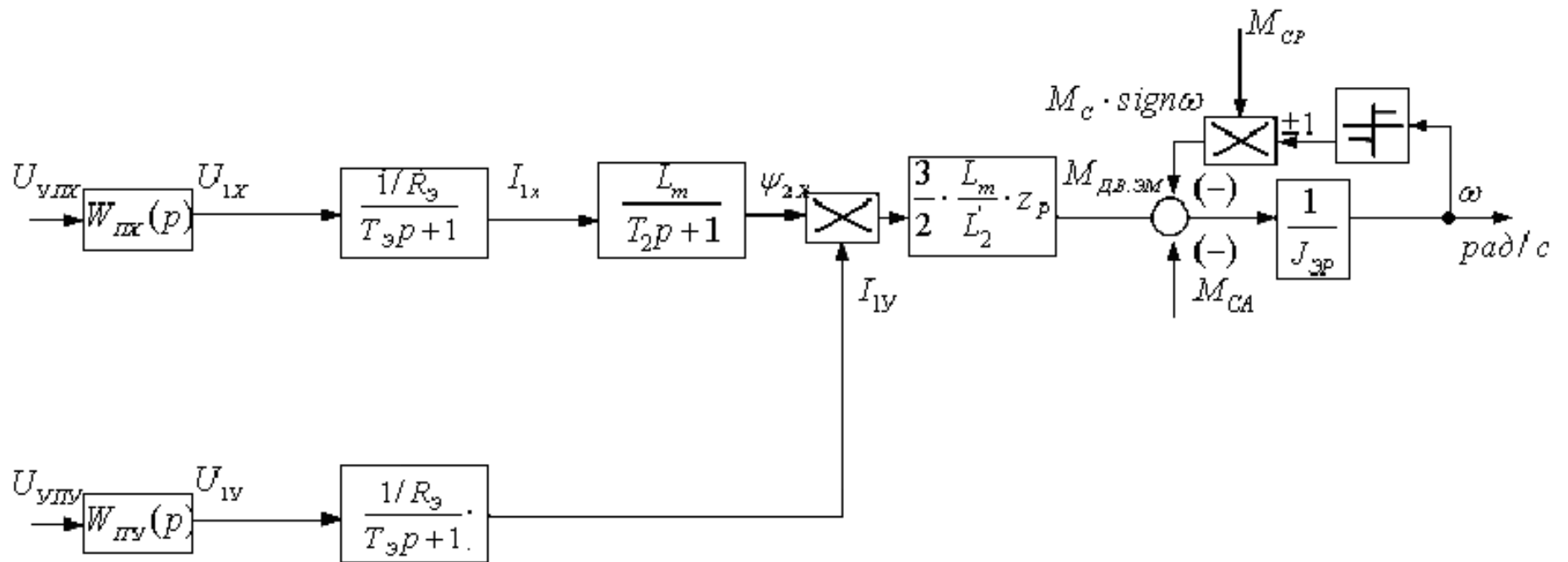


Рисунок 2.3 – Структурная схема силового канала системы преобразователь – асинхронный электродвигатель в неподвижной двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, при компенсации внутренних обратных связей

Расчет параметров двигателя

Эквивалентная индуктивность обмоток

• статора

$$L_1 = L_{1\delta} + L_\mu = 2.04 \cdot 10^{-3} + 0.096 = 0.098, \text{ Гн} \quad (2.26)$$

• ротора

$$L_2 = L_{2\delta} + L_\mu = 3.12 \cdot 10^{-3} + 0.096 = 0.099, \text{ Гн} \quad (2.27)$$

Коэффициент рассеяния

$$\delta = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_1 + L_2} = 1 - \frac{0.096^2}{0.098 + 0.099} = 0.052 \quad (2.28)$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_\Sigma = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_\mu^2}{L_2^2} = 0.354 + 0.286 \cdot \frac{0.096^2}{0.099^2} = 0.623, \text{ Ом} \quad (2.29)$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_\Sigma = \frac{\delta \cdot L_1}{R_\Sigma} = \frac{0.052 \cdot 0.098}{0.623} = 8.12 \cdot 10^{-3}, \text{ с} \quad (2.30)$$

$$T_2 = \frac{L_2'}{R_2'} = \frac{0.099}{0.286} = 0.346, \text{ с.} \quad (2.31)$$

Расчет параметров механической системы

Момент инерции механизма

$$J_M = 0.5 \cdot J_{ДВ} = 0.5 \cdot 0.19 = 0.095, \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.32)$$

Эквивалентный момент инерции привода

$$J_\Sigma = J_{ДВ} + J_M = 0.19 + 0.095 = 0.285, \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.33)$$

2.5 Расчет предельных характеристик разомкнутой системы преобразователь – двигатель. Проверка обеспечения заданной области работы электропривода

При векторном управлении магнитный поток поддерживается: в первой зоне постоянным $\psi_{2X} = \psi_{2XH} = const$, а во второй зоне ослабляется в

соответствии с зависимостью $\psi_{2X} = \psi_{2XH} \cdot \frac{\omega}{\omega_H}$.

Расчет механических характеристик

Механическая характеристика $M = f(S)$ системы преобразователь частоты- асинхронный двигатель рассчитывается для частоты $f_H = f_{1H} = 50$ Гц по выражению

$$M(S) = \frac{3 \cdot U_{\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.286}{157.08 \cdot S \cdot \left[1.621^2 + \left(0.354 + \frac{0.286}{S} \right)^2 + \left(\frac{1.621 \cdot 0.286}{S \cdot 30.15} \right)^2 \right]} \quad (2.34)$$

Задаемся скольжением в пределах $S = 0.01, 0.02, \dots, 1$ и рассчитываем характеристику $\omega = f(M)$; где, $\omega = \omega_0 \cdot (1 - S)$ которая показана на рисунке 2.4.

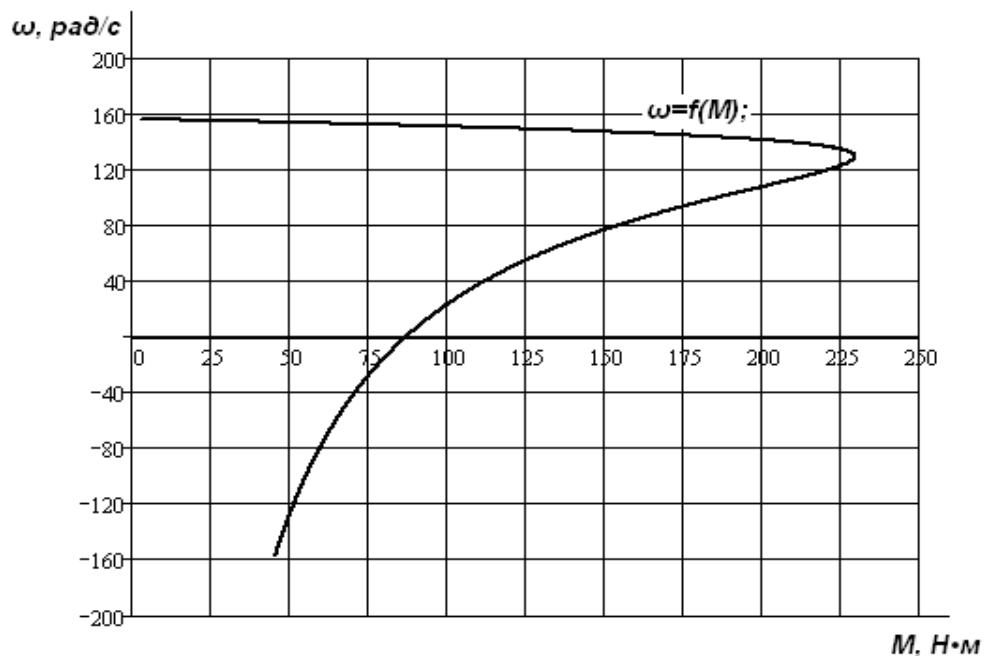


Рисунок 2.4 – Механическая характеристика системы преобразователь частоты- асинхронный двигатель.

Расчет электромеханических характеристик

Электромеханическая характеристика $I_1(S)$ разомкнутой системы преобразователь частоты- асинхронный двигатель рассчитывается для значения частоты $f_H = f_{1H} = 50$ Гц по выражению

$$I_1(S) = \sqrt{I_0^2 + I_2^2(S) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2(S) \cdot \sin \varphi_2(S)} \quad (2.35)$$

$$I_1(S) = \sqrt{1.01^2 + 14.89^2 + 2 \cdot 1.01 \cdot 14.89 \cdot 0.11} = 15.04, \text{ A}$$

Где

$$I_2'(S) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{S})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu})^2}} \quad (2.36)$$

$$I_2'(S) = \frac{220}{\pm \sqrt{(0.354 + \frac{0.286}{5})^2 + (1.621)^2 + (\frac{0.354 \cdot 0.286}{5 \cdot 30.15})^2}} = 14.89, \text{ А}$$

$$\sin \varphi_2(S) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{S})^2 + (X_{KH})^2}} \quad (2.37)$$

$$\sin \varphi_2(S) = \frac{1.621}{\sqrt{(0.354 + \frac{0.286}{5})^2 + (1.621)^2}} = 0.11$$

$$I_0 = \frac{U_{1\Phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_\mu)^2 \cdot f_1^*}} \quad (2.38)$$

$$I_0 = \frac{220}{\sqrt{0.354 + (0.641 + 30.15)^2 \cdot 50}} = 1.01, \text{ А}$$

По результатам расчета строится электромеханическая характеристика $\omega(I_1)$ рис 2.5.

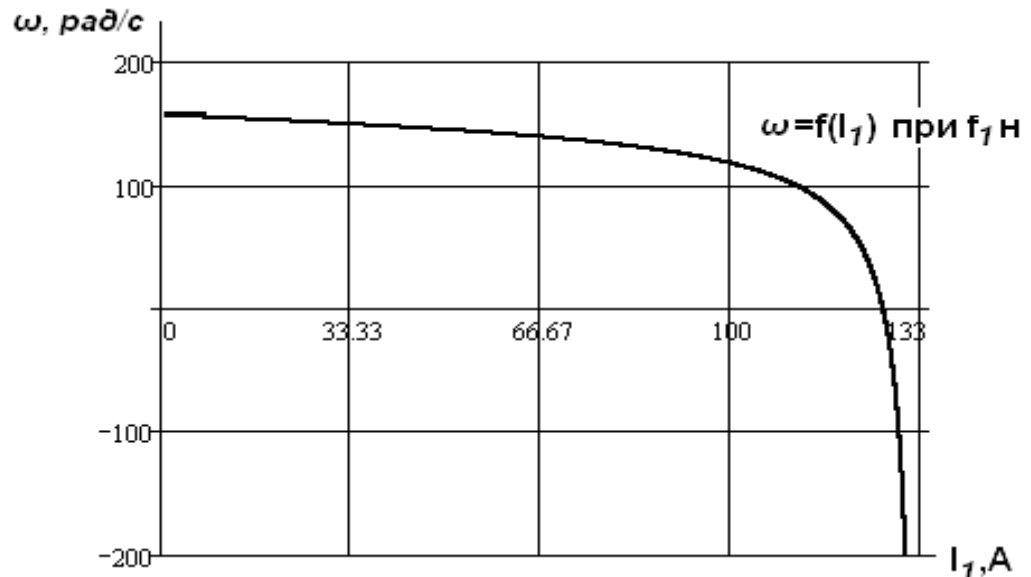


Рисунок 2.5 – Электромеханическая характеристика разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель.

Определение заданной области работы

1. На полученное семейство механических характеристик $M(\omega)$

наносятся граничные характеристики для длительного и кратковременного режимов работы

$$\begin{aligned} -M_{СМИН}(\omega) &= 6 \\ -M_{СМАКС}(\omega) &= 40 \\ -M_{ЭПМАКС}(\omega) &= 104 \end{aligned}$$

2. На полученное семейство электромеханических характеристик $I_1(\omega)$ наносится характеристика длительно допустимого тока двигателя $I_{ДВ.ДЛИТ.ДОП}(\omega)$:

$$I_{ДВ.ДЛИТ.ДОП}(\omega) = I_{ДВН} \cdot \left(0,5 + \frac{\omega}{\omega_{ДВН}}\right) \quad (2.39)$$

$$I_{ДВ.ДЛИТ.ДОП}(\omega) = 29,18 \cdot \left(0,5 + \frac{\omega}{153,9}\right)$$

при $\omega \leq 0,5 \cdot \omega_{ДВН}$;

$$I_{ДВ.ДЛИТ.ДОП}(\omega) = I_{ДВН} = 29,18 \quad (2.40)$$

при $\omega < 0,5 \cdot \omega_{ДВН}$;

3. Рассчитывается и строится зависимость допустимого длительного момента электродвигателя $M_{ДВ.ДЛИТ.ДОП}(\omega)$

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

$$M_{ДВМАКС}(W) = M_K \Big|_{f_H=f_{1H}} \quad (2.41)$$

$$M_K = \frac{3 \cdot U_{1ФН}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[\sqrt{[R_1^2 + X_{кН}^2]} \cdot \left[1 + \left[\frac{R_2'}{X_\mu} \right]^2 \right] \right]} \quad (2.42)$$

Где

$$M_K = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157 \cdot \left[\sqrt{[0,354^2 + 1,62^2]} \cdot \left[1 + \left[\frac{0,286}{30,1} \right]^2 \right] \right]} = 229, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- в зоне работы с ослабленным потоком при $f_H > f_{1H}, (W > W_0 \cdot (1 - S_K))$

$$M_{ДВМАКС}(\omega) = M_K \cdot \frac{\omega_0 \cdot (1 - S_K)}{\omega} \quad (2.43)$$

$$M_{ДВМАКС}(\omega) = 229 \cdot \frac{157 \cdot (1 - 0,173)}{\omega}$$

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

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

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = M_{двн} \cdot \left(0,5 + \frac{\omega}{\omega_{двн}}\right) \quad \text{при } \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{двн}; \quad (2.44)$$

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = 97,4 \cdot \left(0,5 + \frac{\omega}{153,9}\right)$$

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = I_{двн} \quad \text{при } 0,5 \cdot \omega_{двн} < \omega \leq \omega_{двн}. \quad (2.45)$$

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = 97,4 \text{ A}$$

- в зоне работы с ослабленным потоком $f_H > f_{1H}$ с учетом того, что

двигатель выбран с запасом по мощности принимаем

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = I_{двн} \quad \text{при } \omega > \omega_{двн}.$$

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = 97,4 \text{ A}$$

Рассчитывается и строится зависимость $I_{смакс}(\omega)$, соответствующая длительной максимальной нагрузке $M_{смакс}(\omega) = const$. Для этого необходимо определить соответствующее $M_{смакс}$ значение скольжения S_{T5} , решив относительно S уравнение

$$\frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu}\right)^2 \right]} = \quad (2.46)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,286}{157 \cdot 5 \cdot \left[(1,62)^2 + \left(0,354 + \frac{0,286}{5}\right)^2 + \left(\frac{0,354 \cdot 0,286}{5 \cdot 30,1}\right)^2 \right]} = 44$$

и далее рассчитать значение тока $I_{смакс} \Big|_{f_H=f_{1H}}$ и скорости

$$\omega_{\partial 5} = \omega_0 \cdot (1 - S_{\partial 5}) .$$

Зависимость $I_{смакс}(\omega)$ рассчитывается по выражениям:

$$I_{смакс}(\omega) = I_{смакс} \Big|_{f_H=f_{1H}} \quad \text{при } \omega \leq \omega_{T5} \quad (2.47)$$

$$I_{смакс}(\omega) = I_{смакс} \Big|_{f_H=f_{1H}} \cdot \frac{\omega}{\omega_{T5}} \quad \text{при } \omega > \omega_{T5}. \quad (2.48)$$

6. Рассчитывается и строится зависимость $I_{эпмакс}(\omega)$, соответствующая длительной максимальной нагрузке $M_{эпмакс}(\omega) = const$. Для этого необходимо

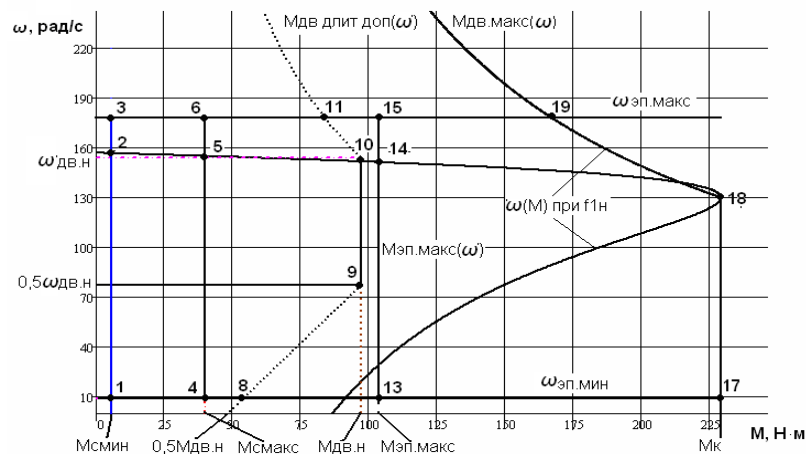
определить соответствующее $M_{ЭПМАКС}(\omega)$ значению скольжения $S_{T.14}$ решив относительно S уравнение

$$\dot{i}_{\dot{Y}I \dot{A} \dot{E} \dot{N}} = \frac{3 \cdot U_{\dot{I} \dot{I}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[(X_{\dot{E} \dot{I}}')^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.286}{157 \cdot S \cdot \left[(1.62)^2 + \left(0.354 + \frac{0.286}{S} \right)^2 + \left(\frac{0.354 \cdot 0.286}{S \cdot 30.1} \right)^2 \right]} \quad (2.49)$$

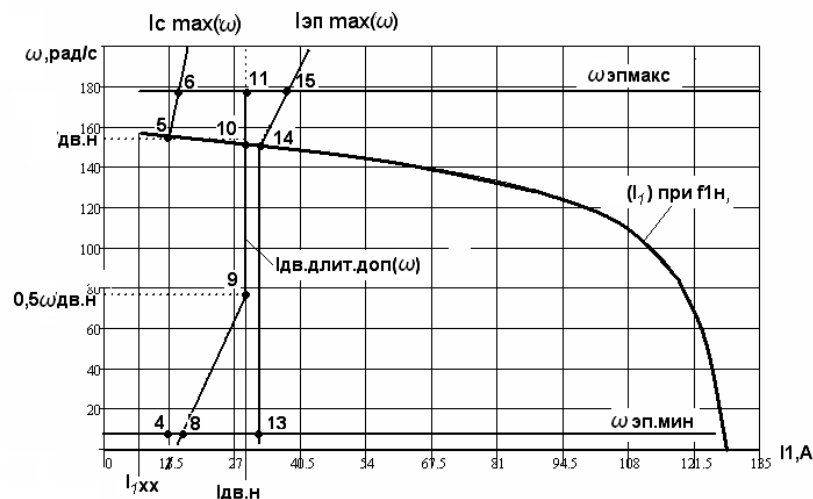
И далее рассчитать значение тока $I_{ЭПМАКС} \Big|_{f_H=f_{1H}}$, и скорости ($\omega_{T14} = \omega_0 \cdot (1 - S_{T.14})$)

$$I_{ЭПМАКС}(\omega) = I_{ЭПМАКС} \Big|_{f_H=f_{1H}} \text{ при } \omega \leq \omega_{T14} \quad (2.50)$$

$$I_{ЭПМАКС}(\omega) = I_{ЭПМАКС} \Big|_{f_H=f_{1H}} \cdot \frac{\omega}{\omega_{T5}} \text{ при } \omega > \omega_{T14}. \quad (2.51)$$



А)



Б)

Рисунок 2.6 – а, б – соответственно механическая и электромеханическая характеристика электропривода и нагрузки при векторном управлении

Проверка правильности выбора двигателя

По результатам построения механических характеристик электропривода $\omega(M)$ (Рис.2.6–а) проверяется правильность выбора двигателя по моменту

$$\begin{array}{l} M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq M_{\text{смакс}} \quad \text{имеем} \quad 85 \text{ Н} \cdot \text{м}(\omega) \geq 40 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ M_{\text{двмакс}}(\omega) \geq M_{\text{эпмакс}} \quad 165 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 104 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{array}$$

Следовательно двигатель по моменту выбран правильно

По результатам построения электромеханических характеристик электропривода $\omega(M)$ (Рис.2.6–б) проверяется правильность выбора двигателя по току

$$I_{\text{дв.длит.доп.}}(\omega) \geq I_{\text{смакс}} \quad \text{имеем} \quad 29 \text{ А} \geq 15.5 \text{ А}$$

Следовательно двигатель по току выбран правильно.

Проверка правильности выбора преобразователя

По результатам построения электромеханических характеристик электропривода $\omega(I_1)$ (Рис.2.6–б) проверяется правильность выбора преобразователя: во всем диапазоне регулирования скорости должны выполняться условия:

$$\begin{array}{l} I_{\text{смакс}}(\omega) \leq I_{\text{ин}} \quad \text{имеем} \quad 15.5 \text{ А} \leq 17 \text{ А} \\ I_{\text{эпмакс}}(\omega) \leq I_{\text{иммакс}} \quad 32 \text{ А} \leq 35 \text{ А} \end{array}$$

Условия проверки по моменту и току:

- в верхней части диапазона регулирования скорости

$$\left. \begin{array}{l} M_{T.11} > M_{T.6} \\ M_{T.19} > M_{T.15} \\ I_{T.11} > I_{T.6} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 85 \text{ Н} \cdot \text{м} > 41 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ 165 \text{ Н} \cdot \text{м} > 104 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ 29 \text{ А} > 15.5 \text{ А} \end{array} \text{ -все условия выполняются, т.к}$$

- в нижней части диапазона регулирования скорости

$$\left. \begin{array}{l} M_{T.8} \geq M_{T.6} \\ M_{T.17} \geq M_{T.13} \\ I_{T.8} \geq I_{T.4} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 54 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 41 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ 229 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 104 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ 15.5 \text{ А} \geq 13.5 \text{ А} \end{array} \text{ -условия по моменту выполняются, т.к}$$

Общие выводы по анализу полученных характеристик рис.2.6:

- система преобразователь частоты - асинхронный двигатель может обеспечить длительную работу в интервале изменения момента нагрузки от $M_{СМИН} = 3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ до $M_{СМАКС} = 41 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и заданный кратковременный момент $M_{ЭПМАКС} = 104 \text{ Н} \cdot \text{м}$ во всем диапазоне регулирования скорости от $\omega_{ЭПМИН} = 9 \text{ рад/сек}$ до $\omega_{ЭПМАКС} = 150 \text{ рад/сек}$

- для обеспечения заданного диапазона регулирования скорости электропривод должен быть однозонный;

Для дальнейших расчетов принимаем $I_{ЭПМАКС} = I_{Т.15} = 39, \text{ А}$

3. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ РЭП

3.1. Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ РЭП частотно – регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением

Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рис.3.1

На схеме приняты следующие обозначения:

$W(p)_{PT}, W(p)_{P\psi}, W(p)_{PC}$ - передаточные функции регуляторов тока, потокосцепления и скорости;

$k_{TX} = k_{TY}$ - коэффициент обратной связи по току

$$k_{TX} = k_{TY} = \frac{U_{3TMAXC}}{I_{ЭПМАКС}} = \frac{10}{32} = 0.313, \text{ В/А} \quad (3.1)$$

Имеем $U_{3TMAXC} = 10 \text{ В}$;

k_{ψ} - коэффициент обратной связи по потокосцеплению ротора;

$$k_{\psi} = \frac{U_{3\psi MAXC}}{\psi_{2X}} = \frac{10}{0.781} = 12.8, \text{ В/Вб} \quad (3.2)$$

Имеем $U_{3\psi MAXC} = 10 \text{ В}$;

k_{ψ} - коэффициент обратной связи по потокосцеплению ротора;

$$k_{\psi} = \frac{U_{3\psi MAXC}}{\psi_{2X}} = \frac{10}{0.781} = 12.8, \text{ В/Вб} \quad (3.2)$$

Имеем $U_{3\psi MAXC} = 10 \text{ В}$;

$$\begin{aligned} \psi_{2\delta} = \psi_i &= \frac{\dot{I} \hat{Y} \hat{E} i}{\frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 \cdot I_0^2}} = \\ &= \frac{60.66}{\frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0.101}{0.099} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{17.97^2 \cdot 0.01^2}} = 0.781, \hat{A} \hat{a} \end{aligned} \quad (3.3)$$

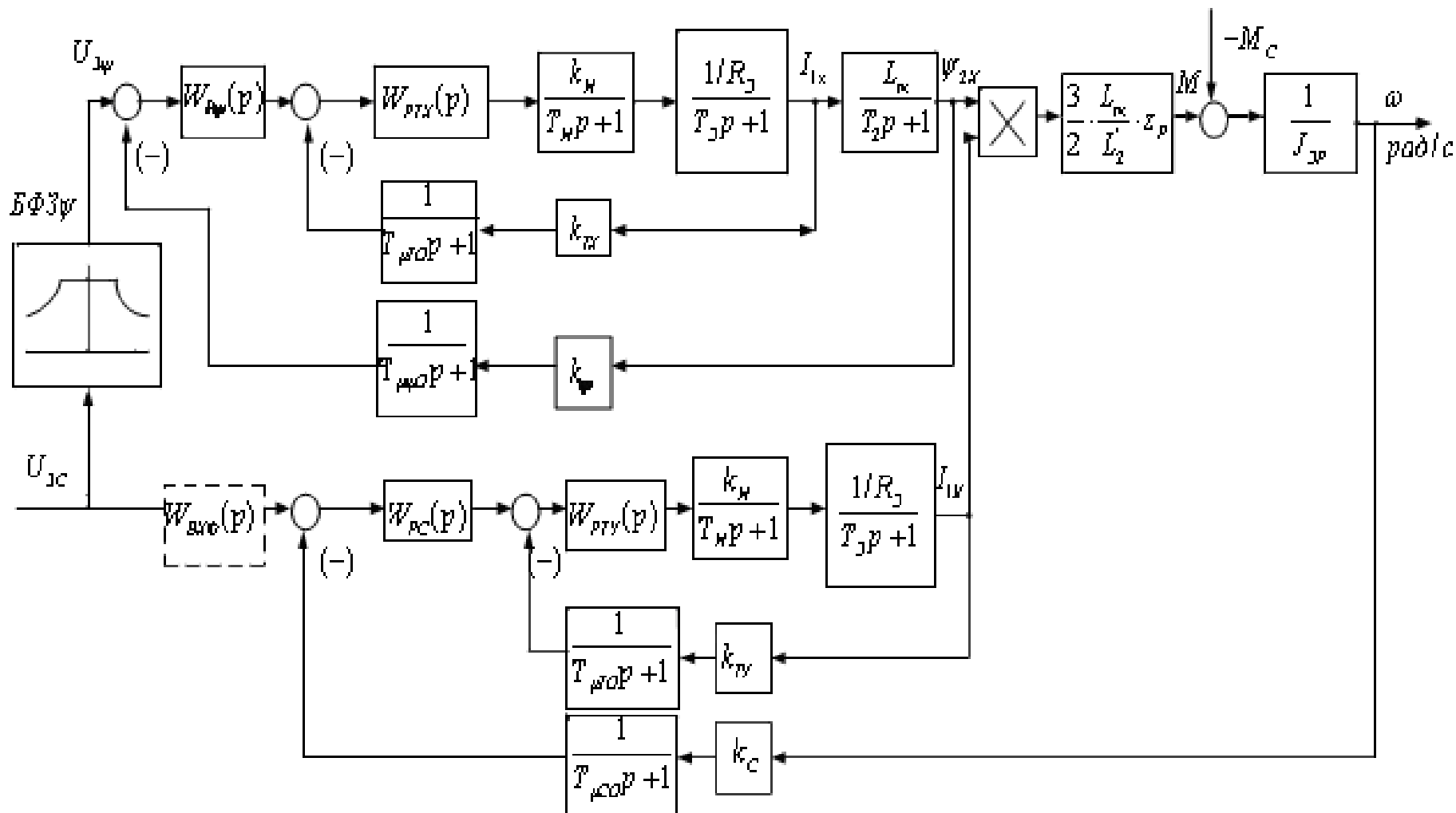


Рисунок 3.1 – Структурная схема линейризованной непрерывной САУ РЭП частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением.

Коэффициент обратной связи по скорости

$$k_c = \frac{U_{3СМАКС}}{\omega_{ЭПМАКС}} = \frac{10}{150} = 0.066, \text{ В} \cdot \text{с/рад} \quad (3.4)$$

Имеем $U_{3СМАКС} = 10 \text{ В}$; $f_H = 8 \text{ кГц}$

Период сглаживания результатов измерения тока

$$T_{\mu T0} = \frac{1}{f_H} \cdot \frac{n_T}{3} = \frac{1}{8 \cdot 10^3} \cdot \frac{8}{3} = 0.000033, \text{ с}; \quad (3.5)$$

Имеем количество измерений $n_T = 8$;

Период расчета потокосцепления

$$\text{Имеем } n_\psi > 3; \quad T_{\mu \psi 0} = \left(16 \cdot \frac{1}{f_H}\right) \cdot \frac{n_\psi}{3} = \left(16 \cdot \frac{1}{8 \cdot 10^3}\right) \cdot \frac{4}{3} = 0,0027 \text{ с}; \quad (3.6)$$

Период расчета скорости

$$\text{Имеем } n_c \geq 3; \quad T_{\mu c 0} = \left(16 \cdot \frac{1}{f_H}\right) \cdot \frac{n_c}{3} = \left(16 \cdot \frac{1}{8 \cdot 10^3}\right) \cdot \frac{3}{3} = 0,002 \text{ с}; \quad (3.7)$$

3.2 Оптимизация контуров регулирования

Контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости электроприводов переменного тока имеют относительно большую инерционность в цепи обратной связи, поэтому проводим оптимизацию контуров системы частотно-регулируемого электропривода.

3.2.1 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.3.2

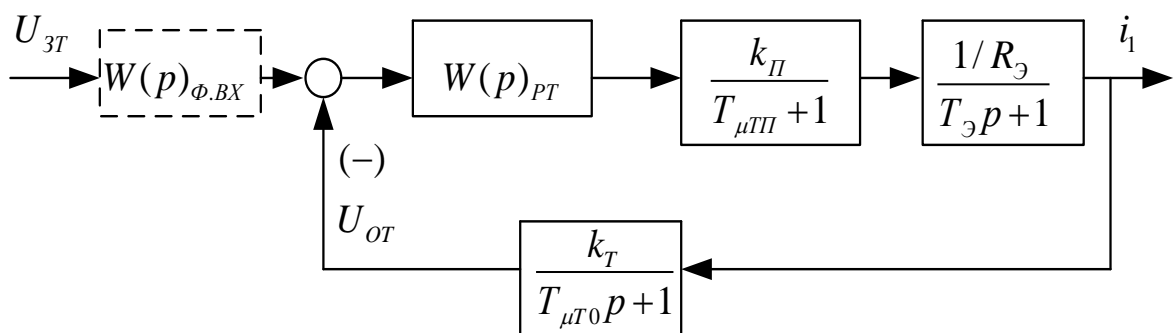


Рисунок 3.2 – Структурная схема контура тока

На схеме рис.3.2 приняты следующие обозначения:

U_{3T} -напряжение задания на ток;

$T_{\mu\Pi}$ -малая постоянная времени в прямом канале, с;

$$T_{\mu\Pi} = \frac{1}{f_H} = \frac{1}{8 \cdot 10^3} = 0.000125, \text{ с}; \quad (3.8)$$

$T_{\mu\Gamma_0}$ - малая постоянная времени в цепи обратной связи, с.

Передаточная функция ПИ-регулятора тока

$$\omega_{PT}(p) = k_{PT} \cdot \frac{T_{PT} \cdot p + 1}{T_{PT} \cdot p} = 12.62 \cdot \frac{0.008 \cdot p + 1}{0.008 \cdot p} \quad (3.9)$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{PT} = \frac{T_{\Theta} \cdot R_{\Theta}}{k_H \cdot k_T \cdot a_T \cdot (T_{\mu\Pi} + T_{\mu\Gamma_0})} = \frac{0.008 \cdot 0.623}{1.4 \cdot 0.313 \cdot 2 \cdot (0.000125 + 0.00033)} = 12.62, \quad (3.10)$$

$$\text{Где } k_T = \frac{U_{3TMAX}}{I_{\Theta PMACS}} = \frac{10}{32} = 0.313, \text{ В/А}; \quad (3.11)$$

$$U_{3TMAX} = 10, \text{ В};$$

$a_T = 2$ –коэффициент оптимизации

Постоянная времени регулятора тока

$$T_{PT} = T_{\Theta} = 0.008, \text{ с};$$

Контур тока имеет следующие передаточные функции

- разомкнутого контура

$$W(p)_{PA3.T} = \frac{1}{a_T \cdot T_{\mu\Pi} \cdot T_{\mu\Gamma_0} \cdot T_{\mu\Gamma_{\Theta}} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu\Gamma_{\Theta}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\Gamma_{\Theta}} \cdot p} = \quad (3.12)$$

$$= \frac{1}{3.819 \cdot 10^{-11} \cdot p^3 + 4.201 \cdot 10^{-7} \cdot p^2 + 9.167 \cdot 10^{-4} \cdot p};$$

- замкнутого контура

$$W(p)_{3AM.T} = \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\Gamma_0} + 1)}{a_T \cdot T_{\mu\Pi} \cdot T_{\mu\Gamma_0} \cdot T_{\mu\Gamma_{\Theta}} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu\Gamma_{\Theta}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\Gamma_{\Theta}} \cdot p + 1} \approx \quad (3.13)$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\Gamma_0} + 1)}{a_T \cdot T_{\mu\Gamma_{\Theta}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\Gamma_{\Theta}} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{0.27} \cdot (0.00033 + 1)}{4.201 \cdot 10^{-7} \cdot p^2 + 9.167 \cdot 10^{-4} \cdot p + 1};$$

Где $T_{\mu T \Sigma} = T_{\mu T \Pi} + T_{\mu T \Omega} = 0.000125 + 0.00033 = 0.00046$, — эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура.

Настройка контура близка к настройке на модульный оптимум (МО) системы 2-го порядка. Контур является астатической системой 1-го порядка по управлению.

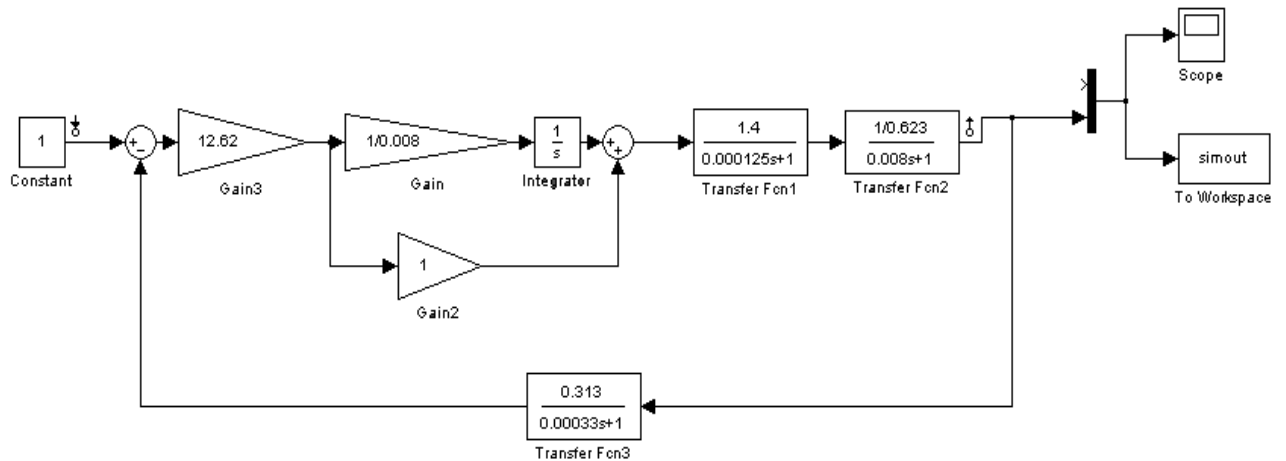


Рисунок 3.3 – Структурная схема контура тока

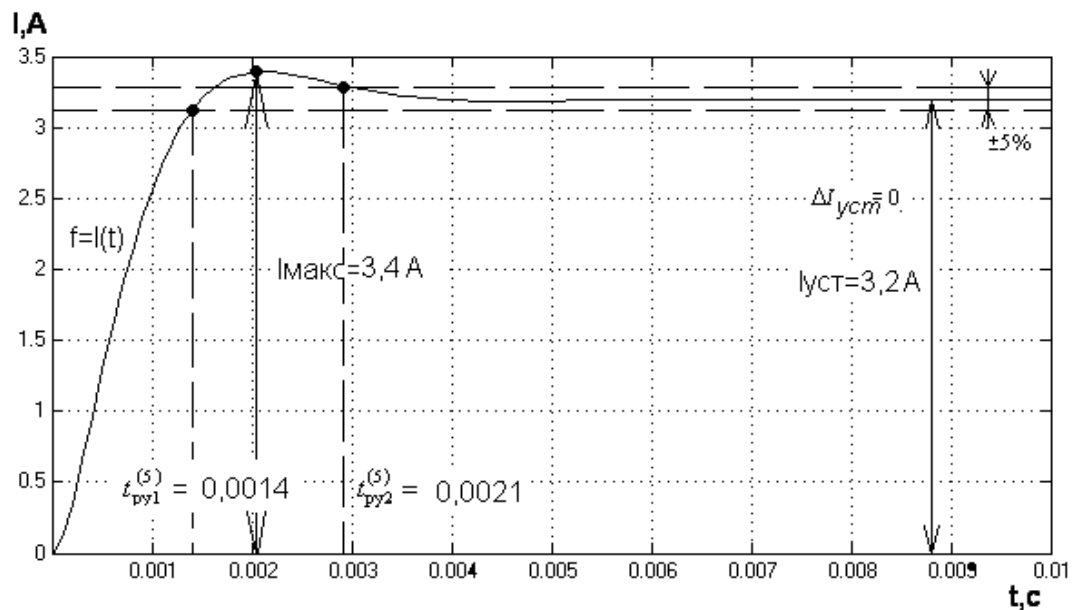


Рисунок 3.4 – Переходная характеристика $i(t)$ контура тока по структурной схеме рисунка 3.3 при $U_{3T} = 1$ В

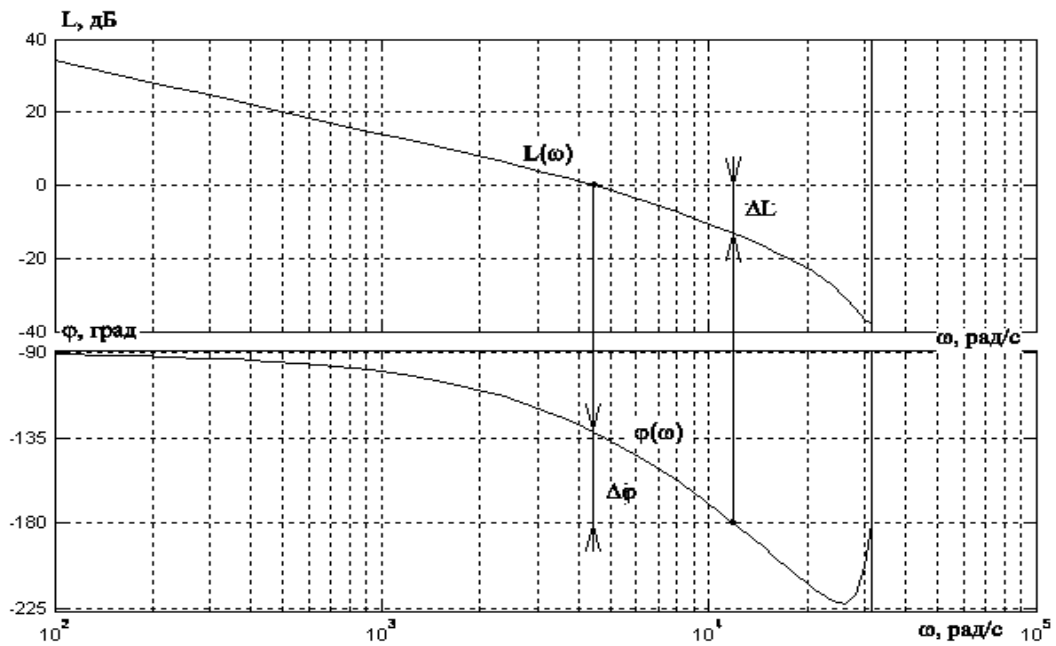


Рисунок 3.5 - Логарифмические частотные характеристики разомкнутого контура тока, настроенного на МО(без фильтра на входе)

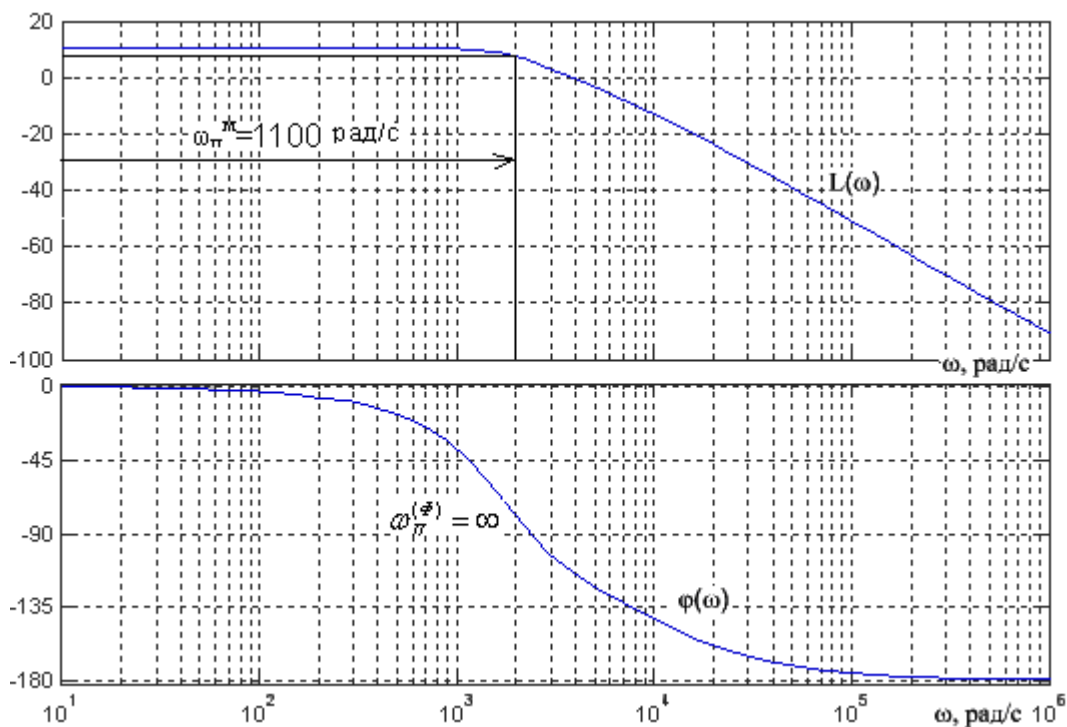


Рисунок 3.6 - Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура тока, настроенного на МО (без фильтра на входе)

При $T_{\mu ПИ} \ll T_{\mu ГО} = (0.000125 \ll 0.00033)$ ожидаемые показатели качества работы замкнутого контура тока по управлению без фильтра на входе:

- установившаяся ошибка $\Delta I_{уст} = 0, A$;

- перерегулирование $\sigma = 6.7\%$;

• время первого и окончательного вхождения в 5% зону при отработке ступенчатого задания

$$t_{py1}^{(5)} = 2.75 \cdot (T_{\mu\Pi\Pi} + T_{\mu T0}) = 2.75 \cdot (0.000125 + 0.00033) = 0.00125, \text{ с}, \quad (3.14)$$

$$t_{py2}^{(5)} = 6 \cdot (T_{\mu\Pi\Pi} + T_{\mu T0}) = 6 \cdot (0.000125 + 0.00033) = 0.00273, \text{ с}, \quad (3.15)$$

Для замкнутого контура

- полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(M)} \approx \frac{0,9}{T_{\mu\Pi\Pi} + T_{\mu T0}} \approx \frac{0,9}{0,000125 + 0,00033} = 1978, \text{ рад/с}; \quad (3.16)$$

- полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \infty;$$

из характеристик (рис. 3.6) $\omega_{\Pi}^{(M)} = 1100, \text{ рад/с};$

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \infty;$$

Для разомкнутого контура

Из графика приведенного на рис. 3.5

- запас устойчивости по модулю составляет $\Delta L = 17 \text{ дБ};$
- запас устойчивости по фазе составляет $\Delta\varphi = 47 \text{ град};$

Таблица 3.1 – Показатели переходных процессов контура тока с ПИ-регулятором

Показатели переходных процессов			
По управлению			
$t_{py1}^{(5)}$	$t_{py2}^{(5)}$	$\sigma, \%$	$\Delta I_{уст}, A$
Ожидаемые показатели			
0.00125	0.00273	6.7	0
Результаты моделирования			
0.0014	0.0021	6,4	0

Вывод: Анализ параметров качества, приведенных в таблице 6 показал, что ожидаемые показатели и результаты моделирования отличаются не значительно, поэтому это подтверждает, что параметры контура рассчитаны и выбраны верно.

3.2 Оптимизация контура потокосцепления с инерционной обратной связью

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

$$W(p)_{\text{зам.т}} \approx \frac{1}{k_T \cdot p + 1} \approx \frac{1}{0.000917 \cdot p + 1} \approx \frac{3.2}{0.000917 \cdot p + 1}, \quad (3.17)$$

$$\text{Где } T_T = a_T \cdot T_{\mu T \Sigma} = a_T \cdot (T_{\mu \Pi\Pi} + T_{\mu T0}) = 2 \cdot (0.000125 + 0.00033) = 0.000917 \text{ с,} \quad (3.18)$$

эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Структурная схема контура потокосцепления с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рисунке 3.7.

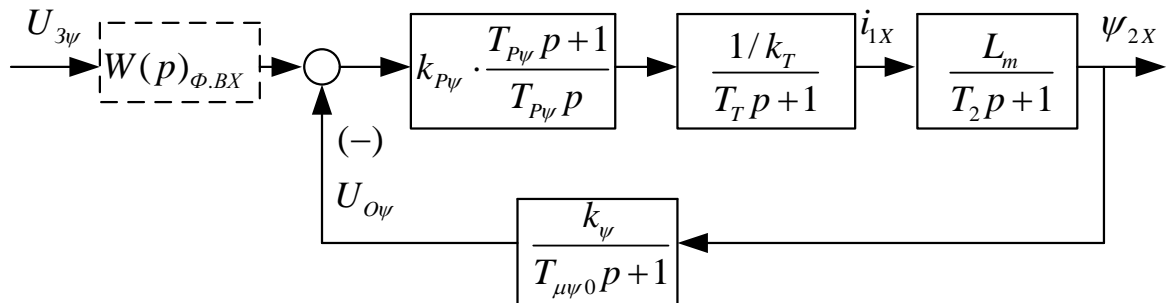


Рисунок 3.7 - Структурная схема контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W(p)_{P\psi} = k_{P\psi} \cdot \frac{T_{P\psi} \cdot p + 1}{T_{P\psi} \cdot p} = 11.645 \cdot \frac{0.346 \cdot p + 1}{0.346 \cdot p}. \quad (3.19)$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления определяются по выражениям

$$k_{P\psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_\psi} \cdot \frac{1}{a_\psi \cdot (T_T + T_{\mu\psi 0})} = \frac{0.346 \cdot 0.313}{0.101 \cdot 12.808} \cdot \frac{1}{2 \cdot (0.000917 + 0.0027)} = 11.645, \quad (3.20)$$

$$\text{Где } k_\psi = \frac{U_{3\psi \text{МАКС}}}{\psi_H} = \frac{10}{0,914} = 12.808, \text{ В/Вб} \quad (3.21)$$

$$U_{3\psi \text{МАКС}} = 10 \text{ В;}$$

$a_\psi = 2$ -коэффициент оптимизации.

Контур потокосцепления с ПИ-регулятором настроенный таким

образом имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W(p)_{PA3,\psi} = \frac{1}{a_\psi \cdot T_T \cdot T_{\mu\psi 0} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p^3 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p} \quad (3.22)$$

$$W(p)_{PA3,\psi} = \frac{1}{1.752 \cdot 10^{-8} \cdot p^3 + 2.568 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 7.167 \cdot 10^{-3} \cdot p};$$

- замкнутого контура

$$W(p)_{3AM,\psi} = \frac{\frac{1}{k_\psi} \cdot (T_{\mu\psi 0} \cdot p + 1)}{a_\psi \cdot T_T \cdot T_{\mu\psi 0} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p^3 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p + 1} \approx \quad (3.23)$$

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

$$W(p)_{3AM,\psi} = \frac{0.078 \cdot (0.00033 \cdot p + 1)}{2.568 \cdot 10^{-8} \cdot p^2 + 7.167 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1};$$

$$\text{Где } T_{\mu\psi \Delta} = T_T + T_{\mu\psi 0} = 0.000917 + 0.0027 = 0.0036, c \quad (3.24)$$

$T_{\mu\psi \Delta}$ – эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура.

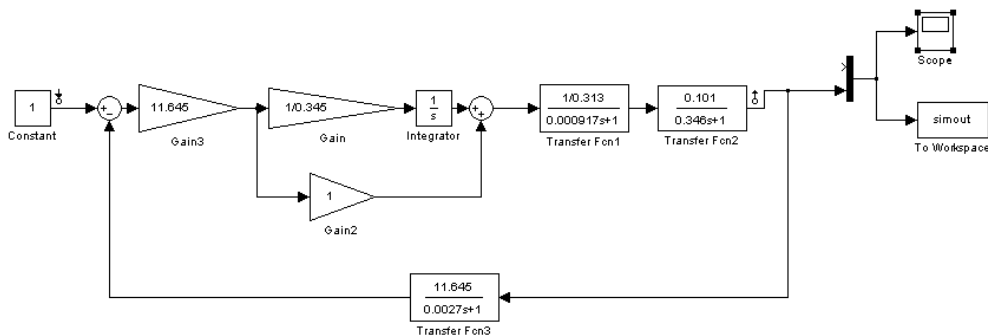


Рисунок 3.8 - Структурная схема контура потокосцепления с ПИ-регулятором

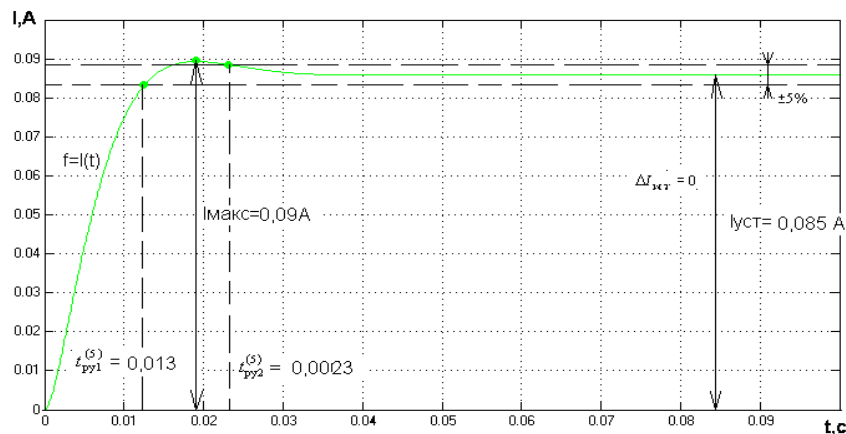


Рисунок 3.9 – Переходная характеристика $\psi(t)$ контура потокосцепления по структурной схеме рисунка 18 при $U_{3T} = 1 В$

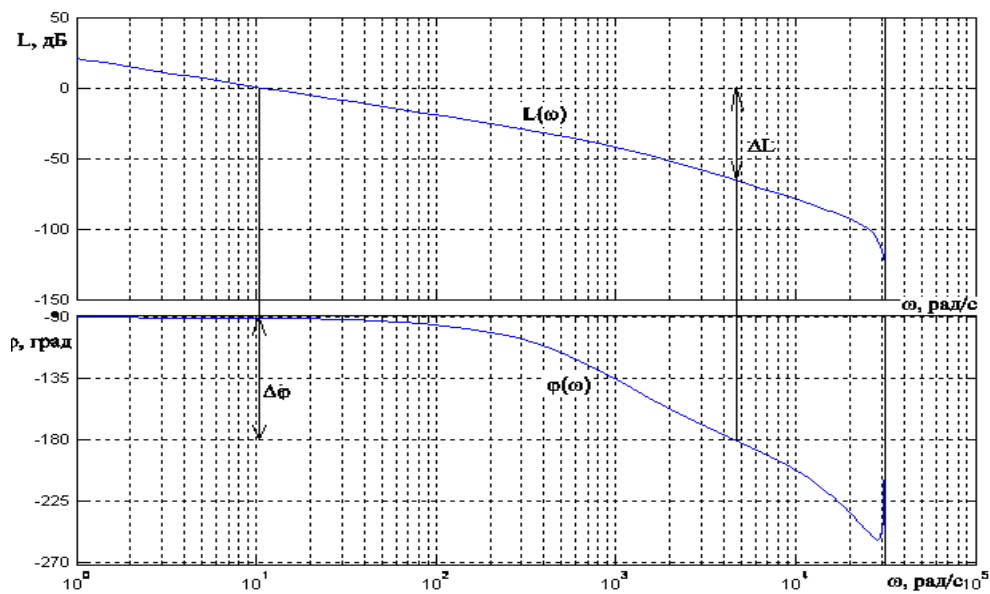


Рисунок 3.10 – Логарифмические частотные характеристики разомкнутого контура потокосцепления, настроенного на МО (без фильтра на входе)

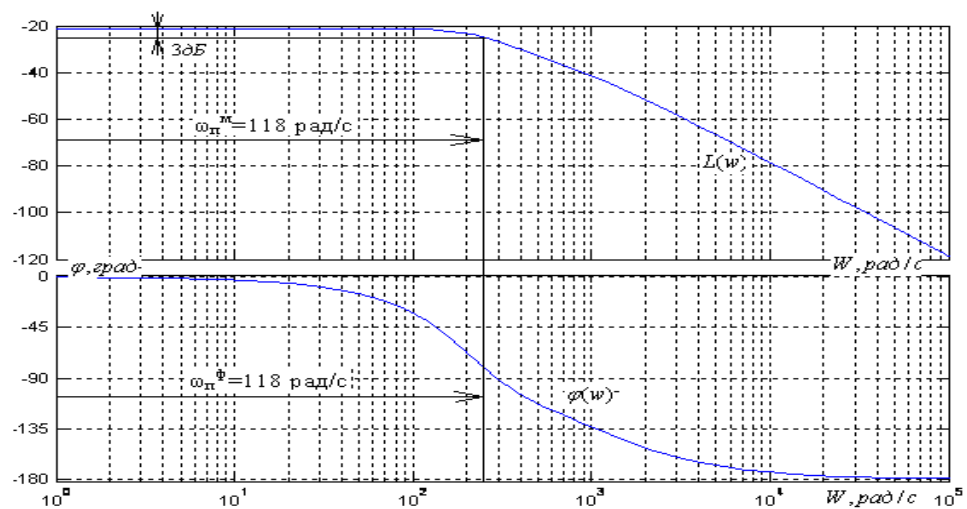


Рисунок 3.11 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура потокосцепления, настроенного на МО (без фильтра на входе)

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 $\Delta\psi_{уст} = 0 Вб$. В зависимости от соотношения малых

постоянных времени T_T и $T_{\mu\psi 0}$ контур имеет следующие динамические показатели качества работы:

- перерегулирование

$$\sigma = (4.3 \div 6.7)\%;$$

- время вхождения в 5% зону

$$t_{py1}^{(5)} = (4,1 \div 2,75) \cdot (T_T + T_{\mu\psi 0}) = (4,1 \div 2,75) \cdot (0,000917 + 0,0027) = 0,011, с. \quad (3.25)$$

$$t_{py2}^{(5)} = 0,02, с.$$

Для замкнутого контура

- полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{(0.71 - 0.9)}{T_T + T_{\mu\psi 0}} = \frac{0,9}{0,000917 + 0,0027} = 197,2 \text{ рад/с} \quad (4.26)$$

из характеристик (рис. 3.11) видно что $\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = 118 \text{ рад/с}$

- полоса пропускания по фазе $\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = 120 \text{ рад/с}$.

Для разомкнутого контура

Из графика приведенного на рис. 3.5

- запас устойчивости по модулю $\Delta L = 65 \text{ дБ}$;
- запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi = 90 \text{ град}$

Таблица 3.2 – Показатели переходных процессов контура потокосцепления с ПИ- регулятором

Показатели переходных процессов			
По управлению			
$t_{py1}^{(5)}$	$t_{py2}^{(5)}$	$\sigma, \%$	$\Delta\psi_{уст}, \text{Вб}$
Ожидаемые показатели			
0,011	-	(4.3 ÷ 6.7)	0
Результаты моделирования			
0,013	0,023	5.4	0.092

Вывод: Анализ параметров качества, приведенных в таблице 6 показал, что ожидаемые показатели и результаты моделирования отличаются не значительно, поэтому это подтверждает, что параметры контура рассчитаны и выбраны верно.

3.2.2 Оптимизация контура скорости с инерционной обратной связью

СВЯЗЬЮ

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

$$W(p)_{\text{зам.т}} \approx \frac{1}{T_T \cdot p + 1} \approx \frac{1}{0.000917 \cdot p + 1}; \quad (3.27)$$

Где T_T – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

$$T_T = a_T \cdot T_{\mu\text{тЭ}} = a_T \cdot (T_{\mu\text{тП}} + T_{\mu\text{т0}}) = 2 \cdot (0.000125 + 0.00033) = 0.000917\text{с}, \quad (3.28)$$

Оптимизация контура скорости с П – регулятором

Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и П – регулятором приведена на рисунке 3.14.

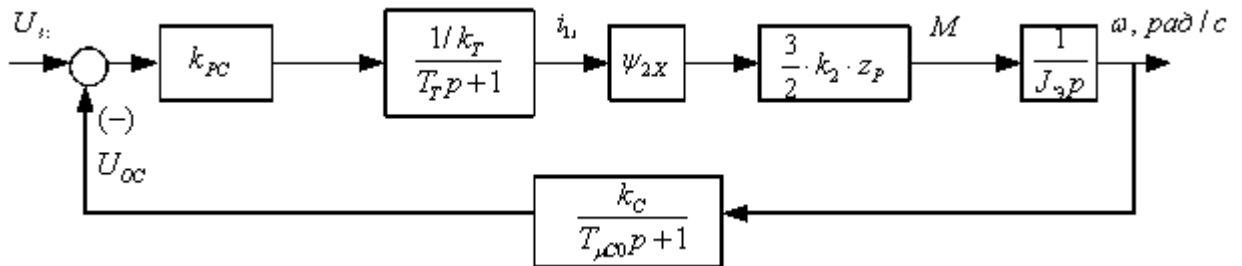


Рисунок 3.14 – Структурная схема контура скорости с П-регулятором

Передаточная функция П- регулятора скорости

$$W_{PC}(p) = k_{PC}.$$

Коэффициент усиления регулятора скорости

$$k_{PC} = \frac{J_{\text{э}} \cdot k_T}{\psi_{2X} \cdot \frac{3}{2} \cdot k_2 \cdot z_p \cdot k_C} \cdot \frac{1}{a_C \cdot (T_T + T_{\mu\text{с0}})} = \frac{0.285 \cdot 0.313}{0.781 \cdot \frac{3}{2} \cdot 1.021 \cdot 2 \cdot 0.066} \cdot \frac{1}{2 \cdot (0.000917 + 0.002)} = 96.12, \quad (3.29)$$

$$\text{Где } k_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{0.101}{0.099} = 1.02, \quad (3.30)$$

k_C – коэффициент обратной связи по скорости.

$$k_C = \frac{U_{3СМАКС}}{W_{ЭПМАКС}} = \frac{10}{150,512} = 0,066, В \cdot с / рад \quad (3.31)$$

Принять $U_{3СМАКС} = 10В$;

$a_C = 2$ – коэффициент оптимизации;

ψ_{2X} – проекция вектора потокосцепления ротора на ось x ортогональной системы координат x, y . В однозонном электроприводе $\psi_{2X} = \psi_{2XH} = 0,914, Вб$.

Контур скорости с П – регулятором в однозонном электроприводе имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W(p)_{РАЗ.С} = \frac{1}{a_C \cdot T_T \cdot T_{\mu C0} \cdot T_{\mu CЭ} \cdot p^3 + a_C \cdot T_{\mu CЭ}^2 \cdot p^2 + a_C \cdot T_{\mu CЭ} \cdot p} \approx \frac{1}{1.069 \cdot 10^{-8} \cdot p^3 + 1.701 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 5.83 \cdot 10^{-3} \cdot p}; \quad (3.32)$$

- замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{ЗАМ.С} = \frac{\frac{1}{k_C} \cdot (T_{\mu C0} \cdot p + 1)}{a_C \cdot T_T \cdot T_{\mu C0} \cdot T_{\mu CЭ} \cdot p^3 + a_C \cdot T_{\mu CЭ}^2 \cdot p^2 + a_C \cdot T_{\mu CЭ} \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{k_C} \cdot (T_{\mu C0} \cdot p + 1)}{a_C \cdot T_{\mu CЭ}^2 \cdot p^2 + a_C \cdot T_{\mu CЭ} \cdot p + 1} \quad (3.33)$$

$$W(p)_{ЗАМ.С} = \frac{15.051 \cdot (0.002 \cdot p + 1)}{1.7 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 5.83 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1};$$

Где $T_{\mu CЭ} = T_T + T_{\mu C0} = 0.000917 + 0.002 = 0.00292, с$ – эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура. ω

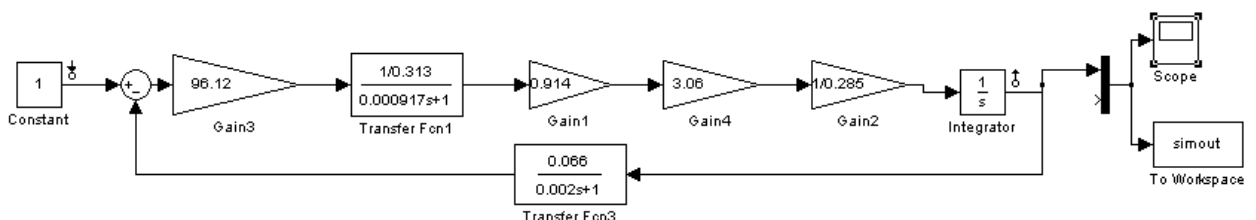


Рисунок 3.15– Структурная схема контура скорости с П – регулятором

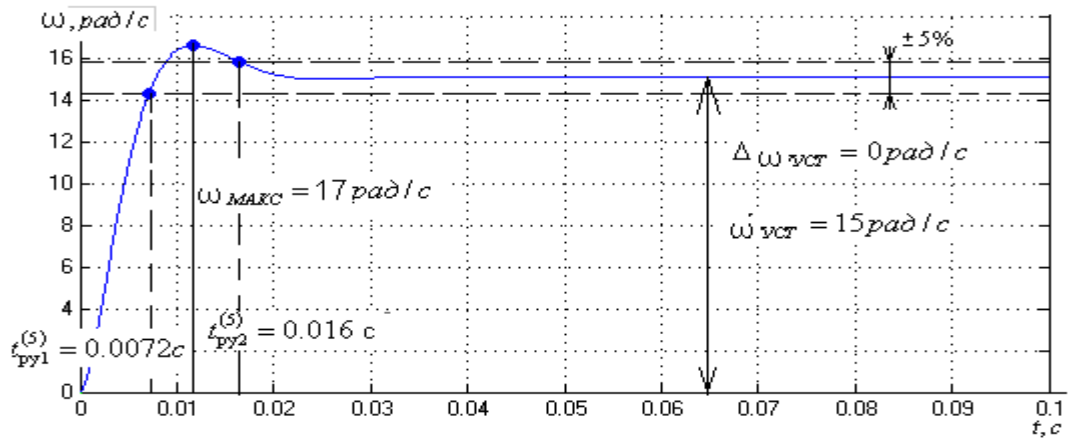


Рисунок 3.16 – Переходная характеристика контура скорости по структурной схеме рисунка 23 при $U_{3C} = 10 \text{ В}$

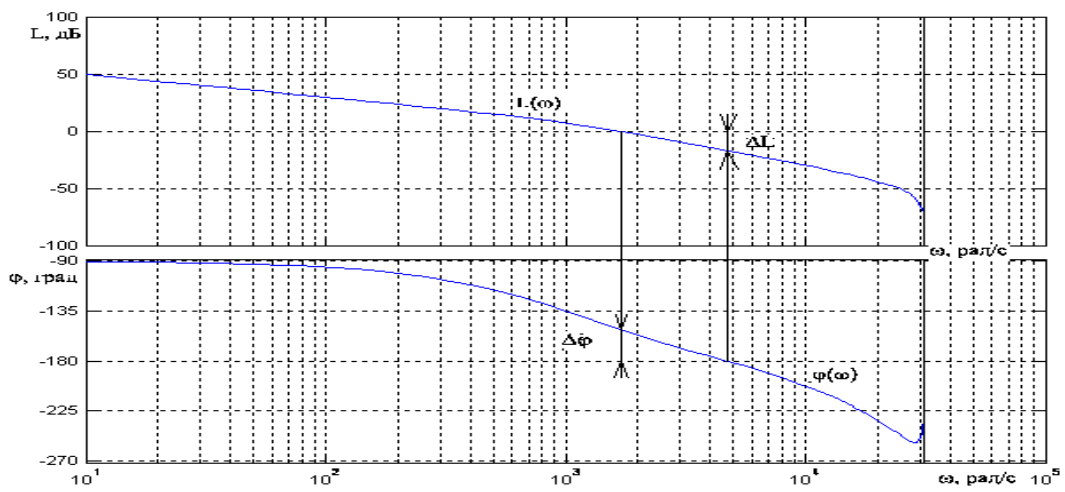


Рисунок 3.17 – Логарифмические частотные характеристики разомкнутого контура скорости, настроенного на МО (без фильтра на входе)

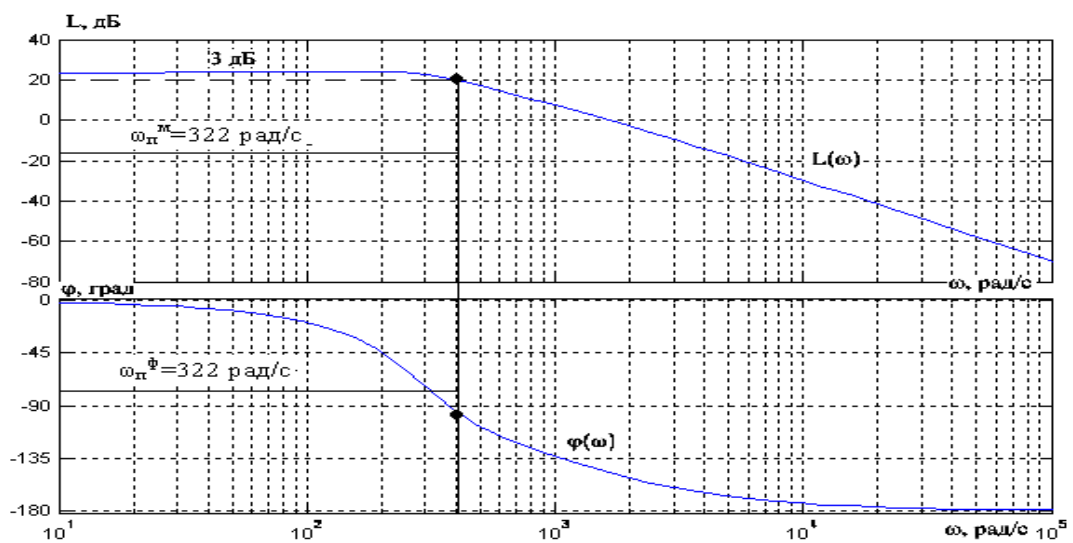


Рисунок 3.18 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура скорости, настроенного на МО (без фильтра на входе)

Настройка контура близка к настройке на МО системы 2-го порядка. Контур является астатической системой 1-го порядка по управлению и обеспечивает нулевую установившуюся ошибку по управлению

$$\Delta W_{y,уст} = 0 \text{ рад/с.}$$

И соответственно показатели отработки скачка задания:

- перерегулирование

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

- время первого вхождения в 5% зону

$$t_{\text{вх}1}^{(5)} = (4.1 \div 2.75) \cdot (\dot{O}_0 + \dot{O}_{\mu\tilde{N}0}) = (4.1 \div 2.75) \cdot (0.000917 + 0.002) = 0.0088\tilde{\text{с}}. \quad (3.34)$$

Из графика переходного процесса (рис 3.16) нам видно, что время первого вхождения в 5% зону равно

$$t_{\text{вх}1}^{(5)} = 0.0072, \text{ а время второго вхождения в 5\% зону } t_{\text{вх}2}^{(5)} = 0.016.$$

Для замкнутого контура

- В зависимости от соотношения малых постоянных времени $\frac{T_{\mu C0}}{T_T}$

полоса пропускания контура по модулю изменяется в пределах.

$$\omega_i^{(\delta)} = \omega_i^{(\phi)} = \frac{(0.71 \div 0.9)}{\dot{O}_0 + \dot{O}_{\mu\tilde{N}0}} = \frac{(0.71 \div 0.9)}{0.000917 + 0.002} = 322 \text{ рад/с} \quad (3.35)$$

Из графиков видно, что $\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\phi)} = 322 \text{ рад/с}$

Для разомкнутого контура

- запас устойчивости по модулю $\Delta L = 29\text{дБ}$;
- запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi = 30\text{дБ}$;

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

Теоретические и экспериментальные показатели качества линеаризованного контура скорости сведены в таблицу 3.3

Таблица 3.3 – Показатели переходных процессов контура скорости с

П – регулятором

Показатели переходных процессов			
По управлению			
$t_{py1}^{(5)}$	$t_{py2}^{(5)}$	$\sigma, \%$	$\Delta W_{y.uct}, рад/с$
Ожидаемые показатели			
0,008 8	-	(4.3 ÷ 6.7)	0
Результаты моделирования			
0,007 2	0.016	6,6	

Вывод: Анализ параметров качества, приведенных в таблице 6 показал, что ожидаемые показатели и результаты моделирования отличаются не значительно, поэтому это подтверждает, что параметры контура рассчитаны и выбраны верно.

3.2.3 Оптимизация контура скорости с ПИ – регулятором

Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ – регулятором приведена на рисунке 3.19.

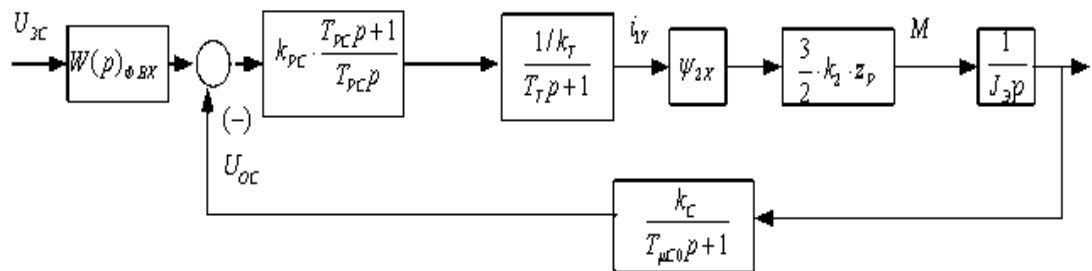


Рисунок 3.19 – Структурная схема контура скорости с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора

$$W(p)_{PC} = k_{PC} \cdot \frac{T_{PC} \cdot p + 1}{T_{PC} \cdot p} = 96.12 \cdot \frac{0.012 \cdot p + 1}{0.012 \cdot p}. \quad (3.36)$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям

$$k_{PC} = \frac{J_{\Delta} \cdot k_T}{\psi_{2x} \cdot \frac{3}{2} \cdot k_2 \cdot z_p \cdot k_C} \cdot \frac{1}{a_C \cdot (T_T + T_{\mu C0})} =$$

$$= \frac{0.285 \cdot 0.313}{0.781 \cdot \frac{3}{2} \cdot 1.02 \cdot 2 \cdot 0.066} \cdot \frac{1}{2 \cdot (0.000917 + 0.002)} = 96.12, \quad (3.37)$$

$$\text{Где } k_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{0.101}{0.099} = 1.102,$$

T_{PC} – эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура.

$$T_{PC} = b_C \cdot a_C \cdot (T_T + T_{\mu C0}) = 2 \cdot 2 \cdot (0,000917 + 0,002) = 0,012, c \quad (3.38)$$

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

- разомкнутого контура

$$W(p)_{PA3.C} = \frac{a_C \cdot b_C \cdot (T_{\mu C3} \cdot p + 1)}{b_C \cdot a_C^4 \cdot T_T \cdot T_{\mu C0} \cdot T_{\mu C3}^4 \cdot p^4 + b_C \cdot a_C^3 \cdot T_{\mu C3}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C3}^2 \cdot p^2 + b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu C3} \cdot p + 1} = \quad (4.36)$$

$$= \frac{2 \cdot 2 \cdot (0.012 \cdot p + 1)}{1.248 \cdot 10^{-10} \cdot p^4 + 6.806 \cdot 10^{-5} \cdot p^3 + 6.806 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0.012 \cdot p + 1};$$

- замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{PA3.C} = \frac{1}{k_C} \cdot \frac{a_C \cdot b_C \cdot (T_{\mu C3} \cdot p + 1) \cdot (T_{\mu C0} \cdot p + 1)}{b_C \cdot a_C^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu C0} \cdot T_{\mu C3}^2 \cdot p^4 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C3}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C3}^2 \cdot p^2 + b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu C3} \cdot p + 1} = \quad (3.39)$$

$$= \frac{1}{0,066} \cdot \frac{2 \cdot 2 \cdot (0.012 \cdot p + 1) \cdot (0,002 \cdot p + 1)}{1.248 \cdot 10^{-10} \cdot p^4 + 6.806 \cdot 10^{-5} \cdot p^3 + 6.806 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0.012 \cdot p + 1};$$

Где $T_{\mu C3}$ – эквивалентная малая постоянная времени

$$T_{\mu C3} = T_T + T_{\mu C0} = 0.000917 + 0.002 = 0.00292, c \quad (3.40)$$

Оптимизированный контур при обработке ступенчатых управляющих воздействий обеспечивает высокое быстродействие при перерегулировании в общем случае более 43%. Настройка контура без фильтров на входе близка к настройке на СО.

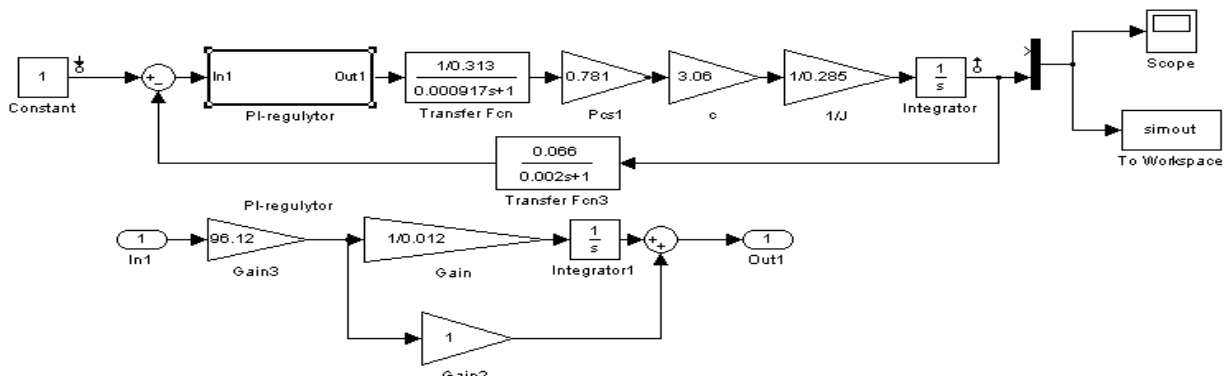


Рисунок 3.20 – Функциональная схема контура скорости с ПИ-регулятором

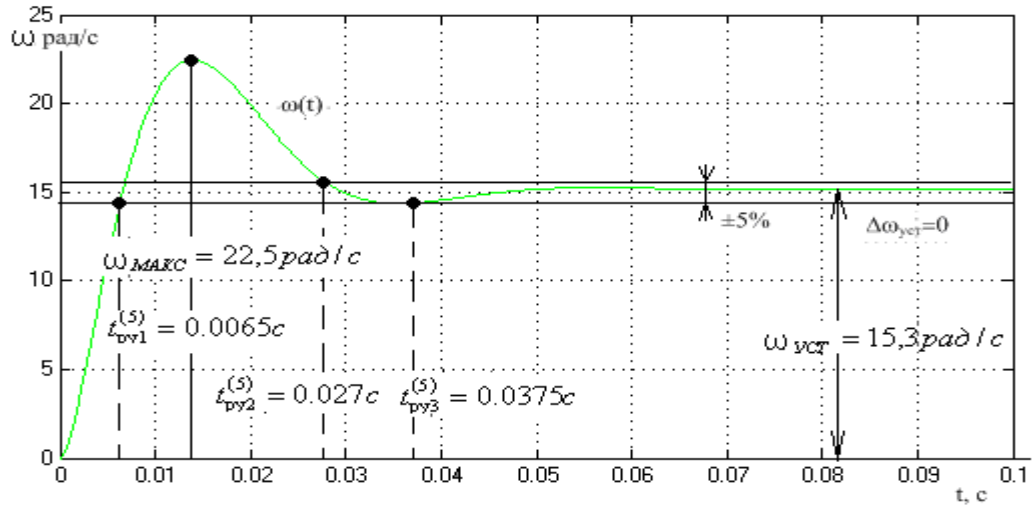


Рисунок 3.21 – Переходная характеристика контура скорости по структурной схеме рисунка 28 при $U_{3T} = 1$ В

Если на входе контура установить фильтр с передаточной функцией

$$W(p)_{\phi.BX.} = \frac{1}{T_{\phi.BX2} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,002 \cdot p + 1}; \quad (3.41)$$

И постоянной времени $T_{\phi.BX2} = T_{\mu C0} = 0,002, c$

То перерегулирование не будет превышать 43%. Для ограничения перерегулирования на уровне 8.1% на входе контура скорости должны быть включены два одинаковых фильтра соответственно с постоянными времени

$$T_{\phi.BX2} = b_C \cdot a_C \cdot (T_T + T_{\mu C0}) = 2 \cdot 2 \cdot (0,000917 + 0,002) = 0,0117, c; \quad (3.42)$$

$$T_{\phi.BX2} = T_{\mu C0} = 0,002, c;$$

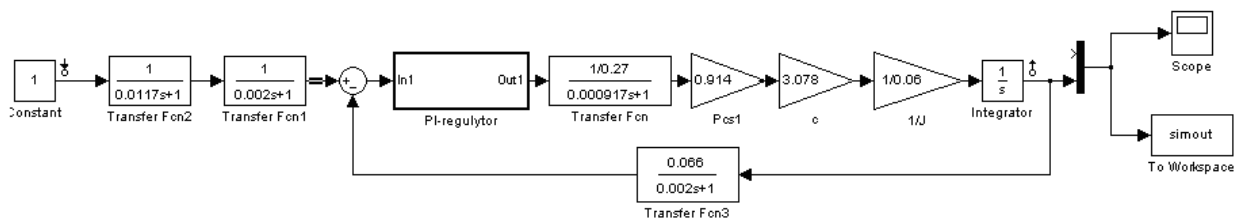


Рисунок 3.22 – Функциональная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ- регулятором

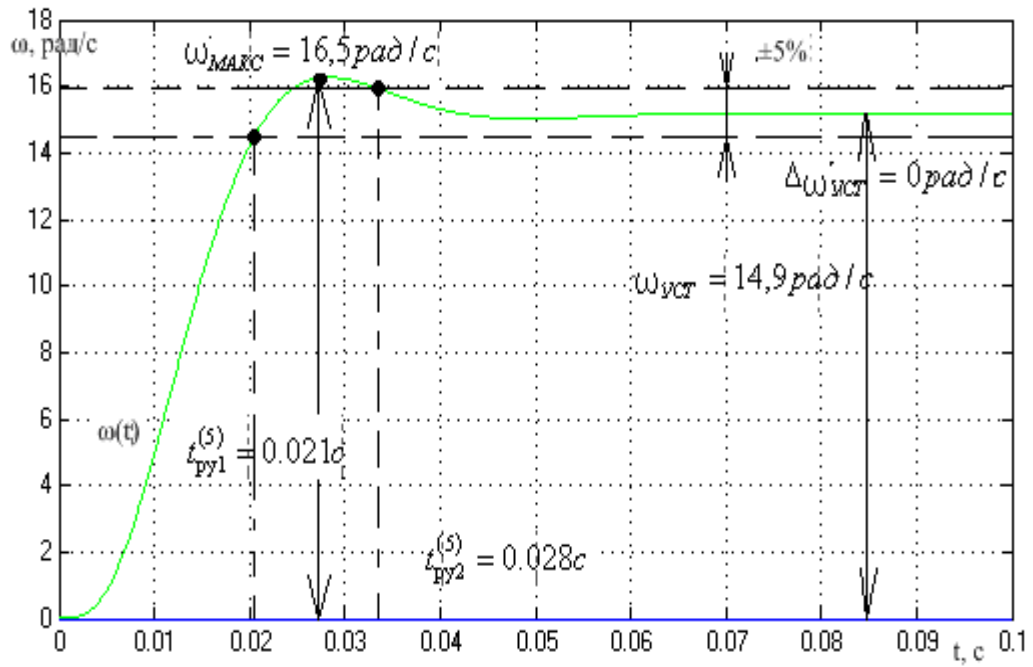


Рисунок 3.23 – Переходная характеристика контура скорости по структурной схеме рисунка 3.22 (с 2-мя фильтрами на входе) при $U_{3T} = 1$ В

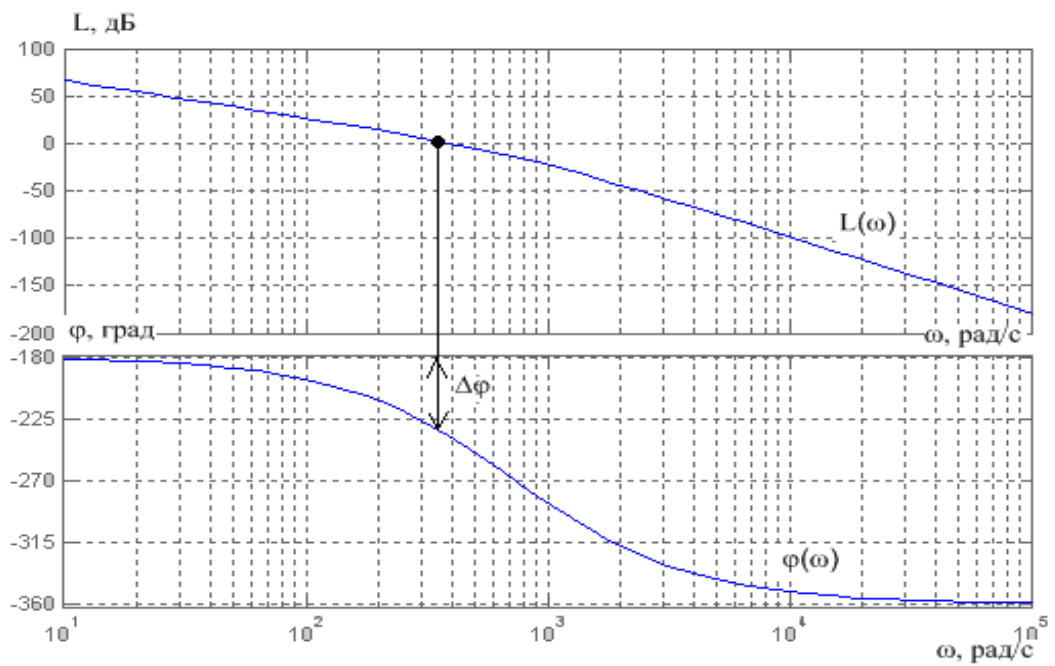


Рисунок 3.24 – Логарифмические частотные характеристики разомкнутого контура скорости, настроенного на МО (с фильтрами на входе)

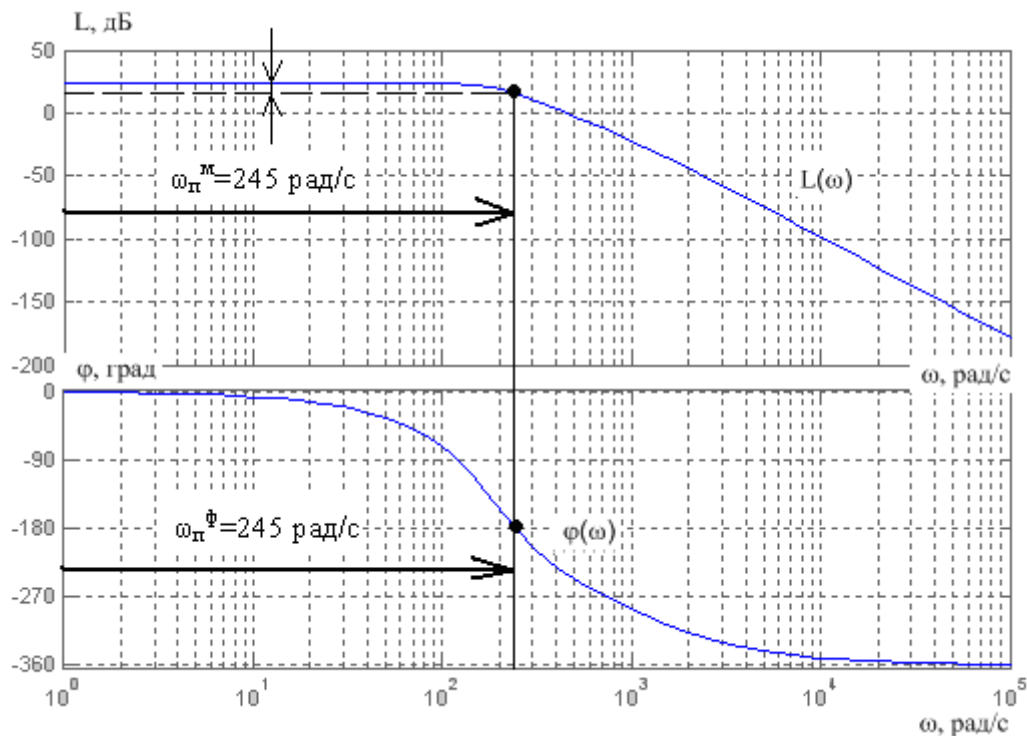


Рисунок 3.25 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура скорости, настроенного на МО (с фильтрами на входе)

Передаточная функция замкнутого контура скорости по управлению с двумя фильтрами на входе имеет вид:

- замкнутого контура

$$W(p)_{\text{РАЗ.С}} = \frac{1}{k_c} \cdot \frac{1}{b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu\text{С0}} \cdot T_{\mu\text{СЭ}}^2 \cdot p^4 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu\text{СЭ}}^3 \cdot p^3 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu\text{СЭ}}^2 \cdot p^2 + b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu\text{СЭ}} \cdot p + 1} \quad (3.43)$$

Где $T_{\mu\text{СЭ}}$ – эквивалентная малая постоянная времени

$$T_{\mu\text{СЭ}} = T_T + T_{\mu\text{С0}} = 0.000917 + 0.002 = 0.00292, \text{ с} \quad (3.44)$$

На входе контура достаточно установить один сглаживающий фильтр с постоянной времени

$$T_{\Phi, \text{ВХ2}} = b_c \cdot a_c \cdot (T_T + T_{\mu\text{С0}}) = 2 \cdot 2 \cdot (0.000917 + 0.002) = 0.0117; \quad (3.45)$$

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

Контур скорости с фильтрами на входе представляет собой астатическую систему 1-го порядка и обеспечивает нулевую статическую ошибку по управлению. Динамические показатели качества работы контура

зависят от соотношения малых постоянных времени $\frac{T_{\mu C0}}{T_T}$ и предварительно могут быть определены по выражениям;

- перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5% зону при отработке скачка задания

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

$$t_{py1}^{(5)} = (7 \div 5,8) \cdot (T_T + T_{\mu C0}) = (7 \div 5,8) \cdot (0,000917 + 0,002) = 0,0215 \text{ с.} \quad (3.46)$$

$$t_{py2}^{(5)} = (12 \div 9,5) \cdot (T_T + T_{\mu C0}) = (12 \div 9,5) \cdot (0,000917 + 0,002) = 0,027 \text{ с.} \quad (3.47)$$

Для замкнутого контура

- полоса пропускания контура по модулю и по фазе изменяются в пределах

$$\omega_H^{(M)} = \frac{(0,5 \div 0,54)}{T_T + T_{\mu C0}} = \frac{(0,5 \div 0,54)}{0,00917 + 0,002} = 186,2 \text{ рад/с}; \quad (3.48)$$

$$\omega_H^{(\phi)} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{T_T + T_{\mu C0}} = \frac{(0,36 \div 0,42)}{0,000917 + 0,002} = 144,8 \text{ рад/с}; \quad (3.49)$$

Для разомкнутого контура

- запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi = 50\text{дБ}$;

Таблица 3.4 – Показатели переходных процессов контура скорости с

ПИ- регулятором

Показатели переходных процессов			
По управлению			
$t_{py1}^{(5)}$	$t_{py2}^{(5)}$	$\sigma, \%$	$\Delta W_{y.yct}, \text{ рад/с}$
Ожидаемые показатели			
0,021	0,027	(8,1 ÷ 10)	0
5			
Результаты моделирования			
0,021	0,028	9,6	15

Вывод: Анализ параметров качества, приведенных в таблице 3.4 показал, что ожидаемые показатели и результаты моделирования отличаются не значительно, поэтому это подтверждает, что параметры контура рассчитаны и выбраны верно.

3.2.4 Обработка контуром скорости возмущающих воздействий

Контур скорости с П – регулятором

Структурная схема линейризованного контура скорости с инерционной обратной связью и П – регулятором для режима обработки возмущающего воздействия приведена на рисунке 3.27.

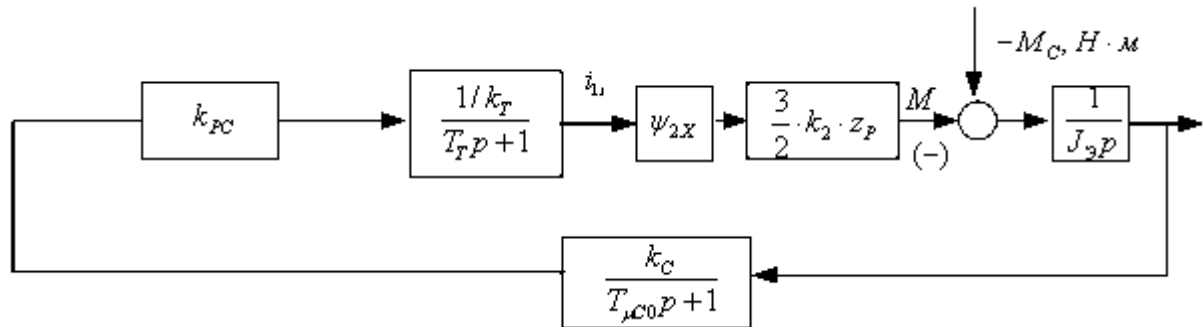


Рисунок 3.27 – Структурная схема линейризованного контура скорости с П – регулятором при обработке возмущения

Передаточная функция замкнутого контура скорости по возмущению

$$W(p)_{B.3AM} = \frac{W(p)}{-M_C(p)} = \frac{\frac{1}{J_2} \cdot a_C \cdot T_{\mu C \Sigma} \cdot (T_T \cdot p + 1) \cdot (T_{\mu C0} \cdot p + 1)}{a_C \cdot T_T \cdot T_{\mu C0} \cdot T_{\mu C \Sigma}^3 \cdot p^3 + a_C \cdot T_{\mu C \Sigma}^2 \cdot p^2 + a_C \cdot T_{\mu C \Sigma} \cdot p + 1} \approx \quad (4.50)$$

$$\approx \frac{0.02 \cdot (0.00292 \cdot p + 1) \cdot (0.002 \cdot p + 1)}{1.069 \cdot 10^{-8} \cdot p^3 + 1.701 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 5.833 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1};$$

Оптимизированный замкнутый контур скорости с П – регулятором представляет собой статическую систему регулирования по возмущению. Ожидаемые показатели качества работы контура при обработке ступенчатого возмущающего воздействия:

- установившаяся ошибка по возмущению

$$\Delta W_{B.VCT} = \frac{a_C \cdot (T_T + T_{\mu C0})}{J_2} \cdot \Delta M_C = \frac{2 \cdot (0,000917 + 0,002)}{0,06} \cdot (-33) = 3,209 \text{ рад/с}; \quad (4.51)$$

- динамический провал (всплеск) скорости при набросе (сбросе) нагрузки ΔM_C

$$\Delta W_{B.MAKC} \approx 1,067 \cdot (-3,209) = 6,63 \text{ рад/с};$$

- время обработки возмущающего воздействия

$$t_{PB} \approx 2,45 \cdot (T_T + T_{\mu C0}) \approx 2,45 \cdot (0,000917 + 0,002) \approx 0,0071, \text{с}. \quad (4.52)$$

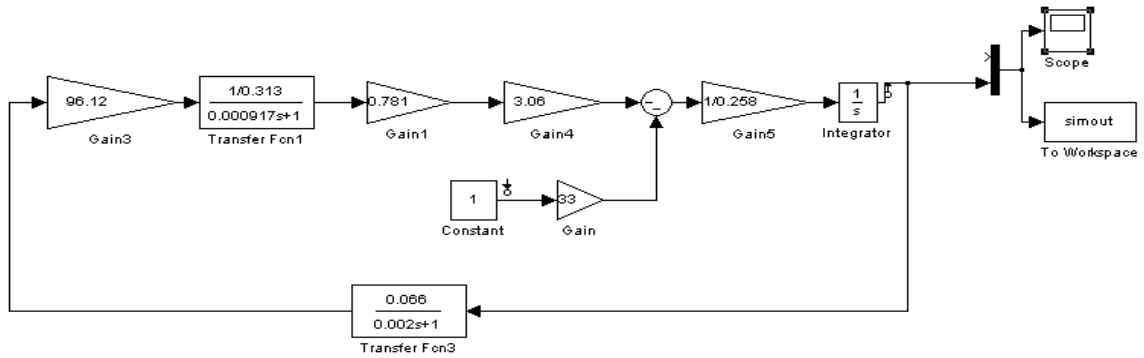


Рисунок 3.28 – Функциональная схема линейризованного контура скорости с П – регулятором при отработке возмущения

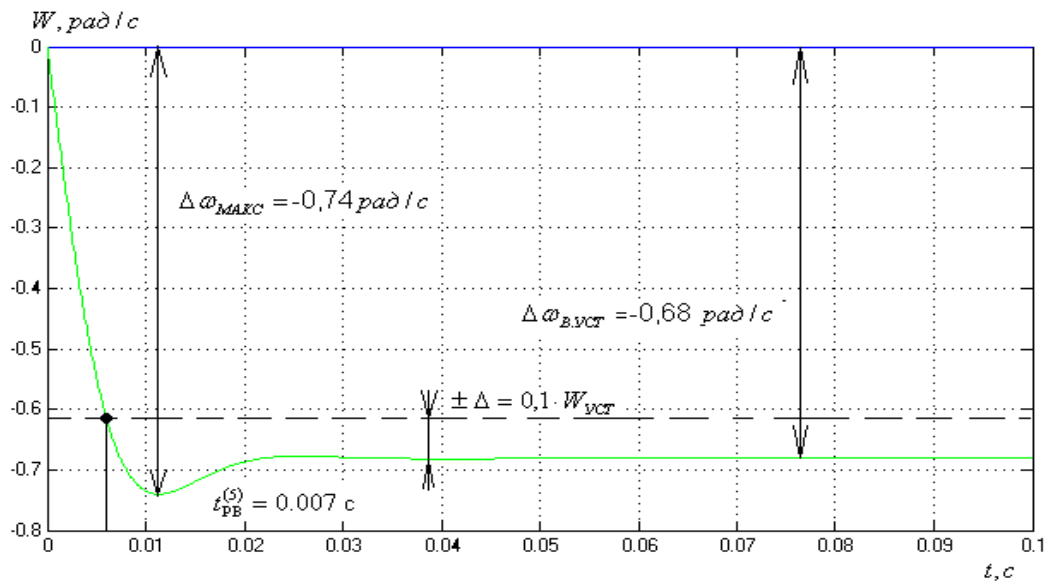


Рисунок 3.29 –Переходная характеристика контура скорости по структурной схеме рисунка 3.28, $\Delta M_C = 33$

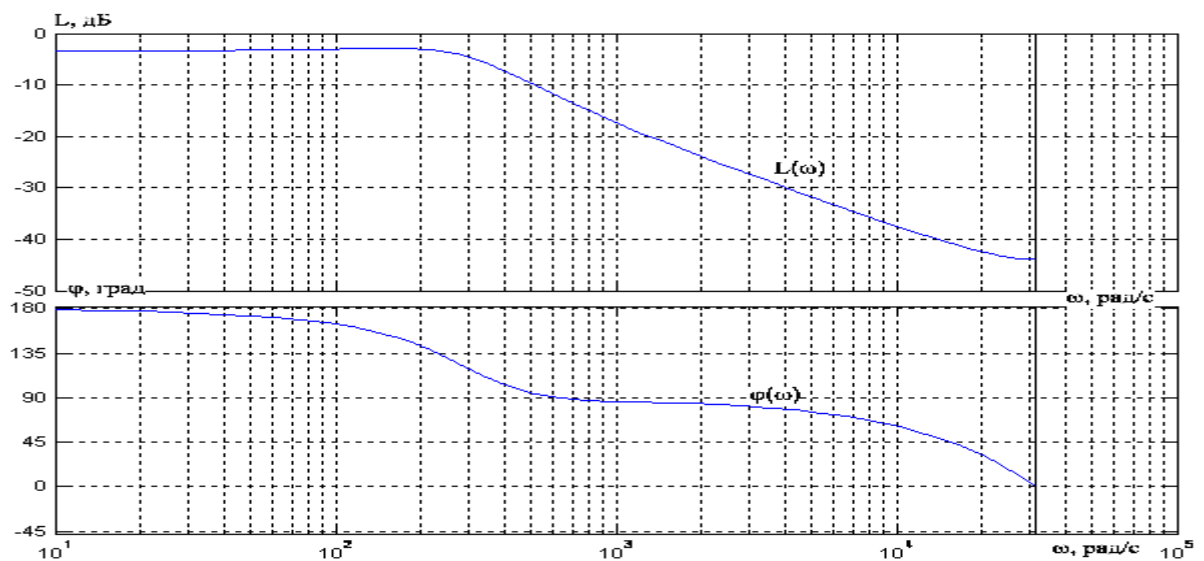


Рисунок 3.30 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура скорости, настроенного на МО

Теоретические и экспериментальные показатели качества сведены в таблицу 8. Время переходного процесса по возмущению t_{PB} оценивается по окончательному вхождению в зону допустимых отклонений $\pm\Delta$, где $\Delta = 0.1 \cdot W_{уст}$

Таблица 3.5 - Показатели переходных процессов контура скорости с ПИ- регулятором

$\Delta W_{B.МАКС}, рад/с$ ($\Delta M_C = 33Н \cdot м$)	$t_{PB}, с$	$\Delta W_{B.УСТ}, рад/с$
Ожидаемые показатели качества		
0.72	0,0071	0.67
Результаты моделирования		
0.74	0,007	0.68

Контур скорости с ПИ-регулятором

Структурная схема линейризованного контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором, при отработке возмущающего воздействия приведена на рисунке 3.31.

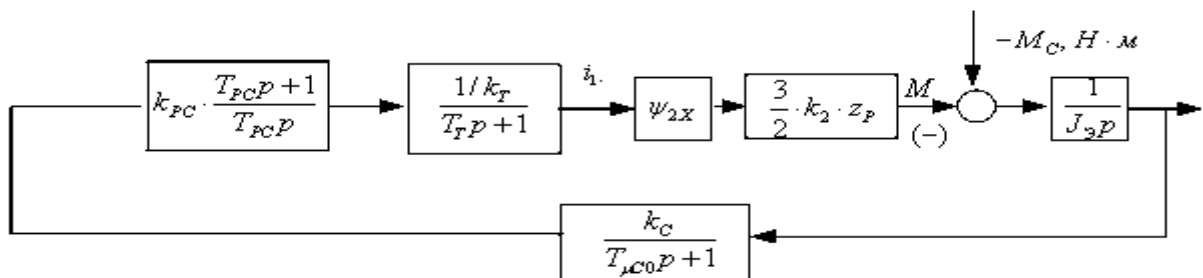


Рисунок 3.31 – Структурная схема линейризованного контура скорости с ПИ- регулятором при отработке возмущения

Передаточная функция замкнутого контура скорости по возмущению

$$\begin{aligned}
 W(p)_{B.3AM} &= \frac{W(p)}{-M_C(p)} = \\
 &= \frac{\frac{1}{J_2} \cdot b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C \Sigma}^2 \cdot p \cdot (T_T \cdot p + 1) \cdot (T_{\mu C 0} \cdot p + 1)}{b_C \cdot a_C \cdot T_T \cdot T_{\mu C 0} \cdot T_{\mu C \Sigma}^2 \cdot p^4 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C \Sigma}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C \Sigma}^2 \cdot p^2 + b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu C \Sigma} \cdot p + 1} \approx \\
 &\approx \frac{\frac{1}{J_2} \cdot b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C \Sigma}^2 \cdot p \cdot (T_{\mu C \Sigma} \cdot p + 1)}{b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C \Sigma}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C \Sigma}^2 \cdot p^2 + b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu C \Sigma} \cdot p + 1} \approx \\
 &\approx \frac{2.3 \cdot 10^{-4} \cdot p \cdot (0.0022 \cdot p + 1)}{1.985 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 6.806 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0.012 \cdot p + 1};
 \end{aligned} \tag{3.53}$$

Оптимизированный замкнутый контур скорости с Пи-регулятором представляет собой астатическую систему регулирования 1-го порядка по возмущению. Ожидаемые показатели качества работы при обработке ступенчатого возмущающего воздействия:

- установившаяся ошибка по возмущению.

$$\Delta W_{B.YCT} = 0 \text{ рад/с};$$

- динамический провал (всплеск) скорости при набросе (сбросе) нагрузки ΔM_c

$$\Delta W_{B.MAKC} \approx \frac{1,75 \cdot (T_T + T_{\mu C0})}{J_{\Sigma}} \cdot \Delta M_c \approx \frac{1,75 \cdot (0,000917 + 0,002)}{0,06} \cdot 33 \approx 2,805 \text{ рад/с}; \quad (3.54)$$

- время отработки возмущающего воздействия

$$t_{PB} \approx (12,5 \div 10,9) \cdot (T_T + T_{\mu C0}) \approx (12,5 \div 10,9) \cdot (0,000917 + 0,002) \approx 0,0246, \text{с}. \quad (3.55)$$

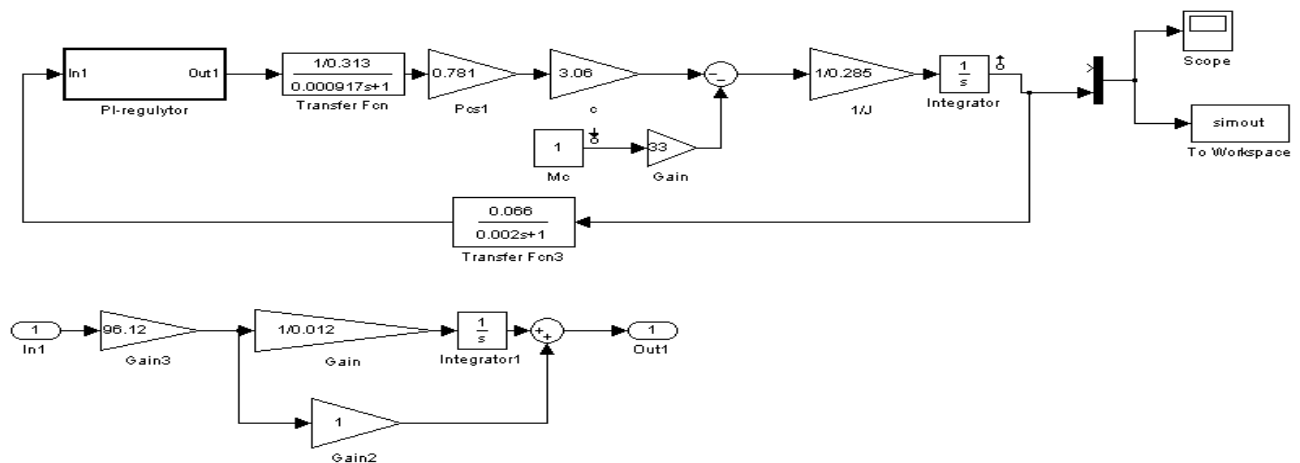


Рисунок 3.32 – Функциональная схема линейризованного контура скорости с ПИ- регулятором при отработке возмущения

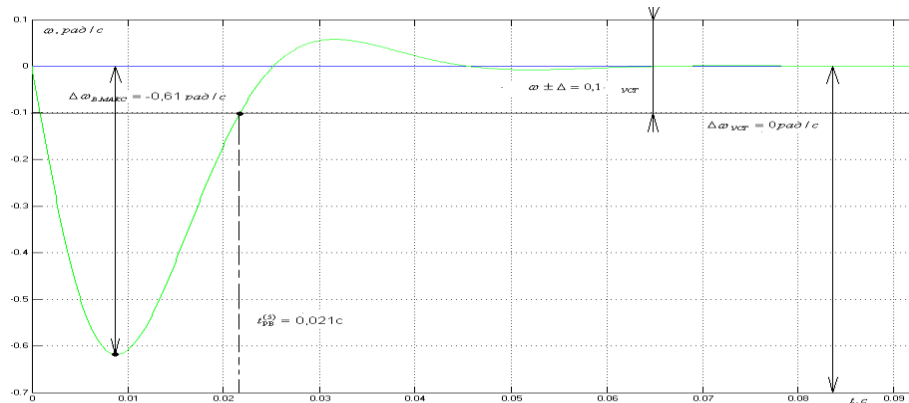


Рисунок 3.33 – Переходная характеристика контура скорости по структурной схеме рис.3.31

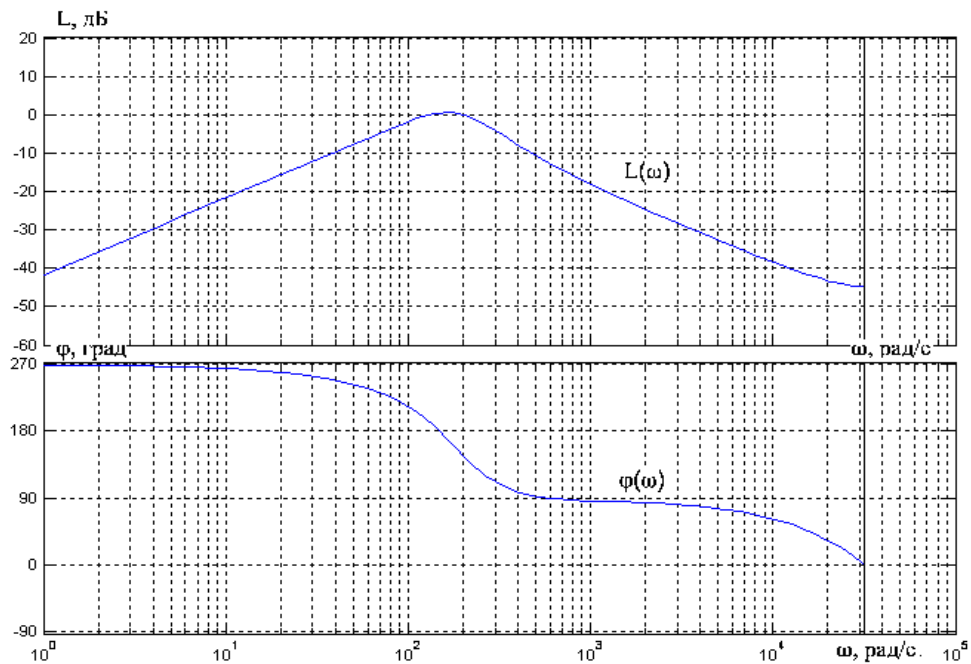


Рисунок 3.34 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура скорости, настроенного на СО(без фильтра на входе)

Теоретические и экспериментальные показатели качества сведены в таблицу 12. Время переходного процесса по возмущению t_{PB} оценивается по окончательному вхождению в зону допустимых отклонений $\pm\Delta$, где $\Delta = 0.1 \cdot W_{уст}$

Таблица 3.6 –Показатели переходных процессов контура скорости с ПИ- регулятором

$\Delta W_{B.МАКС}, рад/c$ ($\Delta M_C = 33Н \cdot м$)	t_{PB}, c	$\Delta W_{B.УСТ}, рад/c$
Ожидаемые показатели качества		
0.59	0,0246	0
Результаты моделирования		
0.61	0,021	0

4 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА НЕЛИНЕЙНОЙ САУ РЭП ЧАСТОТНО – РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Структурная схема нелинейной САУ частотно-регулируемого электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 4.1.

Структурная схема рисунка составлена на основании структурной схемы линеаризованной САУ электропривода и учитывая следующие основные нелинейности элементов системы управления электропривода:

- насыщение регулятора тока, потокосцепления и скорости

$$U_{PTMAKC} = \pm 10B, \quad U_{P\psi MAKC} = \pm 10B, \quad U_{PCMAKC} = \pm 10B,$$

- постоянное по величине в первой зоне и зависимое от скорости во второй зоне регулирования ограничение максимального тока электропривода в переходных режимах и кратковременных нагрузках, которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора скорости на уровне

$$U_{РСДОП}(\omega) = \pm k_T \cdot I_{ЭПМАКС}(\omega), \quad (4.1)$$

Где зависимость $I_{ЭПМАКС}(\omega)$ формируется с помощью блока БЗТО;

- реактивный характер нагрузки

$$M_C(\omega) = M_C \cdot \text{sign}\omega, \quad (4.2)$$

где величина момента изменяется от $(M_{СХХ} + M_{СДВ})$ до $(M_{СМАКС} + M_{СДВ})$;

- нелинейная зависимость задания потокосцепления $U_{C\psi}$ во второй зоне регулирования скорости от величины задания скорости U_{3C} .

Исследование на имитационной модели нелинейной САУ электропривода (рис.4.3) проводятся с целью оценки влияния величины задания скорости U_{3C} и момента M_C на характер переходных процессов и динамические показатели

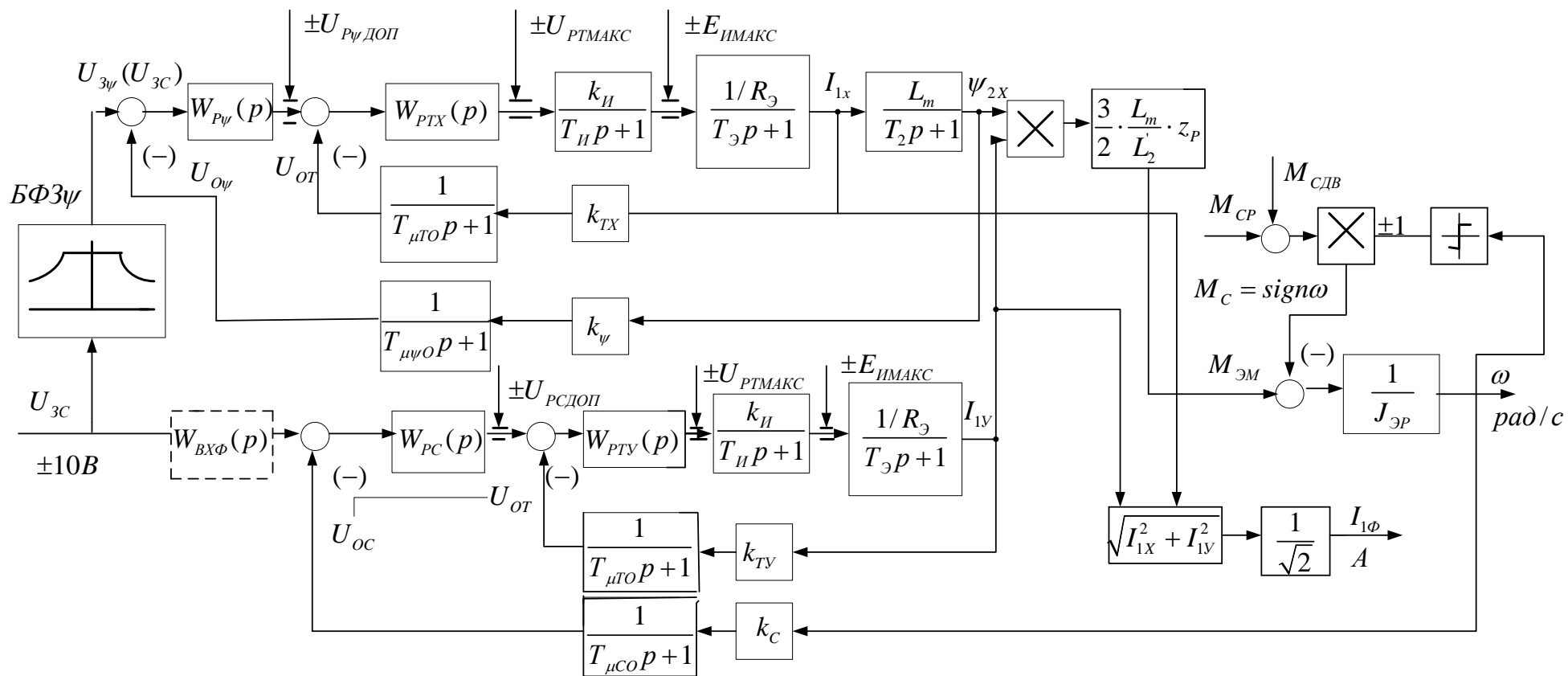


Рисунок 4.1 – Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении.

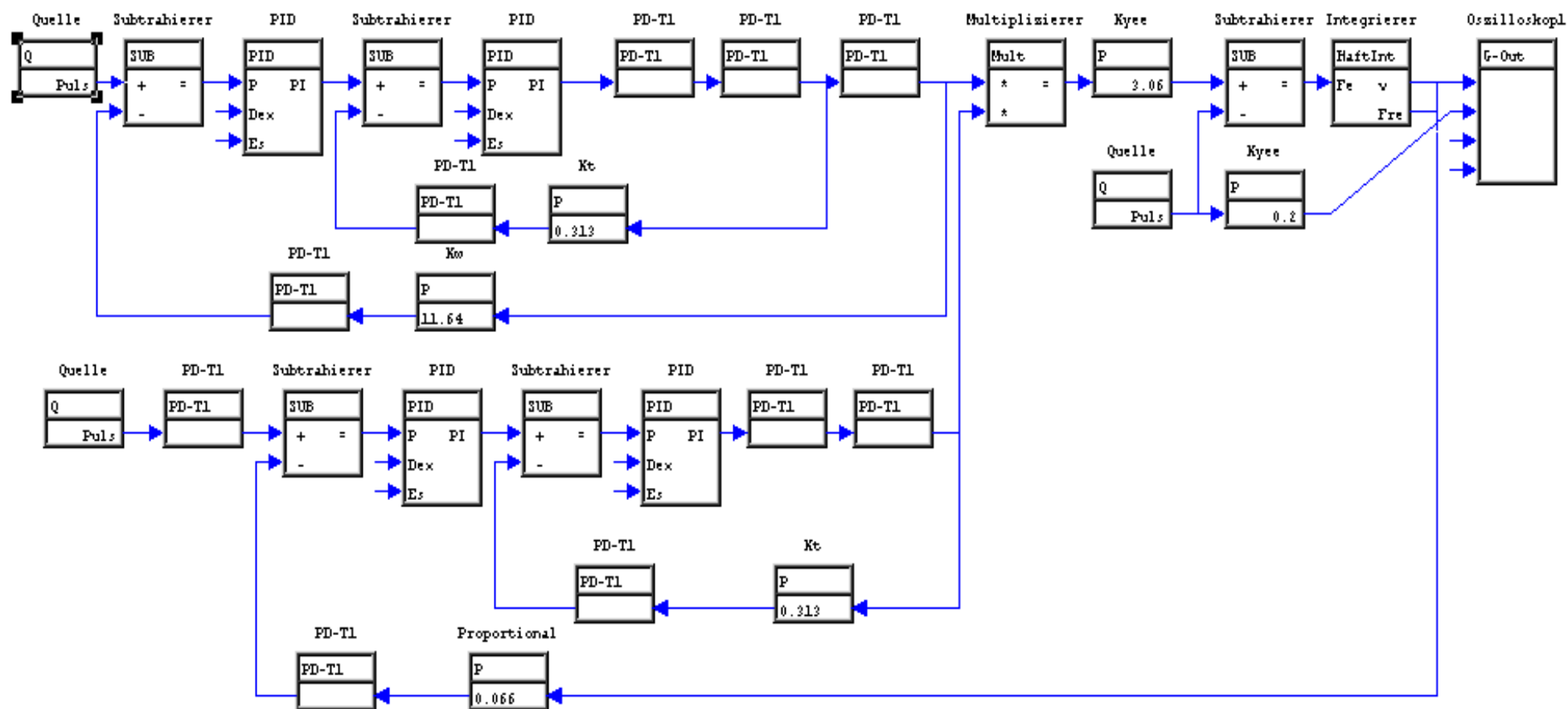


Рисунок 4.2 – Имитационная модель нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

качества работы электропривода с учетом ограничения выходных напряжений регуляторов и преобразователя частоты.

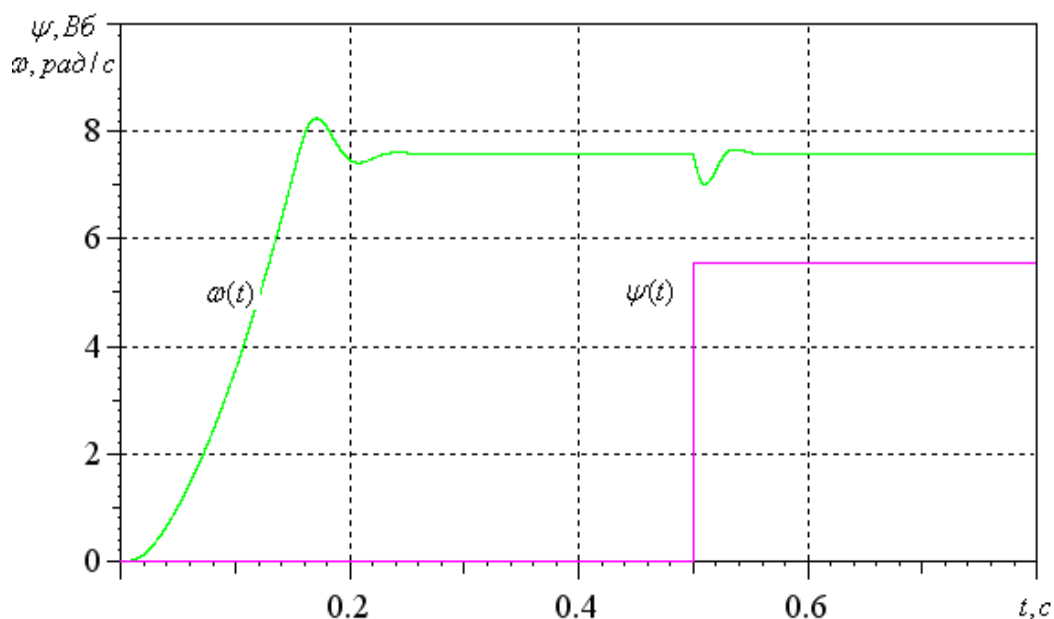


Рисунок 4.3 – Переходная характеристика нелинейной непрерывной САУ

4.1 Расчет статических характеристик электропривода с векторным управлением

САУ электропривода состоит из двух независимых двухконтурных систем регулирования:

- системы стабилизация заданного значения потокосцепления ψ_{2x} ;
- системы стабилизации скорости вращения двигателя в области изменения рабочих нагрузок и стабилизации (ограничения) момента двигателя на заданном максимальном уровне в режиме кратковременных перегрузок.

Фактически же системы регулирования потокосцепления ψ_{2x} и скорости ω взаимосвязаны и влияют друг на друга. Поэтому точный расчет статических характеристик представляет собой весьма сложную задачу. Ограничимся оценкой статических показателей работы контуров регулирования потокосцепления и скорости, рассматривая их как

независимые системы. Такой подход является приближенным, но он дает возможность оценить статические характеристики электропривода с качественной стороны. Для получения количественной оценки статических показателей качества работы электропривода следует использовать динамические имитационные модели, учитывающие взаимное влияние систем регулирования потокосцепления и скорости.

4.2 САР потокосцепления

Структурная схема САР потокосцепления электропривода с полностью компенсированными внутренними обратными связями двигателя для статического режима приведена на рисунке 4.4.

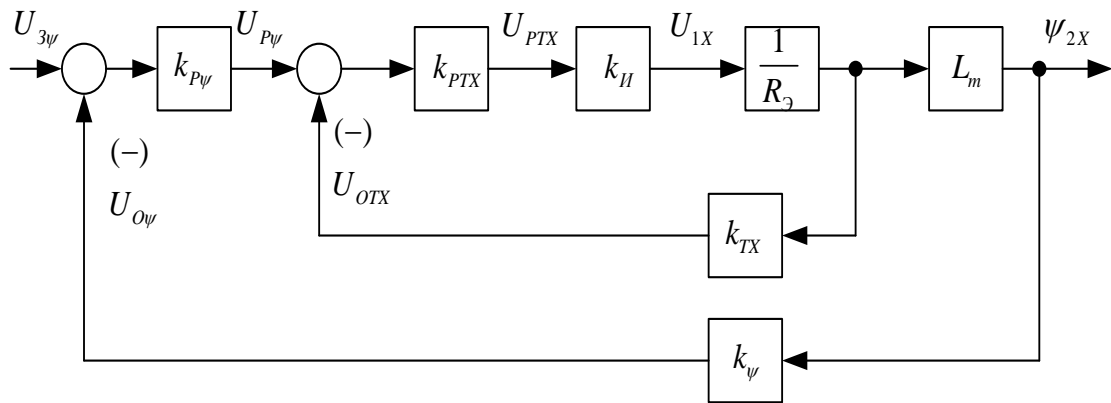


Рисунок 4.4. – Структурная схема САР (стабилизации) потокосцепления в статическом режиме

Структурная схема рис.4.4 описывается следующей системой уравнений:

$$U_{P\psi} = (U_{3\psi} - k_{\psi} \cdot \psi_{2X}) \cdot k_{P\psi}; \quad (4.3)$$

$$U_{1X} = (U_{P\psi} - k_{TX} \cdot I_{1X}) \cdot k_{PTX} \cdot k_{II}; \quad (4.4)$$

$$I_{1X} = \frac{U_{1X}}{R_2}; \quad (4.5)$$

$$\psi_{2X} = I_{1X} \cdot L_m; \quad (4.6)$$

Где $k_{TX} = k_T = 0.313$, $k_{PTX} = k_{PT} = 12.62$,

При ПИ регуляторах тока и потокосцепления коэффициенты усиления регуляторов следует принять

$k_{P\psi} \gg 1$, принимаем $k_{P\psi} = 200$,

$k_{PTX} \gg 1$, принимаем $k_{PTX} = 200$.

Решив совместно приведенную выше систему уравнений, найдем фактическое значение потокосцепления ψ_{2X} при заданном значении управления $U_{3\psi} (U_{3C})$ на входе контура

$$\psi_{2X}(U_{3\psi}) = \frac{k_{P\psi} \cdot k_{PTX} \cdot k_{II} \cdot L_m \cdot k_{\psi}}{R_{\Sigma} + k_{P\psi} \cdot k_{PTX} \cdot k_{II} \cdot L_m \cdot k_{\psi} + k_{PTX} \cdot k_{II} \cdot k_{TX}} \cdot \frac{U_{3\psi}(U_{3C})}{k_{\psi}} = a \cdot \frac{U_{3\psi}(U_{3C})}{k_{\psi}} =$$

$$= \frac{200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.101 \cdot 11.645}{0.623 + 200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.101 \cdot 11.645 + 200 \cdot 31.11 \cdot 0.313} \cdot \frac{10}{12.8} = 0.781 \text{ Вб}, \quad (4.7)$$

Где

$$a = \frac{k_{P\psi} \cdot k_{PTX} \cdot k_{II} \cdot L_m \cdot k_{\psi}}{R_{\Sigma} \cdot k_{P\psi} \cdot k_{PTX} \cdot k_{II} \cdot L_m \cdot k_{\psi} + k_{PTX} \cdot k_{II} \cdot k_{TX}} =$$

$$= \frac{200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.101 \cdot 11.645}{0.623 + 200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.101 \cdot 11.645 + 200 \cdot 31.11 \cdot 0.313} = 0.999; \quad (4.8)$$

$$\psi_{2XЗад} = \frac{U_{3\psi}(U_{3C})}{k_{\psi}} = 0.781 \text{ – заданное значение потокосцепления, Вб.}$$

Абсолютная погрешность контуром заданного значения потокосцепления

$$\Delta\psi_{2X} = \frac{R_{\Sigma} + k_{PTX} \cdot k_{II} \cdot k_{TX}}{R_{\Sigma} + k_{P\psi} \cdot k_{PTX} \cdot k_{II} \cdot L_m \cdot k_{\psi} + k_{PTX} \cdot k_{II} \cdot k_{TX}} \cdot \frac{U_{3\psi}(U_{3C})}{k_{\psi}} =$$

$$= \frac{0.623 + 200 \cdot 31.11 \cdot 0.313}{0.623 + 200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.101 \cdot 12.8 + 200 \cdot 31.11 \cdot 0.313} \cdot 0.781 = 0.00063, \text{ Вб.} \quad (4.9)$$

Таким образом, в общем случае $\psi_{2X} = a \cdot \frac{U_{3\psi}(U_{3C})}{k_{\psi}}$, а в первой зоне

$\psi_{2X} = a \cdot \psi_{2XH}$. В соответствии с полученным выражением погрешность отработки контуром заданного значения потокосцепления не зависит от скорости вращения и нагрузки двигателя. Фактически такая зависимость есть.

Учитывая, что погрешность ψ_{2X} мала, в общем случае можно

принять $\psi_{2X} = \psi_{2XЗад} = \frac{U_{3\psi}(U_{3C})}{k_{\psi}}$, а в первой зоне $\psi_{2X} = \psi_{2XH}$.

4.3 Расчет статических характеристик частотно-регулируемого однозонного асинхронного электропривода с векторным управлением

Структурная схема САР однозонного электропривода при стабилизации скорости и допущении, что САР потокосцепления точно поддерживает заданное номинальное значение потокосцепления ψ_{2XH} , приведена на рисунке 4.5. Регулятор скорости в режиме стабилизации скорости насыщен $U_{PC} < U_{PCДОП}$.

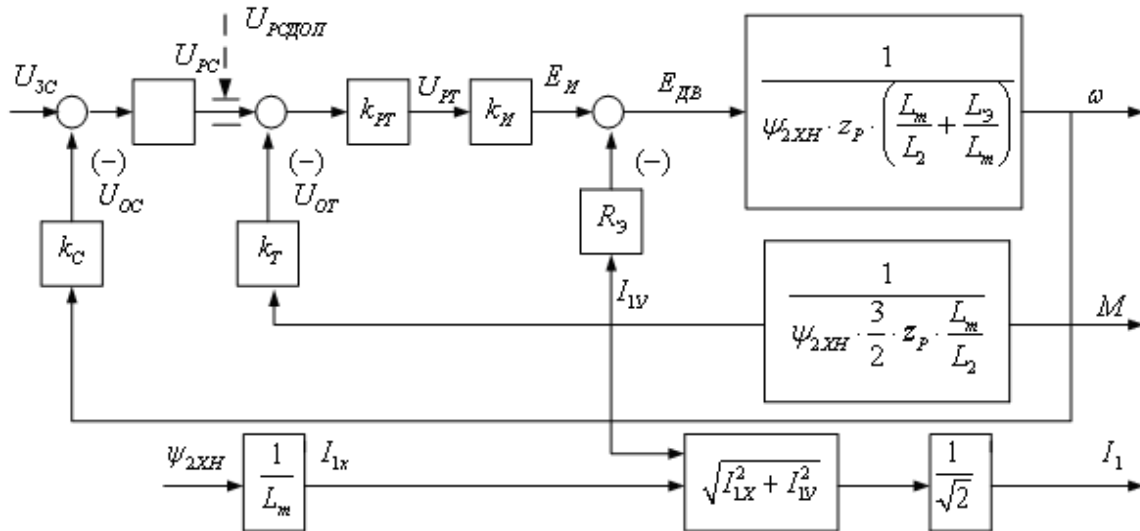


Рисунок 4.5 – Структурная схема САР скорости однозонного электропривода для статического режима стабилизации скорости

Структурная схема рис.4.5 описывается следующей системой уравнений:

$$U_{PC} = (U_{3C} - k_C \cdot \omega) \cdot k_{PC}; \quad (4.10)$$

$$U_{1V} = (U_{PC} - k_{TY} \cdot I_{1V}) \cdot k_{PTY} \cdot k_H; \quad (4.11)$$

$$M = \psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \frac{3}{2} \cdot z_P \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot I_{1V}; \quad (4.12)$$

$$E_{ДВ} = U_{1V} + I_{1V} \cdot R_3; \quad (4.13)$$

$$\omega = \frac{E_{ДВ}}{\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right)}; \quad (4.14)$$

Где при ПИ-регуляторах тока и скорости $k_{PC} \gg 1$, принимаем $k_{PC} = 200$, $k_{PTY} \gg 1$, принимаем $k_{PTY} = 200$.

Решив совместно приведенную систему уравнений относительно скорости ω , найдем выражение для электромеханической $\omega(I_{1Y})$ и механической $\omega(M)$ характеристик электропривода в режиме стабилизации скорости.

Выражение для электромеханической характеристики привода $\omega(I_{1Y})$

$$\begin{aligned} \omega(I_{1Y}) &= \omega_0(U_{\tilde{Q}N}) - \Delta\omega_B(I_{1Y}) = \frac{k_{PC} \cdot k_{PTY} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C}{\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right) + k_{PC} \cdot k_{PTY} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C} \cdot \frac{U_{\tilde{Q}N}}{k_C} - \\ & - \frac{R_{\dot{Y}} + k_{PTY} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C}{\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right) + k_{PC} \cdot k_{PTY} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C} \cdot I_{1Y} = \\ & = \frac{200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.066}{0.781 \cdot 2 \cdot \left(\frac{0.101}{0.099} + \frac{0.052 \cdot 0.098}{0.101} \right) + 200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.066} \cdot \frac{10}{0.066} - \\ & - \frac{0.623 + 200 \cdot 31.113 \cdot 0.066}{0.781 \cdot 2 \cdot \left(\frac{0.101}{0.099} + \frac{0.052 \cdot 0.098}{0.101} \right) + 200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.066} \cdot 5.401 = 150.7 \end{aligned} \quad (4.15)$$

Где ω_0 – скорость идеального холостого хода при управляющем напряжении U_{3C} :

$$\begin{aligned} \omega_0(U_{\tilde{Q}N}) &= \frac{k_{PC} \cdot k_{PTY} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C}{\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right) + k_{PC} \cdot k_{PTY} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C} \cdot \frac{U_{\tilde{Q}N}}{k_C} = \\ & = \frac{200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.066}{0.781 \cdot 2 \cdot \left(\frac{0.101}{0.099} + \frac{0.052 \cdot 0.098}{0.101} \right) + 200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.066} \cdot \frac{10}{0.066} = 150.5 \text{ рад/с} \end{aligned} \quad (4.16)$$

$$\omega_{3AD}(U_{3C}) = \frac{U_{3C}}{k_C} = \frac{10}{0.066} = 151.5 \text{ – заданное значение скорости, рад/с;}$$

– абсолютная погрешность скорости электропривода в замкнутой системе по возмущению при изменении тока I_{1Y} (нагрузка электропривода).

$$\begin{aligned} \Delta\omega_B(I_{1Y}) &= \frac{R_{\dot{Y}} + k_{PTY} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C}{\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right) + k_{PC} \cdot k_{PTY} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C} \cdot I_{1Y} = \\ & = \frac{0.623 + 200 \cdot 31.113 \cdot 0.066}{0.781 \cdot 2 \cdot \left(\frac{0.101}{0.099} + \frac{0.052 \cdot 0.098}{0.101} \right) + 200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.066} \cdot 5.401 = 0.027 \text{ рад/с} \end{aligned} \quad (4.17)$$

Абсолютная погрешность скорости электропривода в замкнутой

системе по управлению

$$\Delta\omega(U_{3C}) = \omega_{3AD}(U_{3C}) - \omega_0(I_{1Y}) = \frac{\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right)}{\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right) + k_{PC} \cdot k_{PTY} \cdot k_H \cdot k_C} \cdot \frac{U_{3C}}{k_C} =$$

$$= \frac{0.781 \cdot 2 \cdot \left(\frac{0.101}{0.099} + \frac{0.052 \cdot 0.098}{0.101} \right)}{0.781 \cdot 2 \cdot \left(\frac{0.101}{0.099} + \frac{0.052 \cdot 0.098}{0.101} \right) + 200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.066} \cdot \frac{10}{0.066} = 0.003, \text{ рад/с} \quad (4.18)$$

Характеристика $\omega(I_{1Y})$ поясняет принцип работы САР скорости в соответствии со структурной схемой рисунка 3.1 и косвенно характеризует статические характеристики частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением.

Для построения электромеханической характеристики $\omega(I_{1\phi})$ необходимо для выбранных значений тока I_{1Y} определить соответствующие им значения тока $I_{1\phi}$ двигателя по выражению

Выражение для механической характеристики $\omega(M)$ электропривода

$$\omega(\dot{I}) = \omega_0(U_{\dot{Q}\bar{N}}) - \Delta\omega_B(\dot{I}) = \frac{k_{PC} \cdot k_{PTY} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C}{\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right) + k_{PC} \cdot k_{PTY} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C} \cdot \frac{U_{\dot{Q}\bar{N}}}{k_C} \quad (4.19)$$

$$- \frac{(R_{\dot{Y}} + k_{PTY} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C) / (\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2})}{\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right) + k_{PC} \cdot k_{PTY} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C} \cdot M =$$

$$= \frac{200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.066}{0.781 \cdot 2 \cdot \left(\frac{0.101}{0.099} + \frac{0.052 \cdot 0.098}{0.101} \right) + 200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.066} \cdot \frac{10}{0.066} -$$

$$- \frac{(0.623 + 200 \cdot 31.113 \cdot 0.066) / \left(0.781 \cdot 2 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0.101}{0.099} \right)}{0.914 \cdot 2 \cdot \left(\frac{0.109}{0.107} + \frac{0.064 \cdot 0.105}{0.109} \right) + 200 \cdot 200 \cdot 31.113 \cdot 0.066} \cdot 60.66 = 150.38,$$

– абсолютная погрешность скорости электропривода в замкнутой системе по возмущению (при изменении момента нагрузки):

$$\Delta\omega(M) = \frac{(R_{\dot{y}} + k_{РТГ} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C) / (\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2})}{\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right) + k_{PC} \cdot k_{РТГ} \cdot k_{\dot{E}} \cdot k_C} \cdot M =$$

$$= \frac{(0.623 + 200 \cdot 31.113 \cdot 0.066) / \left(0.781 \cdot 2 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0.101}{0.099} \right)}{0.781 \cdot 2 \cdot \left(\frac{0.101}{0.099} + \frac{0.052 \cdot 0.098}{0.101} \right) + 200 \cdot 200 \cdot 31.11 \cdot 0.066} \cdot 60.66 = 0.127 \text{ } \delta\ddot{a} / \ddot{n}$$
(4.20)

Относительная погрешность скорости электропривода по возмущению (при изменении момента нагрузки) находится по выражению:

$$\Delta_H(U_{3C}) = \frac{\omega(U_{3C}; M_{МИН}) - \omega(U_{3C}; M_{МАКС})}{\omega(U_{3C}; M_{МИН}) + \omega(U_{3C}; M_{МАКС})} \cdot 100\%,$$
(4.21)

Где минимальное и максимальное значение электромагнитного момента двигателя M , соответствующие предельным значениям диапазона изменения нагрузки электропривода, принимаются равными:

$$M_{МИН} = 0,15 \cdot M_{ДВ.Н} + M_{С.ДВ} = 0,15 \cdot 60,66 + 16 = 25,1Н \cdot м,$$
(4.22)

$$M_{МАКС} = M_{ДВ.Н} + M_{С.ДВ} = 60,66 + 16 = 76,66Н \cdot м$$
(4.23)

- при определении погрешности комплектного регулируемого электропривода;

$$M_{МИН} = M_{С.МИН} + M_{С.ДВ},$$
(4.24)

$$M_{МАКС} = M_{С.МАКС} + M_{С.ДВ}$$
(4.25)

- при определении погрешности электропривода производственного механизма.

4.4 Режим стабилизации тока

В однозонном электроприводе с постоянным токоограничением при условии, что потокосцепление поддерживается постоянным $\psi_{2X} = \psi_{2XH}$, в пуско- тормозных режимах и при больших кратковременных перегрузках вследствие насыщения регулятора скорости будет ограничиваться ток и момент двигателя на постоянном уровне. Структурная схема САР скорости однозонного электропривода с постоянным токоограничением для статического режима стабилизации тока приведена на рисунке 48.

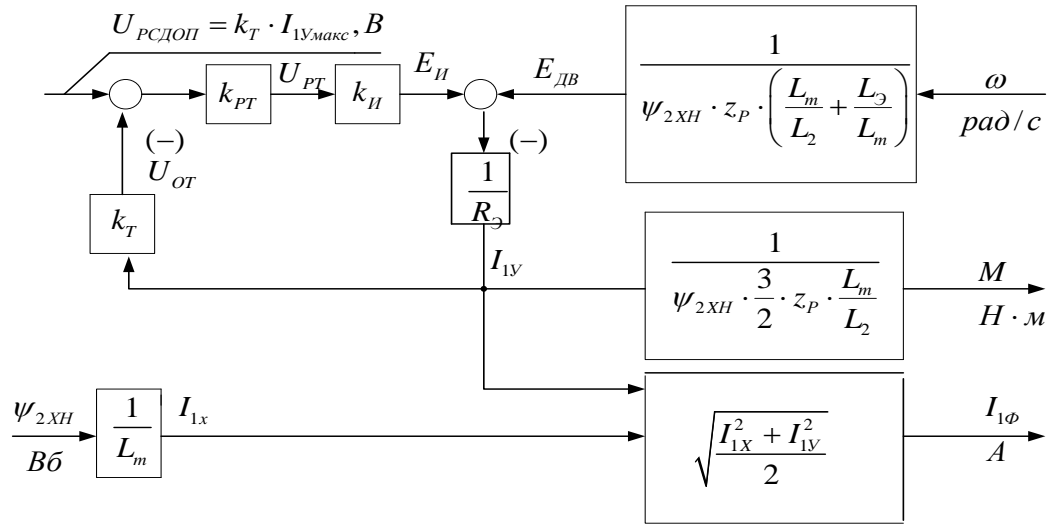


Рисунок 4.6 – Структурная схема САР скорости однофазного электропривода с постоянным токоограничением для статического режима стабилизации тока

Схема рисунка 4.6 описывается следующей системой уравнений

$$(U_{PCDOП} - k_{TY} \cdot I_{1Y}) \cdot k_{PT} \cdot k_H = U_{1Y}; \quad (4.26)$$

$$(U_{1Y} - E_{ДВ}) \cdot \frac{1}{R_{\Sigma}} = I_{1Y}; \quad (4.27)$$

$$\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right) \cdot \omega = E_{ДВ}; \quad (4.28)$$

$$I_{1Y} \cdot \psi_{2XH} \cdot \frac{3}{2} \cdot z_P \cdot \frac{L_m}{L_2} = M. \quad (4.29)$$

Решив совместно приведенную систему уравнений относительно тока I_{1Y} и электромагнитного момента M , найдем соответственно выражение для электромеханической $I_{1Y}(\omega)$ и механической $M(\omega)$ характеристик электропривода в режиме стабилизации тока (ограничения момента) двигателя.

Выражение для электромеханической характеристики $I_{1Y}(\omega)$ привода

$$I_{1Y}(\omega) = I_{1YSTOP}(U_{PCDOП}) - \Delta I_{1Y}(\omega) = \frac{k_{PTY} \cdot k_H \cdot k_T}{R_{\Sigma} + k_{PTY} \cdot k_H \cdot k_T} \cdot \frac{U_{PCDOП}}{k_T} - \frac{\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right)}{R_{\Sigma} + k_{PTY} \cdot k_H \cdot k_T} \cdot \omega = \quad (4.30)$$

$$= \frac{200 \cdot 31.11 \cdot 0.313}{0.623 + 200 \cdot 31.11 \cdot 0.313} \cdot \frac{10}{0.313} - \frac{0.781 \cdot 2 \cdot \left(\frac{0.101}{0.099} + \frac{0.052 \cdot 0.098}{0.101} \right)}{0.623 + 200 \cdot 31.113 \cdot 0.066} \cdot 150.5 = 31.86,$$

Где $I_{IYMAXC} = \frac{U_{PCDOП}}{k_T}$ - заданное значение максимального тока, А;

$$I_{IYSTOP}(U_{PCDOП}) = \frac{k_{PTY} \cdot k_H \cdot k_T}{R_{\Sigma} + k_{PTY} \cdot k_H \cdot k_T} \cdot \frac{U_{PCDOП}}{k_T} = \frac{200 \cdot 31.11 \cdot 0.313}{0.623 + 200 \cdot 31.113 \cdot 0.066} \cdot \frac{10}{0.313} = 31.99 A, \quad (4.31)$$

фактическое значение максимального тока I_{IY} при $w=0$ (в режиме стопорения);

Абсолютная погрешность тока при скорости ω :

$$\Delta I_{IY}(\omega) = \frac{\psi_{2XH} \cdot z_P \cdot \left(\frac{L_m + \sigma \cdot L_1}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right)}{R_{\Sigma} + k_{PTY} \cdot k_H \cdot k_T} \cdot \omega = \frac{0.781 \cdot 2 \cdot \left(\frac{0.101}{0.099} + \frac{0.052 \cdot 0.098}{0.101} \right)}{0.623 + 200 \cdot 31.113 \cdot 0.066} \cdot 150.5 = 0.129 A, \quad (4.32)$$

Характеристика $I_{IY}(\omega)$ поясняет принцип работы САР скорости в соответствии со структурной схемой и косвенно характеризует статические характеристики электропривода в режиме стабилизации тока.

Для получения электромеханической характеристики $I_{I\phi}(\omega)$ в режиме стабилизации тока необходимо для полученных значений тока I_{IY} по выражению указанного выше определить соответствующие им значения тока двигателя $I_{I\phi}$.

Выражение для механической характеристики электропривода в режиме стабилизации (ограничения) тока

$$\begin{aligned} M(\omega) &= M_{STOP}(U_{PCDOП}) - \Delta M(\omega) = \frac{k_{PT} \cdot k_H \cdot k_T}{R_{\Sigma} + k_{PTY} \cdot k_H \cdot k_T} \cdot \psi_{2XH} \cdot \frac{3}{2} \cdot z_P \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \frac{U_{PCDOП}}{k_T} - \\ &= \frac{\psi_{2XH}^2 \cdot z_P^2 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \left(\frac{L_m + \sigma \cdot L_1}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right)}{R_{\Sigma} + k_{PTY} \cdot k_H \cdot k_T} \cdot \omega = \\ &= \frac{200 \cdot 31.11 \cdot 0.313}{0.623 + 200 \cdot 31.113 \cdot 0.066} \cdot 0.781 \cdot \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0.101}{0.099} \cdot \frac{10}{0.313} - \\ &= \frac{0.781^2 \cdot 2^2 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0.101}{0.099} \cdot \left(\frac{0.101}{0.099} + \frac{0.052 \cdot 0.098}{0.101} \right)}{0.729 + 200 \cdot 31.113 \cdot 0.27} \cdot 150.5 = 76.17, \end{aligned} \quad (4.33)$$

Где — заданное значение максимального электромагнитного момента двигателя;

$$M_{\text{МАКС}}(U_{\text{РСДОП}}) = \psi_{2\text{XH}} \cdot \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \frac{U_{\text{РСДОП}}}{k_T} =$$

$$= 0.781 \cdot \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0.101}{0.099} \cdot \frac{10}{0.313} = 2437 \text{ Н} \cdot \text{м},$$
(4.34)

– фактическое значение максимального электромагнитного момента двигателя при $\omega = 0$ (в режиме стопорения двигателя);

$$M_{\text{СТОП}}(U_{\text{РСДОП}}) = \frac{k_{\text{РТ}} \cdot k_{\text{И}} \cdot k_{\text{Т}}}{R_{\text{Э}} + k_{\text{РТУ}} \cdot k_{\text{И}} \cdot k_{\text{Т}}} \cdot \psi_{2\text{XH}} \cdot \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \frac{U_{\text{РСДОП}}}{k_T} =$$

$$= \frac{200 \cdot 31.11 \cdot 0.313}{0.623 + 200 \cdot 31.113 \cdot 0.066} \cdot 0.781 \cdot \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0.101}{0.099} \cdot \frac{10}{0.313} = 76.46 \text{ Н} \cdot \text{м},$$
(4.35)

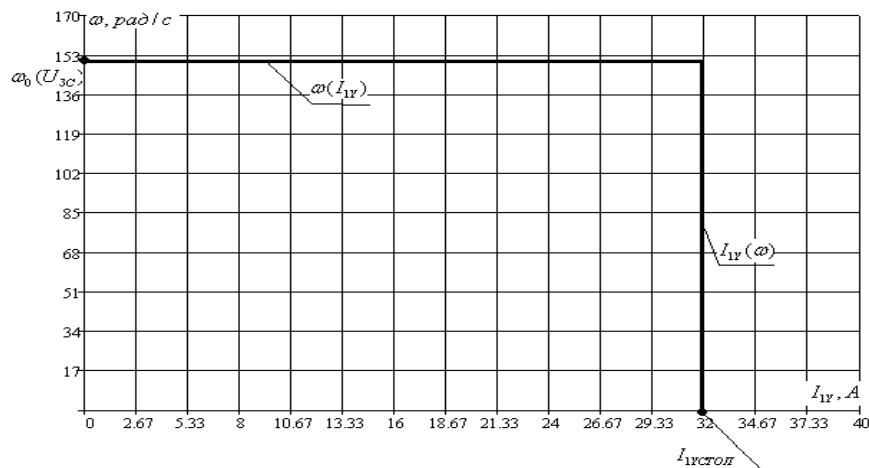
– абсолютная погрешность электромагнитного момента двигателя при скорости ω .

$$\Delta M(\omega) = \frac{\psi_{2\text{XH}}^2 \cdot z_p^2 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} + \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \right)}{R_{\text{Э}} + k_{\text{РТУ}} \cdot k_{\text{И}} \cdot k_{\text{Т}}} \cdot \omega =$$

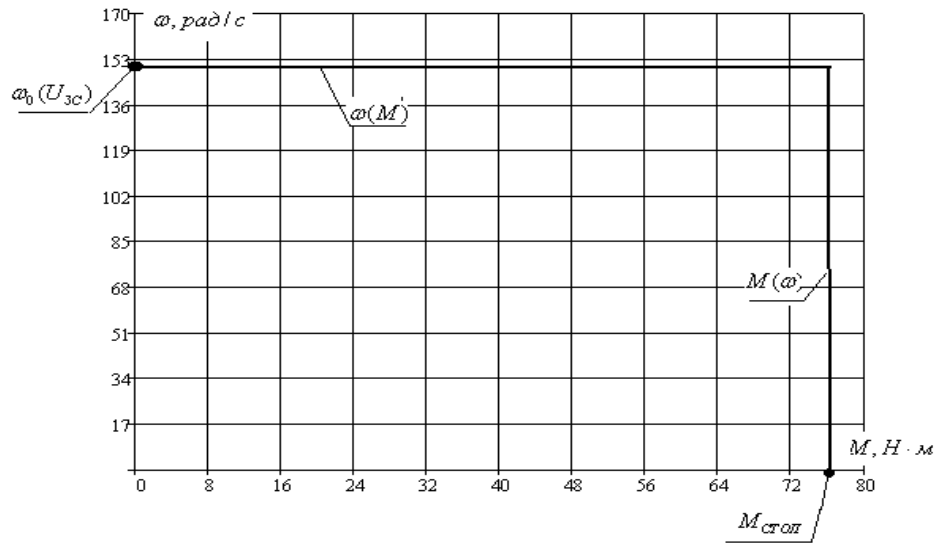
$$= \frac{0,914^2 \cdot 2^2 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,109}{0,107} \cdot \left(\frac{0,109}{0,107} + \frac{0,064 \cdot 0,105}{0,109} \right)}{0,729 + 200 \cdot 31,113 \cdot 0,27} \cdot 152.61 = 0.303 \text{ Н} \cdot \text{м},$$
(4.36)

Электромеханические $\omega(I_{1Y})$ и $\omega(I_{1\phi})$ и механические $\omega(M)$ характеристики электропривода в режиме стабилизации скорости и, соответственно $I_{1Y}(\omega)$, $I_{1\phi}(\omega)$ и $M(\omega)$ в области ограничения тока идентичны по форме и представляют собой жесткие характеристики в первом режиме работы.

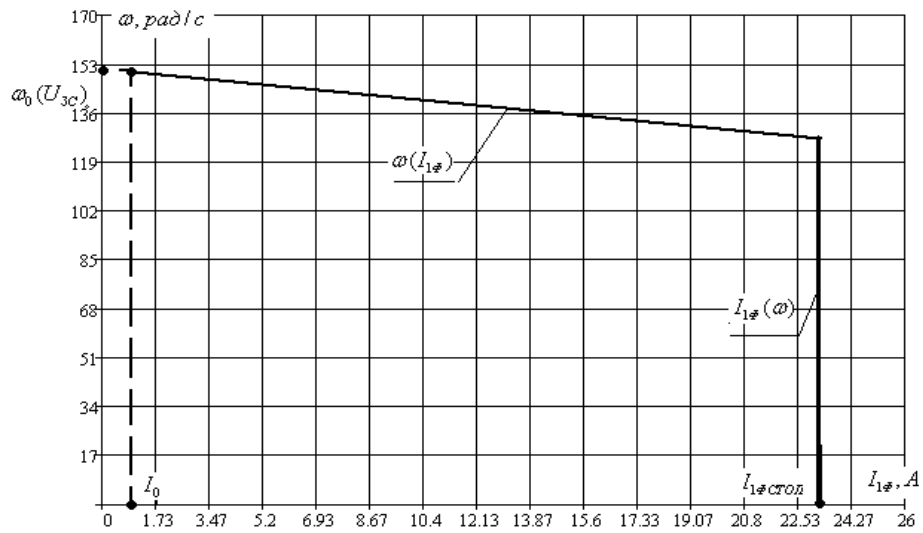
Статические характеристики однозонного электропривода



А)



Б)



В)

Рисунок 4.7 – Статические характеристики однофазного электропривода: А, В – электромеханические, Б – механическая

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе мы проведем анализ экономической эффективности и целесообразности токарного многолезцового полуавтомата.

Для современного промышленного производства характерно широкое внедрение автоматизированного привода – основы механизации и комплексной автоматизации технологических процессов. Совершенствование систем автоматизированного электропривода с использованием новейших достижений науки и техники является одним из неперенных условий в решении задач всемирного повышения эффективности общественного производства, ускорение роста производительности труда и улучшение качества выпускаемой продукции.

Пусконаладочные работы (ПНР) являются важнейшим звеном подготовки оборудования, обеспечивающим ввод в эксплуатацию электротехнического оборудования. Эти работы выполняются высококвалифицированными специалистами и рабочими по заранее разработанным и согласованным программам.

На пусконаладочные работы возлагается:

- Наладка отдельных видов оборудования и систем при их индивидуальном испытании и обеспечение, совместно с заказчиком и подрядчиком, сдаче их рабочей комиссии для комплексного оборудования.
- Наладка технологического процесса оборудования и систем при их комплексном опробовании, обеспечение выпуска продукции, предусмотренным проектом, а также обеспечение совместно с подрядчиком
- и заказчиком сдачи оборудования в эксплуатацию.

Электрические пусконаладочные работы должны обеспечивать

проверку и испытание электрооборудования в соответствии с действующими «Правилами устройства электроустановок», технической документации предприятия-изготовителя оборудования и другими нормативными документами.

Наладка оборудования и электрических систем в электроустановках охватывает следующие основные работы:

- Проверка качества электромонтажных работ и их соответствие рабочим чертежам проектов.
- Проверка установленной аппаратуры, снятие необходимых характеристик.
- Испытание аппаратуры, оборудования, вторичных и первичных цепей, кабельных линий, заземлителей.
- Измерение электрических, электромагнитных параметров аппаратуры.
- Проверка и настройка работы электрических схем дистанционного управления, блокировка автоматики.
- Настройка элементов автоматического управления в соответствии с требованиями технологического режима (режима наладки).

5.1 Организация ПНР

В связи с быстрым развитием техники, ПНР проводится на всех, без исключения, предприятиях, где осуществляется реконструкция и модернизация действующего электрооборудования. Стоимость электрооборудования и его монтаж составляет большей удельный вес в общей стоимости развития завода.

Организация и планировка ПНР производится для конкретных производств параллельно с расчетами по организации и планированию строительства, либо модернизации производства, в соответствии с нормативными актами. Финансирование ПНР осуществляется из ремонтного фонда или цеха.

5.2 Структура проведения ПНР

ПНР являются важным звеном подготовки оборудования к эксплуатации. Состав ПНР определен, исходя из сложности оборудования электропривода и механизма работы.

Модернизированный электропривод имеет следующий состав:

- преобразователь частоты VLT 5022 Flux фирмы Danfoss;
- электродвигатель 4A180S4Y3;
- автоматические выключатели типа А3150;
- монтажные и соединительные провода.

Целью проведения ПНР является доведение электрооборудования до соответствия требованиям, предъявляемым нормативными документами и технологическим процессом.

Весь комплекс работ разобьем на 5 этапов, а осуществит его бригада из 4-х человек в следующем составе:

- электрогазосварщик;
- электрик участка;
- слесарь КИПиА 6-го разряда;
- электромонтер 5-го разряда.

Полный комплекс ПНР и последовательность их выполнения исполнителями сведем в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 Комплекс ПНР

Наименование работ	Исполнители ¹	Часы
1 Подготовительный этап:		
- ознакомление с проектом, выявление неточностей;	1,2,3	12
- составление графика проведения ПНР;	1,2,3	2
- подготовка аппаратуры и инструмента;	1,2,3	2
- составление рабочей программы наладки и	1,2,3	2

Продолжение таблицы 5.1

испытаний с учетом особенностей объекта.		
2 Проверочные работы.		
- проверка правильности выполнения схем;	1,2,3	8
- определение соответствия техническим характеристикам установленного оборудования;	1,2,3	2
- внешний осмотр оборудования и проверка его готовности;	1,2,3	2
- проверка объема электромонтажных работ и их соответствия рабочим чертежам проекта;	1,2,3	4
- проверка установленной аппаратуры, снятие характеристик в случае необходимости;	1,2,3	8
- проверка правильности работы блокировок и автоматики.	1,2,3	8
3 Наладочные работы.		
- монтаж и настройка ПЧ;	1,2,3,4	16
- проверка работы и функционирования блоков защиты и сигнализации;	1,2,3	2
- проверка датчика положения;	1,2,3	2
- проверка диапазона изменения напряжения преобразователя;	1,2,3	2
- настройка задатчика интенсивности;	1,2,3	2
- итоговая проверка работы защиты и блокировок;	1,2,3	2
- испытание оборудования вхолостую и под нагрузкой;	1,2,3	2
- настройка и снятие необходимых характеристик элементов САУ в соответствии с требованиями технологического процесса.	1,2,3	8
4 Комплексное опробование.		
- обеспечение взаимосвязей устройств в составе	1,2,3	2

Продолжение таблицы 5.1

электроустановки;		
- проверка режимов работы электропривода при работе с пульта управления.	1,2,3	2
5 Оформление документации.		
- составление протокола наладки;	1	2
- внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений, внесенных во время проведения ПНР.	1	4
ИТОГО весь комплекс работ		96

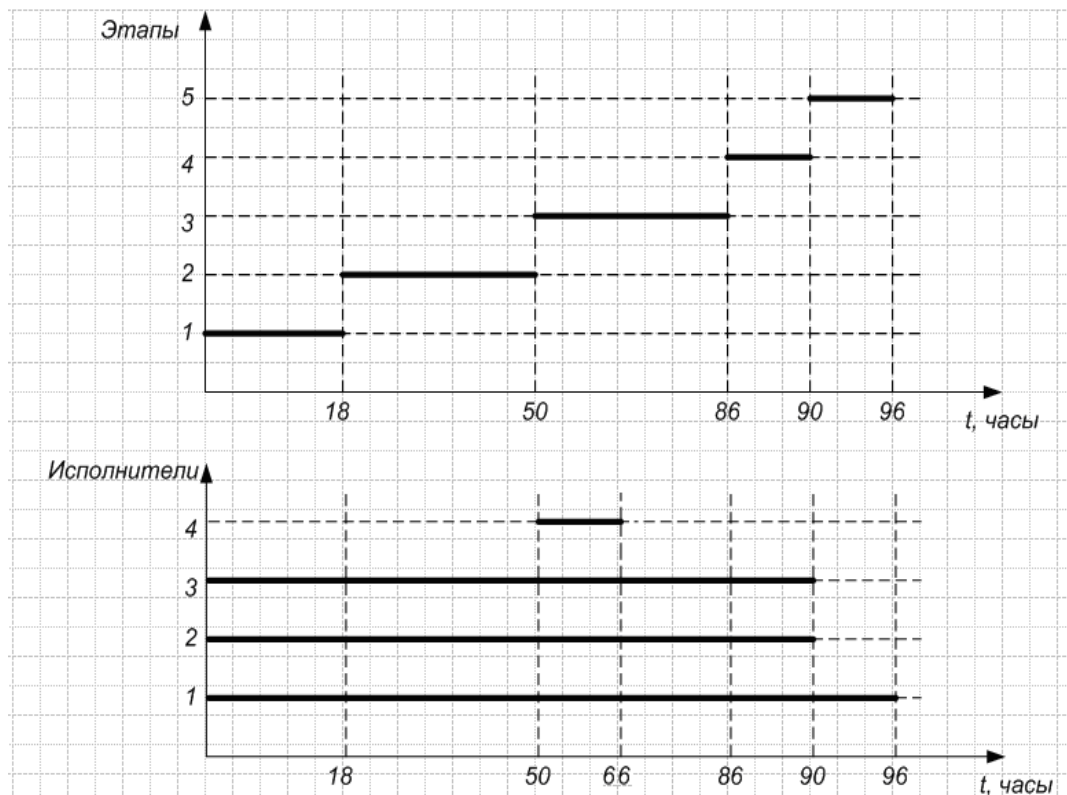


Рисунок 5.1 – График выполнения пуско-наладочных работ

5.3 Определение стоимости пуско-наладочных работ.

Стоимость ПНР определяем как сумму следующих затрат:

- стоимость оборудования;
- заработная плата;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- накладные расходы.

В таблице 5.2 приведена стоимость закупаемого оборудования.

Таблица 5.2 Стоимость закупаемого оборудования.

Наименование	Количество	Цена за единицу, руб.	Стоимость, руб.
- преобразователь частоты VLT 5032 Flux фирмы Danfoss;	1 шт.	100 000	100 000
- электродвигатель 4A180S4У3	1 шт.	21 530	24 950
- автоматические выключатели типа А3150;	1 шт.	1 200	1 200
- монтажные и соединительные провода.			5 050
ИТОГО			131 200

Так как в стоимость оборудования включен НДС, необходимо при составлении сметы затрат вычесть его из стоимости.

$$C_{\text{дог}} = C_{\text{пп}} + \text{НДС} \quad C_{\text{дог}} = 1,18 \cdot C_{\text{пп}} \quad (5.1)$$

где $C_{\text{дог}}$ – договорная цена;

$C_{\text{пр}}$ – цена предприятия.

$$C_{\text{пр}}=131\,300/1,18=111\,186 \text{ руб.}$$

В таблице 5.3 представлена основная заработная плата бригады на ПНР

Таблица 5.3 Основная заработная плата бригады на ПНР

Квалификация рабочего	Тарифная ставка (Тс) руб./час	Премия (Пр) 75%	Районный коэффициент Кр=30%	Всего руб./час	Всего часов, (Т)	Всего начислено, руб.
электрик участка;	40	30	21	91	96	8 736
электромонтер 5-го разряда;	30	22	15	68	90	6 147
слесарь КИПиА 6-го разряда;	33	24	17	75	90	6 750
электрогазосварщик.	35	26	18	79	16	1 274
ИТОГО						22 907

Пример расчета.

Основная заработная плата электрика участка, с учетом районного коэффициента $K_r=1,3$ и премии $P_r=1,75$

- Основная заработная плата электрика участка:

$$ЗП_{\text{осн.эл.}}=T_c \cdot P_r \cdot K_r \cdot T \quad (5.2)$$

$$ЗП_{\text{осн.эл.}}=40 \cdot 1,75 \cdot 1,3 \cdot 96=8736 \text{ руб.}$$

- Дополнительная заработная плата наладчиков составляет 15% от итоговой основной:

$$ЗП_{\text{доп}}=0,15 \cdot ЗП_{\text{осн}} \quad (5.3)$$

$$ЗП_{\text{доп}}=0,15 \cdot 22907=3400 \text{ руб.}$$

- Отчисления на социальные нужды составляют 26% от основной и дополнительной заработной платы:

$$\text{Отчисления во внебюджетные фонды} = 0,3 \cdot (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) \quad (5.4)$$

$$\text{Отчисления во внебюджетные фонды} = 0,3 \cdot (22907+3400)=0,3 \cdot 26307=7892,1 \text{ руб.}$$

- Накладные расходы при производстве пуско-наладочных работ составляет 40% от основной заработной платы основных рабочих:

$$H_p = 0,4 \cdot 3P_{\text{осн}} \quad (5.5)$$

$$H_p = 0,4 \cdot 22907 = 9200 \text{ руб.}$$

Расчет стоимости ПНР сведем в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 Смета затрат ПНР

Наименование статьи расходов	Сумма,руб.	Удельный вес, %
Заработная плата	26 307	17
Отчисления во внебюджетные фонды	7892.1	5
Накладные расходы	9 200	6
Стоимость оборудования	111 186	72
Стоимость ПНР	153 542	100

По результатам таблицы видим, что затраты на ПНР составляют 153 542 р., в том числе 72% расходы на оборудование.

В этом разделе была составлена смета затрат на проведение ПНР электропривода главного движения токарного многорезцового полуавтомата. Успешная работа бригады наладчиков зависит от правильного планирования ПНР и надлежащего материально-технического снабжения.

Важно отметить, что в нашем случае ПНР проводится своими силами, в связи с этим уменьшаются затраты, поскольку становится возможным не учитывать НДС в стоимости работ.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

При монтаже, пуске, наладке и эксплуатации электропривода станков механосборочного цеха возможны следующие виды работ:

- работы с грузоподъемными механизмами;
- электрогазосварочные работы;
- монтажные работы;
- электромонтажные работы;
- наладочные работы, связанные с настройкой параметров функциональных блоков, измерение электрических величин, поиском и устранением неисправностей в цепях управления, защит, блокировок электропривода, и т.д.;
- эксплуатационные работы, связанные с оперативным управлением электроприводом механического оборудования цеха.

6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В результате выполнения работы по наладке и при эксплуатации электрооборудования токарного станка возникает вероятность воздействия следующих опасных и вредных производственных факторов.

Механические факторы возникают вследствие наличия в механизмах станка большого количества движущихся деталей, вследствие чего возможен удар, захват работающего, а также вылет деталей и приспособлений.

Поражение электрическим током возникает при прикосновении к открытым токоведущим частям электрооборудования или при нарушении изоляции проводов.

В ходе наладки и эксплуатации оборудования возникают следующие вредные производственные факторы:

при выполнении сварочных работ в воздух выделяются вредные газообразные вещества и испарения металла, а также присутствует ультрафиолетовое излучение;

шум при работе технологического оборудования;

- в воздух рабочей зоны выделяются аэрозоли СОЖ, металлическая и абразивная пыль от работы технологического оборудования.

- недостаточная освещенность..

6.1.1 Защита от шума

ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ Общие требования безопасности Так же к вредным факторам на производстве относиться шум. Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха. Для измерения громкости (в децибелах Дб) может быть использован двух шкальный шумомер. допустимые уровни шума цехе рабочих местах шума до– 60 дБ

Шум на исследовательском рабочем месте создаётся вентиляционной системой и производственный оборудованием (станки).

В качестве защиты от шума и звука следует применять нормирование; некоторые технические тонкости, звукоизоляцию, звукопоглощение, специальные глушители аэродинамического шума, средства индивидуальной защиты (наушники, беруши, противозумные каски, специальная противозумная одежда).

Допустимые уровни шума

6.1.2 Воздух рабочей зоны

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях.

По СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха нормируются следующие параметры: *температура, относительная влажность, скорость движения воздушного потока, ПДК вредных веществ.*

Таблица 6.1.2 – Нормируемое качество воздуха

Сезон года	Категория работы	Температура, С°	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	I	20-30	60-40	0,2
	II а	18-20		0,2
	II б	17-19		0,3
	III	16-18		0,3
Теплый	I	22-25	60-40	0,2
	II а	21-23		0,3
	II б	20-22		0,4
	III	18-21		0,5

При оценке допустимых значений температуры и влажности воздуха учитывается категория тяжести работ.

Параметры микроклимата в зимнее время поддерживаются системой

отопления, летом – общеобменной вентиляцией.

Вентиляция

СП 60.13330.2012 При осуществлении любого производственного процесса, как правило, всегда выделяется теплота. Источниками теплоты являются печи, паропроводы и т. д. Теплота выделяется при сжигании топлива, нагреве, при переходе электроэнергии в теплоту и т. п.

Для поддержания микроклимата в цехах завода в оптимальном состоянии используется вентиляция помещений. Вентиляция позволяет осуществлять регулируемый воздухообмен, обеспечивающий нормальные санитарно-гигиенические условия в производственных помещениях.

В цехах завода используется *общеобменная, механическая приточно-вытяжная вентиляция*. Для очистки загрязненного воздуха, выбрасываемого в атмосферу используются пылеотделители .

6.1.3 Освещение

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятии, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Наилучшим видом освещения является дневное, солнечное. Поэтому в соответствии с СП все цеха завода имеют естественное освещение. Но дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течении всего рабочего дня, а так же зависит от погодных условий.

Поэтому цеха завода обеспечиваются естественным и искусственным освещением. В качестве источников искусственного освещения применяются дуговые ртутные лампы (ДРЛ).

6.1.2.1 Электробезопасность

Электрический ток представляет значительную опасность для здоровья человека непосредственно при контакте человека с токопроводящей поверхностью.

Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного действия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества .

Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д.

Помещение цеха является особо опасным помещением, так как выполняется одновременно два условия повышенной опасности: токопроводящие полы, возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Виды воздействий электрического тока на организм человека:

- термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагрев кровеносных сосудов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока до критической температуры;
- электролитическое действие тока выражается в разложении крови, что нарушает ее состав и функции;
- механическое действие тока проявляется в значительном давлении в кровеносных сосудах и мышечных тканях;
- биологическое действие тока проявляется в раздражении живых тканей, что вызывает реакцию организма – возбуждение, что и обуславливает непроизвольное сокращение мышц.

При наиболее неблагоприятном исходе воздействие электрического тока может привести к смерти человека.

Основным документом, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является ГОСТ 12.1.038–82 ССБТО Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов для защиты персонала от поражения электрическим током в цехах

завода используются следующие меры: защита от случайного прикосновения; защитное заземление; зануление.

Защита от случайного прикосновения

Для исключения возможности случайного прикосновения или опасного приближения к токоведущим частям в цехах завода обеспечивается их недоступность путем ограждения, блокировок или расположения токоведущих частей на недоступную высоту.

Ограждения применяются как сплошные, в виде кожухов и крышек, применяемые в электроустановках до 1000 В, так и сетчатые, которые имеют двери, запирающиеся на замок.

в электроустановках до 1000 В ограждаются – неизолированные токоведущие части, находящиеся под напряжением части ЭД, пусковая аппаратура, открытые плавкие вставки.

Защитное заземление

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т. п.). Основное назначение защитного заземления – устранение опасности поражения персонала электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования.

Стоит отметить, что защитное заземление не всегда может быть эффективным. Тогда прибегают к занулению.

6.1.2.2 Пожарная безопасность

Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Проектирование и эксплуатация всех промышленных предприятий (кроме предприятий по изготовлению взрывчатых веществ, имеющих свои особые правила и нормы) регламентируются, а также "Типовыми правилами пожарной безопасности

для промышленных предприятий". В соответствии с [18], все производства делят по пожарной, взрывной, взрывопожарной опасности на шесть категорий. Цеха холодной обработки металлов, где, как правило, устанавливаются промышленные станки, относятся к категории «Д».

По противопожарным требованиям к электрооборудованию [1], находящемуся в помещении механического цеха, это помещение можно отнести к классу помещений, опасных в отношении пожара, но не опасных в отношении взрыва, т. к. здесь используются горючие жидкости - минеральные масла - для смазки и охлаждения с температурой вспышки паров выше 45 °С.

Причины пожара могут быть электрического и неэлектрического характера. Причины электрического характера:

- искрение в электроаппаратах в результате плохого контакта, электрического разряда или пробоя изоляции;
- токи короткого замыкания, перегрузка проводников, вызывающая их нагрев;
- плохой контакт в местах пайки и соединения проводов через наконечники и оконцеватели.

Причины неэлектрического характера:

- неисправность оборудования, отсутствие смазки и, в результате, нагрев трущихся частей;
- курение и разведение огня не в отведенных и необорудованных для этих целей местах.

Для устранения причин возникновения пожаров в механосборочном цехе проводятся специальные технико-организационные мероприятия:

- соблюдение противопожарных норм при сооружении зданий;
- устройство отопления и вентиляции;
- выбор монтажа электрооборудования.

Из средств пожаротушения в механическом цехе установлены:

- пожарный щит, оборудованный полным комплектом пожарного инвентаря и инструмента;
 - ящики с песком для тушения пожаров под напряжением, а также огнетушители ОУ-2;
- пожарный кран.

В цехе на видном месте вывешивается соответствующая наглядная агитация по технике пожарной безопасности.

Из работников цеха организуется добровольная пожарная дружина, члены которой проводят периодический инструктаж по приемам и правилам пользования пожарным инструментом, а также контролируется техническое состояние этого инструмента и инвентаря.

Каждый рабочий инструктируется по правилам пожарной безопасности в цехах и на территории прицеховой площадки, когда этого требует производство работ.

Курение в неположенных местах строго запрещается.

Разведение открытого огня без разрешения ответственного руководителя работ в цехе и на территории прицеховой площадки строго запрещается.

Схема пожарной эвакуации работников цеха приведена на плакате, размещенном в цеху на видном месте.

6.2 Охрана окружающей среды

ГОСТ 32367-2013 Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Важными направлениями охраны окружающей среды следует считать совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов в окружающую среду, замену и по возможности широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды.

Также из-за использования обтирочных материалов образуются

твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

В качестве дополнительных средств защиты применяют аппараты и системы для отчистки газовых выбросов, сточных вод от примесей. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

Производственные сточные воды после соответствующей очистки могут быть повторно использованы в технологическом процессе, для чего создаются системы оборотного водоснабжения либо замкнутые (бессточные) системы водоснабжения и канализации, при которых исключается сброс каких-либо вод в водоёмы .

Вследствие использования работниками душевых и туалетов образуются жидкие отходы для удаления, которых применяют канализационную систему.

6.3 Чрезвычайные ситуации

ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Одной из основных задач при проектировании предприятия является повышения их устойчивой работы в чрезвычайных ситуациях взрывы и пожары.

Для этого предусматривается большой объем работ. К ним относятся инженерно-технические и организационные мероприятия. Инженерно-техническими мероприятиями обеспечиваются повышение устойчивости промышленных зданий, сооружений, оборудования и коммуникаций предприятия.

Устойчивость работы объекта зависит от факторов, основными из которых являются:

- способность инженерно-технического комплекса объекта (здания, технологического оборудования, коммуникаций) в определенной степени защитит от поражающих и разрушительных факторов ОПМ;
- обеспеченность системы работы объекта всем необходимым для производства продукции (электричеством, сырьем, топливом, водой);
- подготовленность объекта к ведению восстановительных работ;
- подготовленность объекта к ведению спасательных работ;
- надежность управления, оповещения и связи.

Нормы проектирования инженерно-технических мероприятий (ИТМ) ГО – это руководящий документ, определяющий требования и рекомендации к проведению мероприятий обеспечивающих устойчивую работу народного хозяйства страны (разрабатывается штабом ГО РФ).

Эвакуация людей из зданий и помещений

В соответствии с требованиями главы эвакуационные пути должны обеспечивать эвакуацию всех людей, находящихся в помещениях зданий и сооружений, в течение необходимого времени эвакуации. Расчетное время эвакуации людей из помещений и зданий определяют исходя из протяженности эвакуационных путей и скорости движения людских потоков на всех участках пути от наиболее удаленных мест до эвакуационных выходов.

6.4 Правовые и организационные безопасности

Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в установленном порядке. Первичное обучение рабочих безопасным методам и приемам труда обучаются руководителями и специалистами обучения проводиться в организациях (учебных центрах), имеющих соответствующую лицензию. Федеральная служба по труду и

занятости. В ее структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда.

- общие правовые нормы согласно ТК РФ

ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разделе социальная ответственность рассмотрены и изучены вопросы производственной безопасности (проведен анализ вредных и опасных факторов, рассмотрена техника безопасности, производственная санитария).

Также проанализированы факторы экологической безопасности (анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); анализ воздействия объекта на литосферу (отходы)) и разработаны решения по обеспечения экологической безопасности окружающей среды. В итоге был исследованы выводы что электрические оборудования и станки в ремонта механическом цеху не несет на опасных и вредных факторов в окружающей среду в(атмосферу, гидросферу, литосферу).

Рассмотрены важнейшие вопросы безопасности в чрезвычайных ситуациях (разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий).

В заключение рассмотрены правовые и организационные вопросы: рассмотрены правовые нормы трудового законодательства, а также организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы являлось проведение исследования и расчета для модернизации электропривода главного движения токарного многорезцового полуавтомата. Замене подлежал двигатель и преобразователь частоты вследствие прошедшего срока службы и постоянной необходимости в ремонтных работах.

При выполнении выпускной квалификационной работы получены следующие результаты:

– по результатам построения механических и электромеханических характеристик электропривода и нагрузки при векторном управлении было определено, что двигатель 4A180S4У3 и преобразователь частоты VLT 5032 фирмы Danffos соответствуют заданным параметрам;

В разделе охраны труда освещены вопросы охраны труда, в экономической части рассмотрены вопросы проведения пусконаладочных работ.

CONCLUSION

The purpose of this final qualifying work was to carry out research and calculation for the modernization of the electric drive of the main movement of the lathe multi-automatic semiautomatic machine. The motor and the frequency converter were subject to replacement because of the past service life and the constant need for repair work.

At performance of final qualifying work following results are received:

- Based on the results of constructing the mechanical and electromechanical characteristics of the electric drive and the load in the vector control, it was determined that the 4A180S4U3 engine and VLT 5032 frequency converter from Danfoss correspond to the specified parameters;

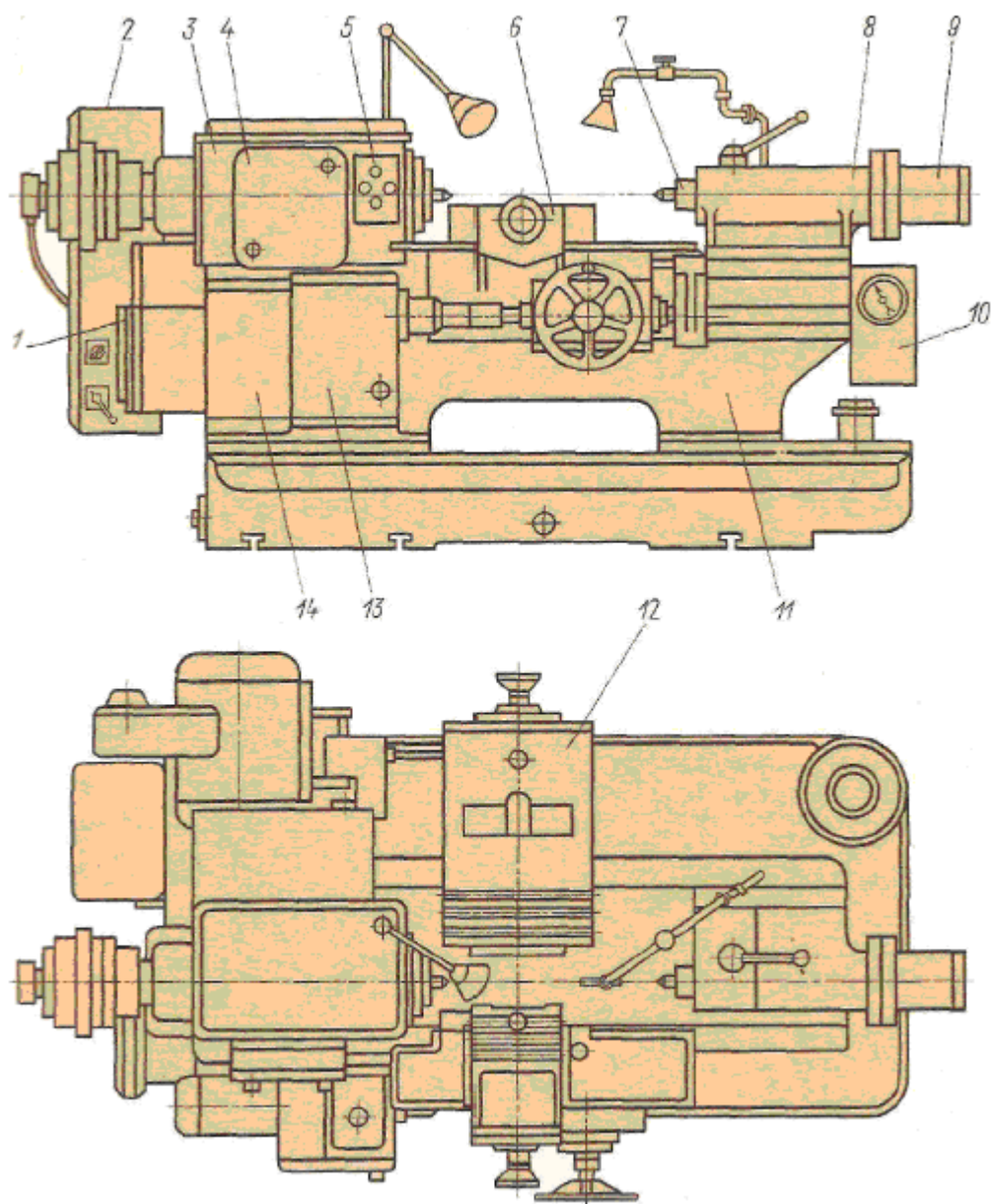
In the section of labor protection issues of labor protection are covered, in the economic part the issues of commissioning are considered.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э.Кравчик, М.М.Шлаф, В.И.Афонин, Е.А.Соболенская.- М.: Энергоиздат, 1982.- 504с
2. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Mat Lab 6.0: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт., 2001-320с
3. Гуртяков А. М. Металлорежущие станки: учебное пособие. – 2-е изд., доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008г.–244с.
4. М. Ф. Полетика. Теория резания. Часть I. Механика процесса резания: Учебное пособие.– Томск: Изд. ТПУ, 2001.–202с.
5. Технология металлов. Кнорозов Б.В., Усова Л.Ф., Третьяков А.В., Арутюнова И.А., Шабашев С.П. Ефремов В.К. М., «Металлургия», 1979 - 904с.
6. Трафимов А. М. Металлорежущие станки: Учеб. Пособие для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп.–М.: Машиностроение, 1979.–78с. ил.
7. Чернов Н. И. Металлорежущие станки: Учебник для техникумов по специальности «Обработка металлов резанием».–4-е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение, 1988, - 416с., ил.
8. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Расчет характеристик электропривода переменного тока. Ч. 1. Асинхронный электродвигатель: Учебное пособие.- Томск: Изд-во ТПУ, 2005.- 136с.
9. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. – Применение программы DORA-FUZZY в расчётах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 156 с.
10. Удут Л. С., Мальцева О.П. Краткие методические указания к выполнению курсового проекта по теме “Частотно- регулируемый электропривод переменного тока”
- 11.(СТ СЭБ 2695-80) ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.

- 12.ГОСТ 12.1.005-88 (1999, с изм. 1 2000) ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху санитарной зоны.
- 13.ГОСТ 12.1.030-81 (1996) ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление
- 14.ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы классификации.
- 15.ГОСТ 12.1.003-83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 16.ГОСТ 12.1.014-84 (1996) ССБТ. Воздух рабочей зоны. Метод измерения концентраций вредных веществ индикаторными трубками.
- 17.ГОСТ 12.0.002-80 (1999) ССБТ. Термины и определения.
- 18.НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных вставок по взрывопожарной и пожарной опасности.
- 19.Правило устройства электроустановок. 7-е изд. с изм. и дополн. – Новос.: Сибирс. универ. изд-во, 2006.–512с
20. www.danfoss.ru
21. <http://cse-distributors.co>
22. www.controlresource.co

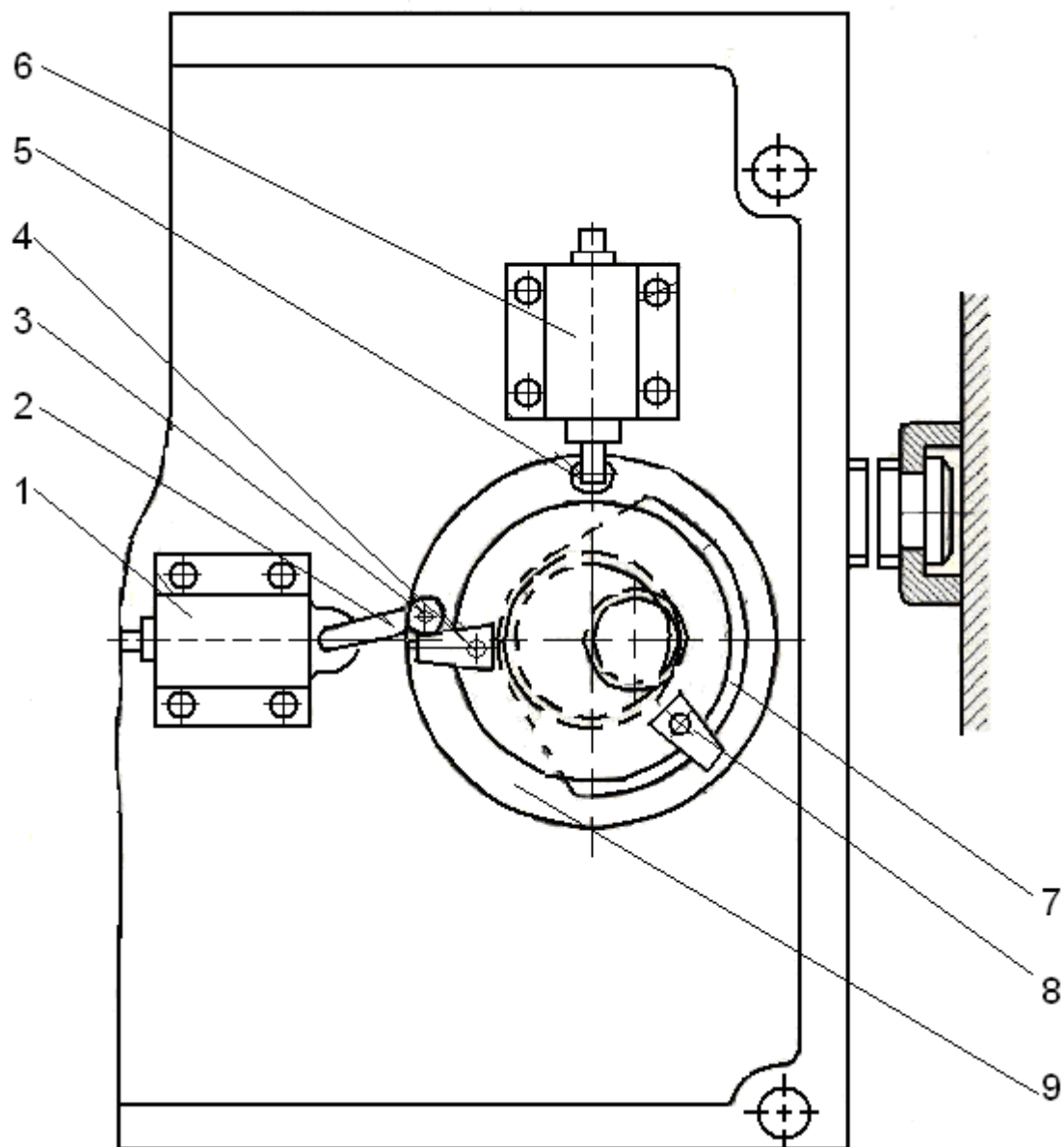
Приложение А Токарный многорезцовый полуавтомат



Обозначения на рисунке:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| 1 – крышка; | 7 – пиноль; |
| 2 – шкаф с электрооборудованием; | 8 – задняя бабка; |
| 3 – передняя бабка; | 9 – пневматический цилиндр; |
| 4 – крышка; | 10 – шкаф пневматики; |
| 5 – пульт управления; | 11 – станина; |
| 6 – передний суппорт; | 12 – задний суппорт. |

Приложение Б Кинематическая схема полуавтомата



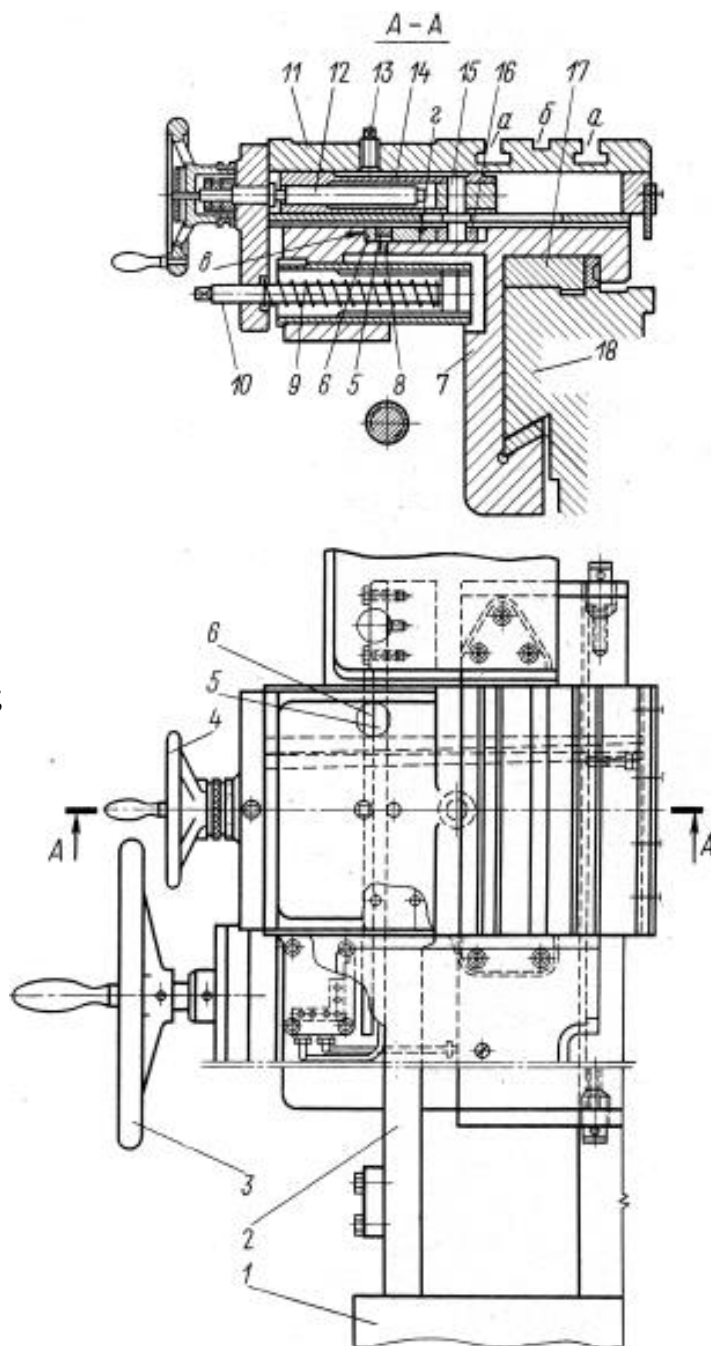
Обозначения на рисунке:

- 1 – переключатель;
- 2 – рычаг;
- 3 – ролик;
- 4, 7, 8 – кулачки;
- 5 – ролик;
- 6 – переключатель;
- 9 – диск.

Приложение В Токарный многорезцовый полуавтомат
Передний суппорт.

Обозначения на рисунке:

- 1–кронштейн;
- 2–копирная линейка;
- 3–
- 4–
- 5,6–промежуточная линейка;
- 7–каретка;
- 8,10,12–винт;
- 9–пружина;
- 11–салазки;
- 13– стопорный винт;
- 14–ползун;
- 15–ось;
- 16–ролик;
- 17–стальная закаленная планка;
- 18–станина;



Приложение Г Токарный многорезцовый полуавтомат

Обозначения на рисунке:

1-2-3-4-5-6-7-8 – траектория цикла обработки заготовки;

9,13 – упор

10 – линейка

11,12 – промежуточные линейки;

14 – ролик.

