

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электрооборудование металлообрабатывающего центра

УДК 621.31:621.7/.9.013

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Чурилов Денис Вячеславович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев И.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., к.т.н.		

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение Электропривода и электрооборудования
Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель отделения ОЭЭ
_____ Ю.Н. Дементьев
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4А	Чурилов Денис Вячеславович

Тема работы:

Электрооборудование металлообрабатывающего центра

Утверждена приказом директора (дата, номер)	645/с от 02.02.2018г.
---------------------------------------------	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
------------------------------------------	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Сила резания 13000Н Напряжение питания 380В +10%-15% Частота питающей сети 50 Гц Диапазон регулирования 1:10
---------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технологический процесс. 2. Расчет мощности и выбор асинхронного электродвигателя. 3. Описание и выбор системы управления ЭП. 4. Расчет схемы замещения и построение естественных и регулировочных характеристик АД. 5. Разработка и исследование имитационной модели «АД», «ПЧ-АД» в среде Matlab.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема замещения АД. 2. Имитационные модели «АД», «ПЧ-АД». 3. Результаты исследований.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Калмыкова Е.Ю.
«Социальная ответственность»	Панин В.Ф.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Игорь Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Чурилов Денис Вячеславович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4А	Чурилову Денису Вячеславовичу

Школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i></p> <p><i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i></p>	<p><i>Описание рабочего места дежурного инженера узла связи при работе с ИБП:</i></p> <p><i>-к вредным факторам производственной среды можно отнести повышенную или пониженную температуру воздуха рабочей зоны, подвижность воздуха, тепловое излучение, повышенные уровни шума, электромагнитные поля, освещённость;</i></p> <p><i>-к опасным факторам производственной среды можно отнести опасность поражения электрическим током. пожароопасность, получение механической травмы;</i></p> <p><i>- к негативным факторам воздействия на окружающую среду можно отнести химический вред неправильно утилизированных свинцово- кислотных аккумуляторных батарей</i></p>
<p><i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p><i>ГОСТ 12.0.003-74; СанПиН 2.2.4.548-96; ГОСТ 12.1.033-81; СНиП2.01.51-90; НПБ 105-03; ГОСТ 12.1.029-80; ГОСТ 12.4.125-83; ГОСТ Р 50571.2-94</i></p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i> <i>– действие фактора на организм человека;</i> <i>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i> <i>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i> 	<ul style="list-style-type: none"> <i>- Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны, подвижность воздуха, тепловое излучение методы предотвращения их вредного воздействия - устройство отопления, вентиляции, применение средств индивидуальной защиты ГОСТ 12.4.011-89;</i> <i>- Повышенные уровни шума методы уменьшения вредного воздействия уменьшение в источнике, изменение направленности излучения ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ</i> <i>- Освещённость методы предотвращения вредного воздействия – правильное проектирование системы освещения СНиП 23.05-95</i>
<p><i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>– механические опасности (источники, средства защиты);</i> <i>– термические опасности (источники, средства защиты);</i> <i>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</i> <i>– пожаровзрывобезопасность (причины,</i> 	<ul style="list-style-type: none"> <i>-Меры, предотвращающие опасность поражения электрическим током ГОСТ 12.1.030 – 81, ПУЭ;</i> <i>- Противопожарные меры ГОСТ 12.1.004-91, ППР</i>

профилактик.мероприятия)	
3. Охрана окружающей среды: — 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.	- Утилизация свинцово-кислотных аккумуляторных батарей
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: — перечень возможных ЧС на объекте; — выбор наиболее типичной ЧС; — разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; — разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; — разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	- Возможных ЧС на узле связи и необходимые действия по разработке и осуществлению комплекса инженерно-технических мероприятий
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.03.2018 г.
------------------------------------------------------	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.		16.03.18г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Чурилов Д.В.		16.03.18г.

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

Студенту:

Группа

ФИО

5Г4А

Чурилову Денису Вячеславовичу

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя - 20800 руб. Оклад инженера - 17000руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	27,1% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ конкурентных технических решений</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение эффективности исследования</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Чурилов Денис Вячеславович		

РЕФЕРАТ

Диссертация содержит 116 страниц, 46 рисунков, 12 таблиц , 25 источников.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИЙ СТАНОК, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК, ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ЦЕНТР, ЕСТЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ.

Объектом исследования является регулируемый электропривод главного движения металлообрабатывающего по системе преобразователь частоты - асинхронный двигатель.

Целью данной диссертации является исследование электропривода переменного тока главного движения обрабатывающего центра, который выполнен по схеме преобразователь частоты - асинхронной двигатель, обеспечивающий заданное положение инструмента в рабочем пространстве.

В процессе работы использовалось как специальное обеспечение (MATLAB R2008), так и стандартные программы (Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio).

В результате выполнения диссертации была осуществлена разработка электропривода переменного тока с автоматическим управлением, соответствующая условиям технического задания.

Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: высокие показатели переходных процессов (перерегулирование, быстродействие).

Диссертация выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2007.

Содержание

Введение.....	10
1 Технический процесс металлообработки.....	12
1.1 Общие основы фрезерных станков.....	12
1.2 Устройство фрез и их назначение.....	17
1.3 Виды фрезерных станков.....	21
2 Выбор электрооборудования.....	26
2.1 Выбор электродвигателя.....	26
2.2 Выбор преобразователя частоты.....	27
2.3 Подключение преобразователя частоты.....	32
2.4 Выбор входного дросселя.....	38
2.5 Выбор выходного дросселя	39
2.6 Выбор автоматического выключателя.....	41
2.7 Выбор магнитных пускателей.....	42
2.8 Выбор фильтра.....	43
3 Расчет статических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода.....	41
3.1 Расчет естественных характеристик $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ регулируемого электропривода	41
3.2 Расчет искусственных (регулировочных) характеристик $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости.....	49
4 Создание математической модели и проведение имитационного моделирования работы в MATLAB SIMULINK.....	56
4.1 Определение дополнительных параметров двигателя и параметров схемы замещения.....	56

4.2 Прямой пуск двигателя.....	58
4.3 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода	62
4.4 Структурная схема нелинейной САУ РЭП асинхронного электропривода с векторным управлением.....	73
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	83
6. Социальная ответственность.....	94
Заключение.....	114
Список литературы.....	115

Введение:

В настоящее время наблюдается тенденция на повышение уровня автоматизации производственных процессов. В производство все более внедряется автоматизированное оборудование, работающее без непосредственного участия человека или значительно облегчающее труд рабочего. Это позволяет значительно сократить трудоемкость производственного процесса, снизить себестоимость выпускаемой продукции, увеличить производительность труда. Поэтому главная задача инженеров - разработка автоматизированного оборудования, расчет его основных узлов и агрегатов, выявление наиболее оптимальных технических решений и внедрение их в производство.

Области применения автоматических устройств весьма обширны, благодаря чему существует большое разнообразие систем, выполняющих те или иные задачи. Наиболее распространенными являются системы слежения и стабилизации.

Широкое распространение получили цифровые следящие системы, применяемые в различных областях техники. Разрабатываются системы программного управления станками и манипуляторами. Внедрение цифровой техники происходит также и в системах стабилизации, и в промышленных регуляторах. Это приводит, как правило, к появлению новых структурных решений и их усложнению. Одновременно растут требования к надежности и увеличению срока службы разрабатываемых систем. При этом возникает задача автоматического контроля функционирования системы и сигнализации о неисправностях отдельных элементов и устройств подобно сложным автоматическим комплексам.

Эти системы должны удовлетворять определенным требованиям и обеспечивать выполнение их в конкретных условиях эксплуатации. Чаще всего основным требованием является точность работы в широком диапазоне изменения входной величины. Как известно, точность работы таких систем зависит от статических, динамических и эксплуатационных источников

погрешностей. Наибольшую погрешность вносят, как правило, измерительные элементы, повышение точности которых в ряде случаев является сложной задачей. В соответствии с этим должны быть рассмотрены выбор элементов, определение их параметров, т. е. проведен статический расчет системы для последующего анализа устойчивости и синтеза корректирующих устройств.

В настоящее время уделяется внимание вопросам проектирования высокоточных систем управления с измерительными элементами с электрической редуccionией. Последние применяются как в аналоговых, так и в цифровых системах управления с целью обеспечения точности, исчисляемых угловыми минутами, а в ряде случаев и угловыми секундами.

Целью данной работы стоит разработать электропривод главного движения металлообрабатывающего центра, удовлетворяющего техническим условиям и требованиям.

1 Технический процесс металлообработки

1.1 Общие основы фрезерных станков

Фрезерование — процесс резания металла, осуществляемый вращающимся режущим инструментом при одновременной линейной подаче заготовки. Материал с заготовки снимают на определенную глубину фрезой, работающей либо торцовой стороной, либо периферией. Главным движением при фрезеровании является вращение фрезы v (рисунок 1). Скорость главного движения определяет скорость вращения фрезы. Движением подачи s при фрезеровании является поступательное перемещение обрабатываемой заготовки в продольном,

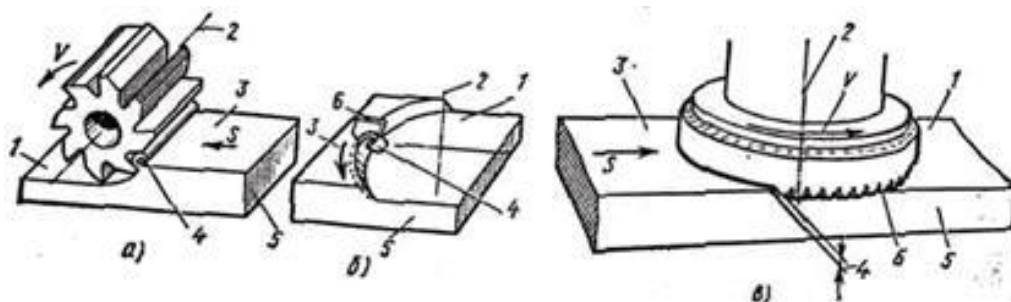


Рисунок 1 — Схемы фрезерования: а — цилиндрическое, б и в — торцовое фрезерование; 1 — обработанная поверхность, 2 — ось вращения фрезы, 3 — обрабатываемая поверхность, 4 — стружка, 5 — заготовка, 6 — нож фрезы.

Поперечном или вертикальном направлениях. Процесс фрезерования является прерывистым процессом. Каждый зуб фрезы снимает дружку переменной толщины. Операции фрезерования могут быть подразделены на два типа: а) цилиндрическое фрезерование (рисунок 1, а); б) торцовое фрезерование (рисунок 1, б и в).

При цилиндрическом фрезеровании резание осуществляется зубьями, расположенными на периферии фрезы, и обработанная поверхность 1 является плоскостью, параллельной оси вращения фрезы 2.

На рисунке 1, а показана фреза с прямым зубом. Наряду с прямозубыми применяются фрезы с винтовыми зубьями (рисунок 2).

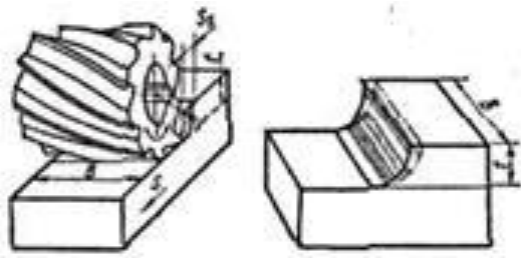


Рисунок 2 – Фрезерование цилиндрической винтовой фрезой: B — ширина фрезерования, t — глубина фрезерования, s — наибольшая толщина среза.

При торцовом фрезеровании (см. рисунок 1) резание осуществляется периферийными и торцовыми режущими кромками зубьев. Толщина среза увеличивается к центру среза и уменьшается в месте выхода фрезы из контакта с заготовкой. Начальная и конечная толщина среза зависит от отношения ширины заготовки к диаметру фрезы. Изменение толщины среза зависит также от симметричности расположения фрезы относительно заготовки. Большинство других процессов фрезерования являются комбинацией цилиндрического и торцового методов фрезерования.

Особенности стружкообразования при фрезеровании:

Процесс образования стружки при фрезеровании сопровождается теми же явлениями, что и при точении. Это деформации, теплообразование, образование нароста, вибрации, износ инструмента и др. Но при фрезеровании имеются свои особенности. Резец при точении находится под постоянным действием стружки вдоль всей длины обработки. При фрезеровании зуб за один оборот фрезы находится под действием стружки незначительное время. Большую часть оборота зуб не участвует в резании, за некоторое время он охлаждается, что положительно отражается на его стойкости. Вход зуба в контакт с обрабатываемой заготовкой сопровождается ударом о его режущую кромку; ударная нагрузка снижает стойкость зуб; фрезы.

Фрезерование против подачи и по подаче:

При фрезеровании цилиндрическими и дисковыми фрезами различают встречное фрезерование — против подачи и попутное—фрезерование по подаче. Когда окружная скорость фрезы противоположна на направлению подачи (рисунок 3,а), процесс

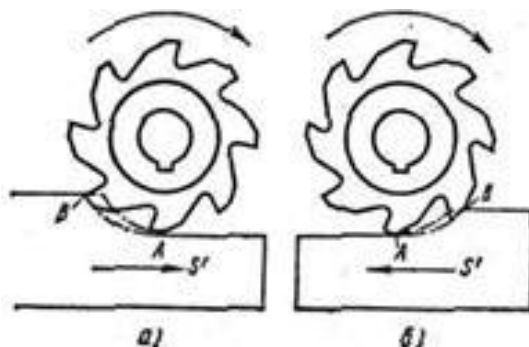


Рисунок 3 – Фрезерование против подачи (а) и по подаче (б)

фрезерования называется встречным. Толщина среза изменяется от нуля (в точке *A*) до максимальной величины при выходе зуба из контакта с заготовкой (в точке *B*). Когда направление окружной скорости фрезы и скорости подачи совпадают (рисунок 3, б), процесс фрезерования называется «попутным» фрезерованием. При этом способе фрезерования толщина среза изменяется от максимального значения в точке *B* в начале входа зуба в контакт с заготовкой до нуля в точке *A* (при выходе зуба из контакта с заготовкой).

Встречное фрезерование характеризуется тем, что нагрузка на зуб увеличивается постепенно, так как толщина среза изменяется от нуля при входе до максимума при выходе зуба из заготовки. Зуб фрезы работает из-под корки, выламывая корку снизу, фреза «отрывает» заготовку от стола, приподнимая вместе с ней и стол станка, увеличивая зазоры между направляющими стола и станины, что при значительных нагрузках приводит к дрожанию и увеличению шероховатости обработанной поверхности.

При попутном фрезеровании заготовка прижимается к столу, выбирая имеющиеся зазоры в направляющих стола и станины. Зуб фрезы начинает работать с наибольшей толщиной и сразу подвергается максимальной нагрузке.

Равномерность фрезерования:

В процессе фрезерования прямозубой фрезой зуб фрезы входит в контакт с обрабатываемой заготовкой и выходит из него сразу по всей ширине фрезерования. Может оказаться, что в работе будет находиться только один зуб прямозубой фрезы, т. е. когда впереди идущий зуб уже вышел из контакта с обрабатываемой заготовкой, а следующий за ним зуб не вышел в контакт. В этом случае площадь поперечного сечения среза будет изменяться от нулевого значения до максимального с последующим падением до нуля или от максимального значения до нуля. Также неравномерно будет изменяться сила резания, а следовательно, будет неравномерная периодическая нагрузка на станок, инструмент и обрабатываемую заготовку. Это явление носит название неравномерности фрезерования.

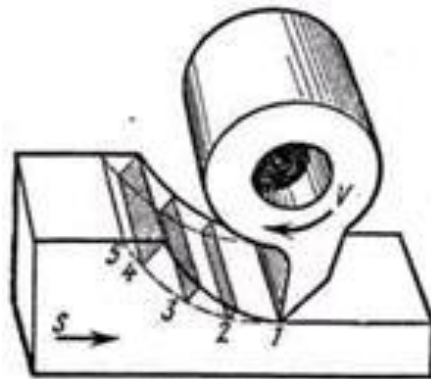


Рисунок 4 – Схема работы однозубой (условной) фрезой

На рисунке 4 показана упрощенная схема работы прямозубой фрезы. На фрезе условно показан один зуб. Зуб врезается в заготовку сразу по всей ширине фрезерования. Фреза испытывает толчок. При дальнейшем повороте фрезы толщина стружки будет постепенно увеличиваться (положения 2, 3, 4), будет увеличиваться и сила резания. На участке 4—5 зуб фрезы одновременно выходит из обрабатываемого металла, и сила резания быстро уменьшается до нуля.

Как видно, нагрузка на зуб фрезы в процессе резания резко изменяется. Чем большее число зубьев будет участвовать в работе

одновременно, тем более равномерным будет фрезерование. На рисунке 5 показана схема работы цилиндрической фрезы с винтовыми зубьями. Зуб такой фрезы врезается в

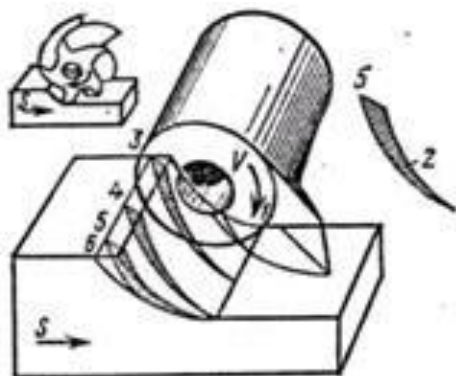


Рисунок 5 – Схема работы фрезы с винтовым зубом

обрабатываемую деталь не сразу по всей длине, а постепенно. На участке 1—3 площадь сечения срезаемого слоя (заштрихована) увеличивается, а значит, увеличивается и сила резания. На участке 3—4 площадь сечения срезаемого слоя и силы резания оказываются постоянными. При дальнейшем движении зуба (участок 4—6) площадь сечения срезаемого слоя и сила резания постепенно уменьшаются. Таким образом, изменение силы резания при работе винтового зуба происходит более плавно, а на некоторых участках сила резания постоянна.

Для обеспечения равномерности фрезерования в работе одновременно должно участвовать не меньше двух зубьев фрезы. Каждый следующий зуб должен вступать в работу в тот момент, когда предыдущий начинает выходить из металла. Для выполнения этого условия нужно, чтобы в тот момент, когда один из двух зубьев попал в положение 6, второй зуб был в положении 1. Это возможно, если расстояние между двумя соседними зубьями фрезы, измеренное вдоль её оси (осевой шаг), должно быть равной ширине фрезерования B (см. рисунок 2). Если в работе одновременно участвует более двух зубьев, то осевой шаг должен укладываться по ширине фрезерования целое число раз. Необходимым условием равномерного

фрезерования является равенство или кратность (в целых числах) ширины фрезерования B осевому шагу фрезы.

При торцовом фрезеровании всегда имеет место неравномерность фрезерования. Чем больше число одновременно работающих зубьев торцовой фрезы и чем больше отношение ширины фрезерования к диаметру фрезы, тем больше будет равномерность фрезерования.

1.2 Устройство фрез и их назначение

Фрезы относятся к режущему инструменту. Основной функцией фрезы является проведение таких работ как обработка плоскостей, фасонных поверхностей, уступов, пазов, отрезки, прорезки, нарезания зубьев и резьбы.

Процесс резания происходит за счет вращения многолезвийного тела фрезы с зубьями, предназначенными для проведения фрезерования. В процессе фрезерования в контакте с обрабатываемой поверхностью находится, как правило, несколько зубьев, которые снимают стружку переменной толщины.

Материалом, из которого изготавливается режущая часть фрезы, служат твёрдые сплавы, быстрорежущая сталь, минералокерамика, массив кардной проволоки либо алмаз.

Зависимо от типа зубьев и конструкции фрезы бывают цельные, сварные и сборные. Цельные фрезы изготовлены полностью из одного материала. Основными элементами цельных фрез являются рабочая часть и корпус в виде хвостовика (характерно для концевых фрез) или в виде дискового или втулочного тела (характерно для насадных фрез). Хвостовик и режущая часть сварной фрезы изготовлены из различных материалов, но сваренные вместе. Сборные фрезы так же изготавливают из различных материалов, но соединяют их не свариванием, а обычными крепёжными элементами, такими как винты, болты, гайки или клинья. Основными составляющими элементами сборных фрез выступают корпус, режущие и указанные выше крепёжные элементы. Режущие элементы представлены

перетачиваемыми ножами и СМП. Как правило, ножи бывают напаянными с твердым сплавом или цельными из быстрорежущей стали.

Выделяют несколько основных видов фрез, а именно: концевые, червячные, дисковые, торцевые, цилиндрические, твердосплавные, отрезные, шпоночные. Фрезы способны выполнять большой объем разнообразных работ. Поэтому для эффективного выполнения обработки каждому отдельному этапу работ соответствует определенный вид фрез.

Концевые фрезы выполняют обработку уступов, плоскостей и пазов. По типу крепления фрезы в шпинделе станка концевые фрезы бывают как с цилиндрическим, как и с коническим хвостовиком. Концевые фрезы изготавливаются с крупными и нормальными зубьями. Фреза с нормальными зубьями используется для чистовой или получистовой обработки пазов, плоскостей или уступов, а с крупными зубьями - при проведении черновой обработки. Для проведения черновой обработки заготовок, которые получены свободной ковкой, литьем и т. д. предназначены обдирочные концевые фрезы с затылованными зубьями. Твердосплавные концевые фрезы бывают монолитными (целиком изготовленная из твердого сплава фреза), оснащенными коронками твердых сплавов и винтовыми пластинками.

Фрезы червячные это многолезвийный инструмент реечного типа, который работает по методу обката. Они представляют собой инструмент, изготовленный на базе стандартного червяка с прорезанными стружечными канавками. Червячные фрезы работают за счет точечного быстрого касания фрезы с обрабатываемой поверхностью детали. Профиль зубчатого колеса червячной фрезы имеет вид множества эвольвент, которые равномерно распределены по окружности. По направлению витков их разделяют на правые и левые. Правые используют для нарезания правозаходных и прямозубых колес, левые – для нарезания левозаходных косозубых колес. Кроме того, червячные фрезы по числу заходов червяка бывают однозаходные и многозаходные. По конструкции червячная фреза может

быть цельной или сборной. Существует так же разделение по технологии изготовления на фрезы с нешлифованными поверхностями зубьев и сошлифованными поверхностями зубьев.

Дисковые фрезы используют при обработке узких поверхностей, для подрезки уступов отрезки заготовок, для прорезки пазов и прочее. Зубья дисковых фрез снабжены на одном или обоих торцах вспомогательными режущими кромками, диаметр которых значительно больше длины самой фрезы. Этот вид фрез предназначен для работы в тяжелых условиях несвободного резания, которое зачастую сопровождается вибрацией. Такая вибрация происходит из-за низкой жесткости корпуса фрезы и сложных условий вывода стружки из области резания. Основные виды дисковых фрез: фрезы двухстороннего и трехстороннего резания, пазовые, отрезные (пилы) и прорезные. У двухсторонних режущие кромки зубьев расположены на одной торцовой и цилиндрической поверхностях. В отличие от них, трехсторонние имеют кромки зубьев на обоих торцах. Эти фрезы имеют возможность обработки двух или трех взаимно перпендикулярных поверхностей в уступах или пазах. Для чистовой обработки дисковые фрезы изготавливаются с мелкими зубьями, а для черновой обработки с крупными зубьями. Дисковые фрезы для черновой обработки характеризуются удалением большого объема обрабатываемого металла из выемок и глубоких пазов. Для хорошего выполнения этой работы они снабжены большим объемом стружечных канавок.

Торцовая фреза изготавливается, как правило, насадной, а когда её диаметр становится меньше длины, то она переходит к группе концевых фрез. Торцовые фрезы активно используют в ходе обработки плоских и ступенчатых поверхностей. Её конструкция способна поместить большое число зубьев на участке контакта фрезы с заготовкой, что обеспечивает отличную производительность и равномерное фрезерование. Как правило, торцовые фрезы изготавливают с массивным, жестким корпусом и с надежным механическим креплением режущего элемента. В процессе

фрезерования плоскостей есть возможность получения более низкой шероховатости. Это происходит за счет работы большого числа вспомогательных режущих кромок, расположенных на торце фрезы, а так же при наявности зачистных зубьев с $\phi_1=0$. Благодаря перечисленным достоинствам торцовые фрезы нашли широкое применение в металлообрабатывающей промышленности.

Фрезы шпоночные являются разновидностью концевых фрез. Эти фрезы предназначены для обрабатывания Т-образных пазов. Они оснащены двумя зубьями с глубокими наклонными или прямыми стружечными канавками. Высокая жесткость, которой обладают шпоночные фрезы, обеспечивается большим (до $0,35d$) диаметром сердцевины. Шпоночные фрезы с напайными твердосплавными пластинами работают таким образом, что одна из таких пластин доходит до центра, в то время как другая делается короче и на некотором расстоянии отстоит от центра. Именно благодаря этому существенно улучшается процесс резания и упрощается технология изготовления фрезы.

Цилиндрическая фреза отличается расположением главных режущих кромок непосредственно на цилиндре. Ось данного цилиндра совпадает с осью, по которой происходит вращение инструмента. Цилиндрическая фреза не имеет режущих вспомогательных кромок, она работает в условиях свободного резания. Этот тип относится к насадным фрезам, поэтому он оснащен отверстием и шпоночными пазами, которыми он крепится на оправках. Что бы понизить колебания сил резания и вибрации зубьев, цилиндрические фрезы зачастую изготавливаются винтовыми. Это улучшает условия вывода стружки из зоны резания.

Отрезные фрезы предназначены для отрезки заготовок на фрезерных станках, для разрезания целого на части и отрезания от целого какой-либо части. Отрезные фрезы оснащены режущими кромками, которые расположены по периферии, но на торцах режущие кромки отсутствуют. Отрезные фрезы бывают трех типов: с мелким зубом, со средним

(нормальным) зубом, с крупным зубом. Практически все отрезные фрезы шириной от 1 мм и больше изготавливаются по классу точности «В». Отрезные фрезы со средним и мелким зубом предназначены для обработки чугуна и стали, фрезы с крупным зубом обрабатывают алюминиевые, магниевые и прочие легкие сплавы.

Твердосплавные фрезы (концевые твердосплавные) в отличие от обычных концевых предназначены для обработки плоскостей и пазов на изделиях из труднообрабатываемых материалов. Существует два типа таких фрез: со стальным цилиндрическим хвостовиком и цельные. Так же концевые твердосплавные фрезы делятся на фрезы повышенной точности и нормальной, все зависит от того, в каких условиях они применяются. Биение, торцевое и радиальное для твердосплавных фрез составляет 0,02 мм.

1.3 Виды фрезерных станков

Фрезерные станки — группа металлорежущих станков классифицирующихся по виду обработки. Фрезерные станки предназначены для обработки с помощью фрезы плоских и фасонных поверхностей, тел вращения, зубчатых колёс и т. п. металлических и других заготовок. При этом фреза, закрепленная в шпинделе фрезерного станка, совершает вращательное (главное) движение, а заготовка, закреплённая на столе, совершает движение подачи прямолинейное или криволинейное (иногда осуществляется одновременно вращающимся инструментом). Управление может быть ручным, автоматизированным или осуществляться с помощью системы ЧПУ.

Во фрезерных станках главным движением является вращение фрезы, а движение подачи — относительное перемещение заготовки и фрезы.

Вспомогательные движения необходимы в станке для подготовки процесса резания. К вспомогательным движениям относятся движения, связанные с настройкой и наладкой станка, его управлением, закреплением и освобождением детали и инструмента, подводом инструмента к обрабатываемым поверхностям и его отводом; движения приборов для

автоматического контроля размеров и т. д. Вспомогательные движения можно выполнять на станках как автоматически, так и вручную. На станках-автоматах все вспомогательные движения в определенной последовательности выполняются автоматически.

Фрезерные станки бывают различных типов:

- универсальные — с поворотным столом,
- горизонтально-фрезерные консольные станки (с горизонтальным шпинделем и консолью),
- широкоуниверсальные — с дополнительными фрезерными головками,
- широкоуниверсальные инструментальные станки — с вертикальной рабочей плоскостью основного стола и поперечным движением шпиндельных узлов,
- вертикально-фрезерные станки (с вертикальным шпинделем); в том числе консольные,
- бесконсольные (называемые также с крестовым столом),
- с передвижным порталом,
- копировально-фрезерные станки,
- фрезерные станки непрерывного действия, в том числе карусельно-фрезерные,
- барабанно-фрезерные.

Универсально-фрезерный станок:

Имеет горизонтально расположенный шпиндель и предназначен для обработки фрезерованием разнообразных поверхностей на небольших и не тяжелых деталях в условиях единичного и серийного производства. Обработку ведут цилиндрическими, дисковыми, угловыми, концевыми, фасонными, торцовыми фрезами. На этом станке можно обрабатывать вертикальные и горизонтальные фасонные и винтовые поверхности, пазы и углы. Фрезерование деталей, требующих периодического деления или

винтового движения, выполняют с использованием специальных делительных приспособлений.

На станине смонтированы все основные узлы станка. Внутри станины размещены шпиндельный узел и коробка скоростей. Для поддержания оправки с фрезой служит хобот с серьгами (подвесками). По вертикальным направляющим станины перемещается консоль, несущая коробку подач. По направляющим консоли в поперечном направлении движутся салазки с поворотным устройством, которое несет продольный стол и позволяет поворачивать стол вокруг вертикальной оси на 45° в обе стороны, благодаря чему стол может перемещаться в горизонтальной плоскости под разными углами к оси шпинделя. Крутящий момент от двигателя посредством коробки передач передаётся на шпиндель - полый вал в верхней части станины. В передний торец шпинделя вставляется оправка и закрепляется штривелем - стержнем, закреплённым в шпинделе. Оправка обычно стержень имеющий коническое посадочное место-конус Морзе, воспринимающий вращение от шпинделя; на оправку одеваются фреза и фиксирующие её кольца, зажимаются гайкой. Жёсткость оправки поддерживается подвеской.

Горизонтально-фрезерный станок:

Отличается от универсально-фрезерного станка отсутствием поворотного устройства, то есть стол станка может перемещаться только перпендикулярно или вместе с салазками параллельно оси шпинделя.

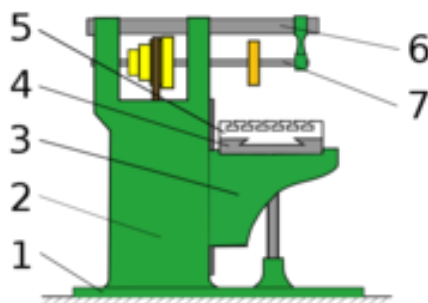


Рисунок 6 – Горизонтально-фрезерный станок (1 — фундаментная плита, 2 — станина, 3 — консоль, 4 — салазки, 5 — стол, 6 — хобот, 7 — оправка со фрезой)

Широкоуниверсальный фрезерный станок:

В отличие от горизонтально-фрезерного станка имеет ещё одну шпиндельную головку, смонтированную на выдвижном хоботе, которую можно поворачивать под любым углом в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Возможна раздельная и одновременная работа обоими шпинделями. Для большей универсальности станка на поворотной головке монтируют накладную фрезерную головку, которая позволяет обработать на станке детали сложной формы не только фрезерованием, но и сверлением, зенкерованием, растачиванием и т. д.

В некоторых станках этого типа отсутствует консоль, а вместо неё по вертикальным направляющим станины, перемещается каретка. Каретка имеет горизонтальные направляющие для салазок с вертикальной рабочей поверхностью и Т-образными пазами, на которых крепят стол, делительные и другие приспособления. Широкая универсальность станка позволяет использовать его в экспериментальных и инструментальных цехах для производства кондукторов, зажимных приспособлений всех типов, инструментов, штампов, пресс-форм и других деталей.

Вертикальный консольно-фрезерный станок:

В отличие от горизонтально-фрезерного имеет вертикально расположенный шпиндель, который в некоторых моделях станков допускает смещение вдоль своей оси и поворот вокруг горизонтальной оси, расширяя тем самым технологические возможности станка. В отличие от горизонтально-фрезерных станков оправка для вертикальных станков представляет собой фланец с конусом инструментальный конусом Морзе с одной стороны и коническим отверстием с другой (тоже конус Морзе), куда и вставляется концевая фреза. Если требуется установить дисковую фрезу применяется оправка как на горизонтально-фрезерном станке, но много короче; так же и на горизонтальных станках возможно применяются оправки вертикальных станков для крепления концевых фрез. Вертикальное движение подачи, как правило, возможно осуществлять и инструментом.

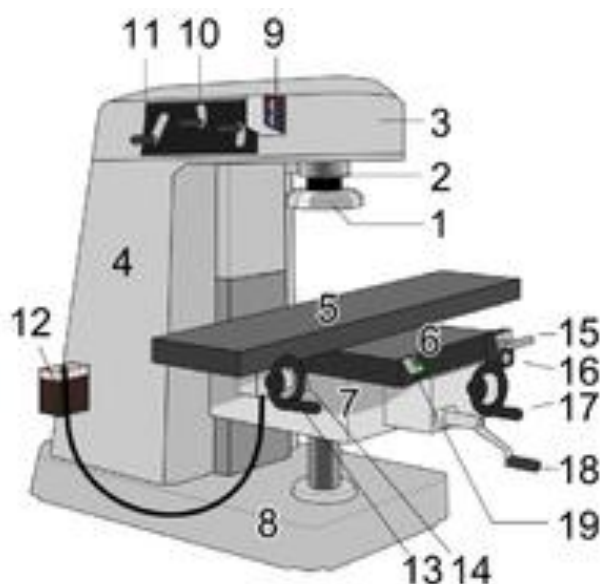


Рисунок 7 – Вертикально-фрезерный станок (1 — фреза, 2 — шпиндель, 3 — хобот, 4 — станина, 5 — стол, 6 — салазки, 7 — консоль, 8 — фундаментная плита)

Вертикально- и горизонтально-фрезерные бесконсольные станки:

Предназначены для обработки вертикальных, горизонтальных, наклонных поверхностей, пазов в крупногабаритных деталях. В отличие от консольно-фрезерных станков, в этих станках отсутствует консоль, а салазки и стол перемещаются по направляющим станины, установленной на фундамент. Такая конструкция станка обеспечивает более высокую его жесткость и точность обработки по сравнению со станками консольного типа, позволяет обрабатывать детали большой массы и размеров. Шпиндельная головка, являющаяся и коробкой скоростей, имеет установочное перемещение по вертикальным направляющим стойки. Кроме того, шпиндель вместе с гильзой можно сдвигать в осевом направлении при точной установке фрезы на требуемый размер.

2. Выбор электрооборудования

2.1 Выбор электродвигателя

Определение мощности электродвигателя главного движения определяется по формуле :

$$P_{дв} = \frac{P_{эф}}{\eta}$$

Где $P_{эф}$ - полезная мощность резания [12, 52 с.]

$$P_{эф} = \frac{P_z}{1,25 \cdot \eta_{пр}}$$

Где η - КПД главного движения (для станков с вращательным главным движением $\eta = 0,7 - 0,85$)

P_z - сила резания (13000 Н)

$$P_{эф} = \frac{13000}{1,25 \cdot 0,85} = 12240, \text{ Вт}$$

$$P_{дв} = \frac{12240}{0,85} = 14400, \text{ Вт}$$

Для привода главного движения обрабатывающего центра выбираем электродвигатель АИР160S2 паспортные данные которого приведены в таблице 1



Рисунок 9 – Электродвигатель АИР160S2

Технические данные выбранного электродвигателя сведены в таблице 1, параметры схемы замещения – в таблице 2.

Таблица 1 – Технические данные электродвигателя

марка	$n_0, \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$	$I, \text{ А}$	$U_{\text{ИН}}, [\text{В}]$	$P_{\text{ДВ.Н.}}, [\text{кВт}]$	При номинальной нагрузке			$J_{\text{ДВ.}}, [\text{кг} \cdot \text{м}^2]$
					$s_{\text{Н}}, \%$	$\cos \varphi_{\text{Н}}$	$\eta_{\text{Н}}, \%$	
АИР 160S2	3000	30	380	15	5	0,86	88	0,05

Продолжение таблицы 1

$m_{\text{П}} = \frac{M_{\text{ПУСК}}}{M_{\text{Н}}}$	$m_{\text{К}} = \frac{M_{\text{МАКС}}}{M_{\text{Н}}}$	$m_{\text{М}} = \frac{M_{\text{МИН}}}{M_{\text{Н}}}$	$k_{\text{ИДВ}} = \frac{I_{\text{ПУСК}}}{I_{\text{Н}}}$	Степень защиты
2.2	2.3	1.3	7.5	IP55

Таблица 2 – Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1', \text{о.е.}$	$X_1', \text{о.е.}$	$X_{\mu}', \text{о.е.}$	$R_2'', \text{о.е.}$	$X_2'', \text{о.е.}$
0,052	0,092	4,0	0,022	0,12

2.2 Выбор преобразователя частоты

К числу более популярных и универсальных преобразователей частоты можно отнести Micromaster фирмы Siemens, серия которых уже не первый год находится на рынке и остается наиболее запрашиваемым выбором на рынке.

Преобразователь частоты, удовлетворяющий требованиям проекта, является преобразователь фирмы Siemens Micromaster 440.

Данные продукты идеально подходят для автоматизации процесса производства каких-либо изделий в различных отраслях промышленности. При этом осуществляется компьютерное управление согласно современным тенденциям и технологиям. Качественные преобразователи частоты Micromaster, применяются к различным типам оборудования.

Micromaster 440 - Преобразователь частоты с режимом векторного управления с обратной связью. Используется в приводах, где есть необходимость использовать большой диапазон регулирования.

Критерии для выбора ПЧ следующие:

- ПЧ должен быть рассчитан на мощность электродвигателя;
- Ток должен быть не меньше допустимого

На основании приведенных выше требований, выбираем преобразователи частоты Siemens серии Micromaster 440 6SE6440-2UE31-5DA1. Характеристики ПЧ приведены в таблице 3



Рисунок 10 – Внешний вид преобразователя частоты Siemens Micromaster 440

Особенности Siemens Micromaster 440:

- Простой ввод в эксплуатацию
- Особо гибкая конфигурация благодаря модульной конструкции
- Шесть встроенных, свободно параметрируемых цифровых входа
- Два аналоговых входа (0...10 В, 0...20 мА), может по выбору быть использован в качестве 7 и 8-го цифрового входа
- Два аналоговых выхода (0... 20 мА)
- Три параметрируемых релейных выхода (30 В DC/5 А, активная

нагрузка, 250 В АС/2 А, индуктивная нагрузка)

- Бесшумная работа двигателя благодаря высокой частоте ШИМ
- Полная защита двигателя и преобразователя

Защита:

- Защита от перенапряжения и пониженного напряжения
- Защита от перегрева преобразователя
- Защита двигателя с помощью подключения РТС терморезистора

или КТУ датчика

- Защитное заземление
- Защита от короткого замыкания
- Тепловая защита по I^2t
- Защита от блокировки двигателя
- Защита от опрокидывания
- Защита от изменения параметров

Достоинства:

- Новейшая технология IGBT
- Цифровое микропроцессорное управление
- Высококачественное векторное управление
- Прямое управление потоком двигателя (FCC) для улучшения

динамических характеристик и оптимального управления двигателем

- U/f управление, с параметрируемым начальным напряжением
- Управление моментом «подхват на ходу»
- Компенсация скольжения
- Автоматический повторный запуск при пропадании питания или

нарушениях режима

• Свободные функциональные блоки логических и арифметических операций

- Встроенный PID регулятор (с автоподстройкой)

- Параметрируемое время разгона и торможения в пределах от 0 до 650 с
- Сглаживание кривой пуска
- Быстродействующее токоограничение (FCL) для безаварийной работы
- Быстродействующие цифровые входы
- Точный ввод заданного значения благодаря 10-битному аналоговому входу
- Комбинированное торможение для контролируемого останова
- Встроенный тормозной блок (только для преобразователей от 0.12 кВт ... 75 кВт)
- 4 частоты пропускания против резонанса
- Демонтируемый Y – конденсатор для использования в сети IT (с изолированной нейтралью) (при работе в сетях с изолированной нейтралью “Y” конденсатор удаляется, и устанавливается выходной дроссель).

Таблица 3 - Технические данные преобразователя частоты

Частота сети	47 Гц ... 63 Гц
Рабочая мощность	15 кВт
Номинальный выходной ток, А	35
Выходная частота	650 Гц (в режиме U/f); 0 Гц ... 200 Гц (в векторном режиме)
Коэффициент мощности	>0,95
КПД преобразователя	96 % ... 97 %
Перегрузочная способность	
- СТ (пост. момент)	1,5 x расчетный вых. ток в теч. 60 сек (каждые 300 сек.)
-VT-(перем. момент)	1,4 x расчетный вых. ток в теч. 3 сек (каждые 300 сек.)
Пусковой ток	Не выше расчетного входного тока

Законы управления	Векторное управление с/без датчика скорости; управление моментом; линейная зависимость U/f ; квадратичная U/f зависимость; программируемая зависимость U/f ; прямое управления потоком (FCC)
Частота импульсов	8 кГц (Заводская установка); 2 кГц ... 16 кГц (ступенями по 2 кГц)
Число фиксированных частот	15, параметрируемые
Частоты диафрагмирования	4, параметрируемые
Дискретность задания	0,01 Гц цифровое с панели; 0,01 Гц с компьютера; 10 бит аналоговое представление
Цифровые входы	6 параметрируемые, потенциально развязанные; переключаемые PNP/NPN
Аналоговый вход	2 параметрируемых; Вход 1 (AIN1): 0 В ... 10 В, 0 мА ... 20 мА и -10 В ... +10 В Вход 2 (AIN2): 0 В ... 10 В и 0 мА ... 20 мА • могут использоваться как 7 и 8 цифровые входы
Релейный выход	3, параметрируемые, DC 30 В/5 А (омическая нагрузка), AC 250 В/2 А (индуктивная нагрузка)
Аналоговый выход	2, параметрируемые (0/4 мА ... 20 мА)
Последовательный интерфейс	Встроенный RS-485, опционально RS-232
Допустимая длина кабеля до двигателя без выходного дросселя	50 м (экран. кабель); макс. 100 м (неэкр. кабель)
Электромагнитная	ЭМС-фильтр по EN 55 011, в качестве

совместимость	опции класса А или В. Преобразователь с встроенным фильтром кл. А (типоразмеры А,В,С,Д,Е,Ф)
Торможение	Торможение постоянным током, комбинированное торможение, встроенный тормозной блок
Степень защиты	IP20
Рабочая температура	СТ: -10 °С ... +50 °С (+14 °F ... +122 °F) VT: -10 °С ... +40 °С (+14 °F ... +104 °F)
Температура хранения	-40 °С ... +70 °С (-40 °F ... +158 °F)
Относительная влажность	95 % (Без образования конденсата)
Функции защиты по:	<ul style="list-style-type: none"> • Пониженному напряжению; • Перенапряжению; • Перегрузке; • Включению на землю; • Короткому замыканию; • Блокировке двигателя; • Перегреву двигателя; • Перегреву преобразователя; • Защита от изменения параметров

2.3 Подключение преобразователя частоты.

Преобразователи частоты Siemens серии Micromaster 440 относятся к классу высокотехнологичных устройств, которые кроме повышенной точности, характеризуются широким диапазоном регулирования и предусматривают возможность развивать высокий момент на валу электродвигателя [21, 55 с.].

Длительная и надёжная работа частотного преобразователя зависит, в основном, именно от правильного монтажа.

Подключение оборудования к частотным преобразователям серии Micromaster 440 мощностью 15 / 18.5 кВт и ниже (соответственно) необходимо выполнять в соответствии с приведенной ниже схемой подключения:

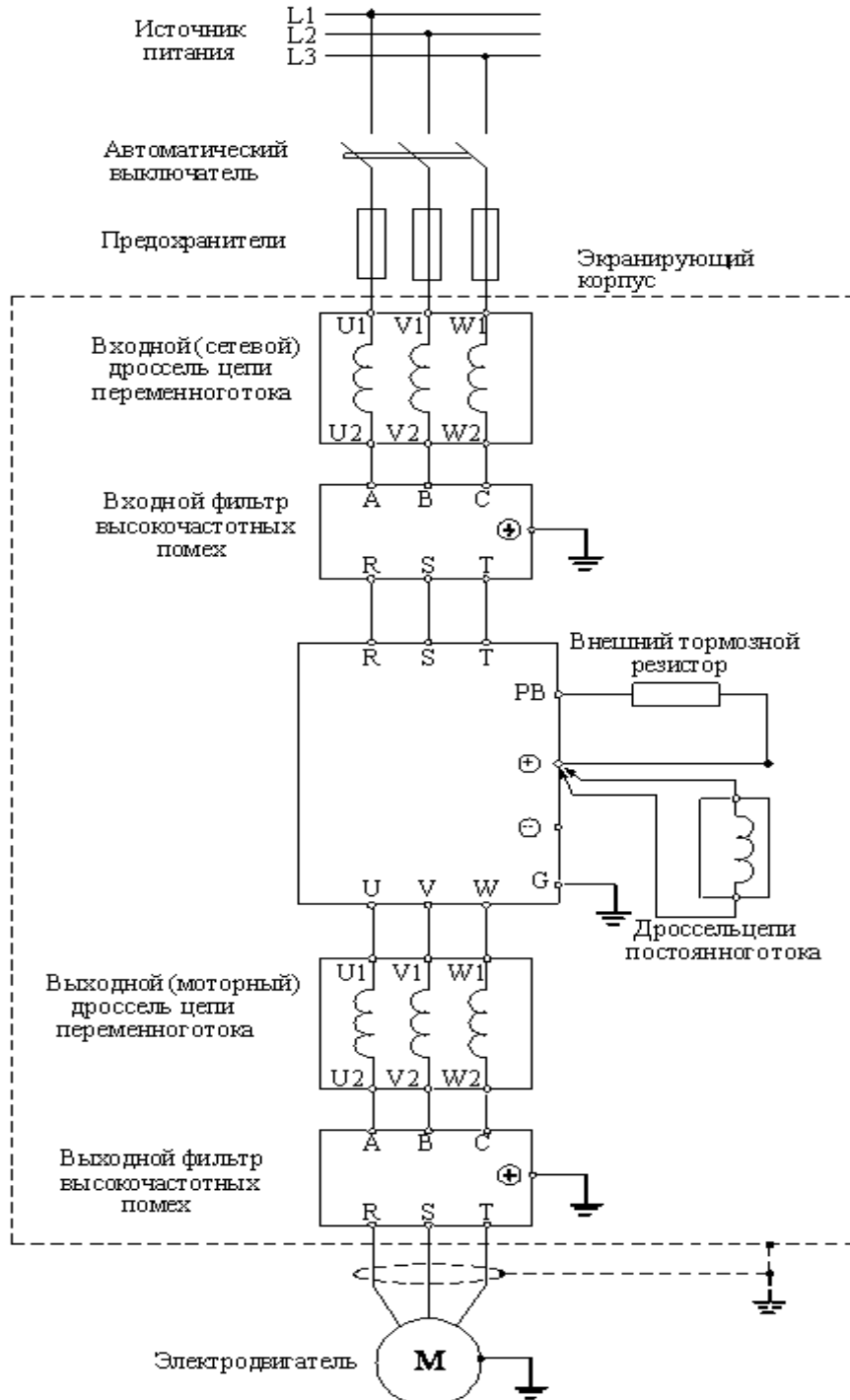


Рисунок 11 – Схема подключения преобразователя частоты.

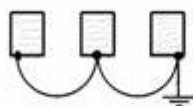
Заземление:

При выполнении «заземления» одного или нескольких частотных преобразователей, настоятельно рекомендуется следовать нижеприведенным указаниям:

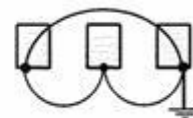
- Сопротивление "Земли" должно быть 10 Ом или менее.
- Запрещается заземлять частотный преобразователь с использованием общей заземляющей шины со сварочным оборудованием, электродвигателями или другим мощным электрооборудованием.
- При использовании нескольких частотных преобразователей нужно заземлять их, согласно нижеприведенному рисунку:



а) допустимо



б) недопустимо



в) недопустимо

Рисунок 12 – Заземление преобразователя частоты.

Использование автомата силовой защиты:

Подключение источника силового питания к клеммам питания преобразователя всегда осуществляется через автомат силовой защиты (рекомендуется с электромагнитным расцепителем) [21, 12 с.]:

- Ток срабатывания автомата силовой защиты выбирается в полтора-два раза больше потребляемого частотным преобразователем тока.
- Быстродействие автомата силовой защиты должно выбираться исходя из перегрузочной способности частотного преобразователя.
- Если автомат силовой защиты предназначен для использования с несколькими частотными преобразователями или совместно с другим оборудованием, последовательность подключения должна быть такой, чтобы при появлении сигнала ошибки на выходе частотного преобразователя, напряжение питания отключалось.

Установка защиты по шине заземления:

Вследствие присутствия на выходе частотного преобразователя высокочастотных коммутаций (выходная ШИМ), преобразователь генерирует высокочастотные токи утечки. В общем случае, каждый частотный преобразователь генерирует ток утечки величиной примерно 100 мА (при силовом кабеле длиной 1 м) и еще примерно 5 мА, на каждый дополнительный метр длины кабеля. Поэтому, в районе подключения силовых цепей к преобразователю, устанавливайте специальный защитный прерыватель, определяющий ток утечки на частотах, являющихся опасными для персонала, и не реагирующий на высокочастотные токи утечки.

В качестве специального защитного прерывателя используется прерыватель с чувствительностью, по меньшей мере, 10 мА на каждый частотный преобразователь.

При использовании защитных прерывателей общего назначения, используется для каждого частотного преобразователя защитные прерыватели чувствительностью 200 мА или более, с быстродействием не менее 0.1 сек.

Использование магнитного контактора:

В случае, когда питание силовой цепи должно отключаться согласно заданной последовательности работы, вместо автомата силовой защиты можно использовать магнитный контактор.

Механизм может быть запущен и остановлен посредством включения и выключения контактора на стороне питания, однако частые переключения магнитного контактора могут привести к отказу частотного преобразователя.

В случае использования тормозного прерывателя и резистора, устанавливается последовательность работы таким образом, чтобы отключение магнитного контактора осуществлялось контактами термореле блока.

Использование сетевого дросселя цепи переменного тока:

Сетевой дроссель цепи переменного тока применяется для подавления гармоник (гармонических составляющих токов и напряжений) со стороны питающей сети, сводит к минимуму дополнительные тепловыделения, возникающие при работе преобразователя, и вероятность возникновения всевозможных сбоев в работе оборудования, вызываемых нестабильностью питающей сети. Рекомендуется устанавливать, если мощность питающей сети в десятки раз превышает мощность частотного преобразователя или при наличии в питающей сети помех от более мощных устройств. Использование сетевого дросселя цепи переменного тока существенно влияет на форму потребляемого преобразователем тока и значительно приближает его к синусоидальной, существенно ослабляет броски напряжения в сети при включении или выключении крупных потребителей, продлевается срок службы конденсаторов промежуточного контура, надежность преобразователя увеличивается в 5 - 7 раз.

При использовании сетевого дросселя цепи переменного тока ограничивается скорость нарастания тока, если преобразователь по каким либо причинам вышел из строя, при этом успевает сработать входной автомат отключения питания, и повреждения оказываются минимальными, и, как следствие, более дешевый ремонт.

Использование входного фильтра высокочастотных помех:

Входной фильтр высокочастотных помех применяется для снижения уровня высокочастотных электромагнитных помех, излучаемых в сеть при работе частотного преобразователя. Рекомендуется использовать, если электропитание преобразователя частоты осуществляется от одного ввода совместно с другими устройствами, чувствительными к электромагнитным помехам (контроллеры, радиооборудование, компьютеры и т.п.).

Длина кабеля между частотным преобразователем и двигателем:

Длина кабеля между преобразователем и двигателем должна быть минимальной.

При значительной длине кабеля между частотным преобразователем и двигателем увеличение высокочастотных токов утечки вызовет соответствующее увеличение выходного тока, что может повлиять на периферийное оборудование.

Использование моторного дросселя цепи переменного тока:

Моторный дроссель цепи переменного тока применяется для частичного подавления гармоник (гармонических составляющих токов) высших порядков со стороны двигателя (на выходе частотного преобразователя). Рекомендуется использовать для повышения коэффициента эффективности потребления мощности преобразователем на стороне питающей сети, снижения скорости нарастания аварийных токов, компенсации емкостных токов длинных моторных кабелей, снижения выбросов напряжения на обмотках двигателя.

Использование выходного фильтра высокочастотных помех:

Выходной фильтр высокочастотных помех применяется для ослабления уровня ВЧ-электромагнитных помех, генерируемых в выходной цепи работающего преобразователя частоты. Рекомендуется использовать, если в непосредственной близости с преобразователем частоты находятся другие устройства, чувствительные к электромагнитным помехам (контроллеры, радиооборудование, компьютеры и т.п.), а также если длина кабеля, соединяющего выход частотного преобразователя и двигатель, превышает 20 м.

Меры по защите от генерирования гармоник:

Применение дросселей, включаемых в цепи постоянного и переменного тока, позволяет подавить гармоники, что снижает резкие изменения (скачки) токов. Дроссели цепи постоянного тока подавляют гармоники высшего порядка эффективнее, чем дроссели цепей переменного тока. Совместное применение дросселей цепей и постоянного, и переменного тока является наиболее эффективным с точки зрения подавления гармоник.

Использование тормозного прерывателя и тормозного резистора:

При торможении двигатель отдает энергию назад – в частотный преобразователь (работает в генераторном режиме) вследствие чего напряжение на шине постоянного тока повышается. Частотный преобразователь пытается уменьшить напряжение, увеличивая выходную частоту, тем самым уменьшая скольжение двигателя. Интенсивность торможения в этом случае зависит от потерь мощности в преобразователе и двигателе. Частотный преобразователь можно тормозить с мощностью около 20% от номинальной за счет собственных потерь двигателя и преобразователя. Этого обычно достаточно для небольших неинерционных нагрузок, т.е. там, где кинетическая энергия невелика или время торможения не критично. Если требуется произвести быстрое торможение, необходимо использовать тормозной прерыватель и тормозной резистор.

2.4 Выбор входного дросселя

Входные выпрямители трехфазных преобразователей частоты, применяемые в электроприводах, считаются нелинейными, т.к. ток на выходе является несинусоидальным. Они генерируют преимущественно 5 и 7, 11 и 13 гармоники тока. Гармоники тока обуславливают ряд проблем в питающих сетях, таких как:

- перегрев кабелей, трансформаторов и другого оборудования
- искажение кривой напряжения
- ложное срабатывание входных автоматов
- преждевременный выход из строя двигателей, генераторов, ложные срабатывания и отказы компонентов слаботоочного оборудования. В таком случае возникает потребность использования фильтров. Существующие методы подавления гармоник (линейные реакторы, многопульсные схемы, резонансные или широкополосные пассивные и активные фильтры) зачастую недостаточно надежны, неэффективны и дорогостоящи. Для нашей системы выберем фильтр фирмы «Веспер».



Рисунок 13 – Внешний вид входного дросселя Веспер 15кВт

Таблица 4 – Технические данные входного фильтра

Мощность ПЧ [кВт]	Ток [А]	Индуктивность [мГн]	Габаритные размеры [мм]						Исп.	Масса [кг]
			L	B	H	d	e	f		
15	30	0,98	145	104	191	120	82	Ø6,5	А	6

Входные фильтры применяются для сглаживания фронта и уменьшения амплитуды выброса всплесков силового переменного питающего напряжения.

Дополнительно они уменьшают амплитуду пульсаций тока, потребляемого частотным преобразователем от сети. При отсутствии всплесков напряжения в питающей сети установка фильтров не требуется.

Входные фильтры устанавливаются при подключении преобразователя малой мощности (менее 15 кВт) в сеть с большой мощностью (более 600 кВА), или при наличии мощных потребителей в этой сети.

Выбор входного фильтра определяется мощностью преобразователя частоты.

2.5 Выбор выходного дросселя

Выходные фильтры предназначены для сглаживания фронтов и уменьшения выбросов напряжения на зажимах электродвигателя при работе от частотного преобразователя. Дополнительно они защищают силовые

выходные цепи преобразователя от перегрузки в случае возникновения токов короткого замыкания в электродвигателе или кабеле.

Фильтры устанавливаются между частотным преобразователем и электродвигателем. Установка рекомендуется при больших расстояниях между частотным преобразователем и электродвигателем (порядка сотен метров).

Выбор выходного фильтра определяется мощностью преобразователя частоты.



Рисунок 14– Внешний вид выходного дросселя серии OCL 15кВт

Таблица 5 – Технические данные выходного фильтра

Мощность (кВт)	15
Модель	OCL0007EISCE1M9
Номинальное напряжение:	380 В/50 Гц или 660 В/50 Гц
Номинальный рабочий ток:	от 5 А до 1600 А при 40 °С
Индуктивность (мГн)	0.35
Падение напряжения	2%
Ном. ток (А)	40
Вес (кг)	11.5
Класс изоляции:	F
Обмотка сердечника:	~ 3000 В/50 Гц/5 мА/10 с

2.6 Выбор автоматического выключателя

Для защиты двигателей от токов короткого замыкания, токов перегрузки применяются автоматические выключатели.

Выбор автоматического выключателя для двигателя (АИР 160 S2, $I_H = 30 \text{ A}$)

1. Определяем пусковой ток

$$I_{\text{ПУСК}} = 5 \cdot I_H = 5 \cdot 30 = 150 \text{ A}$$

2. Определяем кратковременный ток:

$$I_{\text{КР}} = 1,25 \cdot I_{\text{ПУСК}} = 1,25 \cdot 150 = 187,5 \text{ A}$$

3. Ток электромагнитного расцепителя должен быть больше кратковременного тока:

$$I_{\text{ЭМ}} \geq I_{\text{КР}}.$$

По время-токовой характеристике отключения выбираем уставку электромагнитного расцепителя равную 3 т.е.

$$I_{\text{ЭМ}} = 3 \cdot I_{\text{НАВ}} = 3 \cdot 200 = 600 \text{ A},$$

где $I_{\text{НАВ}} = 200 \text{ A}$ - номинальный ток автоматического выключателя.

$$600 \text{ A} \geq 187,5 \text{ A}.$$

4. Ток теплового расцепителя должен быть больше номинального тока электроприемника:

$$I_{\text{Т.Р.}} \geq I_H,$$

Для защиты двигателя АИР 160 S2 выбираем автоматический выключатель ИЕК ВА88-35 ЗР 200А на номинальный ток 200А



Рисунок 15 – Автоматический выключатель IEK на номинальный ток 200А

2.7 Выбор магнитных пускателей

Магнитный пускатель – это коммутационный аппарат, предназначенный для автоматического включения и отключения потребителей электроэнергии таких, как электродвигатель.

Магнитный пускатель позволяет осуществить дистанционное управление, включать и отключать потребителя на расстоянии с пульта управления. Самое распространенное применение магнитного пускателя получили асинхронные двигателя, при помощи его осуществляется пуск, стоп и реверс двигателя.

Как к элементу систем автоматического управления к пускателям предъявляются высокие требования по износостойкости. Пускатели выпускаются в трех классах коммутационной износостойкости (А, Б и В).

Для пуска двигателя главного движения обрабатывающего центра используем пускатель ПМ12. Данные пускатели ПМ12 снабжены более мощной контактной системой с эффективным дугогашением, имеют существенно меньшие тепловые потери на контактных переходах, высокое быстродействие при отключении, имеется большее количество дополнительных контактов, не требуется заземление основания корпуса.



Рисунок 16 – Магнитный пускатель серии ПМ12

Пускатель серии ПМ12 применяется в схемах управления электроприводами на напряжение до 660 В переменного тока с частотой 50 Гц. Защита управляемых электродвигателей от перегрузок недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз.

Пускатели этой серии используются в различных системах автоматизации.

Основные технические характеристики магнитного пускателя представлены в таблице 6:

Таблица 6 – Параметры магнитного пускателя

Тип магнитного пускателя	Ном. ток	Ном. напряжение	Напряжение по изоляции	Мощность управляемого электродвигателя
ПМ12-200100	200 А	380 В	690 В	15-20 кВт

2.8 Выбор фильтра

ЭМИ-фильтры применяются для уменьшения электромагнитных помех, излучаемых в сеть при работе преобразователя частоты.

Тип	Ном. ток	Габариты, мм	Вес, кг	Мощность ЧРП
B84143-A36-R	36 А	216x156x91	3,7	15 кВт

3. Расчет статических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода

3.1 Расчет естественных характеристик $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ регулируемого электропривода

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти по следующему выражению:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* I_{1H} (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}{1 - [p_* (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}} \sqrt{\frac{22.947^2 - [0.75 \cdot 30.031 (1 - 0.05) / (1 - 0.75 \cdot 0.05)]^2}{1 - [0.75 (1 - 0.05) / (1 - 0.75 \cdot 0.05)]^2}} = 8.461 \text{ A}$$

где $I_{1H} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot \cos \phi_H \cdot \eta_H} = \frac{15 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0.86 \cdot 0.88} = 30.031 \text{ A}$ - номинальный ток статора

двигателя;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0.75 \cdot 15 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0.86 \cdot 0.88} = 22.947 \text{ A}$$
 - ток статора двигателя

при частичной нагрузке;

Коэффициент мощности при частичной нагрузке

$$\cos \phi_{p_*} = 0.99 \cdot \cos \phi_H = 0.99 \cdot 0.86 = 0.85;$$

Коэффициент загрузки двигателя

$$p_* = P / P_H = 0.75.$$

Коэффициент мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями:

– современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при нагрузке на 10-15% меньше номинальной. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке $p_* = 0,75$ практически равны между собой, т.е. $\eta_H \approx \eta_{0,75}$

– коэффициент мощности при той же нагрузке $p_* = 0,75$ значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя.

$$\eta_{p_*} = \eta_H = 0.89 \text{ - КПД при частичной загрузке;}$$

Из формулы Клосса определяем соотношение, которое необходимо для расчета критического скольжения:

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

$$s_k = 0.05 \frac{2.3 + \sqrt{(2.3)^2 - [1 - 2 \cdot 0.05 \cdot 1 (2.3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.05 \cdot 1 (2.3 - 1)} = 0.253$$

где $\beta = R_1 / (C_1 \cdot R_2')$ - значение коэффициента β находится в диапазоне 0,6 – 2,5, поэтому в первом приближении принимаем $\beta = 1$.

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{8.461}{2 \cdot 7,5 \cdot 30.031} = 1.019$$

Электромеханическая характеристика при частотном управлении АД, определяется зависимостью приведенного тока ротора от скольжения

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{КН}}^2 f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s X_{\text{МН}} f_{1*}}\right)^2}},$$

где U_{1j} - фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1H}}$ - относительное значение частоты питающего напряжения.

Задаваясь значениями скольжения можно рассчитать соответствующее значение тока и воспользовавшись формулой $\omega = \omega_0(1-s)$ получить соответствующее значение угловой скорости.

Полагая, что ток намагничивания двигателя имеет полностью реактивный характер, выражение для электромеханической характеристики,

описывающей зависимость тока статора от скольжения, запишется следующим образом

$$I_{1j}(s) = \sqrt{I_0^2 + I_{2j}'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_{2j}'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)},$$

где I_0 будет меняться в зависимости от величины питающего напряжения, согласно выражению

$$I_{0j} = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1н} + X_{\muн})^2}},$$

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

Задаваясь скольжением $S = (-2 \div 2)$ и принимая во внимание, что для естественной характеристики $f_{1*} = 1$ по формуле рассчитываем естественные электромеханические характеристики АД в двигательном и генераторном режимах, приведенные на рисунке 17. Сплошной линией представлена зависимость $\omega = f(I_2')$, а пунктирной линией зависимость $\omega = f(I_1)$, $I_0 = 8,461$ А. Значения электромеханической характеристики приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Значения электромеханической характеристики

ω , рад/с	0	120,1	201,4	220,1	301,4	320	350,2	375,49	398,3
Γ_2 , А	154,6	83,65	119,4	78,65	20,29	50,1	75,05	98,6	144,3
I, А	159,8	148,43	128,3	79,43	20,97	52,6	77,8	101,1	147,46

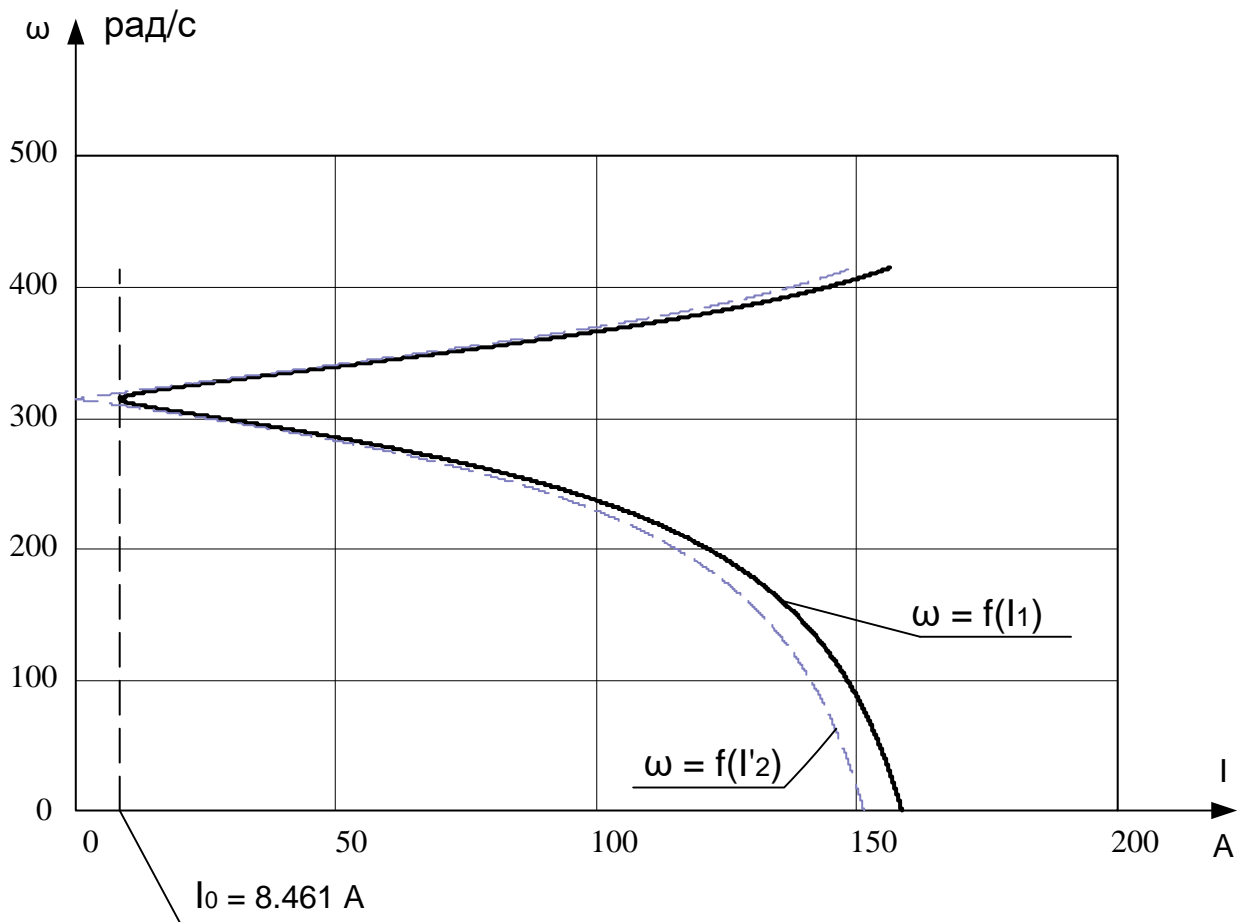


Рисунок 17 - Естественные электромеханические характеристики АД

Механическую характеристику асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания можно рассчитать по следующему выражению

$$M = \frac{3U_{1j}^2 R_2'}{\omega_{0j} s_j \left[X_{KH}^2 f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_j} \right)^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s_j X_{\mu H} f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя имеет критический момент и критическое скольжение, которые определяются по следующим формулам:

$$M_K = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_1 \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_K^2} \right]} = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 314,159 \cdot 1,019 \cdot \left[0,396 + \sqrt{(0,396^2 + 1,553^2)} \right]} = 115,594 \text{ Нм,}$$

U_{1j} - фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя.

$X_K = X_{1\mu} + X_{2\mu}' = 0,674 + 0,879 = 1,553 \text{ Ом}$ Ом - индуктивное сопротивление

короткого замыкания.

$$s_{Kj} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = \frac{1,019 \cdot 0,389}{\sqrt{0,396^2 + 1,553^2}} = 0.253$$

Знак (+) означает, что критический момент и скольжение относятся к двигательному режиму, знак (-) – к генераторному режиму.

Расчет механической характеристики проводим по формуле Клосса:

$$M(s) = \frac{2M_{\kappa}(1 + a \cdot s_{\kappa})}{\frac{s_{\kappa}}{s} + \frac{s}{s_{\kappa}} + 2 \cdot a \cdot s_{\kappa}}$$

где $a = \frac{R_1}{R_2'} = \frac{0.396}{0.389} = 1.018$ - коэффициент, равный отношению активного сопротивления статора к активному приведенному сопротивлению ротора;

$\omega_H = \omega_0 \cdot (1 - s_H) = 314.159 \cdot (1 - 0.05) = 298.45 \text{ об/мин}$ - номинальная

скорость; $M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{15 \cdot 10^3}{298.45} = 50.26 \text{ Нм}$ - номинальный момент;

На рисунке 18 представлена естественная механическая характеристика $\omega = f(M)$ для асинхронного двигателя. Её значения приведены в таблице 8.

Таблица 8 – значения естественной механической характеристики

$\omega,$ рад/с	314	300	291,3	258,1	246,6	242,1	200,3	98,6	10,1
M, Нм	0	47,2	76,3	110,2	112,5	115,4	110,9	75,3	69,3

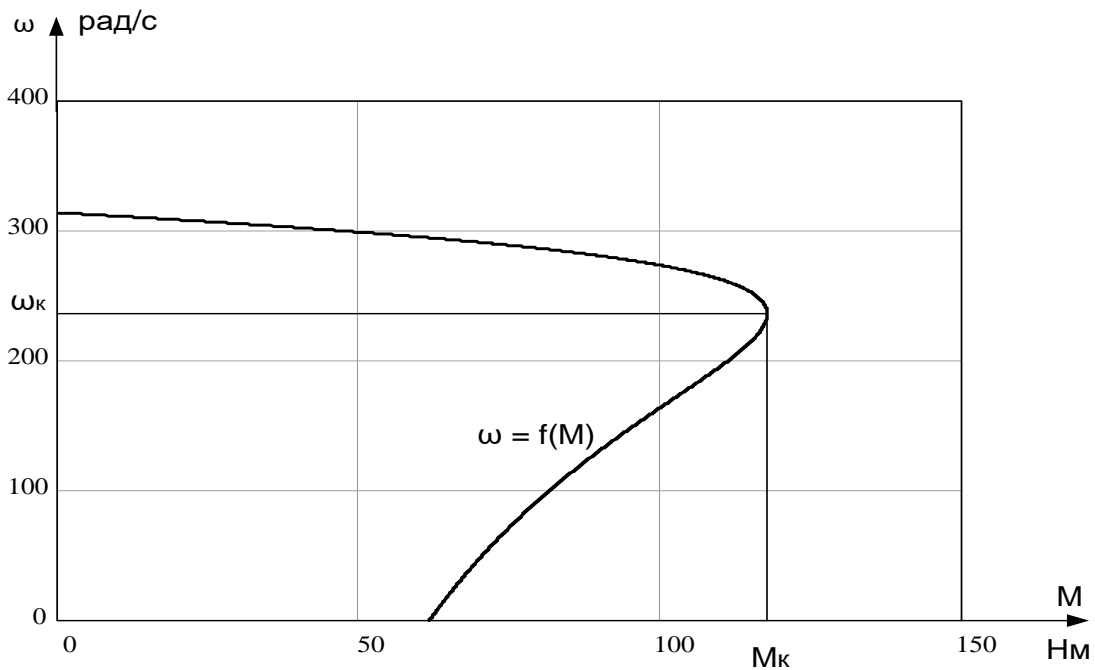


Рисунок 18 - Естественная механическая характеристика АД

3.2 Расчет искусственных (регулировочных) характеристик

$\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости

Частоты напряжения преобразователя, $f_{11} = 50$ Гц, $f_{12} = 25$ Гц, $f_{13} = 10$ Гц, $f_{14} = 5$ Гц.

Возможность частотного регулирования скорости асинхронного двигателя — регулирование путем изменения частоты питающего напряжения — вытекает из того обстоятельства, что скорость вращения электромагнитного поля статора пропорционально частоте питающего напряжения

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{P_n}$$

Следует также учесть, что поскольку с изменением частоты питающего напряжения изменяется и величина потока двигателя Φ_1 ,

$$\Phi_1 = \frac{E_1}{kf_1} \approx \frac{U_1}{kf_1}$$

то в большинстве случаев одновременно с изменением частоты питающего напряжения необходимо регулировать и его амплитуду.

Необходимость регулирования напряжения при уменьшении частоты вниз от номинальной связана с тем, что из-за уменьшения индуктивного сопротивления обмоток АД ток намагничивания будет возрастать, что приведет к насыщению магнитопровода двигателя и его перегреву. Регулирование напряжения следует производить таким образом, чтобы скольжение двигателя было минимальным.

При частотном регулировании величина относительного скольжения S_j зависит как от разности скоростей вращающегося электромагнитного поля и ротора – абсолютного скольжения $S_a = \omega_0 - \omega$, так и от относительного значения f_{1*} частоты питающего напряжения

$$\frac{f_{1j}}{f_{1H}} = f_{1*},$$

$$S_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}$$

Здесь f_{1j} , ω_{0j} , S_j — регулируемые значения частоты напряжения статора и соответствующие значения скорости вращения и скольжения; f_{1H} и ω_{0H} — номинальные значения частоты статора и скорость поля, соответствующие паспортным данным двигателя.

$$S_j = 1 - \frac{\omega}{\omega_{0H}}$$

Для анализа электромеханических характеристик двигателя при частотном регулировании. Приходится учитывать, что реактивные сопротивления двигателя зависят от частоты питающего напряжения и изменяются с изменением частоты.

$$X_{1j} = X_{1H} \cdot f_{1*}; X_{\mu j} = X_{\mu H} \cdot f_{1*};$$

$$X'_2 = X'_{2H} \cdot f_{1*}; X_k = X_{kH} \cdot f_{1*}.$$

В связи с ним нужно заметить, что при номинальной частоте 50Гц индуктивное сопротивление контура намагничивания $X_{\mu H}$ на порядок (для

машин малой мощности) или на два порядка (для машин большой мощности) больше, чем активное сопротивление обмотки статора r_1 . Поэтому при анализе и расчете электромеханических характеристик асинхронных двигателей, работающих при постоянной номинальной частоте питающего напряжения, сопротивлением r_1 обычно пренебрегают. Если же двигатель работает с переменной частотой напряжения, то при снижении частоты сопротивление r_1 , становится соизмеримым с реактивными сопротивлениями машины и учет сопротивления r_1 , является необходимым.

Мощность скольжения, выделяемая в цепи ротора, расходуется на нагрев обмоток ротора как следует из

$$P_s = M \omega_0 s_j = 3 I_2'^2 r_2', \text{ откуда}$$

$$M = \frac{3 I_2'^2 r_2'}{\omega_0 s_j}.$$

Из схемы замещения, учитывая, что отношения $x_{1H}/x_{\mu H}$ и $x'_{2H}/x_{\mu H}$ гораздо меньше единицы и ими можно пренебречь, определим значение I_2'

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

Подставляя выражение получим формулу для механических характеристик при переменных значениях величины и частоты напряжения питания

$$M = \frac{3 U_{1j}^2 R_2'}{\omega_0 s_j \left[X_{KH}^2 f_{1*}^2 + \left(R_{1экв} + \frac{R_2'}{s_j} \right)^2 + \left(\frac{R_{1экв} R_2'}{s_j X_{\mu H} f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

Положив $dM/ds_j = 0$, найдем значения максимального момента и критического скольжения

$$M_k = \frac{3U_{1j}^2}{2\omega_{0j} \left[r_1 \pm \sqrt{\left(r_1^2 + x_{KH}^2 f_{1*}^2 \right) \left(1 + \frac{r_1^2}{x_{\mu H}^2 f_{1*}^2} \right)} \right]}$$

$$s_{kj} = \pm r_2 \sqrt{\frac{1 + \left(r_1 / X_{\mu H} f_{1*} \right)^2}{r_1^2 + X_{KH}^2 f_{1*}^2}}$$

Знак (+) соответствует двигательному режиму, знак (-) – режиму рекуперативного торможения.

Если пренебрегать величиной активного сопротивления статора ($r_1 = 0$) то, для того чтобы при частотном регулировании (уменьшении частоты вниз от номинальной) сохранять критический момент постоянным, нужно величину напряжения изменять пропорционально изменению частоты.

Для обрабатывающего центра характеристика нагрузки имеет вид:

$$\frac{U_{1*}}{f_{1*}} = const$$

Построим естественную и искусственные механические характеристики соответствующие рассчитанным параметрам, данные для построения естественной характеристики сведены в таблице 9

Таблица 9

$M_{ст1}$, Нм	75.9	82.7	99,5	122,6	134,9	143,8	78,7	0
ω , рад/с	0	50,1	102,13	150,6	201,9	225,5	280,7	314.06
$M_{ст2}$, Нм	110.2	126,3	133,68	124,97	89,27	50,47	25,1	0
ω , рад/с	0	59,9	66,56	100,2	115,7	148,85	159,7	161,65
$M_{ст3}$, Нм	109.8	98,3	90.2	93.4	66.7	25.7	12.6	0
ω , рад/с	0	33.2	35.7	38.1	44.8	62.9	64.8	65.3
$M_{ст4}$, Нм	68.2	60.4	50.9	45.4	33.4	25.9	13.9	0
ω , рад/с	0	8	14.8	15.1	16.5	17.97	22.8	28.1

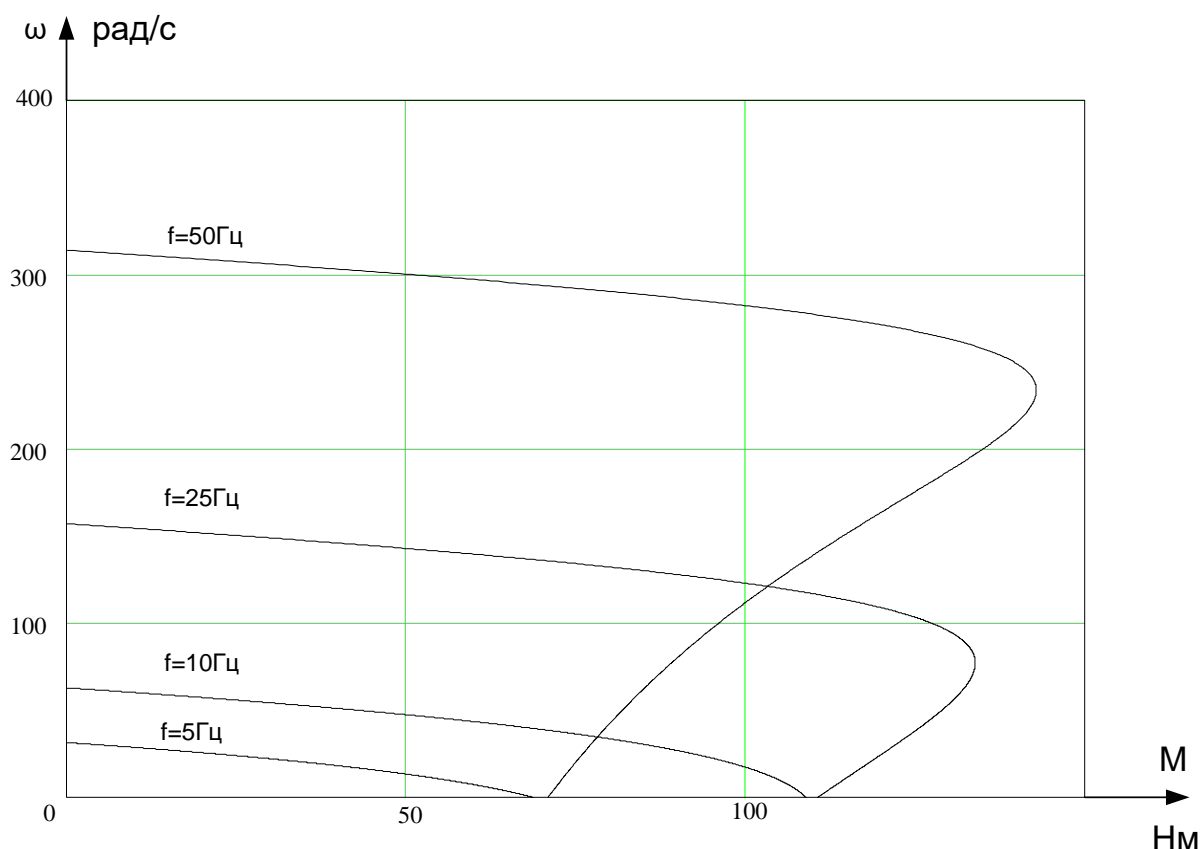


Рисунок 19 - Механические характеристики при $\frac{U_{1*}}{f_{1*}} = const$

Электропривод механизма тормозится в режиме выбега.

Далее рассчитываем соответственно зависимости $I_2' = f(\omega)$ и $I_1 = f(\omega)$, которые представлены на рисунках 20, 21; расчетные данные приведены в таблицах 10,11.

Таблица 10

\dot{I}_{2CT1}, A	130,4	128,6	126,5	115,1	100,2	75,8	45,8	0
$f_1 = 50Гц$ $\omega, рад/с$	0	57,1	100,3	200,3	229,5	250,9	301,1	308,06
\dot{I}_{2CT2}, A	123,4	102,1	82,4	65,7	50,7	44,3	20,8	0
$f_1 = 25Гц$ $\omega, рад/с$	0	78,5	98,9	115,2	126,8	130,6	138,7	150,6
\dot{I}_{2CT3}, A	75,6	65,8	50,9	45,8	35,1	25,6	10,2	0
$f_1 = 10Гц$ $\omega, рад/с$	0	24,5	28,2	28,9	38,6	49,8	56,9	58,2

$I_{2СТ4}, A$	42,9	40,7	37,9	32,3	26,5	18,9	12,9	0
$f_1 = 5Гц$ $\omega, рад/с$	0	10,8	19,8	21,8	27,5	30,3	32,9	37,01

Таблица 11

$I_{1СТ1}, A$	147,9	142,7	139,4	128,2	119,3	84,5	45,2	10,6
$f_1 = 50Гц$ $\omega, рад/с$	0	55,5	100,8	150,4	200,5	254,3	289,5	310,9
$I_{1СТ2}, A$	127,1	122,1	100,3	73,6	61,4	48,6	21,4	11,1
$f_1 = 25Гц$ $\omega, рад/с$	0	54,3	81,3	98,6	112,3	117,6	142,3	156,3
$I_{1СТ3}, A$	77,3	68,7	50,1	45,6	40,2	32,2	20,4	10,4
$f_1 = 10Гц$ $\omega, рад/с$	0	10,3	18,5	39,5	42,6	48,3	55,8	66,2
$I_{1СТ4}, A$	48,3	46,2	42,5	38,2	28,6	25,7	20,3	11,2
$f_1 = 5Гц$ $\omega, рад/с$	0	8,3	11,2	15,3	17,6	18,3	19,6	21,3

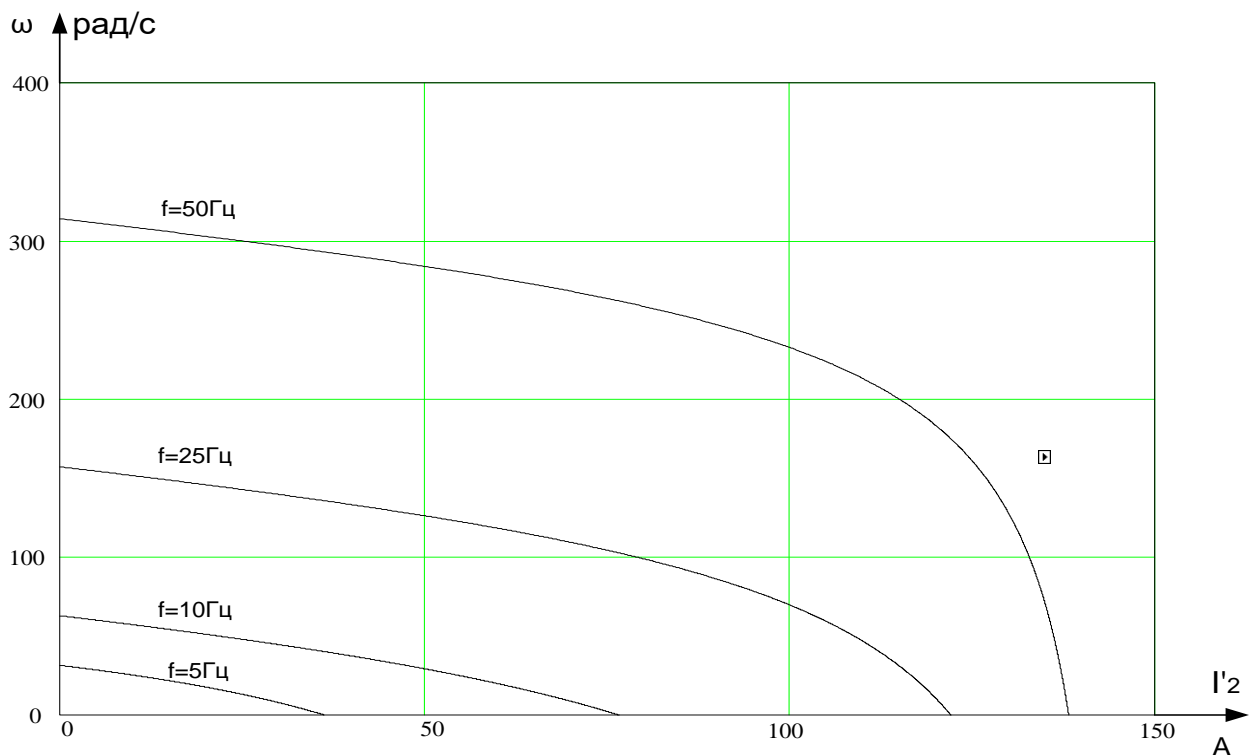


Рисунок 20 - Электромеханические характеристики $I_2 = f(\omega)$ при $\frac{U_{1*}}{f_{1*}} = const$

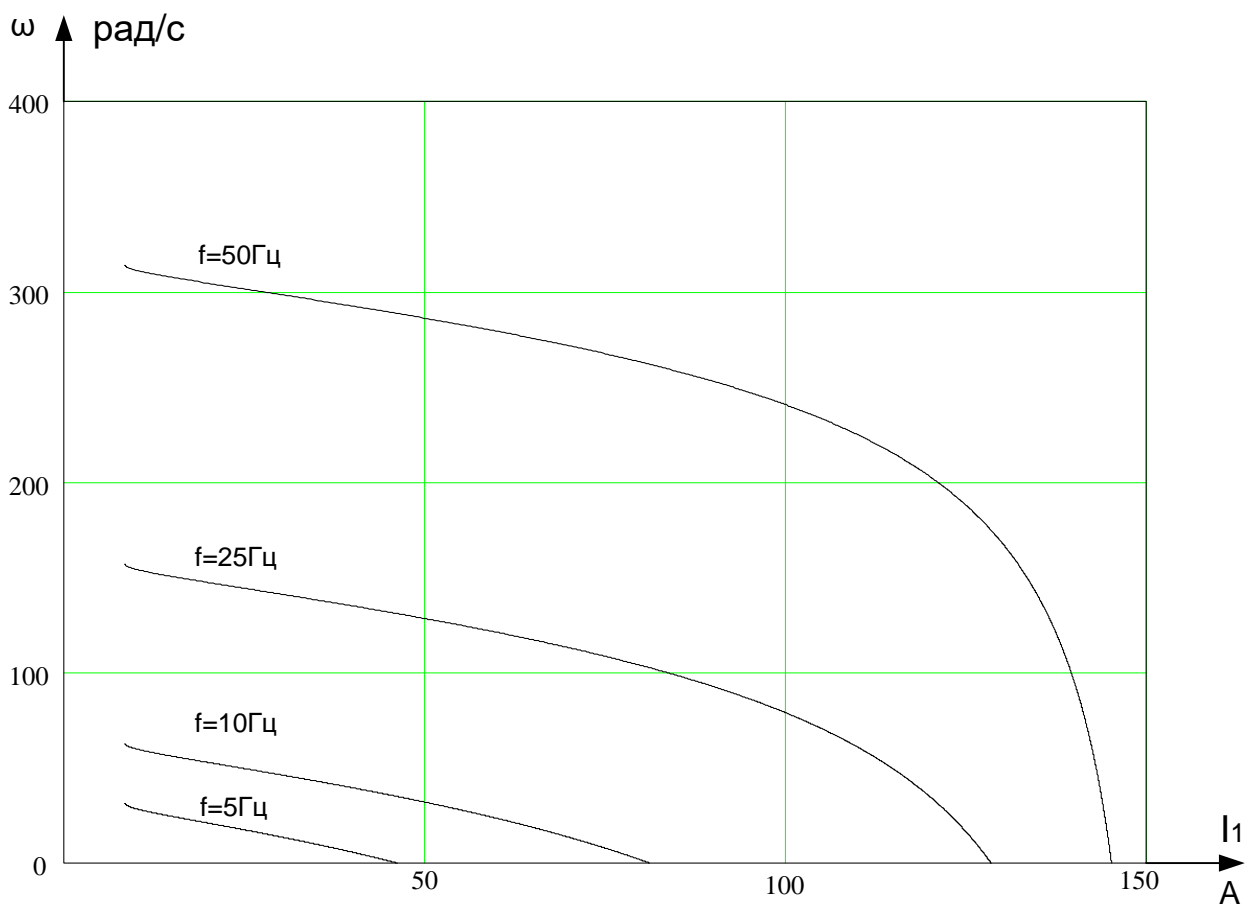


Рисунок 21 - Электромеханические характеристики $I_1 = f(\omega)$ при $\frac{U_{1*}}{f_{1*}} = const$

4. Создание математической модели и проведение имитационного моделирования работы в MATLAB SIMULINK

4.1 Определение дополнительных параметров двигателя и параметров схемы замещения

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314,159 \text{ рад/с} .$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - s_{\text{H}}) \cdot n_0 = (1 - 0,05) \cdot 3000 = 2850 \text{ об/мин} .$$

ИЛИ

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_{\text{H}}) \cdot \omega_0 = (1 - 0,05) \cdot 314,159 = 298,451 \text{ рад/с} .$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{15 \cdot 10^3}{298,451} = 50,259 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

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.

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В} .$$

Принимаем $U_{1\text{фн}} = 220 \text{ В}$.

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{\text{H}} \cdot \eta_{\text{H}}} = \frac{15 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,86 \cdot 0,88} = 30,03 \text{ А} .$$

Примечания:

$I_{1\text{лн}}$ – ток, потребляемый двигателем из сети в номинальном режиме работы.

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = k_{\text{ДВ}} \cdot I_{1\text{лн}} = 7,5 \cdot 30,03 = 225,231 \text{ А} .$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_{\text{к}} = m_{\text{к}} \cdot M_{\text{двн}} = 2,3 \cdot 50,259 = 115,597 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{ДВПУСК}} = m_{\text{П}} \cdot M_{\text{ДВН}} = 2,2 \cdot 50,259 = 110,571 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

T – образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 22.

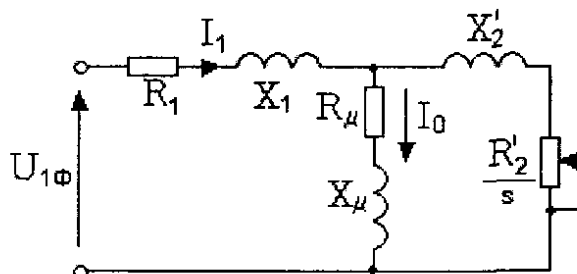


Рисунок 22 – Схема замещения асинхронного двигателя

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = R_1' \cdot \frac{U_{1\Phi\text{Н}}}{I_{1\Phi\text{Н}}} = 0,052 \cdot \frac{220}{30,03} = 0,381 \text{ Ом} .$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора

$$X_{1\delta} = X_1' \cdot \frac{U_{1\Phi\text{Н}}}{I_{1\Phi\text{Н}}} = 0,092 \cdot \frac{220}{30,03} = 0,674 \text{ Ом} .$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{Н}}} = \frac{0,674}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,145 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} .$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора

$$R_2' = R_2'' \cdot \frac{U_{1\Phi\text{Н}}}{I_{1\Phi\text{Н}}} = 0,022 \cdot \frac{220}{30,03} = 0,161 \text{ Ом} .$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора

$$X_{2\delta}' = X_2'' \cdot \frac{U_{1\Phi\text{Н}}}{I_{1\Phi\text{Н}}} = 0,12 \cdot \frac{220}{30,03} = 0,879 \text{ Ом} .$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\delta}' = \frac{X_{2\delta}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{Н}}} = \frac{0,879}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,798 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} .$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания при номинальном режиме

$$X_{\text{кн}} = X_{1\delta} + X'_{2\delta} = 0,674 + 0,879 = 1,553 \text{ Ом} .$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания (главное индуктивное сопротивление)

$$X_{\mu} = X'_{\mu} \cdot \frac{U_{1\text{ФН}}}{I_{1\text{ФН}}} = 4 \cdot \frac{220}{30,03} = 29,303 \text{ Ом} .$$

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

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{н}}} = \frac{29,303}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,093 \text{ Гн} .$$

Параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 12.

Таблица 12 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\delta}$, Ом	$L_{1\delta}$, Гн	X_{μ} , Ом	L_{μ} , Гн	R_2' , Ом	$X'_{2\delta}$, Ом	$L'_{2\delta}$, Гн	$X_{\text{кн}}$, Ом
0,381	0,674	$2,145 \cdot 10^{-3}$	29,303	0,093	0,161	0,879	$2,798 \cdot 10^{-3}$	1,553

4.2 Прямой пуск двигателя

Полученные значения подставляем в имитационную модель (рисунок 23) и, исследуя ее в программе Matlab, получаем графики переходных процессов момента и скорости электродвигателя при прямом пуске без нагрузки и при пуске двигателя с нагрузкой.

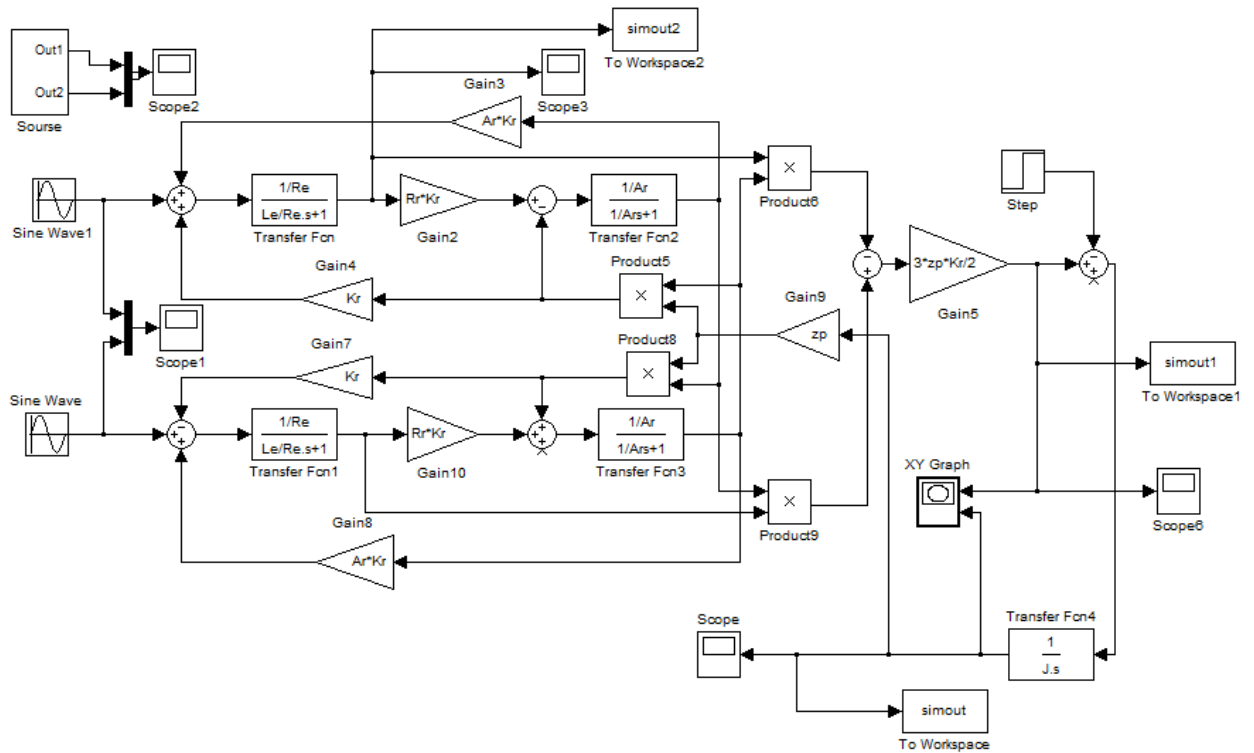


Рисунок 23 – Имитационная модель прямого пуска двигателя

Модель асинхронного двигателя:

Модель с ориентацией системы координат по вектору потокосцеплений ротора. Структурная схема модели асинхронного двигателя построена на системе уравнений

$$U_s = L_{\sigma} p I_s + (R_{\sigma} + \omega_k B L_{\sigma}) I_s + (\omega k_r B - k_r a_r + p k_r) \psi_r;$$

$$k_r R_r I_s = p \psi_r + (a_r + \beta_k B) \psi_r;$$

$$\psi_m + L_{r\sigma} I_m = \psi_r + C L_{r\sigma} I_s;$$

$$\psi_m = F_m I_m;$$

$$\beta_k = p(\theta_k - \theta);$$

$$I_s^{Fs} = A_s^{-1} I_s.$$

При допущении $l_m = \text{const}$ структурная схема модели значительно упрощается и приобретает вид, представленный на рисунке 40.

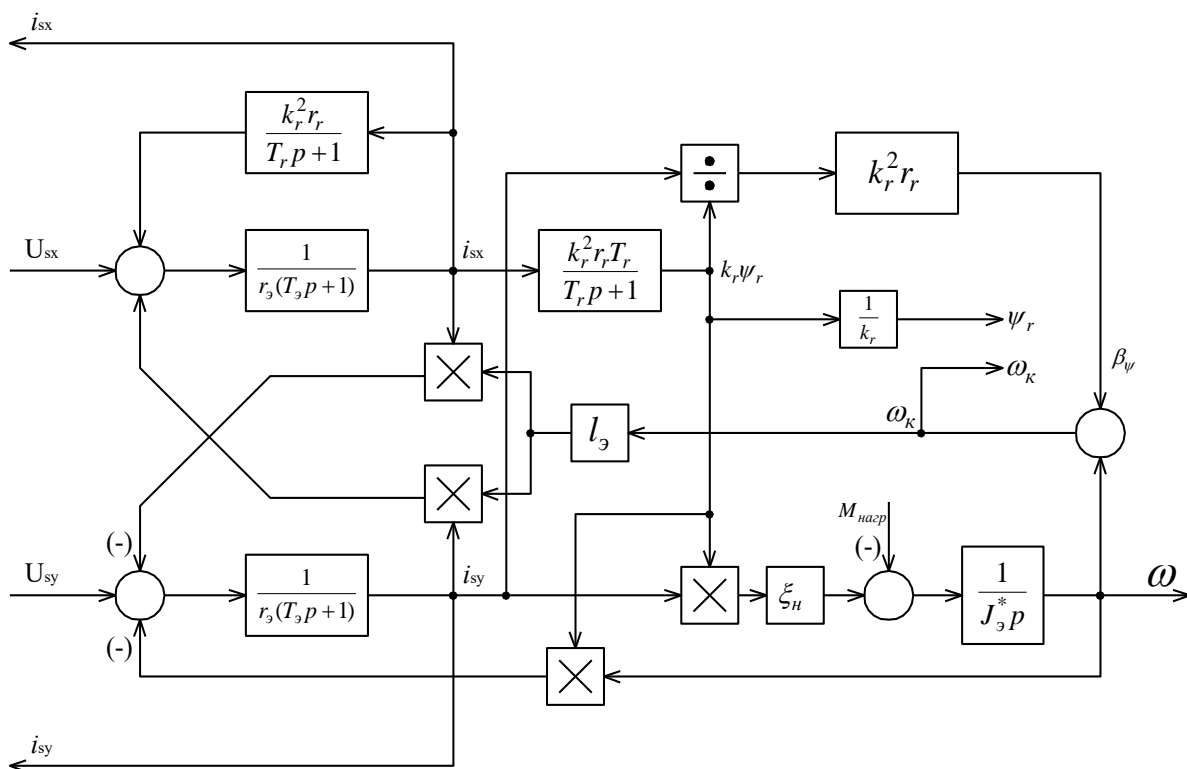


Рисунок 24 – Структурная схема модели асинхронного двигателя

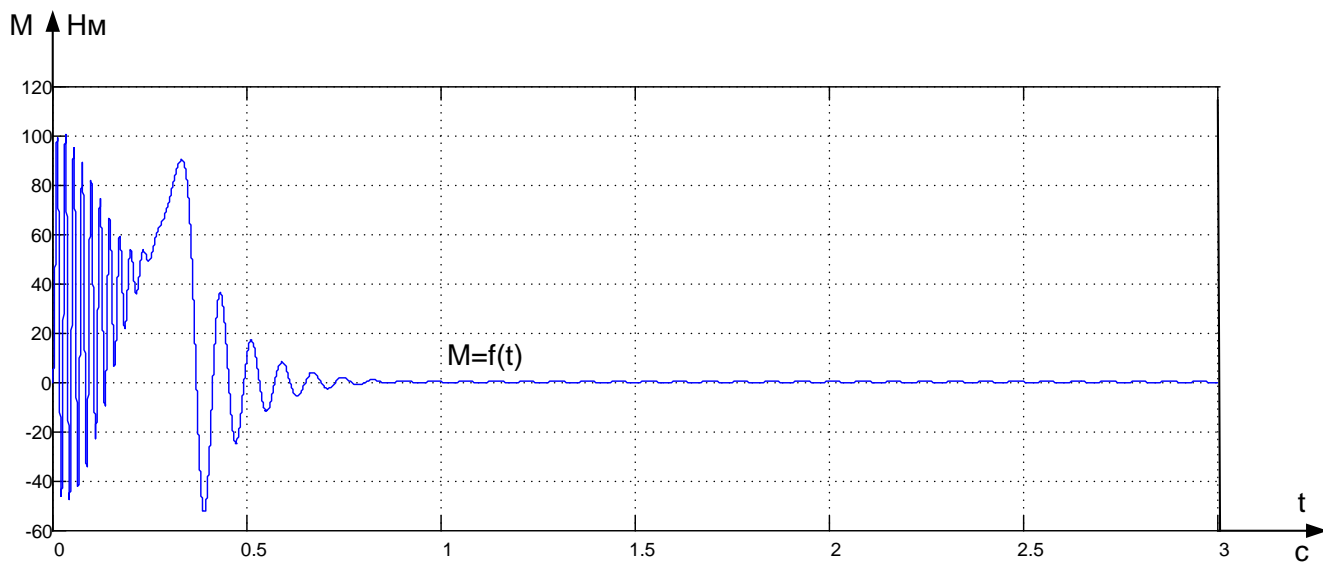


Рисунок 25 – График переходного процесса момента АД при прямом пуске без нагрузки

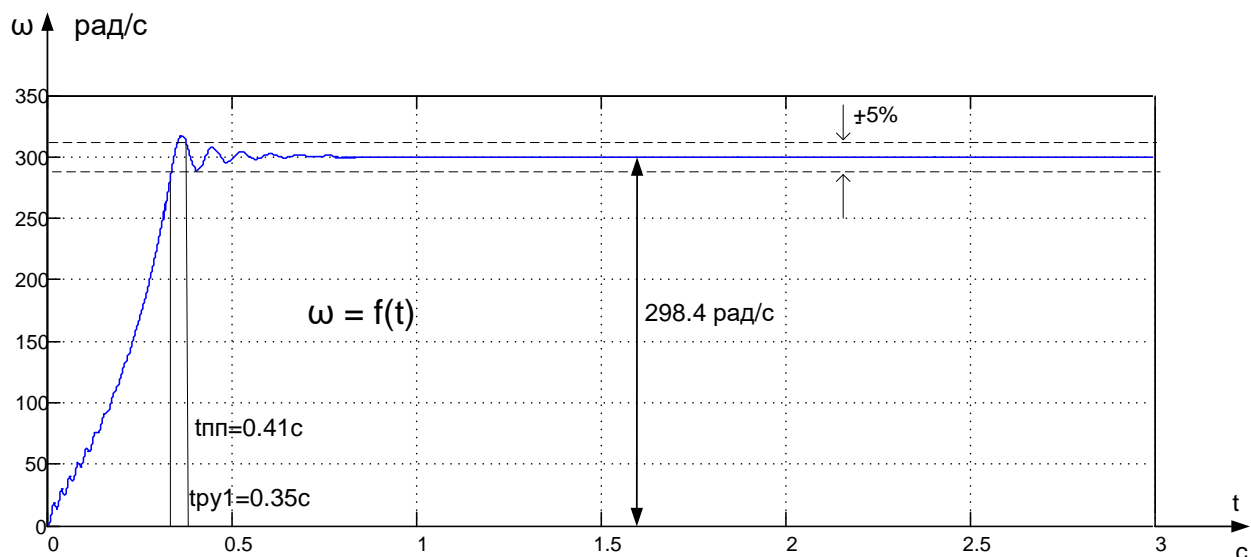


Рисунок 26 – График переходного процесса скорости АД при прямом пуске без нагрузки

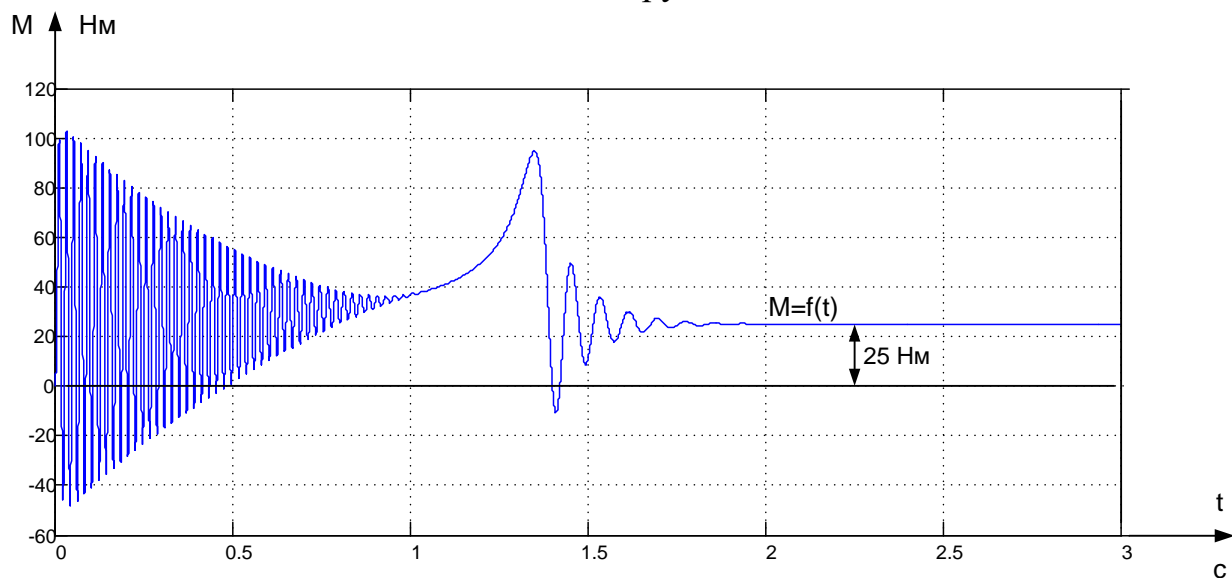


Рисунок 27 – График переходного процесса момента АД при прямом пуске с нагрузкой 25Нм

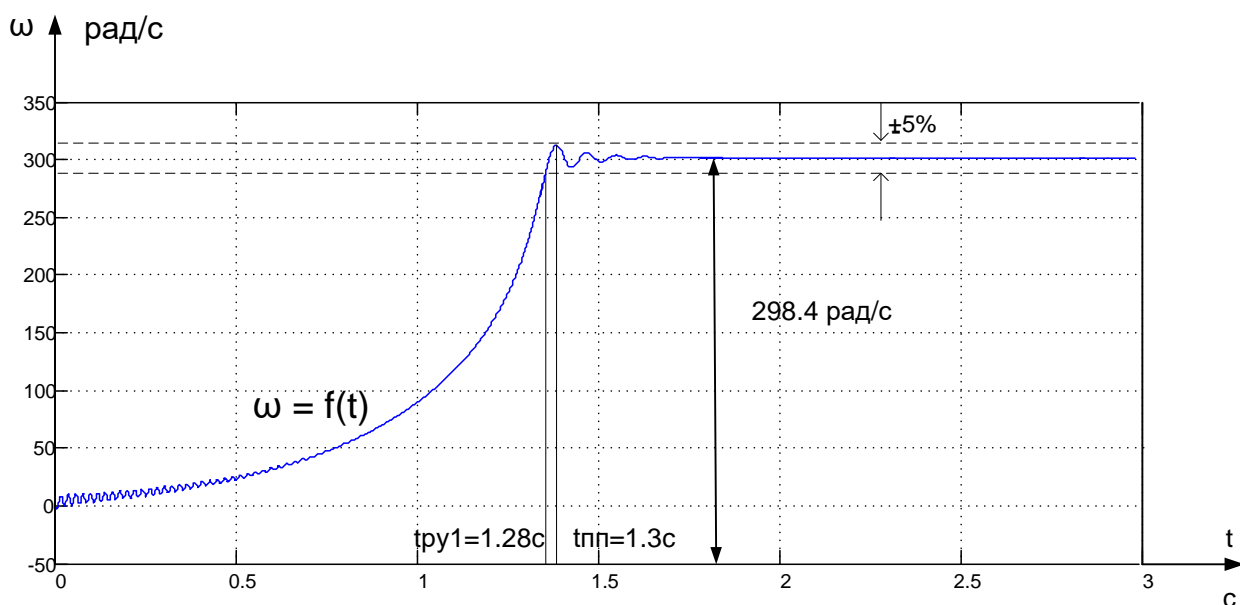


Рисунок 28 – График переходного процесса скорости АД при прямом пуске с нагрузкой 25Нм

Анализ переходных процессов при прямом пуске показывает наличие значительной колебательной составляющей в кривых момента, и затухающих по мере разгона двигателя. Пуск с нагрузкой сопровождается более меньшим перерегулированием, чем пуск без нагрузки и меньшими мгновенными значениями момента, но чуть большим временем переходного процесса.

В итоге прямой пуск не позволяет получить удовлетворительного качества переходных процессов.

4.3 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

Расчет параметров преобразователя:

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя

$$k_{и} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\Phi}}{U_{уп\max}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,113 ,$$

где $U_{уп\max} = 10$ В, – максимальное значение напряжения управления.

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_{и} = \frac{0,5}{f_{и}} = \frac{0,5}{8 \cdot 10^3} = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ с} ,$$

где $f_{и}$ – несущая частота инвертора, Гц.

Расчет параметров двигателя:

Эквивалентная индуктивность обмоток:

- статора

$$L_1 = L_{1\delta} + L_{\mu} = 0,002145 + 0,09328 \cong 0,0954 \text{ Гн} ;$$

- ротора

$$L_2' = L_{2\delta}' + L_{\mu} = 0,002798 + 0,09328 \cong 0,09607 \text{ Гн} .$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,09328^2}{0,0954 \cdot 0,09607} = 0,051 .$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_{\text{э}} = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 0,381 + 0,16 \cdot \frac{0,093^2}{0,096^2} = 0,53 \text{ Ом} .$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_{\text{э}} = \frac{\delta \cdot L_1}{R_{\text{э}}} = \frac{0,051 \cdot 0,095}{0,53} = 0,00912 \text{ с} ;$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{0,096}{0,16} = 0,596 \text{ с} .$$

Расчет параметров механической системы:

Момент инерции механизма

$$J_{\text{м}} = 0,5 \cdot J_{\text{дв}} = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Эквивалентный момент инерции привода

$$J_{\text{э}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{м}} = 0,05 + 0,025 = 0,075 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Структурная схема линеаризованной САУ РЭП

Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ частотно - регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 29.

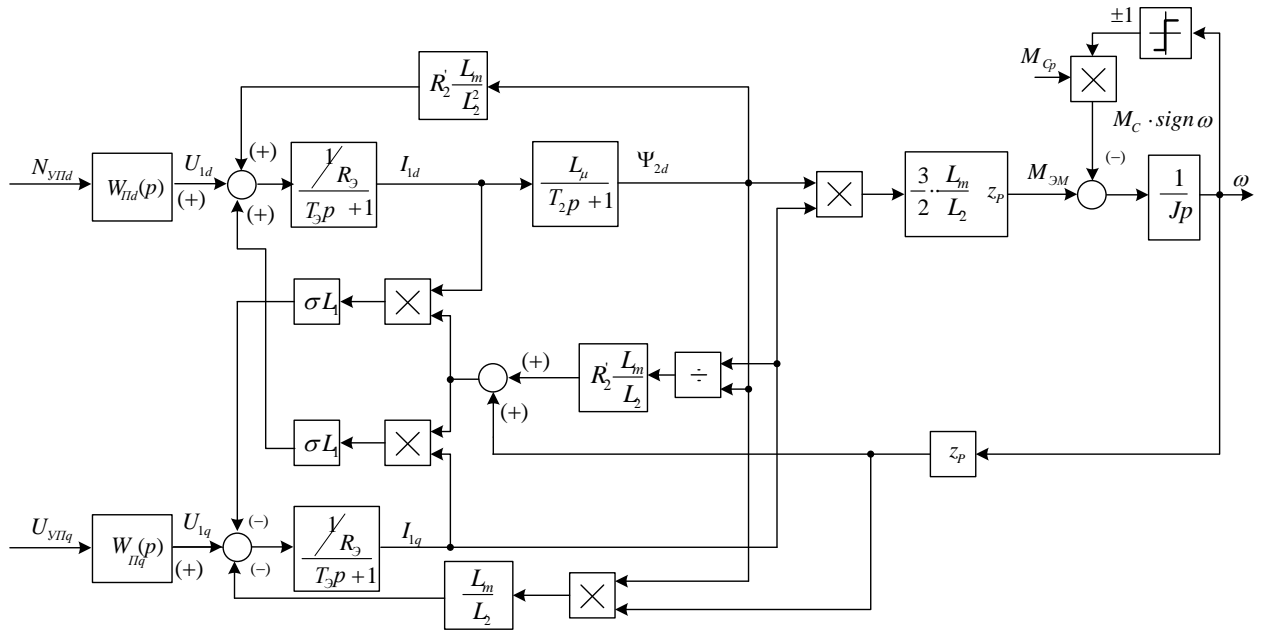


Рисунок 29 – Структурная схема линейризованной непрерывной САУ РЭП частотно–регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением

На схеме приняты следующие обозначения:

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

Имеем $U_{3TMAKС} = 10$ В .

Коэффициент обратной связи по току

$$k_T = \frac{U_{3TMAKС}}{I_{1YMAKС}} = \frac{10}{22.194} = 0,451 \text{ В/А} .$$

Максимально допустимое значение тока

$$I_{1YMAKС} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{ЭПMAKС}^2 - I_0^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{17.324^2 + 7.338^2} = 22.194 \text{ А}$$

Период сглаживания результатов измерения тока

$$T_{CT} = \frac{1}{f_{ШИМ}} \cdot n_T = \frac{1}{8 \cdot 10^3} \cdot 8 = 0,001 \text{ с} ,$$

где $n_T = 8$ количество измерений.

Малая постоянная времени цепи обратной связи по току

$$T_{\mu\Gamma 0} = \frac{T_{CT}}{3} = \frac{0,001}{3} = 0,000333 \text{ с} .$$

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

Номинальный электромагнитный момент двигателя

$$M_{\text{ЭМ Н}} = \frac{3 \cdot U_{1\Phi\text{Н}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{Н}} \cdot \left[(X_{\text{КН}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{Н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{Н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,161}{314,159 \cdot 0,05 \cdot \left[(1,553)^2 + \left(0,381 + \frac{0,161}{0,05} \right)^2 + \left(\frac{0,381 \cdot 0,161}{0,05 \cdot 29,303} \right)^2 \right]} = 96,76 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент трения на валу двигателя

$$M_{\text{С ДВ}} = M_{\text{ЭМ Н}} - M_{\text{ДВ Н}} = 96,76 - 50,259 = 46,501 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{ЭИН}} = 1,088 \cdot M_{\text{ДВ Н}} = 54,682$$

Значение номинального потокосцепления двигателя

$$\psi_{2\text{ХН}} = \psi_{\text{Н}} = \frac{M_{\text{ЭИН}}}{\frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{Н}}^2 - I_0^2}} = \frac{54,682}{\frac{3}{2} \cdot 1 \cdot \frac{0,093}{0,093 + 0,002798} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{30,03^2 - 6,831^2}} = 0,908 \text{ Вб} .$$

Коэффициент обратной связи по потокосцеплению ротора

$$k_{\psi} = \frac{U_{3\psi\text{МАКС}}}{\psi_{2\text{ХН}}} = \frac{10}{0,908} = 11,013 \text{ В/Вб} .$$

Период расчета потокосцепления:

имеем $n_{\psi} \geq 3;$

$$T_{\text{С}\psi} = \left(16 \cdot \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} \right) \cdot n_{\psi} = \left(16 \cdot \frac{1}{8 \cdot 10^3} \right) \cdot 3 = 0,006 \text{ с};$$

Малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению

$$T_{\mu\psi 0} = \frac{T_{\text{С}\psi}}{3} = \frac{0,006}{3} = 0,002 \text{ с} .$$

Имеем $U_{3\text{СМАКС}} = 10 \text{ В}; \quad f_{\text{ШИМ}} = 8 \text{ кГц} .$

Коэффициент обратной связи по скорости

$$k_c = \frac{U_{3\text{СМАКС}}}{\omega_{\text{ЭПМАКС}}} = \frac{10}{298,451} = 0,0335 \text{ В} \cdot \text{с/рад} .$$

Период расчета скорости:

Имеем $n_c \geq 3$;

$$T_{CC} = \left(16 \cdot \frac{1}{f_{ШИМ}} \right) \cdot n_c = \left(16 \cdot \frac{1}{8 \cdot 10^3} \right) \cdot 3 = 0,006 \text{ с.}$$

Малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости

$$T_{\mu C0} = \frac{T_{CC}}{3} = \frac{0,006}{3} = 0,002 \text{ с.}$$

Оптимизация контура тока:

Контур регулирования тока имеет относительно большую инерционность в цепи обратной связи.

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и полной компенсацией внутренней отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя приведена на рисунке 30 контуры токов I_{1x} и I_{1y} идентичные.

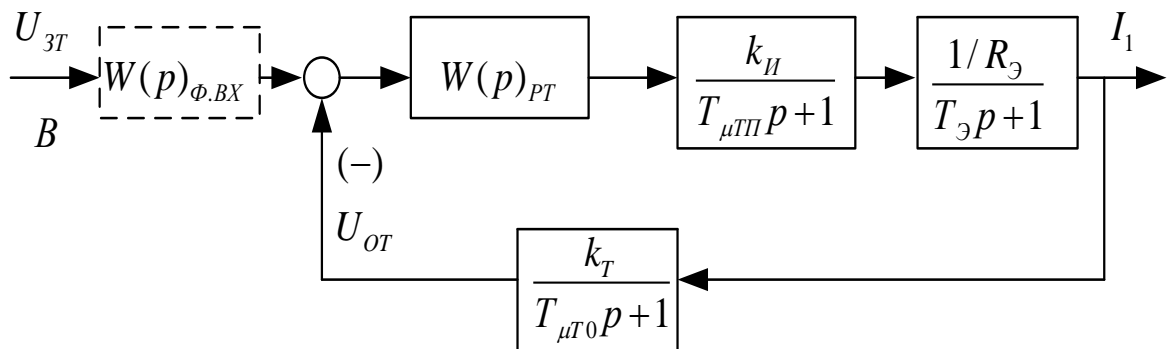


Рисунок 30 – Структурная схема контура тока

На схеме рисунке 30 приняты следующие обозначения:

U_{3T} – напряжение задания на ток, В;

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

$$T_{\mu\Pi\Pi} = T_{\text{И}} = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ с.}$$

$T_{\mu T0}$ – малая постоянная времени в цепи обратной связи, с.

Передаточная функция ПИ-регулятора тока

$$W_{PT}(p) = k_{PT} \cdot \frac{T_{PT} \cdot p + 1}{T_{PT} \cdot p} = 0,438 \cdot \frac{0,01 \cdot p + 1}{0,01 \cdot p}.$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{PT} = \frac{T_{\text{э}} \cdot R_{\text{э}}}{k_{\text{И}} \cdot k_{\text{Т}} \cdot a_{\text{Т}} \cdot (T_{\mu\Pi\Pi} + T_{\mu T0})} = \frac{0,0091 \cdot 0,533}{31,113 \cdot 0,451 \cdot 2 \cdot 3,958 \cdot 10^{-4}} = 0,438, \text{ где}$$

$$k_T = \frac{U_{3T\text{МАКС}}}{I_{1Y\text{МАКС}}} = \frac{10}{22.194} = 0,451 \text{ В/А} ;$$

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

$a_T = 2$ – коэффициент оптимизации.

Постоянная времени регулятора тока

$$T_{PT} = T_{\ominus} = 0,00912 \text{ с} ;$$

Контур тока имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{РАЗ.Т}} = \frac{1}{a_T \cdot T_{\mu\text{ПН}} \cdot T_{\mu\text{Г0}} \cdot T_{\mu\text{ГЭ}} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu\text{ГЭ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{ГЭ}} \cdot p} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 0,0000625 \cdot 0,000333 \cdot 0,00912 \cdot p^3 + 2 \cdot 0,00912^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00912 \cdot p} ;$$

- замкнутого контура

$$W(p)_{\text{ЗАМ.Т}} = \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\text{Г0}} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu\text{ПН}} \cdot T_{\mu\text{Г0}} \cdot T_{\mu\text{ГЭ}} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu\text{ГЭ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{ГЭ}} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\text{Г0}} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu\text{ГЭ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{ГЭ}} \cdot p + 1} \approx \frac{1}{0,405} \cdot \frac{(0,000333 \cdot p + 1)}{2 \cdot 0,00912^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00912 \cdot p + 1} ;$$

где $T_{\mu\text{ГЭ}} = T_{\mu\text{ПН}} + T_{\mu\text{Г0}} = 0,0000625 + 0,000333 = 0,000396 \text{ с}$ - 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.

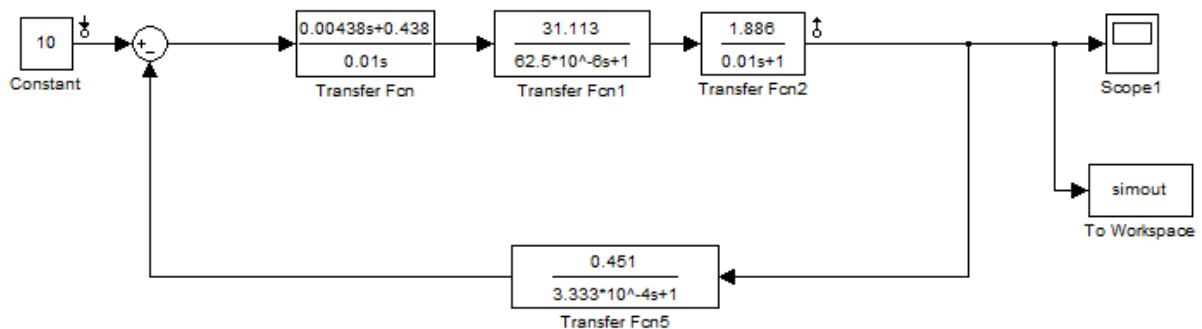


Рисунок 31 – Имитационная модель контура тока в среде Simulink

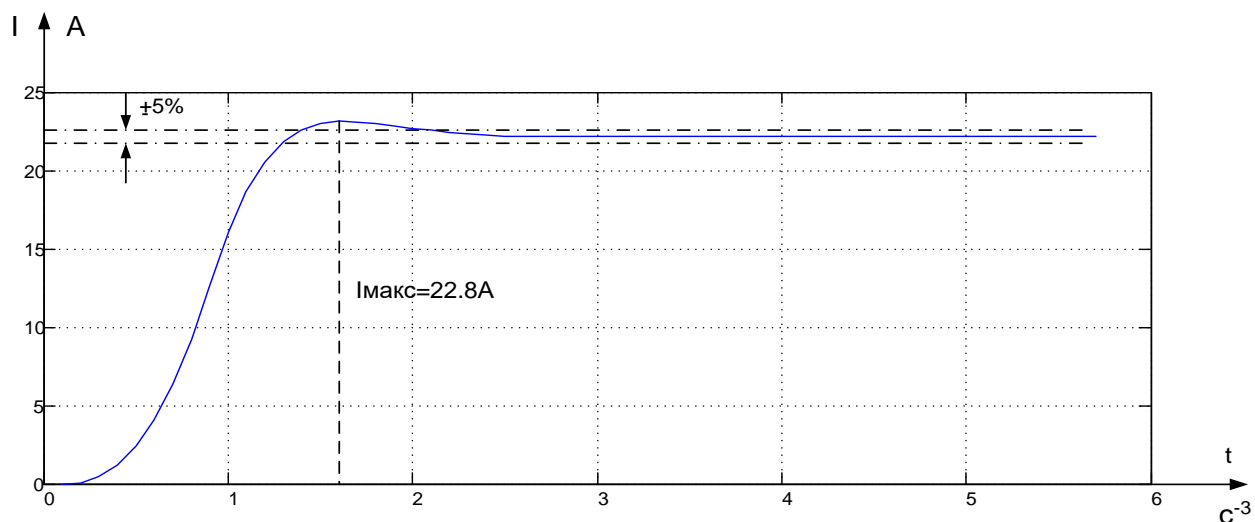


Рисунок 32 – Переходная характеристика $i(t)$ контура тока по имитационной модели рисунка 31

Оптимизация контура потокосцепления:

Контур регулирования потокосцепления имеет относительно большую инерционность в цепи обратной связи.

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

$$W(p)_{\text{зам.т}} \approx \frac{1}{k_T \cdot p + 1} \approx \frac{1}{0,000792 \cdot p + 1} \approx \frac{2.217}{0,000792 \cdot p + 1},$$

где $T_T = a_T \cdot T_{\mu T \Sigma} = a_T \cdot (T_{\mu \Pi} + T_{\mu T0}) = 2 \cdot (0,0000625 + 0,000333) = 0,000792 \text{ с}$ –

эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Структурная схема контура потокосцепления с инерционной обратной связью и ПИ – регулятором приведена на рисунке 33.

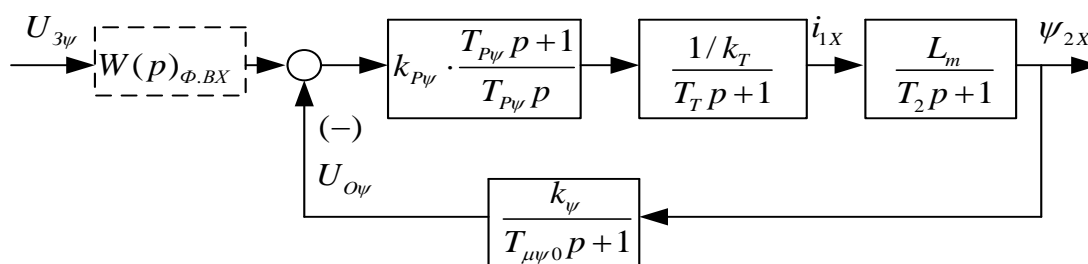


Рисунок 33 – Структурная схема контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W(p)_{P\Psi} = k_{P\Psi} \cdot \frac{T_{P\Psi} \cdot p + 1}{T_{P\Psi} \cdot p} = 46.999 \cdot \frac{0,596 \cdot p + 1}{0,596 \cdot p}.$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления определяются по выражениям

$$k_{P\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_\Psi} \cdot \frac{1}{a_\Psi \cdot (T_T + T_{\mu\Psi 0})} = \frac{0,596 \cdot 0,451}{0,093 \cdot 11,013} \cdot \frac{1}{2 \cdot (0,000792 + 0,002)} = 46.999 ,$$

где $k_\Psi = \frac{U_{3\Psi \text{МАКС}}}{\Psi_{2ХН}} = \frac{10}{0,908} = 11,013 \text{ В/Вб}$; $U_{3\Psi \text{МАКС}} = 10\text{В}$;

$a_\Psi = 2$ - коэффициент оптимизации.

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

- разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{РАЗ.}\Psi} = \frac{1}{a_\Psi \cdot T_T \cdot T_{\mu\Psi 0} \cdot T_{\mu\Psi \Delta} \cdot p^3 + a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi \Delta} \cdot p} \approx \frac{1}{2 \cdot 0,000792 \cdot 0,002 \cdot 0,00279 \cdot p^3 + 2 \cdot 0,00279^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00279 \cdot p} ;$$

- замкнутого контура

$$W(p)_{\text{ЗАМ.}\Psi} = \frac{\frac{1}{k_\Psi} \cdot (T_{\mu\Psi 0} \cdot p + 1)}{a_\Psi \cdot T_T \cdot T_{\mu\Psi 0} \cdot T_{\mu\Psi \Delta} \cdot p^3 + a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi \Delta} \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{k_\Psi} \cdot (T_{\mu\Psi 0} \cdot p + 1)}{a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi \Delta} \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{11,013} \cdot (0,002 \cdot p + 1)}{2 \cdot 0,00279^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00279 \cdot p + 1} ;$$

где $T_{\mu\Psi \Delta} = T_T + T_{\mu\Psi 0} = 0,000792 + 0,002 = 0,00279 \text{ с}$ – эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура.

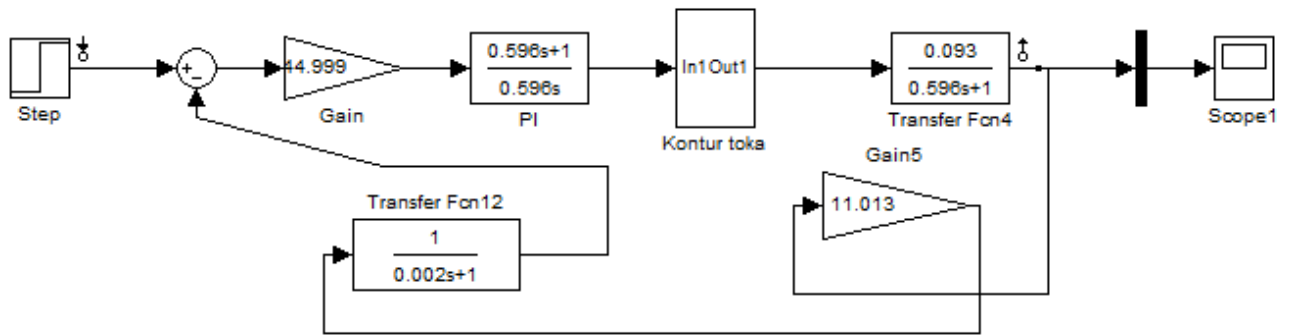


Рисунок 34 – Имитационная модель контура потокосцепления в среде Simulink

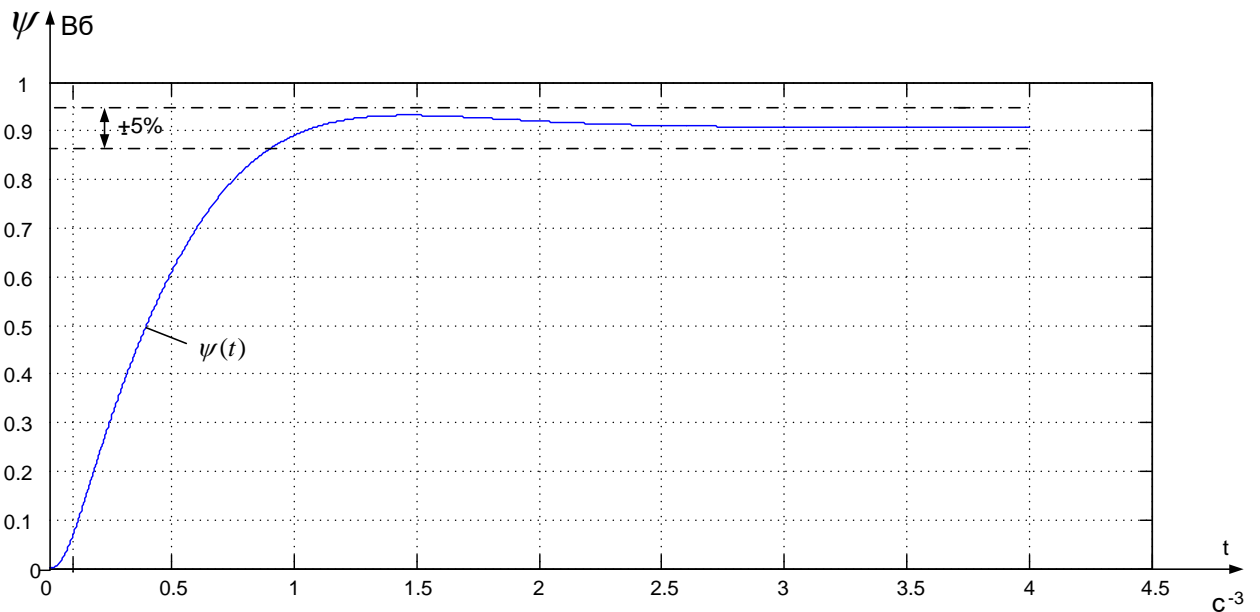


Рисунок 35 – Переходная характеристика $\psi(t)$ контура потокосцепления по имитационной модели рисунка 34

Оптимизация контура скорости:

Контур регулирования тока имеет относительно большую инерционность в цепи обратной связи.

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

$$W(p)_{\text{зам.т}} \approx \frac{1}{T_T \cdot p + 1} \approx \frac{1}{0,000792 \cdot p + 1};$$

где $T_T = a_T \cdot T_{\mu T \Theta} = a_T \cdot (T_{\mu T \Pi} + T_{\mu T \Theta}) = 2 \cdot (0,0000625 + 0,000333) = 0,000792 \text{ с}$ -

эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Оптимизация контура скорости с ПИ- регулятором:

Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ- регулятором приведена на рисунке 36.

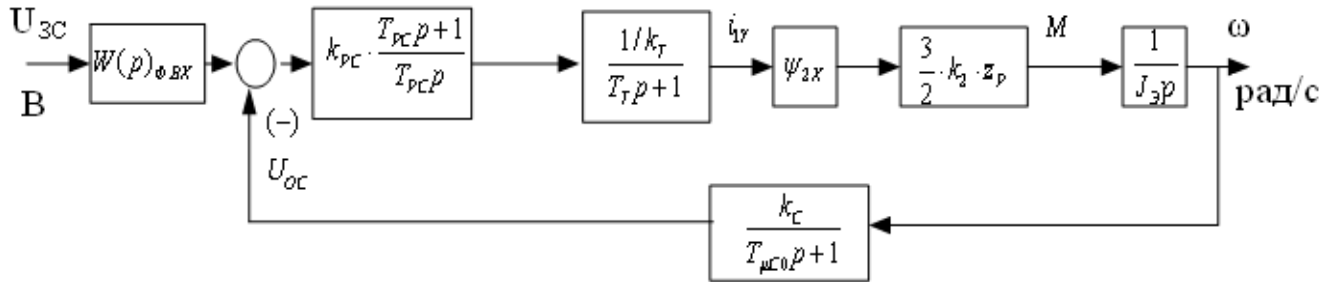


Рисунок 36– Структурная схема контура скорости с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора

$$W(p)_{PC} = k_{PC} \cdot \frac{T_{PC} \cdot p + 1}{T_{PC} \cdot p} = 62,89 \cdot \frac{0,011 \cdot p + 1}{0,011 \cdot p}.$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям

$$k_{PC} = \frac{J_{\Theta} \cdot k_T}{\psi_{2X} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot k_C} \cdot \frac{1}{a_C \cdot (T_T + T_{\mu C0})} = \frac{0,075 \cdot 0,451}{0,908 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,093}{0,096} \cdot 1 \cdot 0,073} \cdot \frac{1}{2 \cdot (0,000792 + 0,002)} = 62,89$$

где $T_{PC} = b_C \cdot a_C \cdot (T_T + T_{\mu C0}) = 2 \cdot 2 \cdot (0,000792 + 0,002) = 0,011 \text{ с}$ - эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура.

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

- разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{РАЗ.С}} = \frac{a_C \cdot b_C \cdot T_{\mu C \Theta} \cdot p + 1}{b_C \cdot a_C^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu C0} \cdot T_{\mu C \Theta}^2 \cdot p^4 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C \Theta}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu C \Theta}^2 \cdot p^2} =$$

$$= \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,00279 \cdot p + 1}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,000792 \cdot 0,002 \cdot 0,00279^2 \cdot p^4 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,00279^3 \cdot p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,00279^2 \cdot p^2};$$

- замкнутого контура по управлению

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

$$= \frac{1}{0,451} \cdot \frac{(2 \cdot 2 \cdot 0,00279 \cdot p + 1) \cdot (0,002 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,000792 \cdot 0,002 \cdot 0,002792^2 \cdot p^4 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,002792^3 \cdot p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,002792^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 0,002792 \cdot p + 1}$$

где $T_{\mu\text{СЭ}} = T_T + T_{\mu\text{С0}} = 0,000792 + 0,002 = 0,002792$ с - эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура.

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.

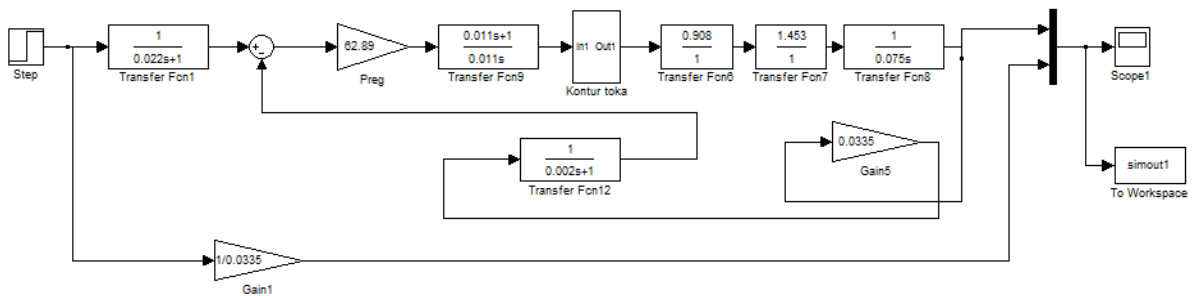


Рисунок 37 – Имитационная модель контура скорости с ПИ-регулятором (с фильтром на входе)

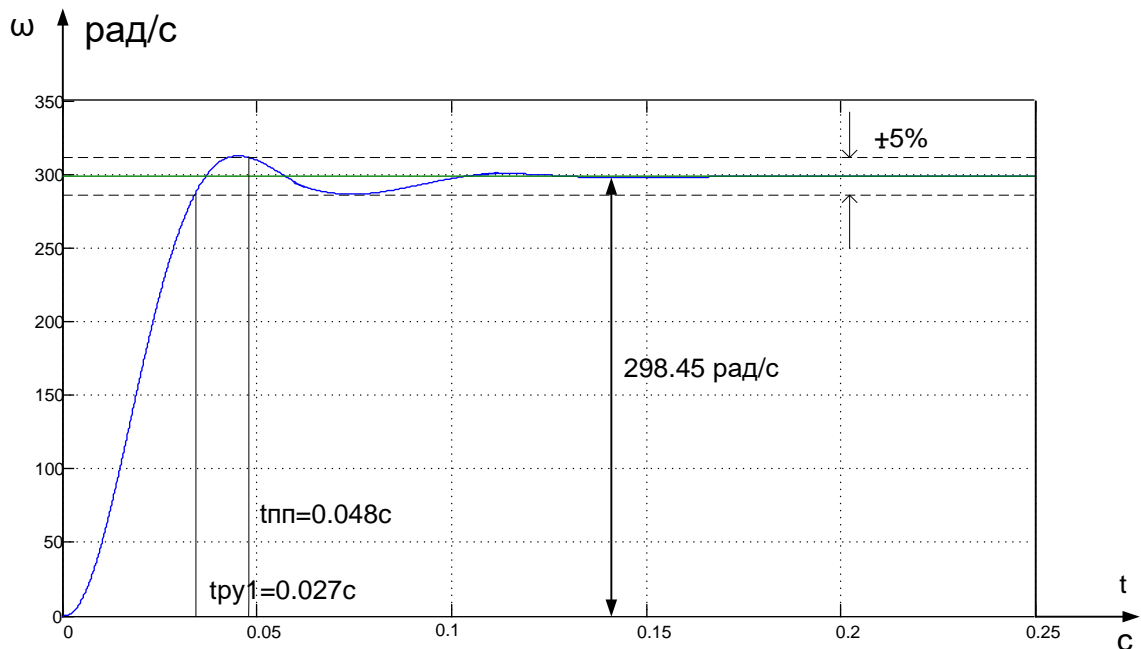


Рисунок 38 – Переходная характеристика контура скорости по имитационной модели рисунка 37

4.4 Структурная схема нелинейной САУ РЭП асинхронного электропривода с векторным управлением

Структурная схема нелинейной САУ частотно-регулируемого электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 38. Структурная схема (рисунок 38) составлена на основании структурной схемы линеаризованной САУ электропривода и учитывая следующие основные нелинейности элементов системы управления электропривода:

- насыщение регулятора тока, потокосцепления и скорости

$$U_{PTMAKC} = \pm 10B,$$

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

$$U_{PCMAKC} = \pm 10B;$$

- постоянное по величине ограничение максимального тока электропривода в переходных режимах и кратковременных нагрузках, которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора скорости на уровне

$$U_{PCDOП}(\omega) = \pm k_T \cdot I_{ЭПМАКС}(\omega),$$

ограничение выходного напряжения инвертора $E_{и} = \sqrt{2} \cdot U_{иН}$;

реактивный характер нагрузки $M_C(\omega) = M_C \cdot \text{sign } \omega$,

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 $U_{зс}$.

Исследование на имитационной модели нелинейной САУ электропривода проводятся с целью оценки влияния величины задания скорости $U_{зс}$ и момента M_C на характер переходных процессов и динамические показатели качества работы электропривода с учетом ограничения выходных напряжений регуляторов и преобразователя частоты.

По результатам имитационных исследований могут быть внесены изменения в настройку контуров регулирования САУ электропривода,

введены корректирующие цепи или выбраны компромиссные настройки с учетом изменяющихся параметров силовой части электропривода, например, момента инерции, потокосцепления и т.д.

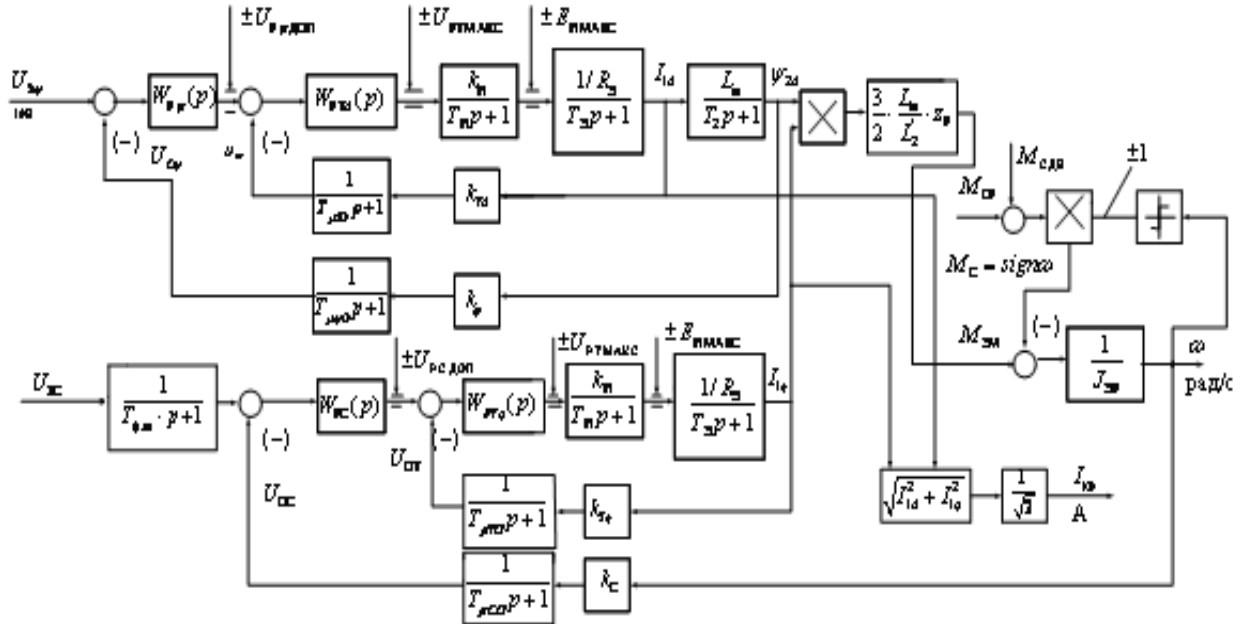


Рисунок 39 – Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно - регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

Прямой координатный преобразователь:

Прямой координатный преобразователь (ПКП) осуществляет последовательные преобразования от вращающейся декартовой системы координат x, jy к неподвижной системе координат – с координатными осями a, jb , а затем к трехфазной – A, B, C системе координат.

Преобразование напряжений из вращающейся x, jy к неподвижной a, jb системе координат производится в соответствии с соотношениями:

$$U_a = U_x \cos \theta - U_y \sin \theta$$

$$U_b = U_x \sin \theta + U_y \cos \theta$$

Преобразование напряжений из неподвижной системы координат a, jb в трехфазную A, B, C производится в соответствии с уравнениями:

$$U_A = U_a; U_B = -\frac{1}{2}U_a + \frac{\sqrt{3}}{2}U_b; U_C = -\frac{1}{2}U_a - \frac{\sqrt{3}}{2}U_b$$

Структурная схема последовательности преобразования напряжений прямым координатным преобразователем из вращающейся системы координат x, jy в неподвижную a, jb , а затем в трехфазную A, B, C систему координат приведена на рисунке 40:

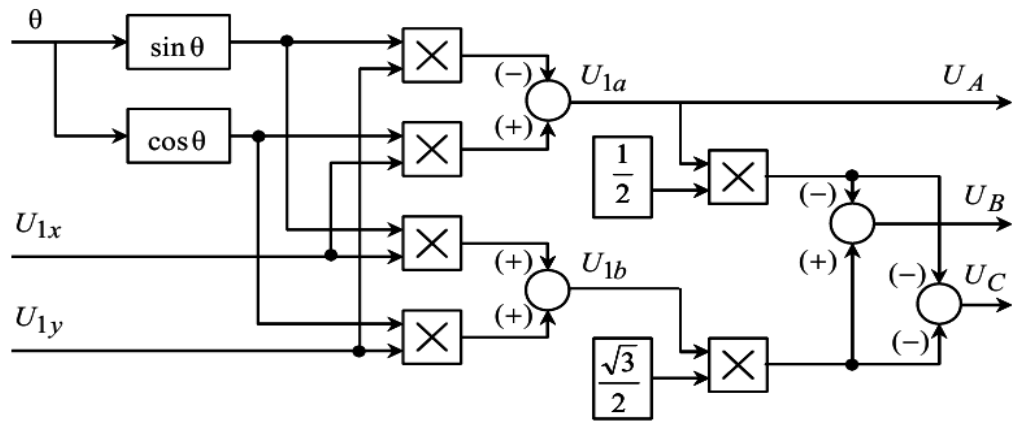


Рисунок 40 - Структурная схема последовательности преобразования прямым координатным преобразователем

Прямое координатное преобразование выполняется микропроцессором электропривода в реальном масштабе времени. Для прямого координатного преобразования необходимо определять мгновенные значения угла поворота θ между вращающимися x, jy и неподвижными a, jb осями систем координат, которые рассчитываются по выражению

$$\theta = \int_0^t \omega_{\kappa} dt$$

где ω_{κ} – скорость вращения координатной сетки вращающейся системы координат.

Обратный координатный преобразователь:

Обратный координатный преобразователь (ОКП) осуществляет последовательные преобразования от трехфазной системы координат A, B, C к неподвижной декартовой системе координат a, jb , а затем к вращающейся системе координат – с координатными осями x, jy .

Преобразование напряжений из трехфазной системы координат A, B, C в неподвижную правую декартовую систему координат a, jb производится в соответствии с выражениями:

$$U_a = \operatorname{Re} \bar{U} = U_A$$

$$U_b = \operatorname{Im} \bar{U} = \frac{2}{3} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} U_B - \frac{\sqrt{3}}{2} U_C \right) = \frac{U_B - U_C}{\sqrt{3}}$$

Последовательность преобразования напряжений из неподвижной системы координат a, jb к вращающейся системе координат x, jy производится в соответствии с соотношениями:

$$U_x = U_a \cos \theta + U_b \sin \theta$$

$$U_y = -U_a \sin \theta + U_b \cos \theta$$

где θ – угол между действительными осями вращающейся x, jy и неподвижной a, jb системами координат.

Структурная схема последовательности преобразования обратным координатным преобразователем переменных из трехфазной системы координат A, B, C в неподвижную систему координат a, jb , а затем во вращающуюся – x, jy приведена на рисунке 41:

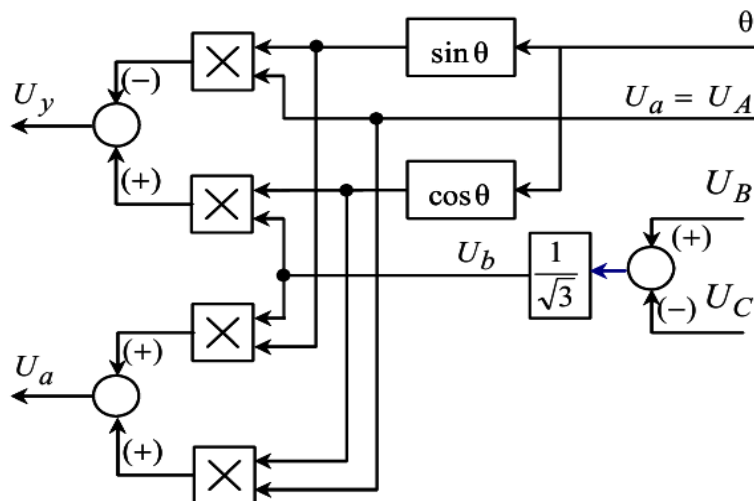


Рисунок 41 - Структурная схема последовательности преобразования обратным координатным преобразователем

Обратное координатное преобразование выполняется микропроцессором электропривода в реальном масштабе времени.

Идеализированный преобразователь частоты:

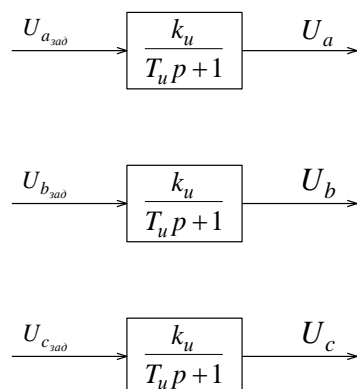


Рисунок 42 – Структурная схема идеализированного преобразователя частоты

k_u – коэффициент передачи инвертора.

Для системы относительных единиц $k_u = 1$.

T_u – постоянная времени инвертора. Определяется несущей частотой коммутации транзисторов ($f_n=5$ кГц) с учётом относительного времени ($t_\delta=1/314.15$ с)

$$T_u = \frac{1}{f_n} t_\delta = \frac{1}{5000} \cdot 314.15 = 0.063 .$$

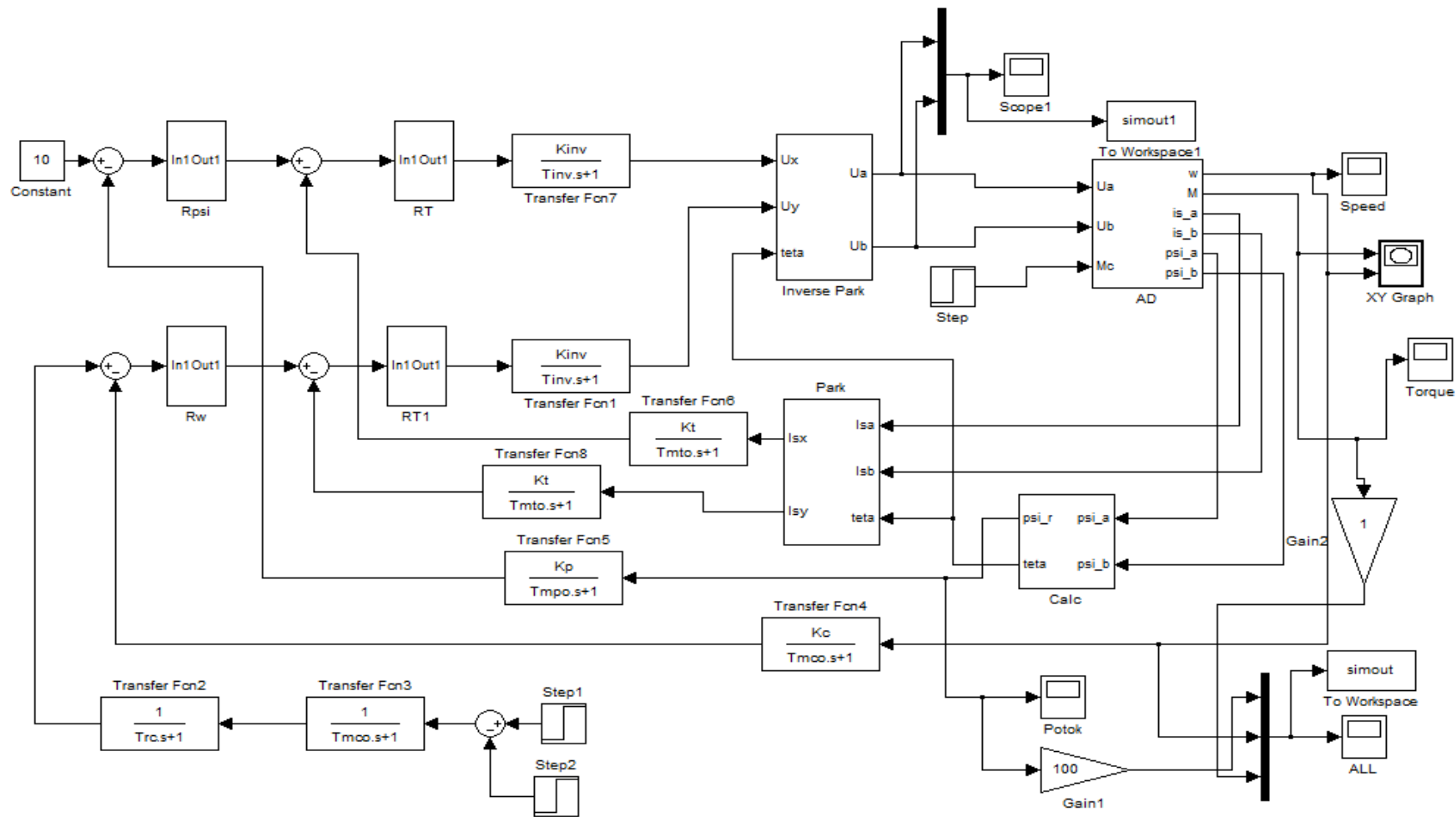


Рисунок 43 - Имитационная модель нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

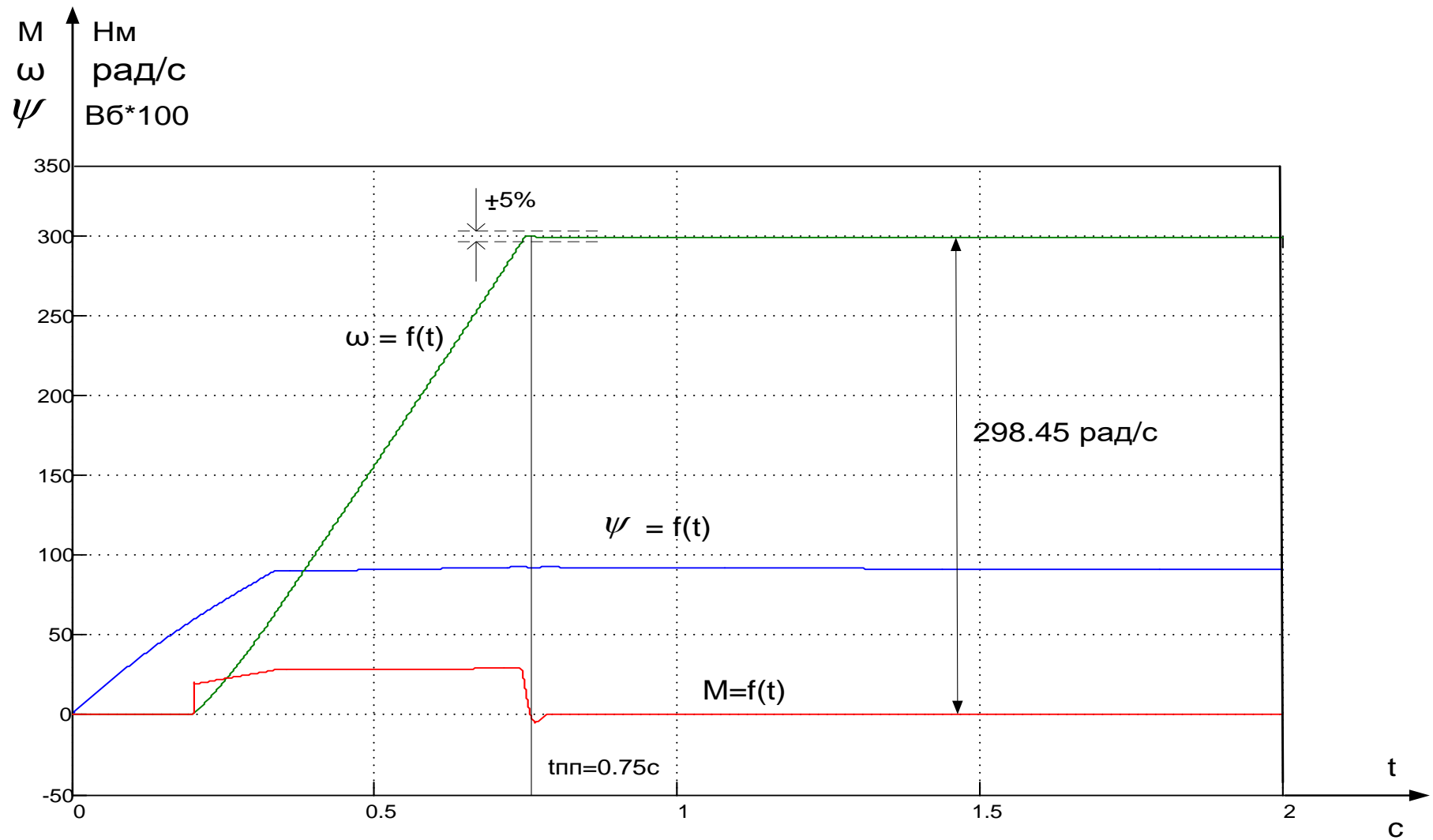


Рисунок 44 – Переходная характеристика нелинейной непрерывной САУ на холостом ходу

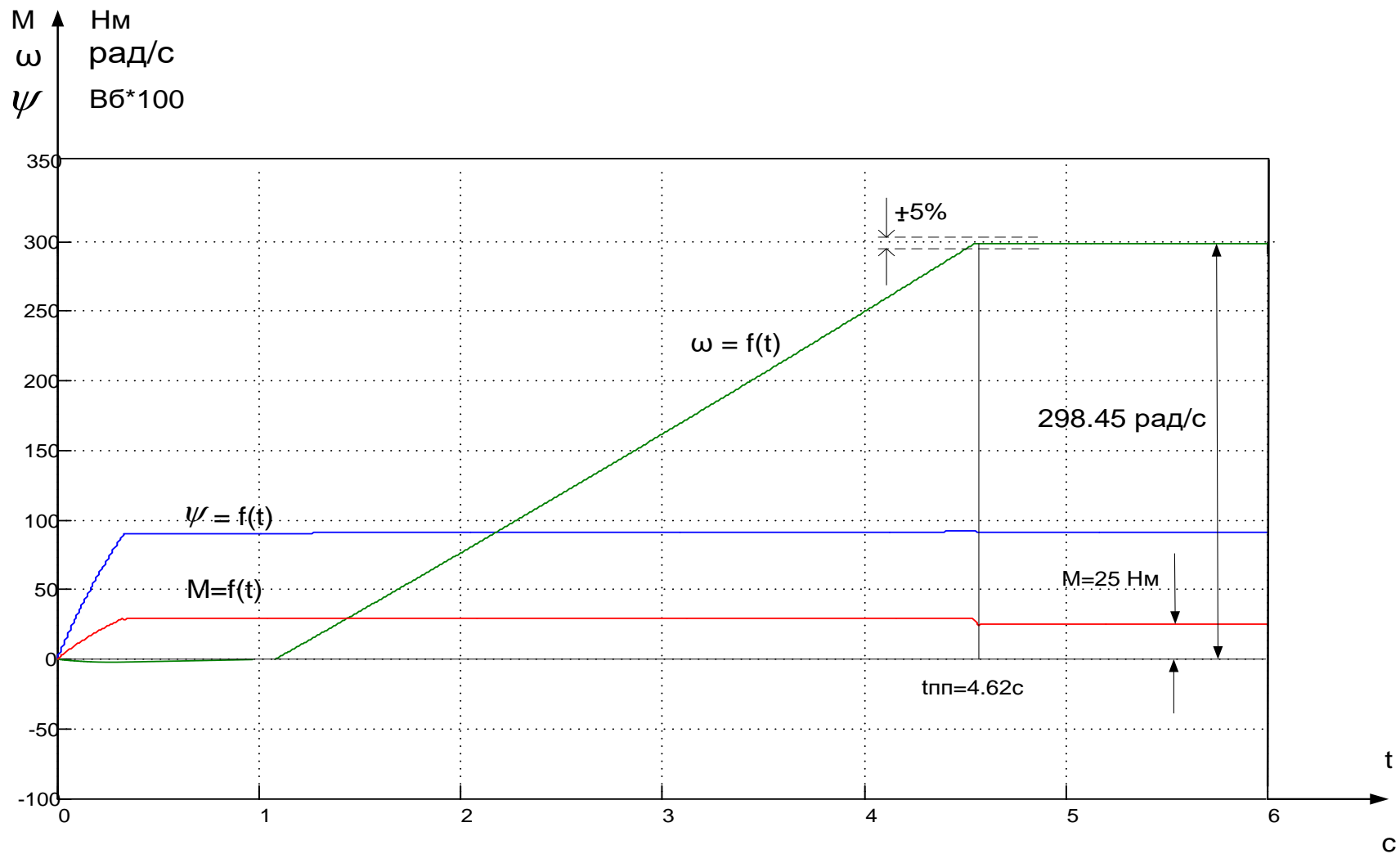


Рисунок 45 – Переходная характеристика нелинейной непрерывной САУ при обработке возмущающих воздействий (Mс=25 Нм)

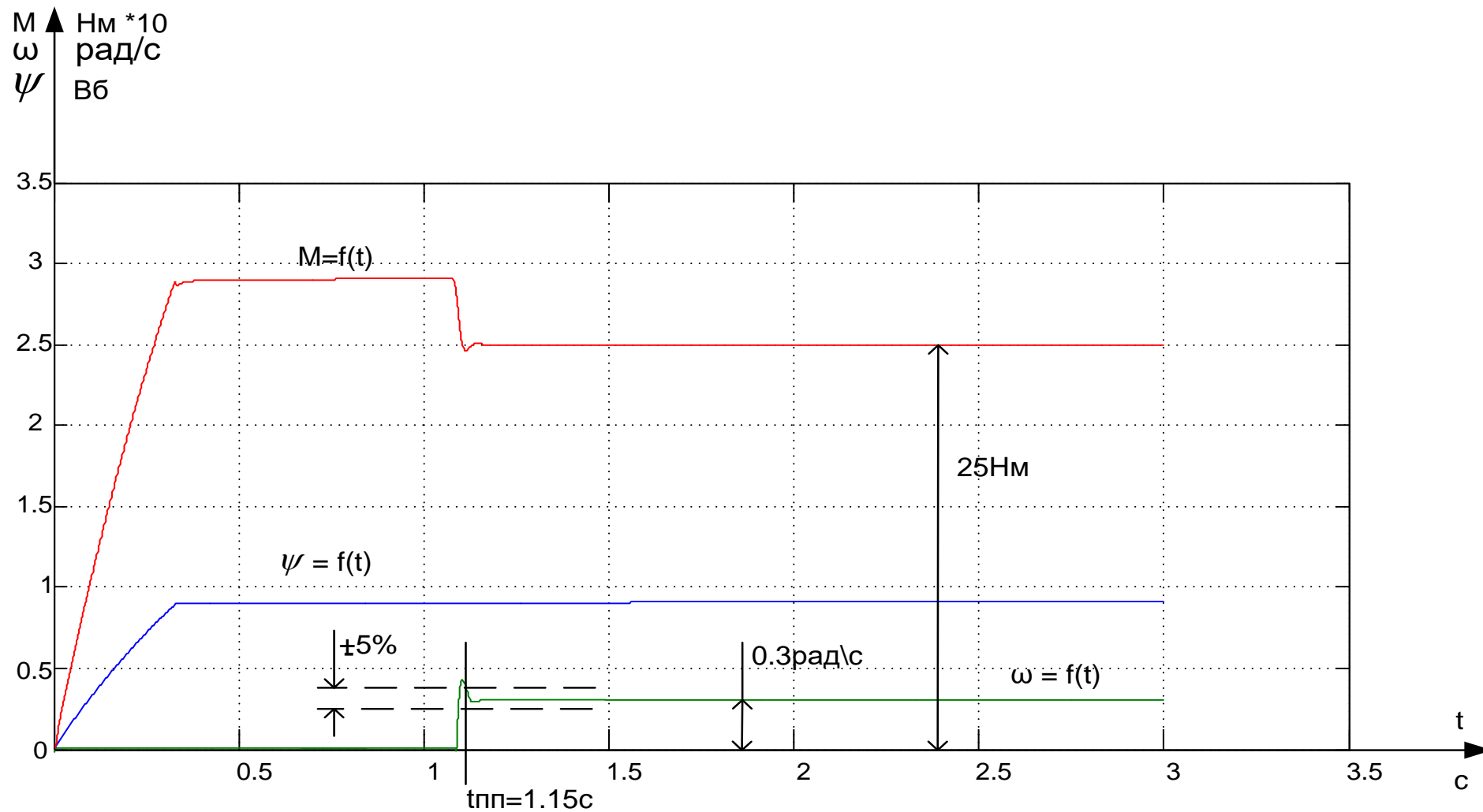


Рисунок 46 – Переходная характеристика нелинейной непрерывной САУ при обработке возмущающих воздействий на малой скорости ($M_c=25$ Нм)

При моделировании были получены графики переходных процессов момента, скорости и потокосцепления двигателя. При пуске двигателя на холостом ходу, он выходит на номинальную скорость $\omega = 298.45$ рад/с. Время переходного процесса составляет 0,75 сек.

При пуске под нагрузкой двигатель выходит на номинальную скорость, потокосцепление двигателя не меняется. Момент на валу становится равным моменту нагрузке, время переходного процесса равно 4.62 сек.

Были сняты переходные процессы на меньшую скорость, как показали графики привод выходит на заданный момент. Следовательно можно сделать вывод что привод обеспечивает требуемый диапазон регулирования

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данной работы является определение экономических показателей проектирования электропривода насоса для цемента. Для этого необходимо провести анализ конкурентных технических решений, определить трудоемкость проводимых работ, создать график проведения работ, а также сформировать бюджет затрат.

Анализ конкурентных технических решений

Целью данного раздела является применение оценочной карты для выбора типа исполнения электропривода.

Объектом анализа будет являться электропривод насоса для цемента. Для того, чтобы наиболее точно провести анализ нужно использовать всю информацию, которая доступна о конкурентных разработках.

Для сравнения берутся два типа исполнения электропривода: преобразователь частоты и тиристорный регулятор напряжения. Для сравнения были выбраны следующие технические критерии: энергопотребление, помехоустойчивость, диапазон регулирования скорости, удобство в эксплуатации, надежность и такие экономические критерии как: цена, послегарантийное обслуживание, заявленный срок эксплуатации.

Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели оценки качества проекта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		ТРН	ПЧ	$K_{ТРН}$	$K_{ПЧ}$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки					
1. Энергопотребление	0,22	7	5	1,54	1,1

Продолжение таблицы 1

2. Помехоустойчивость	0,16	5	4	0,8	0,64
3. Диапазон регулирования скорости	0,25	8	5	2	1,25
4. Удобство в эксплуатации	0,16	5	4	0,8	0,64
5. Надежность	0,19	6	6	1,14	1,14

Существует формула, при помощи которой мы сможем провести анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Таблица 2 – Определение коэффициента весомости по методу парного сравнения

Оцениваемые параметры	Оцениваемые параметры					Σ , расчет веса критерия
	А	Б	В	Г	Д	
А	-	1	2	2	2	7/31=0,22
Б	1	-	1	1	2	5/31=0,16
В	2	2	-	2	2	8/31=0,25
Г	1	1	1	-	2	5/31=0,16
Д	1	2	2	1	-	6/31=0,19
ИТОГО:	5	6	6	6	8	31

Пояснения к таблице:

А – Энергопотребление;

Б – Помехоустойчивость;

В – Диапазон регулирования скорости;

Г – Удобство в эксплуатации;

Д – Надёжность.

Пример расчета конкурентоспособности:

$$K = 0,15 \times 7 = 1,05$$

Расчет конкурентоспособности по всем техническим критериям оценки:

$$K(\text{ТРН}) = 1,54 + 0,8 + 2 + 0,8 + 1,14 = 6,28$$

$$K(\text{ПЧ}) = 1,1 + 0,64 + 1,25 + 0,64 + 1,14 = 4,77$$

По результатам, приведенным в таблице 1, следует вывод, что лучше применять электропривод на базе тиристорный регулятор напряжения потому, что он лучше по таким критериям как: энергопотребление, диапазон регулирования скорости, удобство в эксплуатации и помехоустойчивость.

Планирование научно – исследовательских работ

Планирование работ является важным аспектом при проектировании. Он позволяет выполнять проект точно в срок, а также позволяет довольно точно рассчитать заработную плату работников, занимающихся проектированием. Над данным проектом работает команда из двух человек – руководитель проекта и проектировщик. Каждый из них выполняет свои обязанности, но некоторую часть работы они выполняют вместе.

Этапы работ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Этапы работ

№	Описание работы	Исполнитель
1	Разработка технического задания	Руководитель проекта
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер-проектировщик
3	Подбор направления исследования	Руководитель проекта и инженер-проектировщик
4	Календарное планирование по теме	Руководитель проекта
5	Расчет параметров электродвигателя	Инженер-проектировщик
6	Выбор электродвигателя и ТРН	Инженер-проектировщик
7	Расчет параметров схемы замещения	Инженер-проектировщик
8	Моделирование	Инженер-проектировщик
9	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель проекта

10	Разработка силовой схемы регулируемого электропривода и выбор аппаратуры управления и защиты	Инженер-проектировщик
11	Оценка результатов	Руководитель проекта
12	Обработка документации	Инженер-проектировщик
13	Составление отчета по проекту	Инженер-проектировщик

В ходе данного раздела работы был составлен перечень работ, необходимый для успешной реализации проекта. Как можно заметить, НИ будет содержать 13 основных этапов работ, разделенных между двумя исполнителями – инженером-проектировщиком и руководителем проекта. Данное планирование позволяет эффективно распределить трудовые ресурсы и практически полностью избежать растрат времени на согласование работ.

Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, потому что зависит от многих факторов, которые очень трудно учесть. Для того, чтобы определить ожидаемое значение трудоемкости $t_{ожі}$ воспользуемся формулой:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дней;

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

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дней.

После того, как были определены ожидаемые трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в днях T_p , за счет

которой можно учесть параллельность выполнения работ одновременно несколькими исполнителями. Также сможем точно рассчитать заработную плату, так как удельный вес заработной платы в общей смете стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дней;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек.

Пример расчета трудоемкости и продолжительности работы №2:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 6}{5} = 4,2;$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{4,2}{1} = 4,2 \approx 4.$$

Данные по продолжительности работ сведены в таблицу 5.

Таблица 5 - Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоемкость работ						Длительность работ		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни		в рабочих днях			
	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.
1	1	-	2	-	1,4	-	1	-	1	-
2	-	3	-	6	-	4	-	4	-	6
3	2	2	3	3	2,	2,4	1	1	1	1
4	1	-	3	-	1,8	-	2	-	3	-
5	-	2	-	5	-	3,2	-	3	-	4
6	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9

7	-	5	-	8	-	6,2	-	6	-	9
8	-	11	-	17	-	13,	-	13	-	19
9	4	-	7	-	5,	-	5	-	7	-
10	-	5		8	-	6,2	-	6	-	9
11	1	-	3	-	1,	-	2	-	3	-
12	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9
13	-	6	-	9	-	7,2	-	7	-	10

Таблица 6 – Итоги планирования работ

Общее количество рабочих дней для выполнения работы	62
Общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер-проектировщик	52
Общее количество рабочих дней, в течение которых работал руководитель проекта	11

В данном пункте был рассчитан и построен календарный график выполнения работ. Судя по графику, следует вывод, что проектирование нужно начать 8 февраля и закончить 8 мая 2018 года.

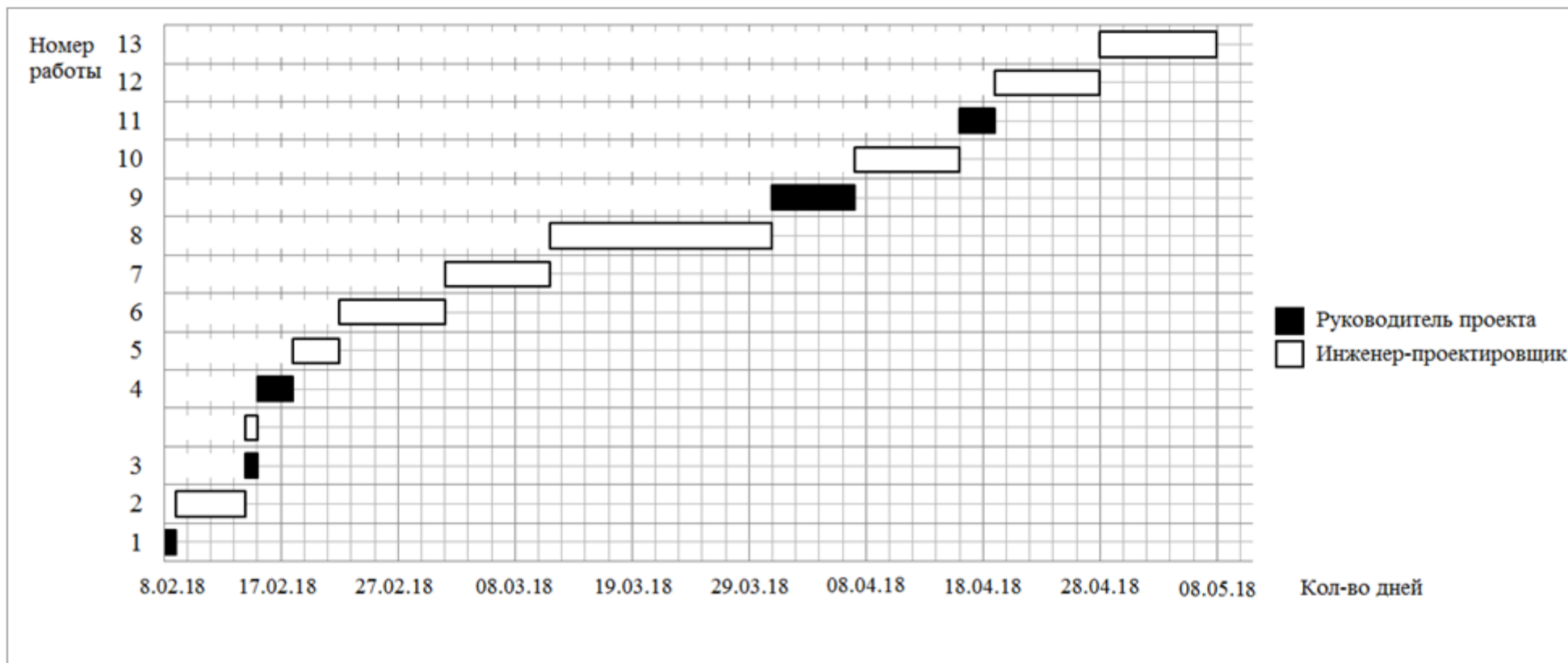


Рисунок 1 - График Ганта

Бюджет научно – технического исследования (НТИ)

Для того, чтобы запланировать бюджет НТИ необходимо рассмотреть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. При формировании бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) Амортизация;
- 2) Заработная плата;
- 3) Отчисления во внебюджетные фонды;
- 4) Накладные расходы.

Амортизация

В данном пункте будет рассчитана амортизация ноутбука, необходимого в работе над проектом.

Пусть срок эксплуатации ноутбука 3 года. Отсюда следует, что норма амортизации за месяц равна:

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\%$$

$$K = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33\%$$

где n – срок полезного использования в годах.

Найдем амортизацию:

$$A = \frac{K \cdot I}{12 \cdot 30} \cdot m \text{ р}$$

$$A = \frac{0,33 \cdot 40000}{12 \cdot 30} \cdot 88 = 3226,7 \text{ руб.}$$

где I – итоговая сумма в тыс. руб.;

m – время использования в днях.

Основная заработная плата исполнителей

В этом разделе нам необходимо рассчитать основную заработную плату руководителя и проектировщика. Зарплата работников в первую очередь зависит от трудоемкости выполняемых работ, а также системы окладов и тарифных ставок. Также в зарплату включается премия, которая выплачивается ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от

тарифа или оклада. В нашем же случае премиальный коэффициент составляет 30% от зарплаты.

Статья включает основную заработную плату работников и дополнительную зарплату.

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ - основная зарплата;

$Z_{доп}$ - дополнительная зарплата (15% от $Z_{осн}$).

По формуле рассчитаем основную зарплату руководителя проекта:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

где T_p - продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

$Z_{дн}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Рассчитаем среднедневную заработную плату по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_\delta}$$

Для 5 – дневной недели (инженер-проектировщик):

$$Z_{дн} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.},$$

Для 6 – дневной недели (руководитель проекта):

$$Z_{дн} = \frac{40560 \cdot 10,4}{247} = 1707,8 \text{ руб.}$$

где Z_M - месячный должностной оклад работника, руб.:

$$Z_M = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_\delta) \cdot k_p$$

Для руководителя проекта:

$$Z_M = 20800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 40560 \text{ руб.}$$

Для инженера-проектировщика:

$$Z_M = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

где $Z_{мс}$ - зарплата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} - премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_{∂} - коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

k_p - районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

M – количество месяцев работы без отпуска в течении года.

F_{∂} - действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 6.

Таблица 6 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{мс}$, руб.	k_{np}	k_{∂}	k_p	Z_M , руб.	$Z_{\partialн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель проекта	20800	0,3	0,2	1,3	40560	170 7,8	11	18785,8
Проектировщик	17000	0,3	0,2	1,3	33150	174 3,1	52	90641,2
Итого:								109427

Дополнительная заработная плата исполнителей

По формуле находится дополнительная заработная плата:

$$Z_{\partialоп} = k_{\partialоп} \cdot Z_{осн}$$

Руководитель проекта: $Z_{\partialоп} = 0,15 \cdot 18785,8 = 2817,87$ руб.,

Проектировщик: $Z_{\partialоп} = 0,15 \cdot 90641,2 = 13596,18$ руб.,

где $k_{\partialоп}$ - коэффициент дополнительной заработной платы.

Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{\partialоп})$$

Руководитель проекта: $Z_{внеб} = 0,271 \cdot (18785,8 + 2817,87) = 5854,6$ руб.,

Инженер-проектировщик: $Z_{внеб} = 0,271 \cdot (90641,2 + 13596,18) = 28248,33$ руб.,

где $k_{внеб}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Накладные расходы

Накладные расходы – это прочие затраты организации. По формуле накладные расходы руководителя проекта и инженера-проектировщика:

$$Z_{накл} = k_{нр} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4)$$

$$Z_{накл} = 0,16 \cdot (16414,05 + 1191,7 + 34102,93 + 109427) = 25781,7 \text{ руб.},$$

где $k_{нр}$ - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Формирование бюджета затрат научно – технического исследования

В основу формирования бюджета входит величина НТИ. При заключении договора с заказчиком, этот бюджет затрат проекта должен защищаться научной организацией. Он является нижним пределом затрат на разработку научно – технической продукции.

Таблица 7 – Бюджет затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	%
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	109427	58,6
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16414,05	8,8
Амортизация	3226,7	1,7
Отчисления во внебюджетные фонды	34102,93	18,2
Накладные расходы	25781,7	13,8
Бюджет затрат НТИ	188952,38	100

Сформировав таблицу результатов, делаем вывод, что бюджет затрат НТИ равен 188952,38 руб. Как и упоминалось ранее, основной процент бюджета затрат НТИ составляет основная заработная плата – 58,6%, а самый малый процент занимает амортизация – 1,7%.

Вывод исследования

В результате выполнения задания данного раздела был проведен анализ конкурентных технических решений и был выбран тип исполнения электропривода.

Далее был проведен SWOT – анализ, который помог нам оценить различные факторы и явления, влияющие на проект. С помощью данного анализа были выявлены положительные и отрицательные стороны и выбран тип исполнения нашего проекта;

Был составлен план – график выполнения работ каждого из участников: руководителя проекта и инженера-проектировщика. В итоге получили следующие данные: общее количество дней на выполнение проекта – 62 дня, общее количество дней работы инженера-проектировщика – 52 дня, а количество рабочих дней руководителя проекта – 11 дней;

Рассчитали бюджет НТИ, который необходим для осуществления данного проекта. Он составил 188952,38 руб.;

Реализация электропривода насосной установки является очень актуальной для многих предприятий из-за уменьшения энергозатрат.

6. Социальная Ответственность

Анализ вредных факторов

Часть технологического процесса исследования и проверки электропривода насосной установки основана на работе с двигателем, который в свою очередь является источником повышенного уровня шума, что является вредным фактором производственной среды. Чтобы уменьшить влияние шума, можно применять различные меры такие как: замена подшипников качения на подшипники-скольжения, проверка и своевременная замена смазочных материалов у подшипников. Но такие меры слишком затратные и трудоемкие. Поэтому также возможно использовать различные ограждения

из звукопоглощающих материалов и отдельных частей установки для снижения уровня шума.

Следующий вредный фактор – недостаток естественного света, при работе в условиях недостаточной освещённости, связанным с временем суток и погодными условиями. Пониженная контрастность в взаимодействии с плохой освещённостью является наиболее опасным для зрительных органов работника и может привести к травмам, при работе с движущимися частями установки. Простым решением для снижения риска является покраска отдельных частей установки в различные отчетливо видимые цвета.

Также вредным фактором производства является загрязнение атмосферного воздуха – это выбросы в атмосферный воздух или образование в нем загрязняющих веществ в концентрациях, превышающих нормативы качества или уровня естественного содержания. Загрязняющее вещество – примесь в атмосферном воздухе, оказывающая при определенных концентрациях неблагоприятное воздействие на здоровье человека, объекты растительного и животного мира и другие компоненты окружающей природной среды или наносящая ущерб материальным ценностям.

Загрязнение гидросферы. Поверхностные водные потоки зачастую сильно страдают от деятельности человека. Во многие производственные процессы входит использование воды, и сточные воды после некоторой очистки обычно сливают в ближайшие реки. К счастью, поверхностные воды обладают способностью к самоочищению под влиянием ряда физических, химических и биологических процессов. Однако в настоящее время способности к самоочищению обычно недостаточно и необходима активная работа по восстановлению водных ресурсов и их защите от промышленного и бытового загрязнения.

Охрана литосферы. Основные виды загрязнения литосферы – твердые бытовые и промышленные отходы. В результате промышленной деятельности человека происходит загрязнение почвы, что приводит к выводу из строя земель, пригодных для сельского хозяйства. Основные виды

промышленных отходов – шлаки тепловых электростанций и металлургических заводов, породные отвалы горнодобывающих предприятий и горнообогатительных комбинатов, строительный мусор и т.д. В особую группу выделяют загрязнение почвы нефтепродуктами и другими химическими веществами (в авиационной и других технологиях – это твердые осадки и продукты травления металлов), которые пагубно воздействуют на почвенные микроорганизмы и корневую систему растений.

Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом — это работа насосов, вентиляторов и др. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. Принцип действия СИЗ – защитить наиболее чувствительный канал воздействия шума на организм человека – ухо. Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов слуха, но и нервной системы от действия чрезмерного раздражителя. Наиболее эффективны СИЗ, как правило, в области высоких частот. СИЗ включают в себя противошумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

Недостаток естественного света

Согласно научным исследованиям, отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ослаблению здоровья. Специалисты полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников.

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;

- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливаются рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;
- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

В таблице 4 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 4 – Нормируемые значения КЕО

Характеристика выполняемой работы зрительной	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при	
			естественном освещении, %	верхнем и боковом комбинированном
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0
«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		
Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII		
постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1

К числу источников света массового применения относятся лампы накаливания, лампы ДРЛ, люминесцентные лампы.

Лампы накаливания применяются там, где проводятся грубые работы, или осуществляется общий надзор за эксплуатацией оборудования. Кроме того, предпочтение лампам накаливания отдается во взрыво - и пожароопасных

помещениях, в сырых помещениях, в помещениях с химически активной средой.

Характеристика выполняемой зрительной работы для проекта относится к классу средней точности, где наименьший объект различия от (0,5 до 1,0 мм) в связи с этим значение КЕО при естественном освещении 1,5 %.

Микроклимат

Помещение цеха характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		По	ГОСТ	По	ГОСТ	По	ГОСТ
		12.1.005 –	88	12.1.005 –	88	12.1.005 –	88
Холодный	Средней тяжести	17 –	19	40 –	60	0,3	
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 –	22	40 –	60	0,2 –	0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 1.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла, выделяемого в помещении и периода года.

Метеорологические условия

Говоря о биосфере в целом, необходимо отметить, что человек обитает в самом нижнем, прилегающем к Земле слое атмосферы, который называется тропосферой.

Атмосфера является непосредственно окружающей человека средой и этим определяется ее первостепенное значение для осуществления процессов жизнедеятельности. Тесно соприкасаясь с воздушной средой, организм человека подвергается воздействию ее физических и химических факторов: состава воздуха, температуры, влажности, скорости движения воздуха, барометрического давления и др.

Терморегуляция – это совокупность процессов в организме, обеспечивающих равновесие между теплопродукцией и теплоотдачей, благодаря которому температура тела человека остается постоянной.

Теплопродукция организма (производимое тепло) в состоянии покоя составляет для «стандартного человека» (масса 7 кг, рост 170 см, поверхность тела 1,8 м²) до 283 кДж в час, при работе средней тяжести – до 1256 кДж в час и при тяжелой – 1256 и более кДж в час. Метаболическое, лишнее тепло должно удаляться из организма.

Нормальная жизнедеятельность осуществляется в том случае, если тепловое равновесие, т.е. соответствие между теплопродукцией вместе с теплотой,

получаемой из окружающей среды, и теплоотдачей достигается без напряжения процессов терморегуляции. Отдача тепла организмом зависит от метеорологических условий климата, который определяется комплексом факторов, влияющих на теплообмен: температурой, влажностью, скоростью движения воздуха и радиационной температурой окружающих человека предметов.

Чтобы понять влияние того или иного показателя климата на теплообмен, нужно знать основные пути отдачи тепла организмом. При нормальных условиях организм человека теряет примерно 85% тепла через кожу и 15% тепла расходуется на нагревание пищи, вдыхаемого воздуха и испарение воды из легких. 85% тепла отдаваемого через кожу. Распределяется следующим образом: 45% приходится на излучение, 30% на проведение и 10% на испарение. Эти соотношения могут изменяться в зависимости от условий микроклимата.

С повышением температуры воздуха и окружающих поверхностей потери тепла, излучением и конвекцией уменьшается, и резко увеличивается теплоотдача испарений. Если температура внешней среды выше, чем температура тела, то единственным путем теплоотдачи остается испарение. Количество пота может достигать 5–10 литров пота в день. Этот вид теплоотдачи очень эффективен, если есть условия для испарения пота уменьшается влажность и увеличивается скорость движения воздуха. Таким образом при высокой температуре окружающей среды, увеличение скорости движения воздуха является благоприятным фактором. При низких температурах воздуха увеличение его подвижности усиливает теплоотдачу конвекцией, что неблагоприятно для организма, т.к. может привести к переохлаждению, простуде и отморожения. Большая влажность воздуха (свыше 70%) неблагоприятно влияет на теплообмен, как при высоких, так и при низких температурах. Если температура воздуха выше 30° (высокая), то большая влажность, затрудняя испарения пота, ведет к перегреванию. При низкой температуре высокая влажность способствует сильному охлаждению,

т.к. во влажном воздухе усиливается отдача тепла конвекция. Оптимальная влажность, таким образом, составляет 40–60%.

Температура является одним из ведущих факторов, определяющих метеорологические условия производственной среды. Высокие температуры оказывают отрицательное воздействие на здоровье человека. Работа в условиях высокой температуры сопровождается интенсивным потоотделением, что приводит к обезвоживанию организма, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов, вызывает серьезные и стойкие изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, увеличивает частоту дыхания, а также оказывает влияние на функционирование других органов и систем - ослабляется внимание, ухудшается координация движений, замедляются реакции и т.д.

Длительное воздействие высокой температуры, особенно в сочетании с повышенной влажностью, может привести к значительному накоплению тепла в организме (гипертермии). При гипертермии наблюдается головная боль, тошнота, рвота, временами судороги, падение артериального давления, потеря сознания.

Действие теплового излучения на организм имеет ряд особенностей, одной из которых является способность инфракрасных лучей различной длины проникать на различную глубину и поглощаться соответствующими тканями, оказывая тепловое действие, что приводит к повышению температуры кожи, увеличению частоты пульса, изменению обмена веществ и артериального давления, заболеванию глаз.

При воздействии на организм человека отрицательных температур наблюдается сужение сосудов пальцев рук и ног, кожи лица, изменяется обмен веществ. Низкие температуры воздействуют также и на внутренние органы, и длительное воздействие этих температур приводит к их устойчивым заболеваниям.

Анализ опасных факторов

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе исследования и проверки электропривода переменного тока. Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками, в частности двигателями. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [10 - 13].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Однако, благодаря конструкции двигателей, опасность представляют лишь выходные концы валов и места соединений. Для снижения риска устанавливают кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей.

К наиболее вероятным опасным факторам относятся следующие составляющие:

- движущиеся предметы, механизмы или машины, а также неподвижные их элементы на рабочем месте при механическом воздействии (зубчатые, цепные, клиноременные передачи, кривошипные механизмы, подвижные столы, вращающиеся детали, органы управления и т.п.);
- электрический ток (источником поражения могут быть незащищенные и неизолированные электропровода, поврежденные электродвигатели, открытые коммутаторы, незаземленное оборудование и др.);
- агрессивные и ядовитые химические вещества (например, химические ожоги кислотами, едкими щелочами и ядовитыми химическими веществами (хлор, аммиак и т.д.) при попадании их на кожу или в легкие при вдыхании);

- нагретые и (или) охлажденные элементы оборудования, поверхности, перерабатываемое сырье (примерами таких элементов являются горячие трубопроводы, крышки котлов, танков, корпуса оборудования, детали холодильных установок и т.д.);
- повреждения, полученные при падениях (падения подразделяются на два вида: падения на человека различных предметов и падения человека в результате подскользывания, запинания, падения с высоты или внезапного ухудшения здоровья).

Механические опасности

Основные последствия механических опасностей:

- защемление или раздавливание;
- порезы;
- отрезание или разрубание;
- захват или наматывание;
- затягивание или задерживание;
- попадание под удар;
- местный укол или полное прокалывание;
- поверхностное повреждение наружных тканей под действием трения;

К средствам защиты работающих от механического травмирования (физического опасного фактора) относятся:

- ограждения (кожухи, козырьки, дверцы, экраны, щиты, барьеры и т. д.);
- предохранительные – блокировочные устройства (механические, электрические, электронные, пневматические, гидравлические и т. д.);
- тормозные устройства (рабочие, стояночные, экстренного торможения);
- сигнальные устройства (звуковые, световые), которые могут встраиваться в оборудование или быть составными элементами;
- сигнальные цвета и сигнальная разметка, знаки производственной безопасности.

Сигнализация является одним из звеньев непосредственной связи между машиной и человеком. Она способствует облегчению труда, рациональной организации рабочего места и безопасности работы. Сигнализация может быть звуковая, световая, цветовая и знаковая. Сигнализация должна быть расположена и выполнена так, чтобы сигналы, предупреждающие об опасности, были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым может угрожать опасность.

ГОСТ Р 12.4.026-2001 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная» устанавливает термины с соответствующими определениями, для правильного понимания их назначения, правила применения и характеристики знаков безопасности, сигнальных цветов и сигнальной разметки.

Электропоражение

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств

электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

Загорание (пожар)

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреваты большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03) рассматриваемая лаборатория относится к классу В (обработка или применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой выше 120 градусов): электроизоляция, бумага, мебель. Т.е. технологический процесс в лаборатории исключает взрывоопасную зону, имеющиеся вещества могут только гореть. Лаборатория имеет пожароопасную зону класса П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Лаборатория оснащена такой системой с дымовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для

своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний.

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, лаборатории подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок). Согласно [6] на 800 м² защищаемой площади рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых огнетушителей. Для лаборатории достаточно одного двухкилограммового огнетушителя ОП.

Система обращения с разными видами отходов

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Способ борьбы с газообразными отходами: перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др.

Способ борьбы с жидкими отходами: жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

Способ борьбы с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться

Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [15]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [16]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае для ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта).

Способ утилизации аккумуляторных батарей: Аккумуляторная батарея выполняет функции до тех пор, пока не исчерпает свой ресурс, а после ей необходима утилизация. Выбросить аккумулятор на свалку – значит нанести существенный вред окружающей среде. В его конструкцию входит пластик, свинец и электролит, а это далеко небезопасные составляющие. Их

попадание в окружающую среду наносит непоправимый урон, заражает почву, воду и воздух.

Количество использованных аккумуляторов растет в геометрической прогрессии, и их утилизация является важнейшей задачей по защите экологии. Стоит отметить, что утилизация старых аккумуляторов весьма дорогое и сложное производство, но в итоге оно приносит прибыль. Переработка использованных аккумуляторов позволяет опять получить свинец и пластик, из которых можно создать новые аккумуляторы. Не подлежит повторному использованию только электролит. Безопасная утилизация старых аккумуляторов производится специализированными компаниями, на специальных заводских линиях.

Существует несколько технологий данного процесса, но суть у них одна. Первым делом сливается электролит, который в специальных герметичных камерах при высоких температурах нейтрализуется до безопасного состояния.

Следующим этапом идет дробление корпуса аккумуляторной батареи. Это происходит на специальном конвейере, где при помощи мощных дробильных станков аккумулятор разрушается полностью. В результате данного процесса образуется свинцово-кислотная или свинцово-щелочная паста, которая отделяется при помощи фильтров, стоящих сразу после дробилок.

Данная паста оседает на решетчатых фильтрах и направляется в металлическую смесь на дальнейшую переработку. Оставшиеся после дробления куски пластика и металла подаются в емкости, где смешиваются с водой, в результате чего тяжелый свинец оседает на дно, а пластик всплывает на поверхность. Таким образом происходит отделение неметаллических компонентов от металлических.

Куски пластика собираются с поверхности воды, а затем перерабатываются для вторичного сырья, из которого в дальнейшем будут получены пластиковые гранулы. Данный процесс может проходить непосредственно на

самом предприятии, которое занимается утилизацией аккумуляторов, либо сырье направляется на другие заводы по производству пластиковых гранул.

Металлическая масса, осевшая на дне, подлежит дальнейшей переработке вместе с пастой, снятой с решетчатых фильтров. Так как в воде с металлической массой наблюдается некоторое количество кислоты, то ее следует нейтрализовать. Для этого в смесь воды и кусков металла добавляют особые химикаты, нейтрализующие кислоту. В результате данного процесса на дно выпадает осадок, его удаляют, а воду пропускают через систему фильтров и сбрасывают в канализацию, либо вновь используют в производственном цикле.

Смесь кусочков металлов и металлической пасты нужно освободить от влаги, поэтому все компоненты направляются в печи, откуда выходит сырье уже готовое для плавки. Свинец в плавящейся смеси металлов имеет самую большую плотность. Также он расплавляется гораздо быстрее, поэтому в печи образуется расплавленный свинец, на поверхности которого концентрируются кусочки других металлов, что подлежат удалению.

После отделения расплавленного свинца от других металлов его направляют в тигель, где смешивают с каустической содой. Данный компонент помогает освободить расплавленный свинец от всевозможных примесей. Они удаляются из расплава, а свинец становится пригодным для отлива в формы.

При заливке свинца в формы на поверхности образуется тонкая пленка из оставшихся примесей, которая в итоге легко снимается. Теперь свинец обладает достаточной большой чистотой и может использоваться на производство разных деталей, в том числе и решеток для новых аккумуляторов.

Все вышеперечисленные процессы полностью автоматизированы, что позволяет осуществлять утилизацию аккумуляторных батарей быстро и качественно, тем самым предотвращая загрязнение окружающей среды.

Пожар (загорание) – как источник ЧС

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [5], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно-техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действия администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Электропоражение как источник ЧС

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [17] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [17] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был спроектирован асинхронный электропривод главного движения металлообрабатывающего центра с частотным регулированием. Система ПЧ-АД позволяет повысить производительность, а также надежность производства, так как в системе используется самая простейшая электрическая машина – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. В настоящее время система ПЧ-АД получает широкое распространение, так как это экономически целесообразнее, чем применение тех же двигателей постоянного тока или АД с фазным ротором. Высокая плавность регулирования скорости также является одним из основных достоинств такой системы.

Произведен выбор двигателя АИР160S2. Затем был произведен выбор преобразователя частоты, способный обеспечить управление двигателем – Micromaster 440 «Siemens». После выбора преобразователя были определены параметры основных силовых элементов электропривода. Рассчитаны статические и динамические характеристики для разомкнутой системы регулируемого электропривода. Также была составлена структурная и функциональная схема регулируемого электропривода. Была составлена имитационная модель САУ асинхронного электропривода с векторным управлением, обеспечивающее регулирование скорости в заданном диапазоне регулирования.

Список литературы

1. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электропривод переменного тока: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 218 с.
2. Электротехнический справочник: В 4т. Т.4. Использование электрической энергии / Под общей редакцией профессора МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – 8-е изд., испр. и доп. – М.: издательство МЭИ, 2002. – 696 с.
3. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления электроприводов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 152 с.
4. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. –2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.: ил.
5. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 304 с.: ил.
6. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.
7. М.А. Мельников Внутрицеховое электроснабжение Изд-во ТПУ, 2007.- 166с.
8. Васильев Д.В. Системы автоматического управления. / Васильев Д.В. Чуич В.Г. – М.: Высшая школа, 1967. – 418с.
9. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода / Чиликин М.Г., Сандлер А.С. – Москва.: Энергоатомиздат. 1981. – 367с.
10. Башарин А.В. Управление электроприводами / Башарин А.В., Новиков В.А. – Л.: Энергоиздат. 1982. – 1982с., ил.
11. Соколов Н.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. – М.: Энергия. 1976. – 516с., ил.
12. А.С. Проников «Расчет и конструирование металлорежущих станков». - М.: 1967 г.
13. В.Э. Пуш «Металлорежущие станки». - М.: Машиностроение, 1985 г.
14. А.Г. Косилова «Справочник технолога машиностроителя». - М.: Машиностроение-1, 2003 г.

15. Проектирование приводов главного движения металлорежущих станков: метод. указания для студентов спец. 151001 / сост. Г. И. Киреев.– Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 46 с.
16. Проектирование технологического металлообрабатывающего оборудования: Методические указания для курсового и дипломного проектов /Сост. Н. А. Кутний. Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2002. 78 с.
17. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями./ Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
18. Мартынов А.А. Проектирование электроприводов: Учеб. пос./ СПбГУАП: СПб., 2004. – 97 с.
19. Черпаков Б.И. Металлорежущие станки: Учебник для нач. проф. образования / Б.И. Черпаков, Т.А. Альперович. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 368 с
20. http://pstu.ru/files/file/Kaf_eagp/4.pdf
21. <http://www.siemens.com/answers/ru/ru/>
22. <http://www.all-ready.ru/stati/tehnologii--frezernoe-oborudovanie/vidy-frez>
23. http://tehnoved.ru/metallorazhushchiy_instrument/frezy/
24. <http://instrrez.ru/osnovy-rezaniya-metallov/41-frezerovanie.html>
25. <http://www.ls-lg.ru>