

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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»
Отделение электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод ленточного конвейера на основе системы «импульсный регулятор – асинхронный двигатель с фазным ротором»

УДК 62–83.621.867.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Фазлыяхметов Дамир Ривгатович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	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 отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетики и электротехники	Дементьев Юрий Николаевич	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
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль «Электропривод и автоматика»

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4А	Фазлыяхметов Дамир Ривгатович

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02.2018г. №645/С
---	---------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Электропривод ленточного конвейера на основе системы «импульсный регулятор – асинхронный двигатель с фазным ротором» - Режим работы – продолжительный; - Вид сырья – уголь; - Обеспечение регулирования скорости

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Дипломной работы Изучить технологический процесс; - Выбрать приводного двигателя; преобразователя частоты, - Рассчитать механические и электромеханические характеристики электродвигателя; - Разработать имитационную модель электропривода; - Исследовать переходные процессы в основных режимах работы.</p>
<p>Перечень графического материала</p>	

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
	<p>Ляпунов Данил Юрьевич</p>
<p>Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Калмыкова Екатерина Юрьевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Панин Владимир Филипович</p>
<p>Названия разделов:</p>	
<p>Описание технологического процесса; Выбор элементов и расчет параметров силового канала электропривода; Расчет и построение статических механических и электромеханических характеристик; Имитационное моделирование асинхронного электропривода на основе системы ИР – АД; Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Социальная ответственность.</p>	

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент</p>	<p>Ляпунов Даниил Юрьевич</p>	<p>к.т.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>5Г4А</p>	<p>Фазлыахметов Дамир Ривгатович</p>		

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки (специальность) 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»
 Уровень образования Бакалавр
 Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетика и электротехника
 Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ - ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.02.2018	Краткий обзор электроприводов ленточных конвейеров	
25.02.2018	Расчёт и выбор силового оборудования регулируемого электропривода	
13.03.2018	Расчет и построение электромеханических и механических характеристик электропривода для заданного диапазона регулирования	
26.03.2018	Имитационное моделирование системы с помощью программы Matlab Simulink	
30.04.2018	Энергетика асинхронного электропривода	
10.04.2018	Расчёт параметров структурной схемы	
25.04.2018	Разработка функциональной схемы регулируемого электропривода	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Данил Юрьевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетики и электротехники	Дементьев Юрий Николаевич	Ph.D., к.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4А	Фазлыахметову Дамиру Ривгатовичу

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>	Анализ конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</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.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>График Ганта</i>

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	Фазлыахметов Дамир Ривгатович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4А	Фазлыахметов Дамир Ривгатович

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) 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> -к вредным факторам производственной среды можно отнести повышенную или пониженную температуру воздуха рабочей зоны, подвижность воздуха, тепловое излучение, повышенные уровни шума, электромагнитные поля, освещённость; -к опасным факторам производственной среды можно отнести опасность поражения электрическим током. пожароопасность, получение механической травмы; - к негативным факторам воздействия на окружающую среду можно отнести химический вред неправильно утилизированных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей</p>
<p><i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p>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</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"> - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<ul style="list-style-type: none"> - 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; - Повышенные уровни шума методы уменьшения вредного воздействия уменьшение в источнике, изменение направленности излучения ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ - Освещённость методы предотвращения вредного воздействия – правильное проектирование системы освещения СНиП 23.05-95
<p><i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - механические опасности (источники, средства защиты); - термические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); - пожаровзрывобезопасность (причины, 	<ul style="list-style-type: none"> -Меры, предотвращающие опасность поражения электрическим током ГОСТ 12.1.030 – 81, ПУЭ; - Противопожарные меры ГОСТ 12.1.004-91, ППР

профилактикт.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.	- способы борьбы с газообразными отходами - способы борьбы с жидкими и твердыми отходами - способы борьбы с сбросами и выбросами в окружающую среду
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 осуществлении комплекса инженерно-технических мероприятий
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания разделена по линейному графику	16.03.18 г.
--	-------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Фазлыяхметов Дамир Ривгатович		

Реферат

Ключевые слова: ленточный конвейер, импульсное регулирование, асинхронный двигатель с фазным ротором, электропривод переменного тока, механические и электромеханические характеристики, система управления.

Объектом проектирования является импульсное регулирование скорости вращения асинхронного двигателя с фазным ротором.

Целью работы является: разработать электропривод ленточного конвейера, на основе системы ИР – АД. Обеспечить работу двигателя на двух скоростях.

В выпускной квалификационной работе был выполнен расчет и выбор приводного двигателя и подобран редуктор. Построены его электромеханические и механические характеристики, произведен расчет механических переходных процессов за цикл работы, произведен выбор основных силовых элементов системы регулирования электропривода, выполнены расчет и построение электромеханических и механических характеристик при пуске на нагрузку и сбросе нагрузки, произведен расчет энергетических показателей электропривода, расчет надежности системы. Произведено моделирование электропривода в программной среде MatLab 2013a. Далее рассчитаны параметры структурной схемы, разработана функциональная схема системы регулируемого электропривода, выполнен расчет каналов измерения координат электропривода, подобраны аппараты систем управления и защиты.

Также в ВКР, согласно полученному заданию, выполнены работы по разделу «Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и разделу «Социальная ответственность».

Выпускная квалификационная работа выполняется в текстовом редакторе Microsoft Word 2013 на бумаге формата А4, с использованием программ: MathCAD 2013, пакет MATLAB 2013a, Microsoft Visio 2013, MathType.

Оглавление

Введение.....	12
1. Краткие теоретические сведения	13
1.1. Анализ технологического процесса и технологического оборудования	13
1.2. Описание технологического процесса дозатора непрерывного действия.....	19
2. Расчет мощности электродвигателя и выбор его по каталогу. Определение выгодного передаточного отношения редуктора	21
2.1. Построение тахограммы и нагрузочной диаграммы производственного механизма. Техническое задание.	21
2.2. Продолжительность включения	22
2.3. Приведение сопротивлений двигателя	24
3. Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого электропривода.....	27
4. Расчет и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода.....	28
4.1. Выбор добавочных резисторов для ступеней регулирования.....	28
4.2. Выбор диодов	30
4.3. Выбор сглаживающего дросселя.....	31
4.4. Выбор транзистора для транзисторного ключа	31
5. Тепловой расчет полупроводниковых приборов.....	31
6. Расчет и построение электромеханических и механических характеристик электропривода для заданного диапазона регулирования.....	35
6.1. Расчет и построение механических характеристик.....	35
6.2. Расчет и построение электромеханических характеристик	36
6.3. Расчет тормозных режимов	37
7. Расчет механических переходных процессов за цикл работы	39
7.1. Расчет механических переходных процессов без учета упругих связей	39
8. Расчет электромеханических переходных характеристик $\omega = f(t)$ и $M = f(t)$ при пуске, набросе и сбросе нагрузки при линейном изменении задания.....	41
9. Моделирование электропривода ленточного конвейера на базе ир - ад в компьютерной среде matlab 2013а	44

9.1. Система управления ленточного конвейера на базе ИР – АД	44
9.2. Пуск ЭП на холостом ходу	46
9.3. Пуск ЭП под нагрузкой	48
9.4. Цикл работы ЭП ленточного конвейера.....	50
10. Энергетика асинхронного электропривода	53
11. Расчет надежности системы.....	54
12. Расчет параметров структурной схемы	56
12.1. Составление структурной схемы регулируемого электропривода.....	56
12.2. Расчет коэффициентов усиления и постоянных времени системы.....	56
13. Разработка функциональной схемы системы регулируемого электропривода.....	59
14. Расчет каналов измерения координат электропривода.....	60
14.1. Расчет канала измерения тока	62
14.2. Расчет канала измерения скорости	63
14.3. Расчет и выбор драйверов силовых ключей.....	64
15. Выбор аппаратуры управления и защиты	66
16. Выбор сетевого фильтра.....	67
17. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	68
17.1. Анализ конкурентных технических решений.....	68
17.2. Планирование научно – исследовательских работ.....	69
18. Определение трудоемкости выполнения работ	70
19. Бюджет научно – технического проектирование (нТП).....	74
Вывод по разделу «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	76
20. Социальная ответственность	78
20.1. Введение.....	78
20.2. Анализ вредных факторов.....	78
20.2.1. Шум	79
20.2.2. Недостаток естественного света.....	80
20.2.3. Микроклимат.....	81
20.2.4. Метеорологические условия.....	82
20.3. Анализ опасных факторов.....	84
20.3.1. Механические опасности	85

20.3.2. Электропоражение	86
20.3.3. Загорание (пожар)	86
20.4. Система обращения с разными видами отходов	87
20.5. Пожар (загорание) – как источник ЧС	89
20.6. Электропоражение как источник ЧС	90
Заключение	92
Список литературы	93
Приложение А	95
Приложение Б	97
Приложение В	98
Приложение Г	99
Приложение Д	101
Приложение Е	102
Приложение Ж	106

Введение

Электрический привод — это электромеханическая система для преобразования электрической энергии в механическую и приведения в движение исполнительных органов рабочих машин и управления движением при выполнении технологического процесса.

Проблема регулирования скорости движения машин и механизмов с целью экономии электроэнергии решалась в последние десятилетия в основном с помощью регулируемых электроприводов. Преобладали регулируемые электроприводы постоянного тока, в настоящее время они повсеместно вытесняются регулируемыми электроприводами переменного тока, с асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. Объясняется это достижениями микроэлектроники, позволяющими реализовать небольшими аппаратными затратами довольно сложные алгоритмы управления электродвигателем переменного тока, который превосходит двигателя постоянного тока по надёжности, массе, габаритам и стоимости.

Целью данного ВКР является проектирование регулируемого электропривода ленточного конвейера на базе асинхронного двигателя с фазным ротором. Регулирование частоты вращения двигателя осуществляется импульсным изменением сопротивления роторной цепи, при помощи импульсного преобразователя, основой которого является транзисторный ключ, включенный параллельно добавочному сопротивлению в цепи выпрямленного тока ротора. Данный способ регулирования скорости электропривода схож с реостатным регулированием, однако не требует установки реостатов в каждую фазу ротора.

1. Краткие теоретические сведения

1.1. Анализ технологического процесса и технологического оборудования

В качестве объекта проектирования был выбран наиболее распространенный вид конвейеров – ленточный, используемый для транспортировки сыпучего материала.

«Ленточный конвейер — транспортирующее устройство непрерывного действия с рабочим органом в виде ленты. Конвейер позволяет доставлять до нужного объекта штучные грузы и материалы, имеющие сыпучую или кусковую структуры. Применяется на промышленных производствах, в доменных цехах металлургических заводов, на тепловых станциях, в рудниках и шахтах, в сельском хозяйстве. Часто конвейерная лента является одной из частей транспортирующего устройства». [1, с.85]

Производительность конвейеров измеряется кубометрами перемещаемых грузов в час. Длина конвейера для различных задач составляет от 1-2м и до 2-4км (для одной машины).

Различают конвейерные ленты, перемещающие грузы с разной скоростью, от 0,5 до 8 м/с. Выбор ленты зависит от тех, параметров, которые необходимы для транспортировки конкретного вида грузов. Таким образом, во внимание принимаются степень трения об ленту, скорость и способ загрузки конвейера, а также его угол наклона.

Преимущества ленточных конвейеров перед другими способами транспортировки:

1. высокая эффективность и производительность промышленных процессов благодаря значительной скорости движения ленты;
2. потребление малого количества энергии;
3. простая и надежная конструкция.

Транспортировку штучных грузов обычно производят на конвейерах, имеющих ленты гладкого типа. Для мелких грузов и сыпучих материалов предусмотрена возможность перемещения по ленте с рифленой структурой основания. Именно такой тип устройства ленточного конвейера обеспечивает максимальное КПД. Транспортируемый груз можно перемещать под наклоном до 45° за счет поперечно установленных перегородок. Эффективная работа предприятия возможна, благодаря наличию конвейеров, имеющих разные типы лент: резиноканевую, брезентовую, сетчатую, специальную пищевую.

На рисунке 1(а – б) представлено устройство ленточного конвейера и кинематическая схема (весового дозатора).

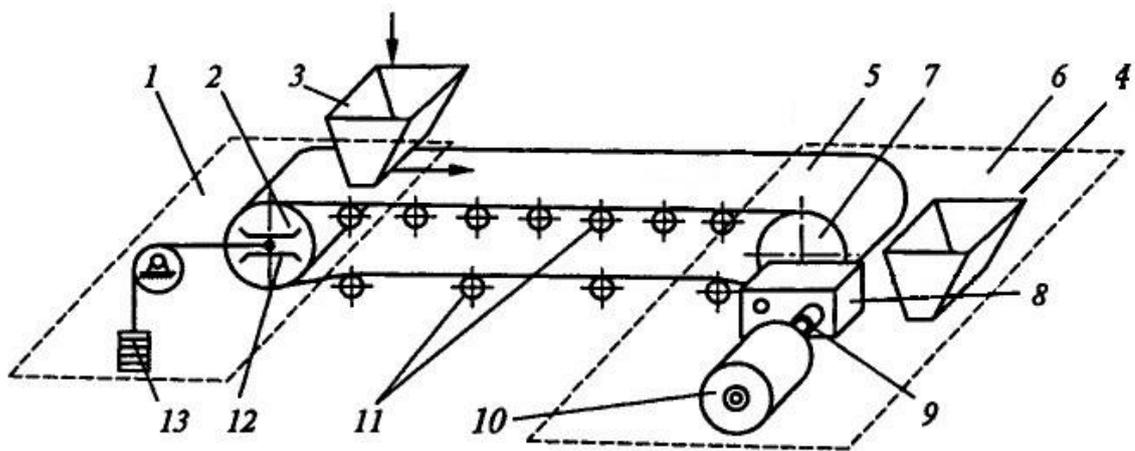


Рисунок 1а – Устройство ленточного конвейера (весового дозатора)

Гибкая лента 5 расположена между барабанами 2 и 7 натяжной 1 и приводной 6 станций. Барабан 2, под действием груза 13 создает предварительное натяжение ленты. Ось барабана 2 может перемещаться в направляющих 12. Передачу тягового усилия от барабана приводной станции без проскальзывания обеспечивает натяжение ленты.

Вдоль трассы устанавливают поддерживающие ролики 11, для того чтобы избавиться от провисания нижней холостой и верхней рабочей части ленты. Через редуктор 8 барабан приводной станции соединен с двигателем 10.

«Валы двигателя и редуктора соединяют упругой муфтой 9 для сглаживания возможных ударов в процессе пуска и торможения конвейера. Через загрузочную воронку транспортируемый груз подается на ленту 3 и выгружается на контрольные весы 4». [2]

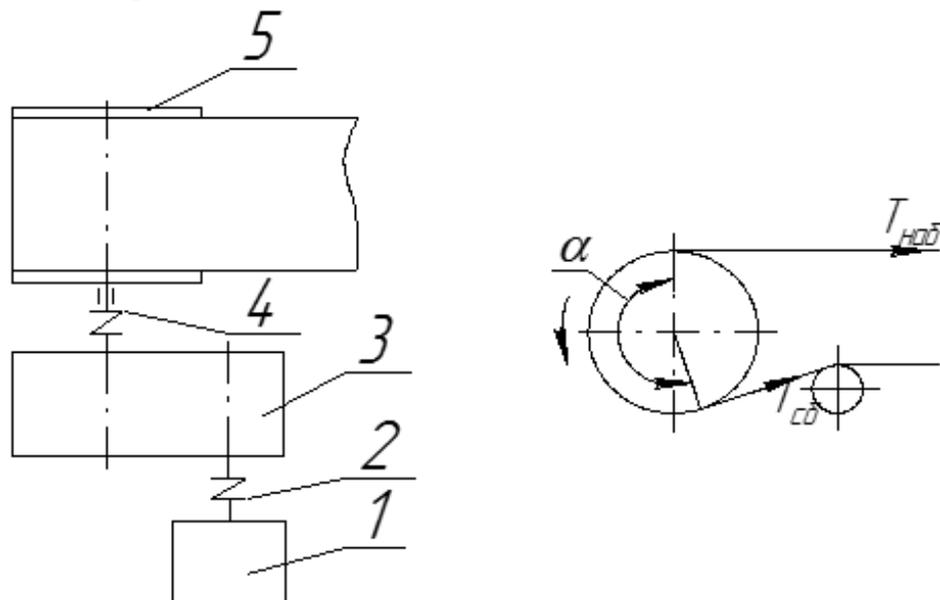


Рисунок 1б – кинематическая схема ленточного конвейера (привод состоит из: 1 – двигатель с фазным ротором, 2,4 – соединительные муфты, 3 - редуктор, 5 – барабан)

Ленточные конвейеры имеют два вида приводов: однобарабанный и многобарабанный. Привод может стоять с правой либо с левой стороны конвейера.

На рисунке 2 изображена схема загрузки и разгрузки сыпучего материала на конвейер.

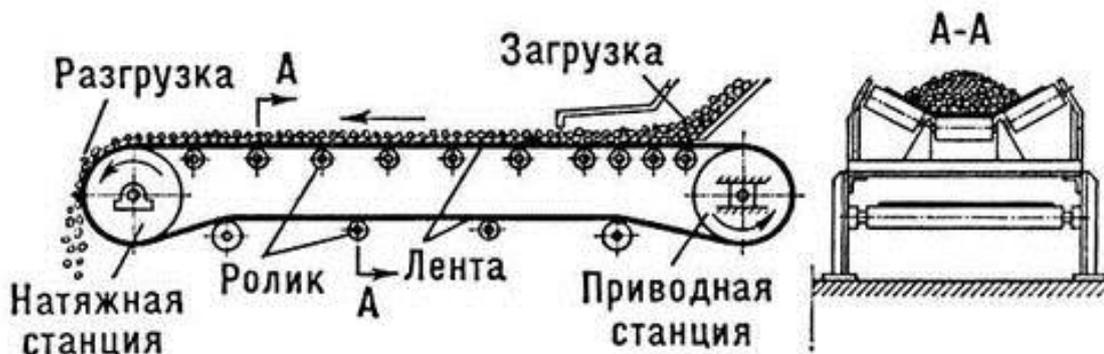


Рисунок 2 – Схема загрузки и разгрузки сыпучего вещества на конвейер

«В большинстве случаев в производственном процессе участвует группа конвейеров, объединенных общим технологическим циклом в единую поточно-транспортную систему (ПТС), например, процесс смесеобразования в металлургическом производстве (рисунок 3). В ПТС конвейеры могут образовывать несколько параллельных (конвейеры 2 и 3, 6 и 7, 9 и 10) или последовательных (5, 4 и 1) цепей. При этом движение тянущих органов конвейеров должно быть строго согласованным, в противном случае может возникнуть нарушение технологического процесса, что приведет к снижению качества выпускаемой продукции. Чтобы избежать этого двигатели конвейеров запускают в строгой последовательности, обратной направлению движения груза, а остановку линии начинают отключением двигателя конвейера, с которого груз поступает на следующие конвейеры». [5, с. 380]

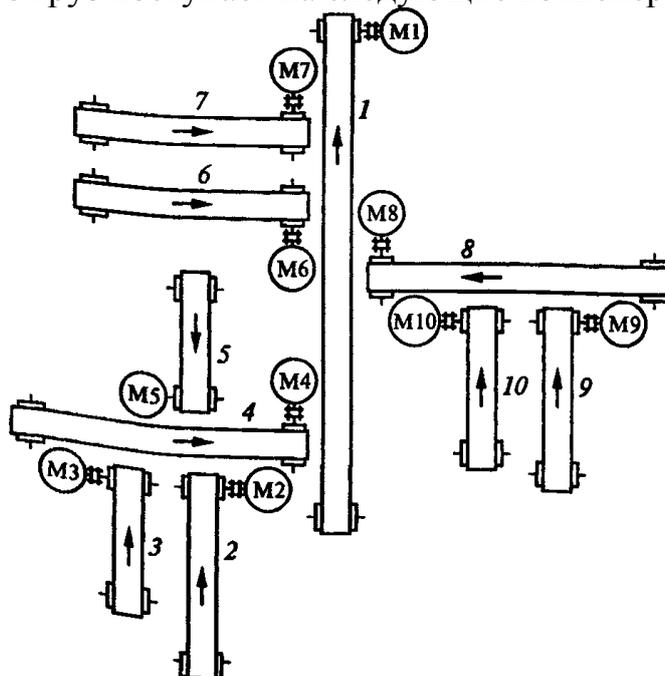


Рисунок 3 – Поточно-транспортная система

В приводах наклонных ленточных конвейеров применяют остановы и тормоза, предохраняющие ленту от самопроизвольного обратного движения под действием силы тяжести груза при выключении приводного двигателя. Также на наклонных участках трассы размещаются уловители ленты на случай ее обрыва. [3]

«Электропривода с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором ограничиваются мощностью в несколько сотен киловатт. Внедрение двигателей с большей мощностью приводит к снижению коэффициента мощности питающей сети электропривода, а кроме того к большому падению напряжения в сети при пуске ленточного конвейера.

Для более мощных установок используют синхронные двигателя, что позволяет увеличить энергетические показатели электропривода. Тем не менее привода большой мощности (к примеру, большие ленточные и канатные конвейеры) имеют большую механическую инерционность и характеризуются тяжелым продолжительным пуском, достигающим 30 - 100 с. В таком случае пуск может вызвать большое превышение температуры синхронного двигателя и снижение напряжения сети при сравнительно большом времени разгона привода. Несмотря на это синхронные двигатели не получили широкого распространения в качестве привода конвейерных установок, хотя они и обладают рядом преимуществ.

Раньше проблема пуска мощных конвейеров решалась за счет применения асинхронных двигателей с фазным ротором. Они обеспечивают формирование необходимой пусковой характеристики и ограничение пусковых токов привода. В установках мощностью более 1000 кВт желательно использовать двух- или трех двигательный привод». [5, с.393]

Регулирование частоты вращения двигателя осуществляется импульсным изменением сопротивления роторной цепи, при помощи импульсного преобразователя, основой которого является транзисторный ключ, включенный параллельно добавочному сопротивлению в цепи выпрямленного тока ротора. Данный способ регулирования скорости электропривода схож с реостатным регулированием, однако не требует установки реостатов в каждую фазу ротора.

Применение ИР в составе системы управления электрическим приводом позволяет обеспечить плавный пуск и остановку двигателя (что увеличивает его ресурс и уменьшает влияние пуска двигателя на электрическую сеть за счет ограничения бросков тока и провала напряжения в сети), защищает его от перегрузки по моменту и току, позволяет плавно регулировать скорость в рабочем диапазоне и запоминает произвольный набор скоростей для быстрого переключения между ними.

Отличительной характерной чертой конвейеров является большой статический момент сопротивления покоя, который обычно превышает номинальный в результате разных факторов, например, таких как застывания смазки в трущихся деталях. В этом случае к электроприводу конвейеров предъявляются требования высокой надежности, простоты обслуживания, а также обеспечения высокого пускового момента.

«Непрерывный, однонаправленный характер работы рассматриваемого механизма определяет длительный режим работы электропривода, который выполняется нереверсивным. В некоторых случаях, например, при работе конвейерной установки на уклон, электропривод должен работать как в двигательном, так и в тормозном режимах». [3]

Если на ленточном конвейере используется несколько приводных станций, то место их установки выбирается по диаграмме тяговых усилий так, чтобы тяговое усилие двигателей нескольких станций приблизительно было равно усилию однодвигательного электропривода (рисунок 4).

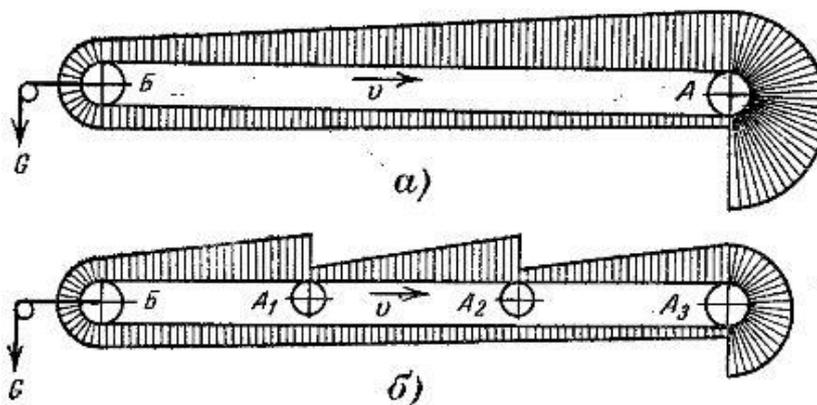


Рисунок 4 – Эпюры тяговых усилий ленточного конвейера: а — при однодвигательном электроприводе; б — при многодвигательном электроприводе

Если на ленточном конвейере установлено несколько приводных станций, то это обеспечит увеличение эксплуатационных показателей многодвигательного электропривода. Обуславливается это тем, что пуск многодвигательного конвейера в холостую может быть произведен с помощью только одного двигателя. Далее, с возрастанием нагрузки включаются последующие двигатели. При снижении нагрузки часть двигателей можно отключить. Данные переключения обеспечивают уменьшение времени работы двигателей с меньшей загрузкой и увеличению их эксплуатационных характеристик. Совместный пуск всех двигателей производят для обеспечения высокого пускового момента, например, при увеличении статического момента из – за застывания смазки или при завале конвейера транспортируемым материалом.

При выборе системы управления электроприводом ленточного конвейера большую роль играет правильный расчет упругих деформаций тягового органа и ускорений, которые возникают при переходных процессах.

Главным фактором, определяющим статическую нагрузку конвейера, является сила трения, возникающая между поддерживающим устройством (ролики, монорельсы, канаты и др.) и тянущим элементом (лента, цепь и др.).

Силы трения возникают в местах контакта роликов и катков с опорой, в подшипниках вращающихся элементов, тяговом элементе при его изгибах. Из-за большого количества движущихся элементов и большой длины конвейера, эти силы составляют основную часть суммарной статической нагрузки. А для горизонтальных конвейеров определяют всю статическую нагрузку привода.

Силы трения покоя существенно больше, чем силы трения при движении конвейера, поэтому для конвейерных установок характерны повышенные моменты трогания, которые у наружных установок дополнительно возрастают в зимнее время.

$$F_{дин} = \sum_{i=1}^n m_i a_n + (J_{дв} i_p^2 + J_n) \frac{a_n}{R_n^2},$$

Динамические нагрузки привода конвейера возникают в процессе пуска и определяются движущимися массами собственно конвейера и его приводной станции:

Где: $F_{дин}$ — динамическая сила на обводе приводного элемента радиусом R_n ; m_i — масса движущихся элементов одного прямолинейного участка в совокупности с массой движущихся элементов предшествующего участка изгиба; $J_{дв}$, J_n — моменты инерции двигателя и приводного элемента; i_p — передаточное число редуктора приводной станции; a_n — ускорение конвейера при пуске.

«Для тяжелых конвейеров динамическое усилие из-за большой массы поступательно движущихся элементов может оказаться значительным и существенно превысит силу статического сопротивления. При этом слагаемое, вызванное массой поступательно движущихся элементов, может составлять 90 % и более результирующего динамического усилия. Пуски конвейера с длительным режимом работы осуществляются редко и, как правило, вхолостую». [2, с.384]

Приводной двигатель цепных конвейеров должен располагаться, как правило, после участка с наибольшей нагрузкой, т. е. участка трассы с большим количеством грузов и крутых подъемов и перегибов. Обычно на основе этой рекомендации двигатель располагается в наивысшей точке подъема. [3]

Режим работы приводных двигателей конвейеров — продолжительный с редкими пусками и остановками при диапазоне регулирования скорости, не превышающем 1:2, 1:3. [5]

Для общего случая конвейерной трассы со сложной конфигурацией определить заранее однозначно оптимальное месторасположение привода не удастся. Поэтому рассматривают несколько вариантов расположения приводной станции.

«Привод должен устанавливаться в конце рабочего участка, что позволяет разгрузить последующую холостую ветвь конвейера от больших натяжений рабочего участка. Располагая привод в конце самого тяжелого участка, можно существенно уменьшить максимальные натяжения на последующих рабочих участках. Размещение привода перед самой длинной холостой ветвью позволяет снизить среднее по трассе натяжение. Для конвейеров, работающих на спуск грузов при тормозном режиме работы привода, последний устанавливается в начале рабочего участка по ходу тягового элемента.

Для конвейерных линий значительной протяженности и с большим

числом тяжелых рабочих участков может оказаться, что даже оптимальное расположение приводной станции на трассе не обеспечивает снижения максимального натяжения до допустимого уровня. В таком случае конвейер односекционного исполнения заменяют многосекционным конвейером или на тяговом элементе устанавливают несколько приводных станций». [5, с.385]

«Наиболее тяжелый режим колебаний возникает при пуске ленточных конвейеров длиной в несколько тысяч метров, используемых на открытых разработках полезных ископаемых. При пуске таких конвейеров учитывают скорость распространения упругих колебаний вдоль тягового элемента. Если время пуска двигателя меньше времени распространения упругой волны от приводного элемента до натяжного, двигатель успевает приобрести полную рабочую скорость, а хвостовой конец тягового элемента остается еще неподвижным. Это означает, когда упругая волна дойдет до конца конвейера, к его хвостовым элементам прикладывается импульс полной рабочей скорости. Происходит упругий удар, подобный рывку при выборе слабины каната приводом подъема крана. Упругая волна, отражаясь, возвращается к приводному элементу. Для того чтобы ослабить упругий удар и уменьшить распространяющийся импульс скорости, в таких конвейерных линиях используют пуск на предварительную пониженную скорость и уже с этой скорости выполняют пуск на полную рабочую скорость». [5, с. 388]

Основными причинами выхода из строя конвейеров и связанного с ним оборудования является попадание в них металлических предметов, которые вызывают порывы и порезы ленты, сход ленты, увеличение просыпи, забивку разгрузочных и разгрузочных устройств.

1.2. Описание технологического процесса дозатора непрерывного действия

Дозаторы непрерывного действия предназначены для непрерывного автоматического весового дозирования сыпучих материалов в различных системах управления технологическими процессами.

В технике к сыпучим относят материалы, которые допускают транспортирование и хранение навалом. Термин «сыпучие» материалы используют для большинства материалов, состоящих из частиц определенных размеров: пылевидных, порошкообразных, зернистых и кусковых. Объем сыпучего материала складывается из различных по форме и размерам объемов соприкасающихся твердых частиц и пустот между ними, заполненных воздухом или водой. Частицы, образующие структуру (скелет) сыпучего материала, имеют друг с другом различную связь, зависящую от размера частиц, их формы, влажности и других факторов. Как правило, большинство сыпучих материалов имеют сложный фракционный состав и представляют собой совокупность частиц со случайным неупорядоченным расположением.

Под дозированием понимается процесс выдачи заданных количеств веществ в технологические аппараты для смешения или дальнейшей переработки, а также фасовка материалов в тару.

Лента транспортера через редуктор получает движение от привода с двигателем переменного тока. Материал, подаваемый на грузоподъемную

часть транспортера, лентой перемещается на весовой участок. На весовом участке нагрузка материала воспринимается весоизмерителем и преобразуется тензодатчиком в пропорциональный электрический сигнал.

Датчик уровня материала предназначен для выдачи сигнала о наличии материала в формирующей воронке. В зависимости от исполнения дозатора применяется весовой или диафрагменный датчик. Принцип действия датчика основан на свойстве материалов оказывать давление на стенки и дно бункера.

Комплект электрооборудования состоит из шкафа управления, стойки приборов, преобразователя, аварийного выключателя, поста оператора.

Электрооборудование предназначено для преобразования сигнала датчиков веса и датчика скорости весового транспортера в сигнал, пропорциональный мгновенной производительности, учета суммарной массы выданного материала, а также автоматического регулирования и поддержания заданной производительности.

Электродвигатель привода транспортера, датчики и конечные выключатели расположены на транспортере дозатора. Аппаратура защиты и коммутации, а также импульсный регулятор размещены в шкафу управления, аппаратура измерения, регулирования, управления и сигнализации находится в стойке приборов.

В состав электрооборудования входят устанавливаемый в стойке приборов прибор вторичный интегрирующий ПВИ, фиксирующий суммарную массу материала, а также посты наладочного управления и аварийный переключатель.

Задача управления сводится к поддержанию постоянной производительности дозатора в пределах допустимой погрешности.

Масса вещества, движущегося по ленте конвейера:

$$M = dm \nu T, (1)$$

где dm — проходящая на единицу длины масса, фиксируемая тензодатчиком, за исключением массы ленты под ним, кг/м; ν — скорость ленты, м/с; T — периодичность анализа производительности дозатора, с.

Производительность конвейера:

$$Q = \frac{Q_{mp}}{\gamma} \quad (\text{м}^3/\text{час}) (2)$$

где: Q_{mp} - требуемая производительность (кг/час),
 γ – плотность сыпучего материала (кг/м³).

Производительность дозатора можно регулировать скоростью ленты или значением dm , а также этими параметрами одновременно. Для этого системой управления в цикле постоянно опрашивается тензодатчик и фиксируется значение dm , после чего исходя из формулы (2) вычисляется скорость, которая задается приводу.

**2. Расчет мощности электродвигателя и выбор его по каталогу.
Определение выгодного передаточного отношения редуктора
2.1. Построение тахограммы и нагрузочной диаграммы
производственного механизма. Техническое задание.**

Техническое задание:

Частота вращения механизма на первой ступени: $n_1 = 50 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

Время работы на первой ступени: $t_1 = 24 \text{ с}$

Частота вращения механизма на второй ступени: $n_2 = 25 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

Время работы на второй ступени: $t_2 = 16 \text{ с}$

Время паузы: $t_{\text{п}} = 40 \text{ с}$

Момент механизма: $800 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Характер нагрузки: реактивная

КПД передачи при максимальной частоте вращения: $\eta = 0,97$

Момент инерции механизма: $J_{\text{мех}} = 60 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

На рисунках 5 – 6 представлены тахограмма и нагрузочная диаграмма производственного механизма.

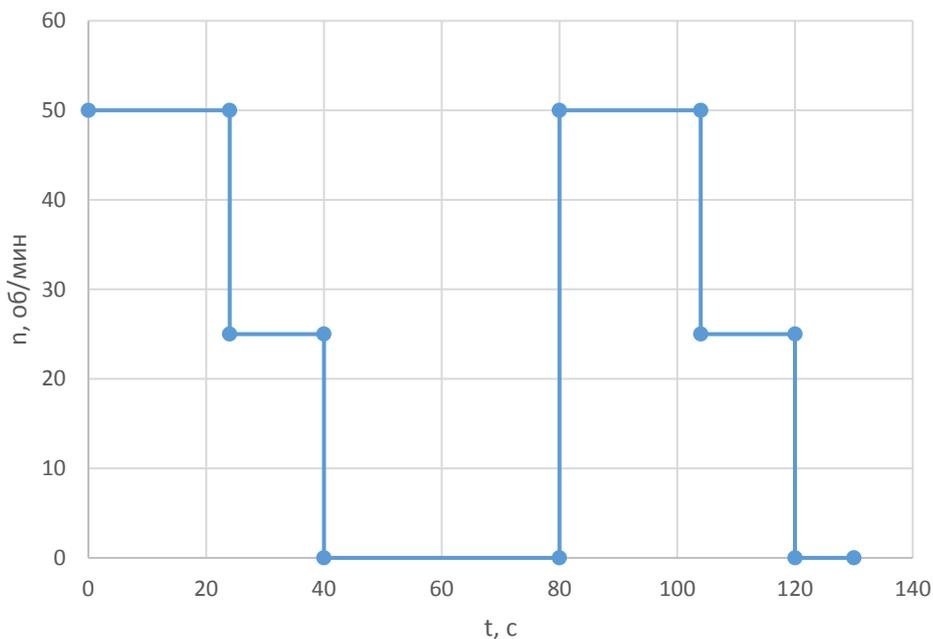


Рисунок 5 – Тахограмма производственного механизма.

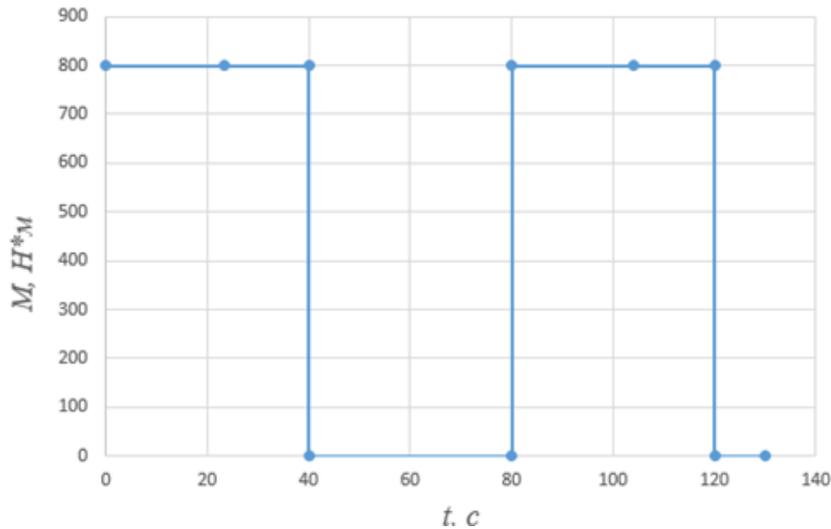


Рисунок 6 – Нагрузочная диаграмма производственного механизма

2.2. Продолжительность включения

$$ПВ_{расч} = \frac{t_p}{t_u} \cdot 100\% = \frac{t_{p1} + t_{p2}}{t_{p1} + t_{p2} + t_u} \cdot 100\% = \frac{16 + 24}{16 + 24 + 40} \cdot 100\% = 50\%$$

Выбираем стандартное (15%, 25%, 40%, 60%), близнее по величине значение продолжительности включения. [10,с.99]

$$ПВ_{кат} = 40\%$$

Диапазон регулирования.

$$D_{пер} = \frac{n_{m1}}{|n_{m2}|} = \frac{50}{|25|} = 2:1$$

Среднеквадратичное значение мощности за время работы на основании тахограммы и нагрузочной диаграммы.

$$P_э = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \left(\frac{P_i \cdot \omega_{макс}}{\omega_i} \right) \cdot t_{p,i}}{\sum_{i=1}^m \beta_i \cdot t_{p,i}}},$$

Где: m – число рабочих участков в цикле;

$t_{p,i}$ - время работы на i-м участке цикла;

β_i - коэффициент ухудшения теплоотдачи на i-м участке цикла;

P_i - мощность нагрузки на валу механизма на i-м участке цикла.

Значения угловых скоростей по ступеням.

-первая ступень

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{m2}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot |50|}{60} = 5,236 \text{ рад/с},$$

-вторая ступень

$$\omega_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot |n_{m1}|}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot |25|}{60} = 2,618 \text{ рад/с}.$$

Мощность на i-м участке работы.

- первая ступень:

$$P_1 = M_{\text{мех}} \cdot \omega_2 \cdot 10^{-3} = 800 \cdot 5,236 \cdot 10^{-3} = 4,189 \text{ кВт},$$

- вторая ступень:

$$P_2 = M_{\text{мех}} \cdot \omega_1 \cdot 10^{-3} = 800 \cdot 2,618 \cdot 10^{-3} = 2,094 \text{ кВт}.$$

Коэффициент ухудшения теплоотдачи по ступеням.

$$\beta_i = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \frac{\omega_i}{\omega_{\text{макс}}},$$

Где: $\beta_0 = 0.5$ - коэффициент ухудшения теплоотдачи при неподвижном якоре (роторе), принимаемый для двигателей закрытого исполнения без принудительного охлаждения;

Для первого участка:

$$\beta_1 = 0,5 + (1 - 0,5) \cdot \frac{5,236}{5,236} = 1,$$

Для второго участка:

$$\beta_2 = 0,5 + (1 - 0,5) \cdot \frac{2,618}{5,236} = 0,975.$$

Среднеквадратичное значение мощности равно

$$P_3 = \sqrt{\frac{\left(\frac{P_1 \cdot \omega_2}{\omega_1}\right)^2 \cdot t_1 + \left(\frac{P_2 \cdot \omega_2}{\omega_2}\right)^2 \cdot t_2}{\beta_1 \cdot t_1 + \beta_2 \cdot t_2}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{4,189 \cdot 5,236}{5,236}\right)^2 \cdot 24 + \left(\frac{2,094 \cdot 5,236}{2,618}\right)^2 \cdot 16}{1 \cdot 24 + 0,975 \cdot 16}} = 4,21 \text{ кВт}$$

Пересчет среднеквадратичной мощности двигателя на выбранное стандартное значение ПВ=60%.

$$P_k = P_3 \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{расч.э}}}{\text{ПВ}_{\text{кат}}}} = 4,21 \cdot \sqrt{\frac{50}{60}} = 4,707 \text{ кВт},$$

Расчетная мощность электрического двигателя.

$$P_{\text{расч}} = \frac{P_k \cdot k_3}{\eta_{\text{мех}}},$$

Где: $k_3 = (1,1-1,3)$ - коэффициент запаса;

$\eta_{\text{мех}} = 0,97$ - КПД передачи при $n_{\text{макс}}$,

Принимаем $k_3 = 1,3$.

$$P_{\text{расч}} = \frac{P_k \cdot k_3}{\eta_{\text{мех}}} = \frac{3,843 \cdot 1,3}{0,97} = 6,308 \text{ кВт}.$$

Выбираем асинхронный трехфазный двигатель с фазным ротором МТМ-211-6, имеющий следующие паспортные данные (таблица 1).

Таблица 1. – паспортные данные двигателя

Тип	$P_H,$ кВт	$\frac{n_H, \text{об}}{\text{мин}}$	$\frac{M_{\max}}{M_H}$	Статор					
				$\cos\varphi$		$I_{1H},$ А	$I_0,$ А	$R_1,$ Ом	$X_{1\sigma},$ Ом
				ном.	х.х.				
МТМ111-6	2,2	885	2,3	0,76	0,13	6,6	4,6	4,33	2,61
МТМ112-6	3,5	895	2,3	0,75	0,13	9,5	7,25	2,8	1,67
МТМ211-6	5	920	2,5	0,75	0,1	13,6	9,7	1,41	1,29
МТМ311-6	7,5	945	2,5	0,73	0,095	20	14,2	0,9	0,663

Тип	$P_H,$ кВт	$\frac{n_H, \text{об}}{\text{мин}}$	$J_{\text{дв}},$ кг·м ²	Ротор				
				$E_{2H},$ В	$I_{2H},$ А	$R_2,$ Ом	$X_{2\sigma},$ Ом	$k_e,$ о.е.
МТМ111-6	2,2	885	0,0487	144	11,1	0,72	0,595	2,5
МТМ112-6	3,5	895	0,0675	177	13,5	0,725	0,595	2,02
МТМ211-6	5	920	0,115	215	16,2	0,58	0,66	1,76
МТМ311-6	7,5	945	0,225	240	19,7	0,35	0,511	1,51

Передаточное отношение редуктора.

$$i_p = \frac{n_H}{n_{\max}} = \frac{920}{50} = 18,9$$

Где: n_H - номинальная угловая скорость вращения двигателя.

Принимаем передаточное отношение редуктора из стандартного ряда передаточных чисел (при условии, что $i_{\text{р.ст}} \leq i_p$).

$$i_{\text{ст.р}} = 18$$

Стандартное передаточное число редуктора выбирается из стандартного ряда чисел.

Определяем скорость вращения двигателя по ступеням.

$$n_{\text{ст1}} = n_1 \cdot i_{\text{ст.р}} = 50 \cdot 18 = 900 \text{ об/мин}$$

$$n_{\text{ст2}} = n_2 \cdot i_{\text{ст.р}} = 25 \cdot 18 = 450 \text{ об/мин}$$

Определяем статические моменты по ступеням.

В двигательном режиме:

$$M'_{\text{с1}} = M'_{\text{с1}} = \frac{M_{\text{Мех}}}{i_{\text{ст.р}} \cdot \eta_{\text{Мех}}} = \frac{800}{18 \cdot 0,97} = 45,819 \text{ Н·м}$$

Определяем параметры двигателя и строим электромеханические и механические характеристики двигателя

2.3. Приведение сопротивлений двигателя

Приведенное активное сопротивление фазы ротора к фазе статора:

$$R'_2 = R_2 \cdot k_c^2 = 0,35 \cdot 1,51^2 = 0,798 \text{ Ом}$$

Приведенное индуктивное сопротивление фазы ротора к фазе статора:

$$X'_{2\sigma} = X_{2\sigma} \cdot k_c^2 = 0,511 \cdot 1,51^2 = 1,165 \text{ Ом}$$

Суммарное индуктивное сопротивление фазы двигателя:

$$x_{\kappa} = X_{1\sigma} + X'_{2\sigma} = 0,663 + 1,165 = 1,828 \text{ Ом}$$

Эквивалентные активные и индуктивные сопротивления фазы двигателя:

$$R_{\text{дв}} = \frac{R_1 + R'_2}{k_c^2} = \frac{0,9 + 0,798}{1,51^2} = 0,745 \text{ Ом}$$

$$X_{дв} = \frac{X_{1\sigma} + X_{2\sigma}'}{k_c^2} = \frac{0,663 + 1,165}{1,51^2} = 0,802 \text{ Ом}$$

Определяем синхронную частоту вращения n_0 и синхронную скорость ω_0 :

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_{1H}}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \frac{\text{об}}{\text{мин}},$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1000}{60} = 104,72 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Определяем критический момент двигателя в двигательном режиме:

$$M_{кр} = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot (R_1 + \sqrt{R_1^2 + x_k^2})} = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104,72 \cdot (0,9 + \sqrt{0,9^2 + 1,828^2})} = 235,997 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определяем номинальный момент двигателя:

$$\frac{M_{кр}}{M_H} = 2,5$$

$$M_H = \frac{M_{кр}}{2,5} = \frac{235,997}{2,5} = 94,399 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определяем критическое скольжение в двигательном режиме:

$$S_{кр} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_2'^2 + x_k^2}} = \frac{0,798}{\sqrt{0,35^2 + 1,828^2}} = 0,429.$$

Определяем номинальное скольжение:

$$S_H = \frac{n_0 - n_{дв.н.}}{n_0} = \frac{1000 - 945}{1000} = 0,055.$$

Определяем скольжение по ступеням:

$$S_{cm1} = \frac{n_0 - n_{cm1}}{n_0} = \frac{1000 - 900}{1000} = 0,1,$$

$$S_{cm2} = \frac{n_0 - n_{cm2}}{n_0} = \frac{1000 - 450}{1000} = 0,55.$$

Рассчитываем естественную механическую характеристику $M = f(S)$ по выражению

$$M = M_{кр} \cdot \frac{2 + q}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S} + q},$$

$$\text{Где: } q = \frac{R_1}{R_2'} \cdot 2 \cdot S_{кр} = \frac{0,9}{0,798} \cdot 2 \cdot 0,429 = 0,967.$$

Задаемся угловой скоростью, как $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$ и строим естественную характеристику $M = f(\omega)$ (рисунок 7).

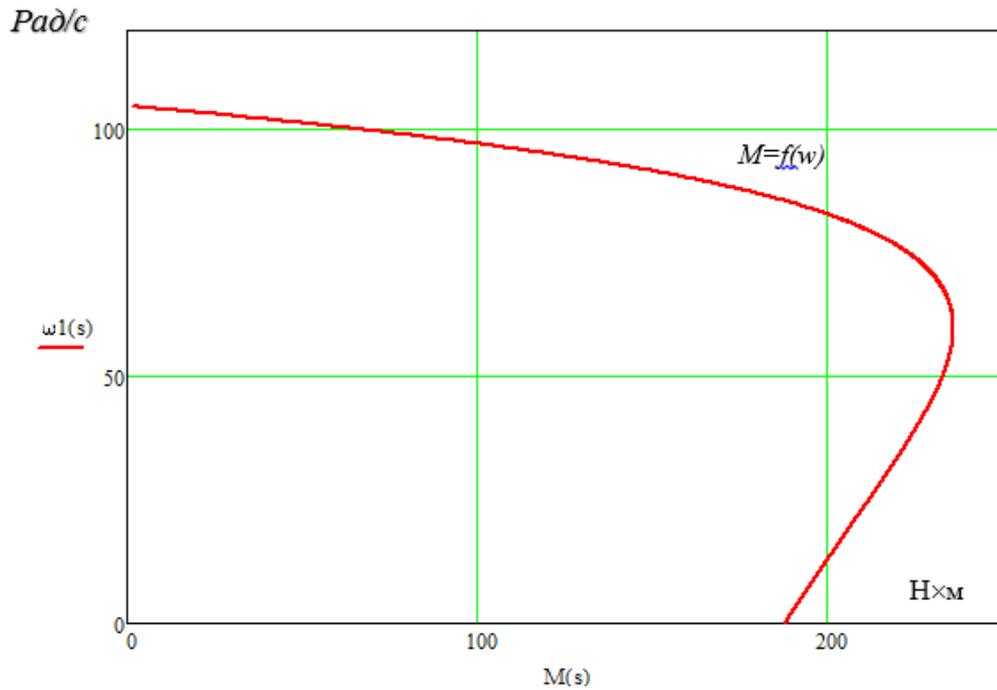


Рис. 7 – Естественная механическая характеристика электродвигателя
 $M = f(\omega)$

Рассчитываем естественные электромеханические характеристики
 $I_2' = f(S)$ и $I_1 = f(S)$

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + x_{\kappa}^2}},$$

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I_2')^2 \cdot (1 + 2 \cdot \alpha)},$$

Где: $\alpha = 0,12$.

Задаемся угловой скоростью, как $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$ и строим естественные электромеханические характеристики $I_2' = f(\omega)$ (рисунок 8) и $I_1 = f(\omega)$ (рисунок 9).

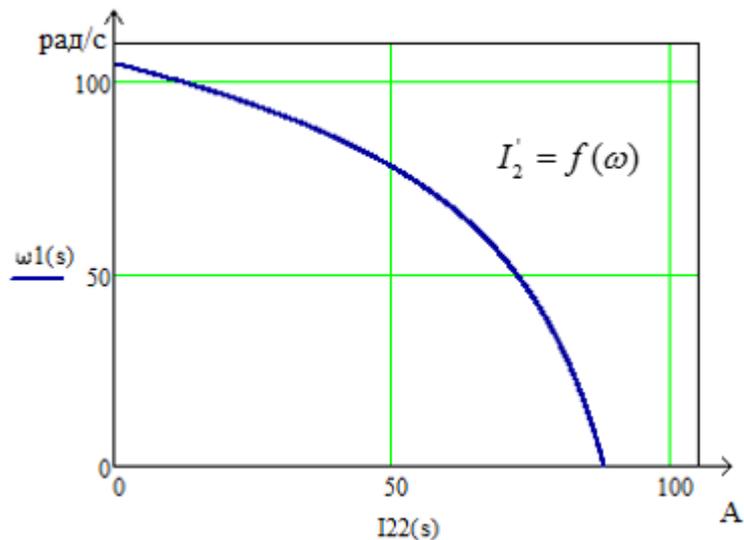


Рис. 8 - Естественная электромеханическая характеристика электродвигателя

$$I_2' = f(\omega)$$

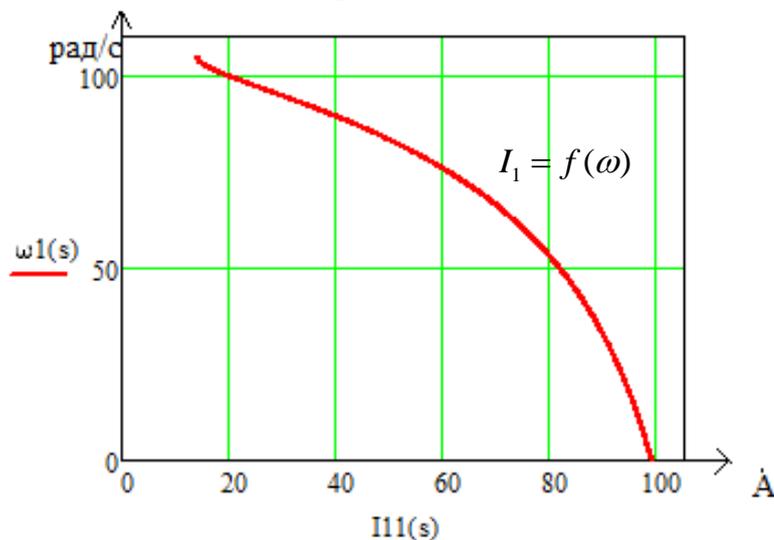


Рис. 9 - Естественная электромеханическая характеристика электродвигателя

$$I_1 = f(\omega)$$

3. Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого электропривода

Нереверсивный импульсный регулятор напряжения (ИР) с тиристорным коммутатором. Импульсное регулирование угловой скорости асинхронного двигателя с фазным ротором осуществляется путем введением добавочного сопротивления в цепь ротора через выпрямительный мост B (рисунок 10). Дополнительный резистор $R_{доб}$ включен последовательно со сглаживающим дросселем $L_{др}$, который введен для увеличения индуктивности коммутируемой цепи. Резистор $R_{доб}$ периодически включается и выключается с помощью транзисторного ключа ТК. [12, с. 187]

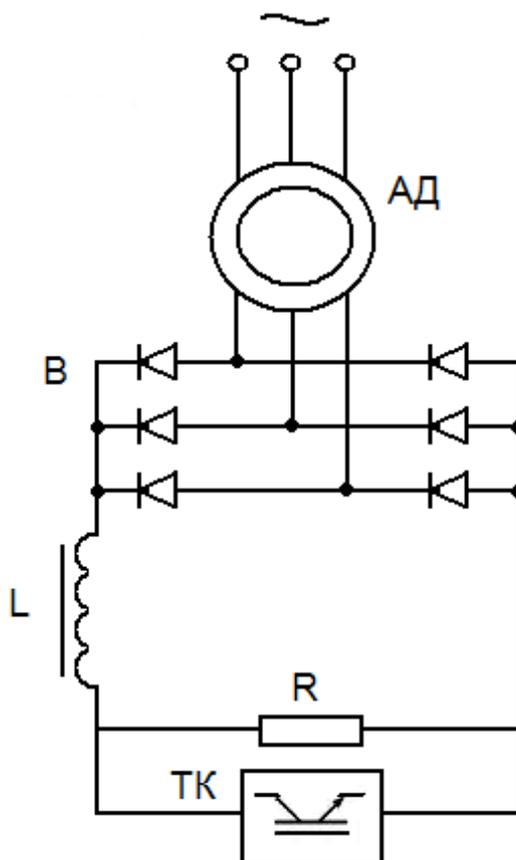


Рисунок 10 – Схема включения асинхронного двигателя с фазным ротором с импульсным регулированием

4. Расчет и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода

4.1. Выбор добавочных резисторов для ступеней регулирования

Так как в данном электроприводе в цепи ротора присутствует неуправляемый выпрямитель, то механические характеристики и, соответственно, добавочное сопротивление будут рассчитываться как [13, с. 29]:

$$M_{cm1} = \frac{E_d^2 \cdot s}{\omega_0 \cdot (R_{\Sigma} + R_{доб} + \frac{3 \cdot X_{ДВ}}{\pi} \cdot s)}$$

Где: $R_{\Sigma} = 1,75 \cdot R_{ДВ} + R_{ДР} = 1,75 \cdot 0,745 + 3 \cdot 10^{-3} = 1,306 \text{ Ом}$

$R_{ДР}$ - активное сопротивление сглаживающего дросселя.

$$E_d = \frac{2,34 \cdot E_2}{\sqrt{3}} = \frac{2,34 \cdot 215}{\sqrt{3}} = 290,465 \text{ В} - \text{выпрямленное постоянное напряжение}$$

неуправляемого трехфазного мостового выпрямителя.

Решая уравнение механической характеристики относительно сопротивления $R_{ДОБ}$ для первой ступени определим максимально требуемое сопротивление для обеспечения рассчитанного диапазона регулирования получаем:

$$R_{ДОБ.РАСЧ1} = \frac{E_d^2 \cdot S_{cm2} - R_{\mathcal{E}} \cdot \omega_0 \cdot M_{cm1} - \frac{3 \cdot X_{ДВ}}{\pi} \cdot S_{cm2} \cdot \omega_0 \cdot M_{cm1}}{\omega_0 \cdot M_{cm1}} =$$

$$= \frac{290,465^2 \cdot 0,1 - 1,306 \cdot 104,72 \cdot 45,819 - \frac{3 \cdot 0,802}{3,14} \cdot 0,1 \cdot 104,72 \cdot 45,819}{104,72 \cdot 45,819} = 0,126 Ом$$

Сопротивление резистора $R_{ДОБ}$ выбираем из ряда номинальных значений Е24: 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,4; 2,7; 3; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1. Необходимо принять $R_{ДОБ} = 8,2 Ом$.

При большой частоте коммутации ключа f_0 можно считать, что в цепь выпрямленного тока ротора помещено регулируемое «импульсное» добавочное сопротивление $R_{доб.имп.}$, величина которого плавно изменяется от 0 до $R_{ДОБ}$ при изменении скважности импульсов $\gamma = t_{имп} / T_0$ от 1 до 0.

Здесь $t_{имп}$ - длительность замкнутого состояния ключа,

$T_0 = 1 / f_0$ - период коммутации.

Связь $R_{доб.имп.}$ с γ выражается линейной зависимостью:

$$R_{доб.имп} = (1 - \gamma) \cdot R_{ДОБ}.$$

При $\gamma=1$ $R_{доб.имп} = 0$ - работа на естественной характеристике.

Найдем скважность γ_1 при работе на первой рабочей ступени:

$$\gamma_1 = 1 - \frac{R_{ДОБ.РАСЧ1}}{R_{ДОБ}} = 1 - \frac{0,126}{8,2} = 0,88.$$

Для определения скважности γ_2 при работе на второй рабочей ступени найдем добавочное сопротивление на данном участке работы:

$$R_{ДОБ.РАСЧ2} = \frac{E_d^2 \cdot S_{cm1} - R_{\mathcal{E}} \cdot \omega_0 \cdot M_{cm1} - \frac{3 \cdot X_{ДВ}}{\pi} \cdot S_{cm1} \cdot \omega_0 \cdot M_{cm1}}{\omega_0 \cdot M_{cm1}} =$$

$$= \frac{290,465^2 \cdot 0,55 - 1,306_{\mathcal{E}} \cdot 104,72_0 \cdot 45,819 - \frac{3 \cdot 0,802}{3,14} \cdot 0,55 \cdot 104,72 \cdot 45,819}{104,72 \cdot 45,819} = 7,994 Ом$$

Тогда скважность γ_2 при работе на второй рабочей ступени:

$$\gamma_2 = 1 - \frac{R_{\text{ДОБ.РАСЧ2}}}{R_{\text{ДОБ}}} = 1 - \frac{4,53}{8,2} = 0,45$$

4.2. Выбор диодов

Определим электрические параметры, по которым могут быть выбраны диоды, т.е определим среднее значение тока нагрузки через вентиль $I_{d.\text{cp}}$, максимальное значение тока нагрузки $I_{d.\text{max}}$, максимальное значение обратного напряжения $U_{\text{обр.max}}$.

Определим постоянную составляющую выпрямленного напряжения:

$$E_d = \frac{2,34 \cdot E_2}{\sqrt{3}} = \frac{2,34 \cdot 215}{\sqrt{3}} = 290,465 \text{ В}.$$

Максимальное значение тока нагрузки при $s = 1$:

$$I_{d.\text{max}} = \frac{E_d \cdot s}{R_{\text{Э}} + \frac{3 \cdot X_{\text{ДВ}} \cdot s}{\pi}} = \frac{290,465 \cdot 1}{1,306 + \frac{3 \cdot 0,802}{\pi} \cdot 1} = 140,193 \text{ А}$$

Установившееся значение выпрямленного тока на первой и второй рабочей ступени:

$$\begin{aligned} I_{d.\text{уст}} &= \frac{E_d \cdot s}{R_{\text{Э}} + R_{\text{ДОБ}} \cdot (1 - \gamma_1) + \frac{3 \cdot X_{\text{ДВ}} \cdot s}{\pi}} = \frac{E_d \cdot s}{R_{\text{Э}} + R_{\text{ДОБ}} \cdot (1 - \gamma_2) + \frac{3 \cdot X_{\text{ДВ}} \cdot s}{\pi}} = \\ &= \frac{290,465 \cdot 1}{1,306 + 8,2 \cdot (1 - 0,031) + \frac{3 \cdot 0,802}{\pi} \cdot 1} = \frac{290,465 \cdot 1}{1,306 + 8,2 \cdot (1 - 0,954) + \frac{3 \cdot 0,802}{\pi} \cdot 1} = 27,589 \text{ А} \end{aligned}$$

Среднее значение тока нагрузки:

$$I_d = \frac{I_{d.\text{уст}}}{R_{\text{ДОБ}}} = \frac{27,582}{8,2} = 3,365 \text{ А}.$$

Максимальное значение обратного напряжения:

$$U_{\text{обр.max}} = \sqrt{6} \cdot E_2 = \sqrt{6} \cdot 237 = 580,529 \text{ В}.$$

По полученным данным по [5] выбираем 6 диодных модулей ND171N18K следующими параметрами [Приложение А]:

Среднее значение тока $I_{\text{пр.ср.max}} = 170 \text{ А}$;

Предельно допустимая температура корпуса $T_k = 100^\circ \text{C}$;

Обратное напряжение $U_{\text{обр.max}} = 1800 \text{ В}$;

4.3. Выбор сглаживающего дросселя

Выбор данного элемента рассчитываем на ток, протекающий в цепи выпрямленного тока ротора $I_{d,\max} = 140,193\text{А}$, а так же из условия:

$$L_{DP} = \frac{I_d \cdot R_{ДОБ} \cdot \Delta t}{\Delta i} - 2 \cdot L_{ДВ}$$

Где: $L_{ДВ}$ – индуктивность фазы двигателя

$\Delta t = \frac{T}{2}$, T период переключения, задавшись частотой переключения

$$f = 280 \text{Гц}, \text{ то } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{280} = 3,571 \cdot 10^{-3} \text{с}, \text{ и } \Delta t = \frac{T}{2} = \frac{3,571 \cdot 10^{-3}}{2} = 1,786 \cdot 10^{-3}$$

Так же задавшись диапазоном изменения тока $\Delta i = 200 \text{А}$ индуктивность получится следующей:

$$L_{DP} = \frac{I_d \cdot R_{ДОБ} \cdot \Delta t}{\Delta i} - 2 \cdot L_{ДВ} = \frac{3,365 \cdot 8,2 \cdot 1,786 \cdot 10^{-3}}{140} - 2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4} = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{Гн}$$

Выбираем сглаживающий реактор ФОРС-250/0.5УЗ [6, с. 95] со следующими параметрами:

$$I_{d.H} = 320 \text{А}; L_{DP} = 0,75 \text{мГн}; R_{DP} = 3 \text{МОм}.$$

4.4. Выбор транзистора для транзисторного ключа

Транзистор выбираем по максимально допустимому току:

$$I_{T,\text{доп}} \geq I_{d,\max},$$

и максимально допустимому напряжению:

$$U_{T,\text{доп}} \geq U_{\text{обр.мах}}.$$

Исходя из данных условий выбираем IGBT 1MVi600NN-060 Модуль [5] со следующими параметрами [Приложение Б]:

Максимальное напряжение: $U_{\text{МАХ.КЭ}} = 600 \text{В}$

Максимальный ток: $I_{\text{КЭ.МАХ}} = 600 \text{А}$

5. Тепловой расчет полупроводниковых приборов

Потери в IGBT транзисторах в проводящем состоянии [5]:

$$P_{SS} = I_{cp} \cdot U_{ce(sat)} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \right) = 27,589 \cdot 2,1 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\pi} \right) = 13,082 \text{Вт},$$

$$D = \frac{t_p}{T} \approx 0,95 \text{ – максимальная скважность};$$

$U_{ce(sat)} = 2,1 \text{ В}$ – прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии.

Потери в IGBT транзисторах при коммутации:

$$P_{SW} = \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp} \cdot U_{cc} \cdot (t_{c.on} + t_{c.off}) \cdot f_{sw}}{2} =$$

$$= \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{27,589 \cdot 573,8 \cdot (0,6 + 0,6) \cdot 10^{-6} \cdot 5000}{2} = 10,69 \text{ Вт},$$

Где: $U_{cc} = k_{c.н} \cdot U_{дв.н} = 1,51 \cdot U_{дв.н} = 1,51 \cdot 380 = 573,8 \text{ В}$ – напряжение на коллекторе IGBT, (коммутируемое напряжение);

$t_{c.off} = 0,35 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ – время переходных процессов в цепи коллектора IGBT на закрывание транзистора;

$t_{c.on} = 0,35 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ – время протекания переходных процессов в цепи коллектора IGBT на момент открывание транзистора;

$k_{c.н} = 1,35$ – коэффициент схемы для номинальной нагрузки;

f_{sw} – частота коммутаций ключей, Гц (частота ШИМ), обычно от 5000 до 15 000

Гц; $f_{sw} = 5000 \text{ Гц}$ – частота коммутации ключей.

Потери обратного диода в проводящем состоянии:

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_{ec} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \right) = 27,589 \cdot 2,8 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\pi} \right) = 17,443 \text{ Вт};$$

Суммарные потери в IGBT:

$$P_Q = P_{SS} + P_{SW} = 13,082 + 10,69 = 23,772 \text{ Вт}.$$

Где: $U_{ec} = 2,8 \text{ В}$ – прямое падение напряжения на диоде в открытом состоянии при I_{ep} , В;

$I_{ep} = I_{cp}$ – максимальная амплитуда протекающего тока через обратный диод, А;

Потери при восстановлении запирающих свойств обратного диода:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot I_{rr} \cdot U_{cc} \cdot t_{rr} \cdot f_{sw} = \frac{1}{8} \cdot 27,589 \cdot 573,8 \cdot 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 = 1,484 \text{ Вт},$$

Где: t_{rr} – продолжительность импульса обратного тока, с;

I_{rr} – амплитуда обратного тока протекающего через диод, А ($I_{rr} = I_{ep}$).

Суммарные потери обратного диода:

$$P_D = P_{DS} + P_{DR} = 17,443 + 1,484 = 18,927 \text{ Вт}$$

Результирующие потери IGBT с обратным диодом:

$$P_T = P_Q + P_D = 23,772 + 18,927 = 42,699 \text{ Вт}.$$

Полученные результирующие потери применяются в качестве основных показателей необходимых для выполнения теплового расчета, в результате чего выбирается тип и размеры необходимого радиатора и выполняется проверка теплового режима работы обратного диода и кристаллов IGBT транзистора.

Тепловой расчет полупроводниковых приборов сводится в расчете теплового сопротивления радиатора, необходимого для их охлаждения. Потери в результате протекания тока приводят к нагреванию силовых полупроводниковых ключей. Для того что бы предотвратить перегревание и поломку их крепят на радиаторе с развитой поверхностью.

Схематично эта конструкция показана на рисунке 11.

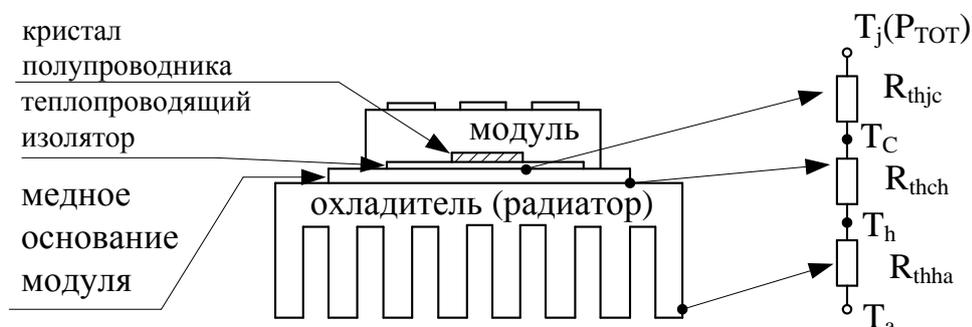


Рисунок 11 – Схема системы охлаждения транзисторного модуля

В результате воздействия разности температур нагретого кристалла и окружающей среды тепловая энергия поступает от кристалла к корпусу прибора, далее от корпуса переходит в радиатор и с его поверхности в окружающую среду. Потери в ключевом элементе $P_{ТОТ}$ эквивалентны току в электрических цепях, разность температур - электрическому напряжению. По подобию с законом Ома для тепловой схемы замещения запишем:

$$P_{ТОТ} = \frac{\Delta T}{R_{th}}, \text{ где: } R_{th} - \text{тепловое сопротивление, это коэффициент, который}$$

характеризует теплопроводность окружающей среды, подающей тепловую энергию; ΔT - разность температур между характеристическими точками тепловой системы.

Выделяют три тепловых сопротивления:

1 Тепловое сопротивление охладитель окружающая среда - $R_{th(h-a)} = R_{th(f-a)}$.

2 Тепловое сопротивление корпус-охладитель - $R_{th(c-h)} = R_{th(c-f)}$

3 Тепловое сопротивление переход-корпус - $R_{th(j-c)}$;

Тепловое сопротивление переход-корпус $R_{th(j-c)}$ является паспортным параметром (приложение Б)

Сопротивление корпус-охладитель $R_{th(c-h)}$ зависит от разновидности корпуса, прижимного усилия, наличия термопасты, присутствия и вида изоляционной прокладки. Тепловое сопротивления корпус – охладитель приводят в справочных и паспортных данных (приложение Б).

Тепловой расчет инвертора [2]:

Максимальное допускаемое переходное сопротивление охладитель – окружающая среда $R_{th(f-a)}$ °C/Вт, в расчете на пару IGBT/FWD (транзистор/обратный диод):

$$R_{th(f-a)l} \leq \frac{T_c - T_a}{P_T} - R_{th(c-f)l},$$

Где: $T_c = 90 - 110^\circ C$ – температура теплопроводящей пластины,

принимая $T_c = 100^\circ C$;

$T_a = 45 - 50^\circ C$ – температура охлаждающего воздуха;

принимая $T_a = 50^\circ C$;

$R_{th(c-f)l}$ – термическое переходное сопротивление корпус – поверхность теплопроводящей пластины модуля в расчете на одну пару IGBT/FWD,

$$R_{th(c-f)l} = 0,0125^\circ C/Вт.$$

Следовательно:

$$R_{th(f-a)l} \leq \frac{100 - 50}{42,699} - 0,0125; \quad R_{th(f-a)l} \leq 1,158.$$

Температура кристалла обратного диода FWD, $^\circ C$:

$$T_{jd} = T_c + P_D \cdot R_{th(j-c)d} = 100 + 18,927 \cdot 0,11 = 102,082^\circ C$$

Где: $R_{th(j-c)d} = 0,11^\circ C/Вт$ - термическое переходное сопротивление кристалл - корпус для FWD части модуля. При этом должно выполняться условие $T_{jd} < 125^\circ C$.

Температура кристалла IGBT, $^\circ C$, определяется по формуле:

Где: $R_{th(j-c)q} = 0,063^\circ C/Вт$ - термическое переходное сопротивление кристалл-корпус для IGBT части модуля. При этом должно выполняться условие $T_{ja} < 125^\circ C$.

Изначально определяется требуемое суммарное переходное тепловое сопротивление охладитель - окружающая среда в расчете на мощность, выделяемую устанавливаемыми на данный охладитель силовыми полупроводниковыми приборами (модулями).

$$R_{th(f-a)l} = 0,35^\circ C$$

Тепловое сопротивление охладитель - окружающая среда ($R_{th(f-a)}$) зависит множества факторов. Для точечного источника тепла, расположенного на пластине толщиной d , известно следующее выражение для теплового сопротивления охладитель - окружающая среда:

$$R_{th(f-a)} = \frac{3,3}{\sqrt{\lambda \cdot d}} \cdot C_f^{0,25} + \frac{650}{S} \cdot C_f,$$

Где:

λ - коэффициент теплопроводности охладителя, Вт/К·см. [6]

S - площадь пластины (см^2),

C_f - поправочный коэффициент, учитывающий состояние поверхности и расположения радиатора в пространстве. Для вертикального положения: чернёная поверхность - 0,43. Для горизонтального положения, соответственно 1,0 и 0,5, блестящая поверхность - 0,85.

Где примем: $C_f=1$; $\lambda=2.1$ Вт/К·см; $d = 2$ мм.

Исходя из приведённого выше выражения, увеличение эффективности охлаждения и уменьшение теплового сопротивления, достигают благодаря изготовлению радиаторов из материалов с высоким коэффициентом теплопроводности и используют радиаторы большей поверхностью охлаждения.

Определим минимальную площадь пластины:

$$S = \frac{650 \cdot C_f}{R_{th(f-a)} - \frac{3,3}{\sqrt{\lambda \cdot d}} \cdot C_f^{0,25}} = \frac{650}{0,35 - \frac{3,3}{\sqrt{2,1 \cdot 0,2}}} = 137,073 \text{ см}^2$$

Площадь имеющейся в наличии пластины составляет 150 см^2 , что в данных условиях является оптимальным для охлаждения IGBT – модуля. Смотреть приложение [В]

6. Расчет и построение электромеханических и механических характеристик электропривода для заданного диапазона регулирования

6.1. Расчет и построение механических характеристик

$$M_{cm1} = \frac{E_d^2 \cdot s}{\omega_0 \cdot (R_{\Sigma} + R_{ДОБ} + \frac{3 \cdot X_{ДВ}}{\pi} \cdot s)}$$

Задаваясь скольжением от 0 до 1, угловой скоростью, как $\omega = \omega_0 \cdot (1-s)$ строим механические характеристики $\dot{I} = f(\omega)$ для ступеней регулирования (рисунок 12):

Первая ступень:

$$M1(s) = \frac{E_d^2 \cdot s}{\omega_0 \cdot (R_{\Sigma} + R_{ДОБ} \cdot (1-\gamma_1) + \frac{3 \cdot X_{ДВ}}{\pi} \cdot s)} =$$

$$= \frac{290.465^2 \cdot s}{104.72 \cdot (1.306 + 8.2 \cdot (1-0,031) + \frac{3 \cdot 0,802}{\pi} \cdot s)}$$

Вторая ступень:

$$M2(s) = \frac{E_d^2 \cdot s}{\omega_0 \cdot (R_{\Sigma} + R_{\text{ДОБ}} \cdot (1 - \gamma_2)) + \frac{3 \cdot X_{\text{ДВ}}}{\pi} \cdot s} =$$

$$= \frac{290.465^2 \cdot s}{104.72 \cdot (1.306 + 8.2 \cdot (1 - 0.954)) + \frac{3 \cdot 0.802}{\pi} \cdot s} ;$$

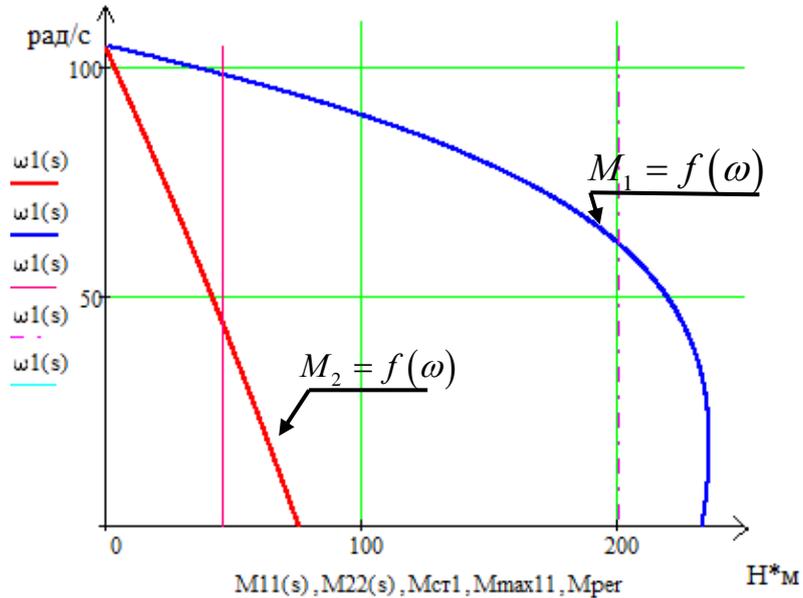


Рисунок 12 – Механические характеристики $M = f(\omega)$

6.2. Расчет и построение электромеханических характеристик

Электромеханические характеристики $I_d = f(\omega)$ строим по выражению:

$$I_d(s) = \frac{E_d \cdot s}{R_{\Sigma} + R_{\text{ДОБ}} \cdot (1 - \gamma) + \frac{3 \cdot X_{\text{ДВ}}}{\pi} \cdot s}$$

Для первой ступени:

$$I_{1d}(s) = \frac{E_d \cdot s}{R_{\Sigma} + R_{\text{ДОБ}} \cdot (1 - \gamma_1) + \frac{3 \cdot X_{\text{ДВ}}}{\pi} \cdot s}$$

Для второй ступени:

$$I_{2d}(s) = \frac{E_d \cdot s}{R_{\Sigma} + R_{\text{ДОБ}} \cdot (1 - \gamma_2) + \frac{3 \cdot X_{\text{ДВ}}}{\pi} \cdot s}$$

Подставляя γ_1 и γ_2 соответственно для первого участка и для второго, получим графики, приведенные на рисунке 13.

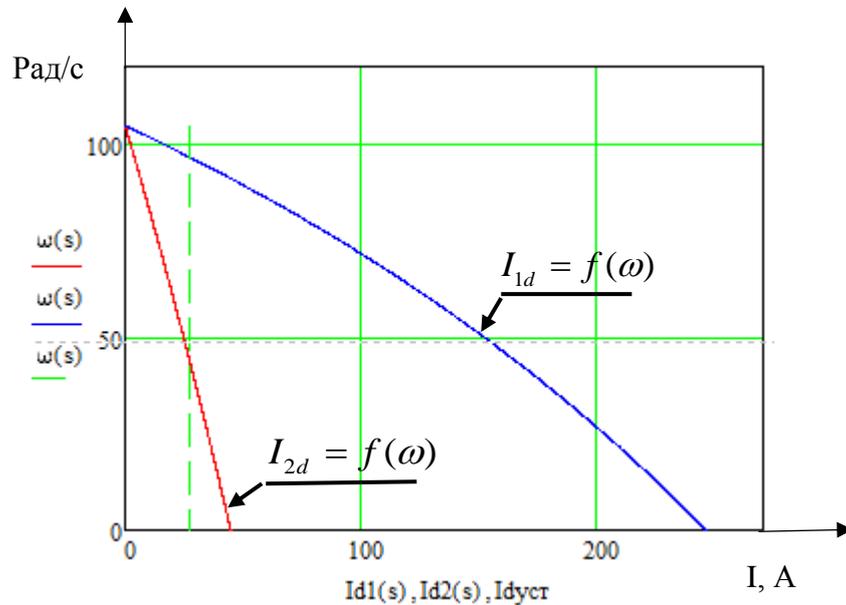


Рис. 13 - Электромеханические характеристики $I_d = f(\omega)$:

1 – регулировочная характеристика первой ступени; 2 – регулировочная характеристика второй ступени

6.3. Расчет тормозных режимов

Произведем расчет характеристики динамического торможения [11, с.105].

После выполнения двух рабочих циклов двигатель необходимо затормозить до нулевой скорости.

1. Определим эквивалентный ток статора:

$$I_{1Э} = 0,816 \cdot I_{II},$$

Где: I_{II} - постоянный ток статора при динамическом торможении, величина которого определяется из условия:

$$I_{II} = (2 \div 3) \cdot I_0 = 2 \cdot 14,2 = 28,4 \text{ A},$$

$$I_{1Э} = 0,816 \cdot I_{II} = 0,816 \cdot 28,4 = 23,174 \text{ A}.$$

2. Определим значение критического момента для динамического торможения

$$M_{кр.ом} = \frac{3 \cdot I_1^2 \cdot x_m^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot (x_2 + x_m)},$$

Где: значение x_m при номинальном токе определяется по выражению:

$$x_m = \frac{E_{1H}}{I_0} = \frac{209,232}{14,2} = 14,735 \text{ Ом}, \text{ где}$$

$$E_{1H} = \frac{E_{2H}}{\sqrt{3}} \cdot k_e = \frac{240}{\sqrt{3}} \cdot 1,51 = 209,232 \text{ В},$$

$$M_{кр.дт} = \frac{3 \cdot I_{1Э}^2 \cdot x_m^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot (x_2' + x_m)} = \frac{3 \cdot 23.174^2 \cdot 14.735^2}{2 \cdot 104.72 \cdot (1.165 + 14.735)} = 105,043 \text{ Нм}.$$

3. Определяем значение критического скольжения для режима динамического торможения.

$$S_{кр.дт} = \frac{R_{дт}'}{x_{2\sigma}' + x_m} = \frac{20,749}{1,165 + 14,735} = 1,305, \text{ где:}$$

$$R_{дт}' = (R_{ДОБ} + R_1) \cdot k_e^2 = (8,2 + 0,9) \cdot 1,51^2 = 20,749 \text{ Ом}.$$

4. Расчет механической характеристики производим по выражению:

$$M = M_{кр.дт} \cdot \frac{2}{\frac{S}{S_{кр.дт}} + \frac{S_{кр.дт}}{S}} = 105,043 \cdot \frac{2}{\frac{S}{1,305} + \frac{1,305}{S}}.$$

Характеристика динамического торможения расположена во втором квадранте представлена на рисунке 14.

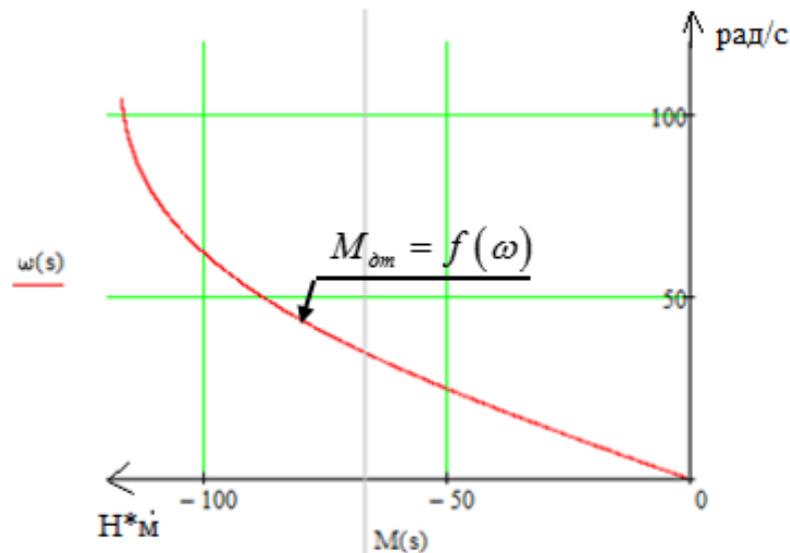


Рис. 14 – Механические характеристики динамического торможения

$$M_{дт} = f(\omega)$$

Механические характеристики полного цикла работы представлена на рисунке 15.

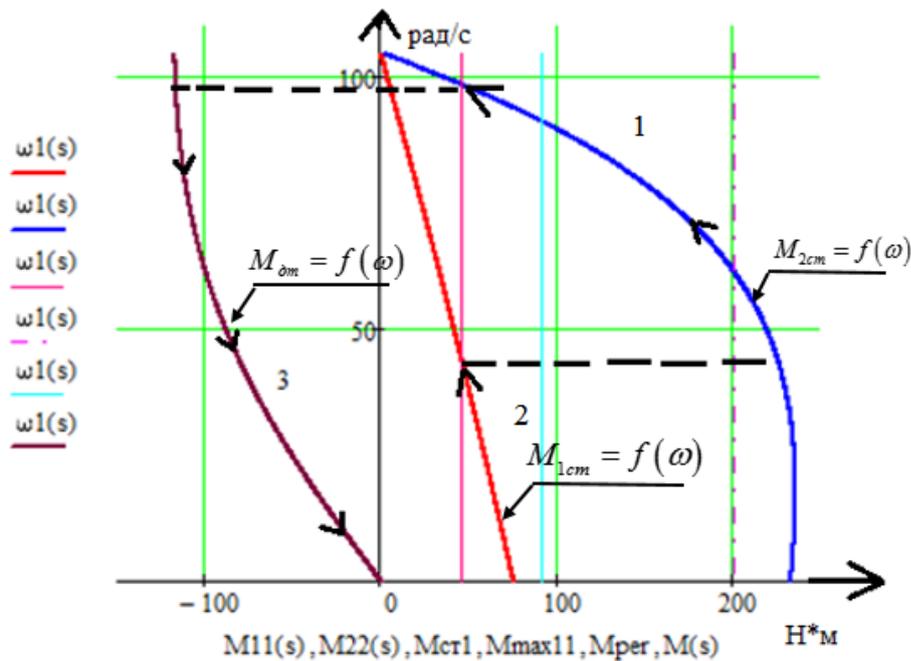


Рисунок 15 – Механические характеристики полного цикла работы $M = f(\omega)$:

- 1 – регулировочная характеристика первой ступени; 2 – регулировочная характеристика второй ступени; 3 – характеристика динамического торможения

7. Расчет механических переходных процессов за цикл работы

7.1. Расчет механических переходных процессов без учета упругих связей

Уравнение движения электропривода:

$$M - M_c = J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega}{dt},$$

Время пуска и торможения найдем как:

$$t_{II} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{ycm}}{M - M_c};$$

$$t_T = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{ycm}}{M + M_c},$$

Где: $J_{\Sigma} = k \cdot J_{дв} + \frac{J_{мех}}{i_{ст.р}^2} = 1,3 \cdot 0,225 + \frac{60}{18^2} = 0,478 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - суммарный момент инерции

механизма;

$k = (0,5 \div 1,3)$ - коэффициент, учитывающий момент инерции редуктора;

$J_{мех} = 60 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент инерции механизма;

$J_{дв} = 0,225 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент инерции двигателя;

$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{7500}{98,96} = 75,788 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - номинальный момент;

$M_{c1} = 45,819 \text{ H} \cdot \text{м}$ – момент нагрузки;

$$M = 2M_H = 2 \cdot 75,788 = 151,576 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$\omega_{cm1} = \frac{\pi \cdot n_{CT1}}{30} = \frac{\pi \cdot 900}{30} = 94,247 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{cm2} = \frac{\pi \cdot n_{CT2}}{30} = \frac{\pi \cdot 450}{30} = 47,123 \text{ рад/с}$$

– установившиеся скорости

электродвигателя.

$$t_{п1} = \frac{J_{\Sigma} \cdot (\omega_{cm1} - \omega_{cm2})}{M - M_{c1}} = \frac{0,478 \cdot (94,247 - 47,123)}{151,576 - 45,819} = 0,213 \text{ с};$$

$$t_{п2} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{cm2}}{M - M_{c1}} = \frac{0,478 \cdot 47,123}{151,576 - 45,819} = 0,213 \text{ с};$$

$$t_T = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{cm1}}{M + M_{c1}} = \frac{0,478 \cdot 94,247}{151,576 + 45,819} = 0,228 \text{ с};$$

Переходные процессы $\omega = f(t)$ и $M = f(t)$ представлены на рисунке 16

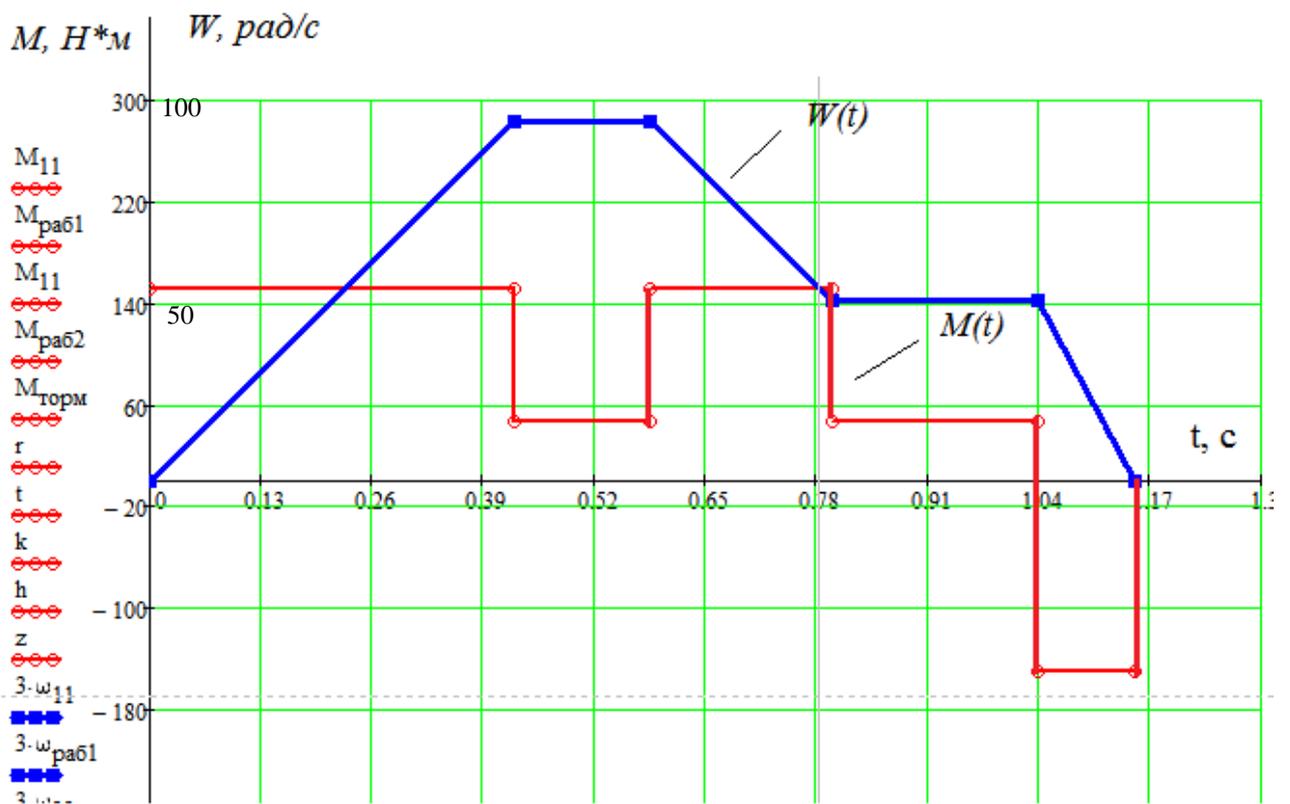


Рисунок 16 - График переходного процесса по скорости для цикла работы при $M=M_H$ не учитывая упругие связи

8. Расчет электромеханических переходных характеристик $\omega = f(t)$ и $M = f(t)$ при пуске, набросе и сбросе нагрузки при линейном изменении задания

Математическое описание асинхронного двигателя в неподвижной системе координат α - β в нормальной форме представим виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{s\alpha}(t)}{dt} = \frac{1}{L_e} \cdot [U_{s\alpha}(t) - R_e \cdot i_{s\alpha}(t) + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\alpha}(t) + K_r \cdot z_p \cdot \omega(t) \cdot \psi_{r\beta}(t)] \\ \frac{di_{s\beta}(t)}{dt} = \frac{1}{L_e} \cdot [U_{s\beta}(t) - R_e \cdot i_{s\beta}(t) + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\beta}(t) - K_r \cdot z_p \cdot \omega(t) \cdot \psi_{r\alpha}(t)] \\ \frac{d\psi_{r\alpha}(t)}{dt} = R_r \cdot K_r \cdot i_{s\alpha}(t) - A_r \cdot \psi_{r\alpha}(t) - z_p \cdot \omega(t) \cdot \psi_{r\beta}(t) \\ \frac{d\psi_{r\beta}(t)}{dt} = R_r \cdot K_r \cdot i_{s\beta}(t) - A_r \cdot \psi_{r\beta}(t) + z_p \cdot \omega(t) \cdot \psi_{r\alpha}(t) \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{1}{J} \cdot \{ K_m \cdot [\psi_{r\alpha}(t) \cdot i_{s\beta}(t) - \psi_{r\beta}(t) \cdot i_{s\alpha}(t)] - M_c \} \end{array} \right. .$$

Здесь: $L_e = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}$, $K_r = \frac{L_m}{L_r}$, $A_r = \frac{R_r}{L_r}$, $K_m = 1,5 \cdot K_r \cdot z_p$ – коэффициенты,

учитывающие параметры АД;

$i_{s\alpha}(t)$, $i_{s\beta}(t)$, $U_{s\alpha}(t)$, $U_{s\beta}(t)$ – компоненты пространственных векторов напряжения и тока статора; $\psi_{r\alpha}(t)$, $\psi_{r\beta}(t)$ – компоненты пространственного вектора потокосцепления ротора; $R_e = R_s + R_r \cdot K_r^2$,

$L_s = L_{s\sigma} + L_m$, $L_r = L_{r\sigma} + L_m$ – полные индуктивности обмоток статора и ротора; $L_{s\sigma}$, $L_{r\sigma}$ – индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора.

Рассчитаем параметры необходимые для расчета динамики двигателя:
Коэффициенты для расчета динамики двигателя:

$$K_r = \frac{L_m}{L_2} = 0,894; \quad R_r = R_1 + R_2 \cdot K_r^2 = 1,438;$$

$$A_r = \frac{R_2}{L_2} = 19,279; \quad K_m = \frac{3}{2} \cdot K_r \cdot z_p = 4,022.$$

Задаем трехфазную систему статорных напряжений:

$$U_a(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t);$$

$$U_b(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - \frac{2 \cdot \pi}{3});$$

$$U_c(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3}).$$

На рис. 17. Изображена трехфазная система статорных напряжений.

•

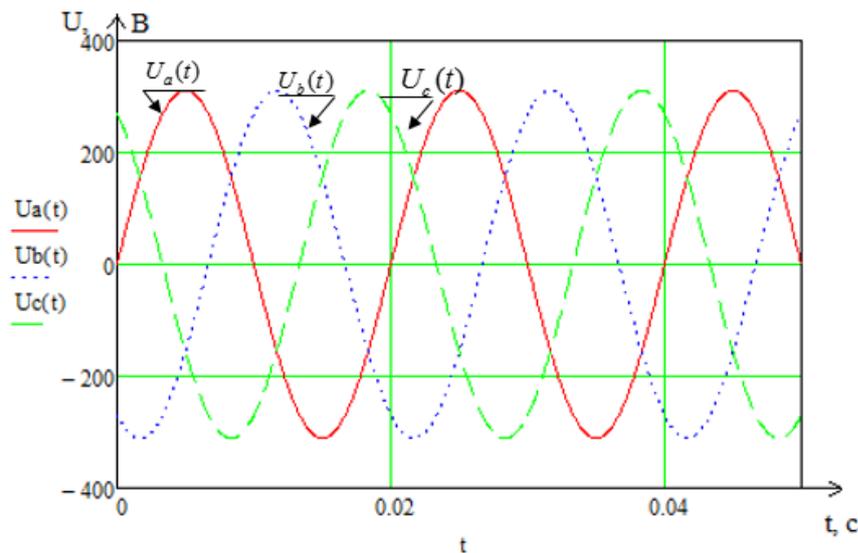


Рис. 17 - Изображена трехфазная система напряжений статора. С помощью преобразования Кларка переходим к двухфазной неподвижной системе координат (рис. 18):

$$U_{1\alpha}(t) = U_a(t);$$

$$U_{1\beta}(t) = \frac{U_a(t) + 2U_b(t)}{\sqrt{3}}.$$

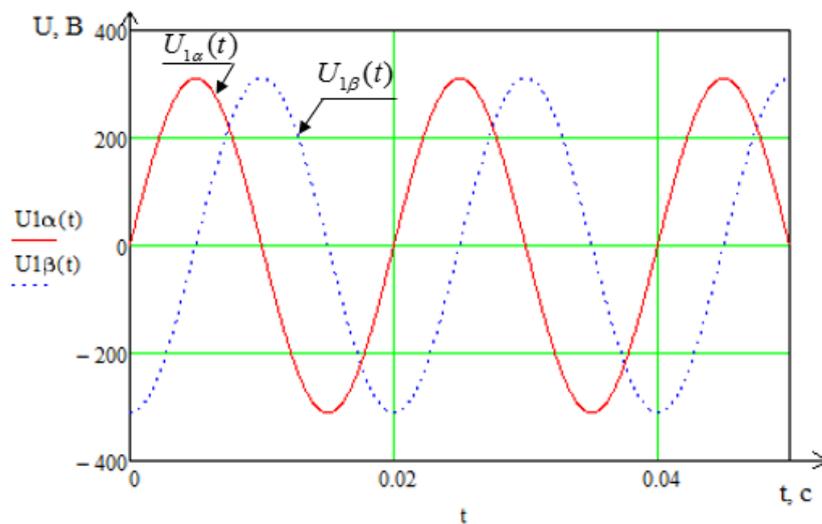


Рисунок 18 - Двухфазная неподвижная система координат

Рассчитываем переходные процессы в среде Mathcad 15. Задаем момент сопротивления АД:

$$M_c(t) := \begin{cases} Mn & \text{if } 0.4 \leq t < 1.5 \\ (-Mn) & \text{if } 1.5 \leq t < 1.585 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Количество точек расчета переходных процессов и шаг находится численным методом Эйлера:

$$h := 0.0001 \quad k := 0..20000$$

Начальные нулевые условия:

$$\begin{pmatrix} t_0 \\ I_{sa_0} \\ I_{sb_0} \\ \psi_{ra_0} \\ \psi_{rb_0} \\ w_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Алгоритм метода Эйлера:

$$\begin{pmatrix} t_{k+1} \\ I_{sa_{k+1}} \\ I_{sb_{k+1}} \\ \psi_{ra_{k+1}} \\ \psi_{rb_{k+1}} \\ w_{k+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_k + h \\ I_{sa_k} + \frac{h}{Le} \cdot \{U1\alpha(t_k) - Re \cdot I_{sa_k} + Kr \cdot Ar \cdot \psi_{ra_k} + Kr \cdot zp \cdot w_k \cdot \psi_{rb_k}\} \\ I_{sb_k} + \frac{h}{Le} \cdot \{U1\beta(t_k) - Re \cdot I_{sb_k} + Kr \cdot Ar \cdot \psi_{rb_k} - Kr \cdot zp \cdot w_k \cdot \psi_{ra_k}\} \\ \psi_{ra_k} + h \cdot \{R2 \cdot Kr \cdot I_{sa_k} - Ar \cdot \psi_{ra_k} - zp \cdot w_k \cdot \psi_{rb_k}\} \\ \psi_{rb_k} + h \cdot \{R2 \cdot Kr \cdot I_{sb_k} - Ar \cdot \psi_{rb_k} + zp \cdot w_k \cdot \psi_{ra_k}\} \\ w_k + \frac{h}{J} \cdot [Km \cdot \{\psi_{ra_k} \cdot I_{sb_k} - \psi_{rb_k} \cdot I_{sa_k}\} - Mc(t_k)] \end{pmatrix}$$

Расчетное выражение электромагнитного момента асинхронного двигателя:

$$M_k := Km \cdot \{\psi_{ra_k} \cdot I_{sb_k} - \psi_{rb_k} \cdot I_{sa_k}\}$$

Графики переходных процессов момента двигателя и угловой частоты вращения при пуске двигателя вхолостую, набросе и сбросе нагрузки изображены на рис. 19 и 20. Динамическая механическая характеристика изображена на рис. 19.

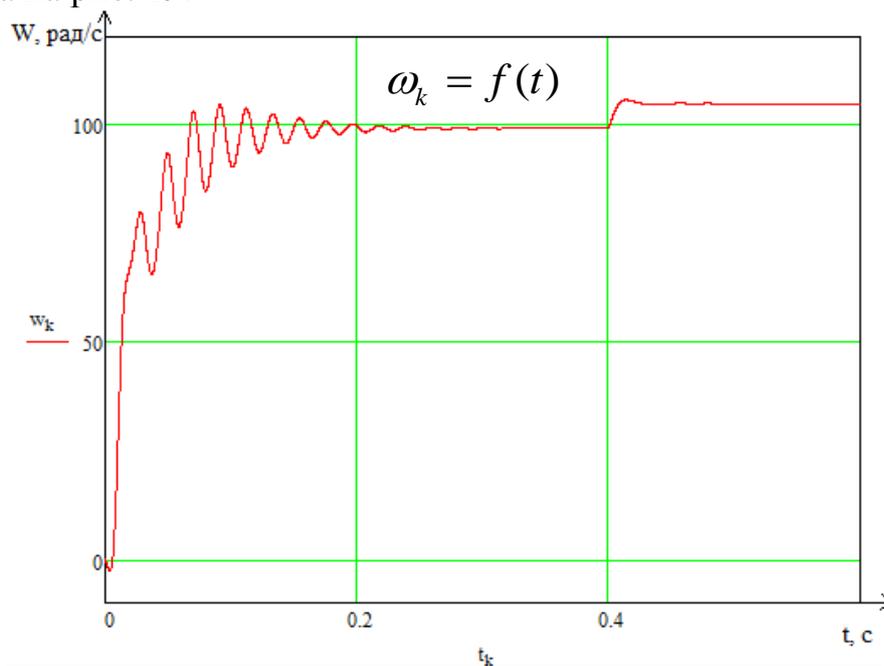


Рисунок 19 - Переходный процесс скорости при пуске под нагрузкой и сбросе нагрузки

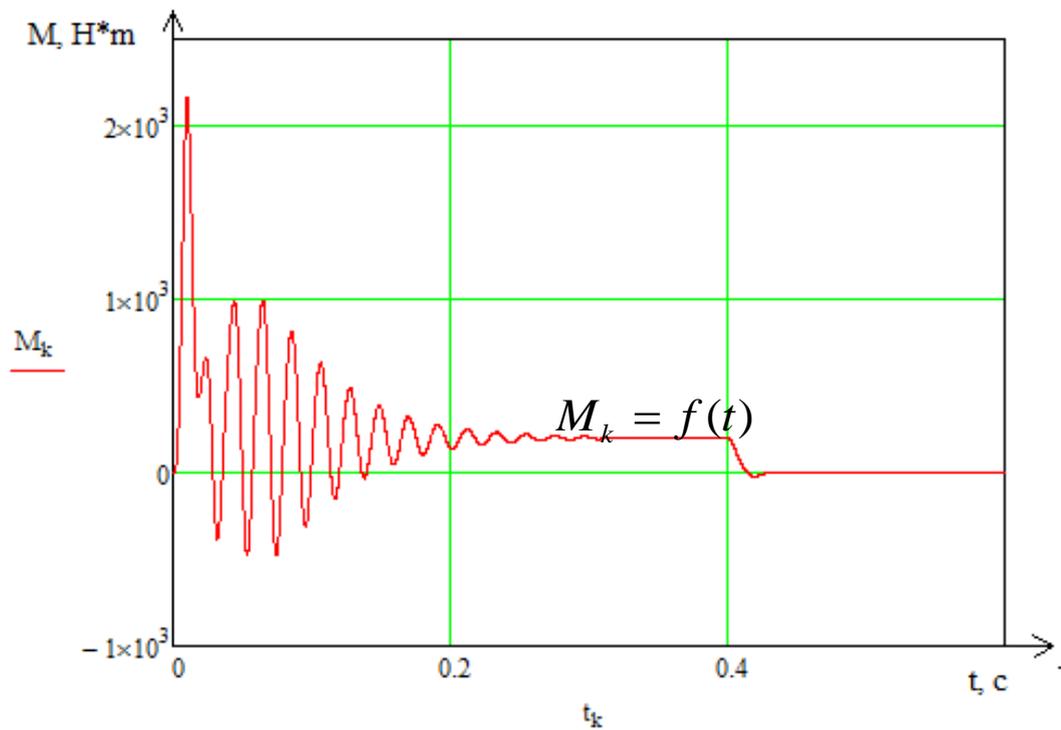


Рисунок 20 - Переходный процесс момента при пуске под нагрузкой и сбросе нагрузки

9. Моделирование электропривода ленточного конвейера на базе ир - ад в компьютерной среде matlab 2013a

9.1. Система управления ленточного конвейера на базе ИР – АД

Система управления разработана в программной среде MATLAB 2013a (рисунок 21).

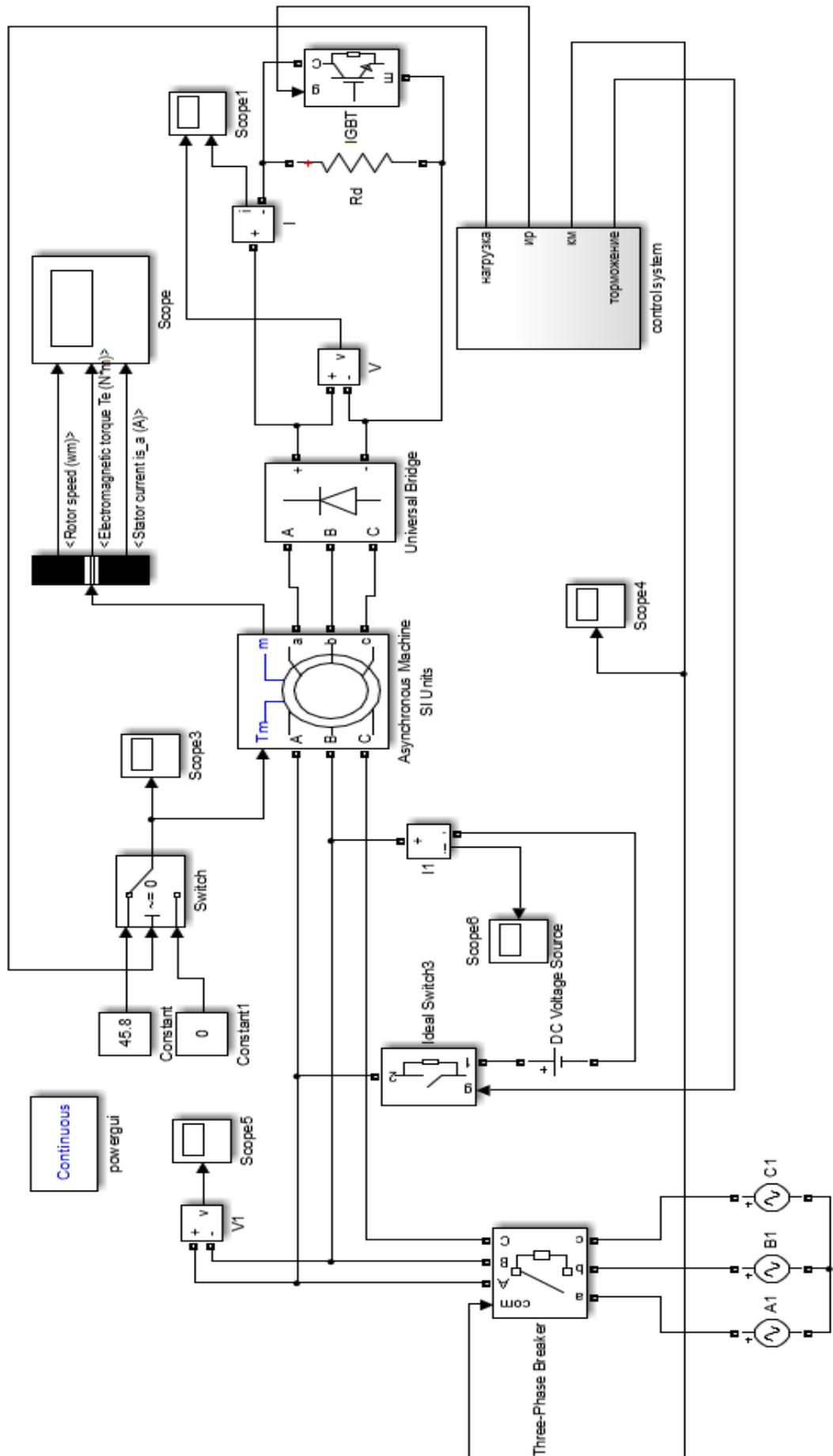


Рисунок 21а – система управления ИР – АД (общий вид схемы)

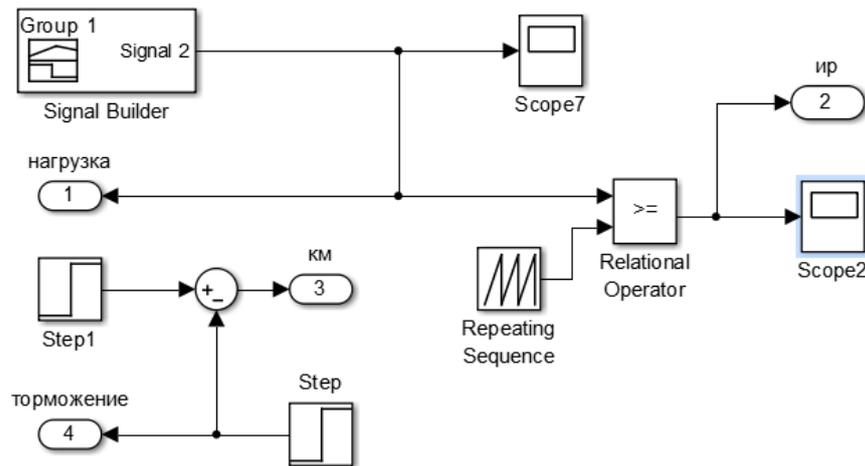


Рисунок 21б – Блок системы управления ИР – АД

9.2. Пуск ЭП на холостом ходу

Выполним моделирование электропривода на холостом ходу и обеспечим а) пуск напрямую и б) плавный пуск. Плавный пуск производится плавно, увеличивая скважность γ транзисторного ключа. Пуск напрямую осуществляется за счет того, что сразу подается конечное значение скважности γ на транзисторный ключ. Результаты моделирования представлены на рисунках 22а-б и 23а-б.

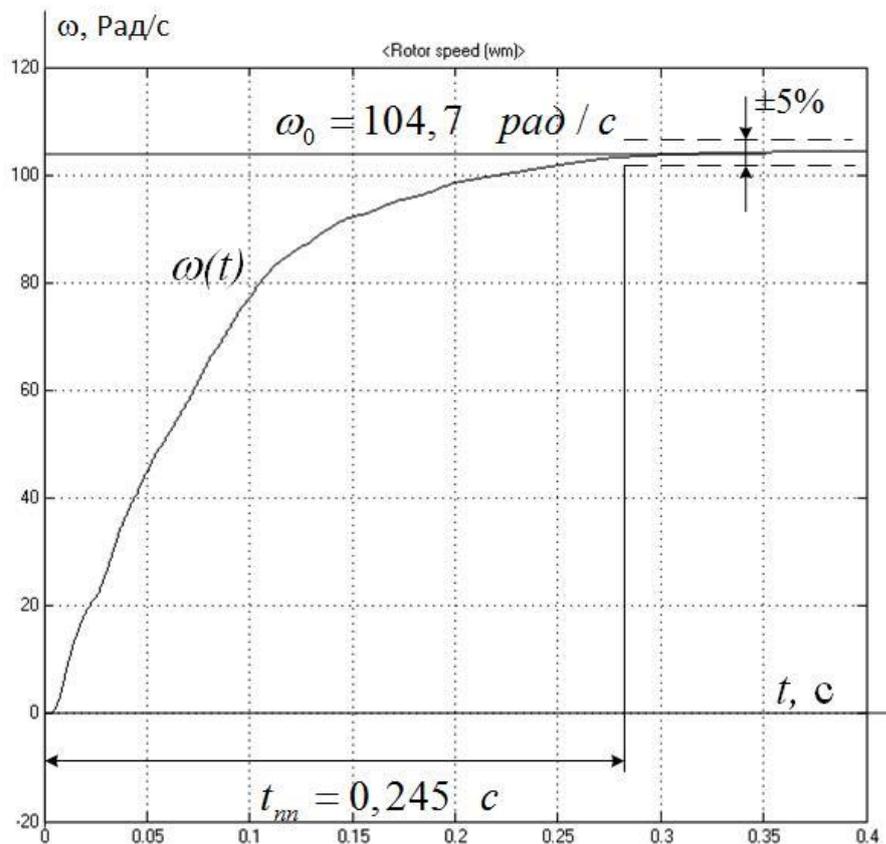


Рисунок 22а – зависимость скорости от времени $\omega(t)$ при пуске напрямую

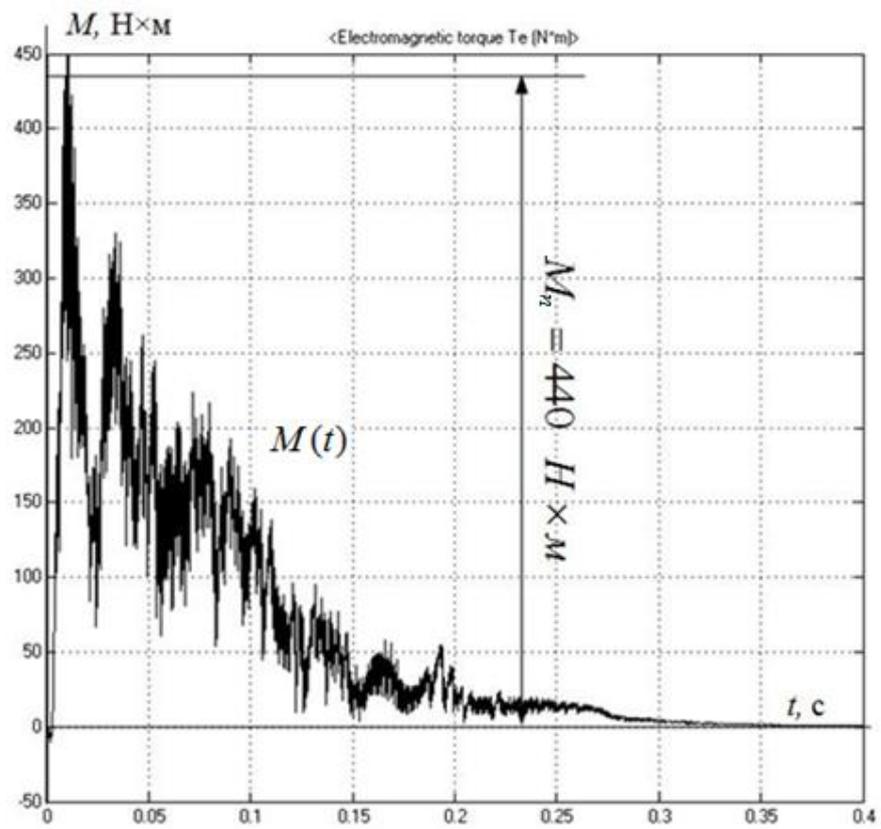


Рисунок 22б – зависимость момента от времени $M(t)$ при пуске напрямую $\omega, \text{ рад} / \text{с}$

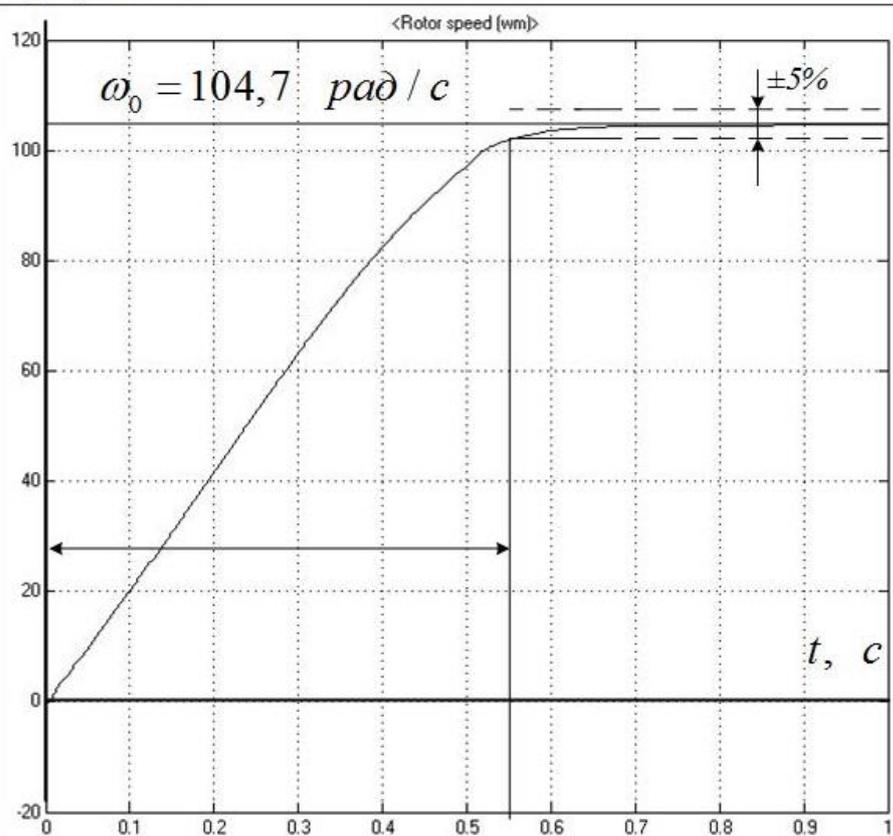


Рисунок 23а – зависимость скорости от времени $\omega(t)$ при плавном пуске

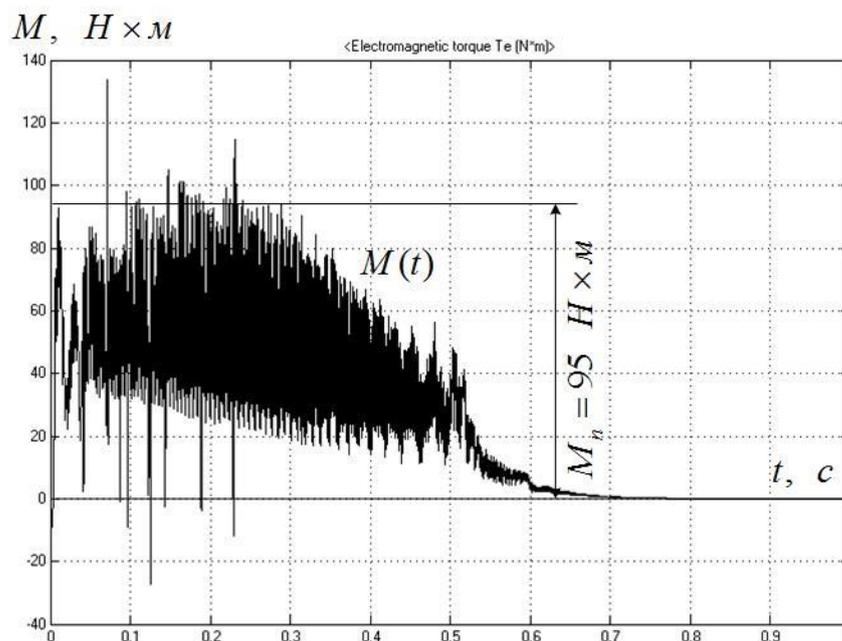


Рисунок 23б – зависимость момента от времени $M(t)$ при плавном пуске

Проанализировав полученные характеристики, видно что момент двигателя при плавном пуске значительно меньше, чем при прямом пуске двигателя, что положительно сказывается на механической части привода. Но при этом время переходного процесса t_{nn} увеличивается.

9.3. Пуск ЭП под нагрузкой

Производим пуск электродвигателя под нагрузкой напрямую и плавно. Для этого подаем нагрузку на ЭП. На рисунках 24а – б и 25а – б представлены зависимости скорости, момента и тока от времени.

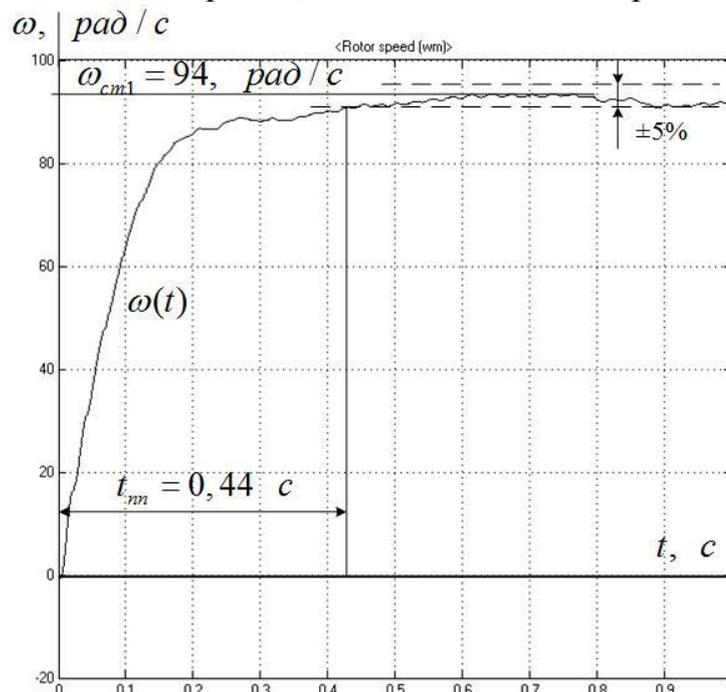


Рисунок 24а – зависимость скорости от времени $\omega(t)$, прямой пуск под нагрузкой

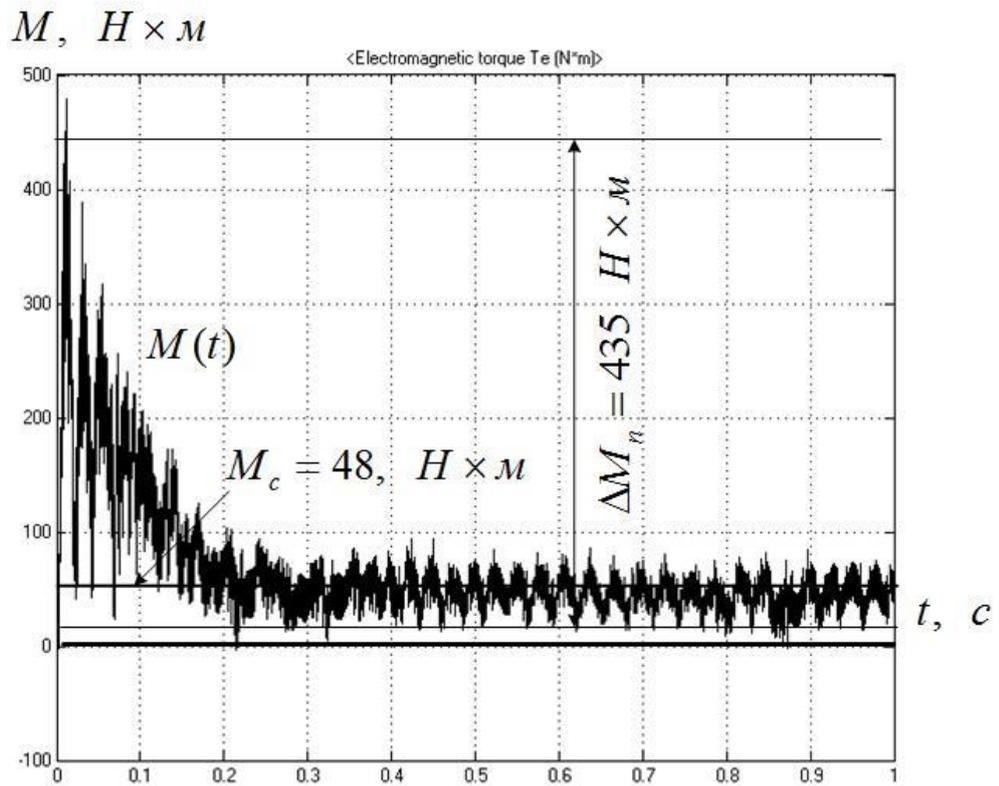


Рисунок 24б – зависимость момента от времени $M(t)$ при прямом пуске под нагрузкой

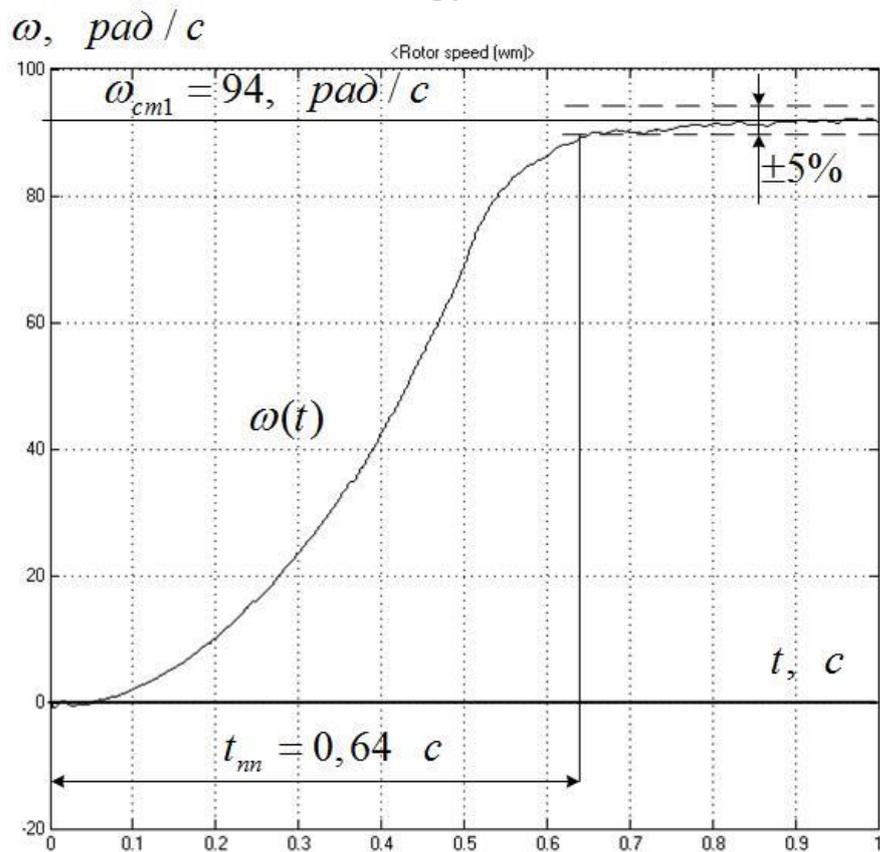


Рисунок 25а – зависимость скорости от времени $\omega(t)$ при плавном пуске под нагрузкой

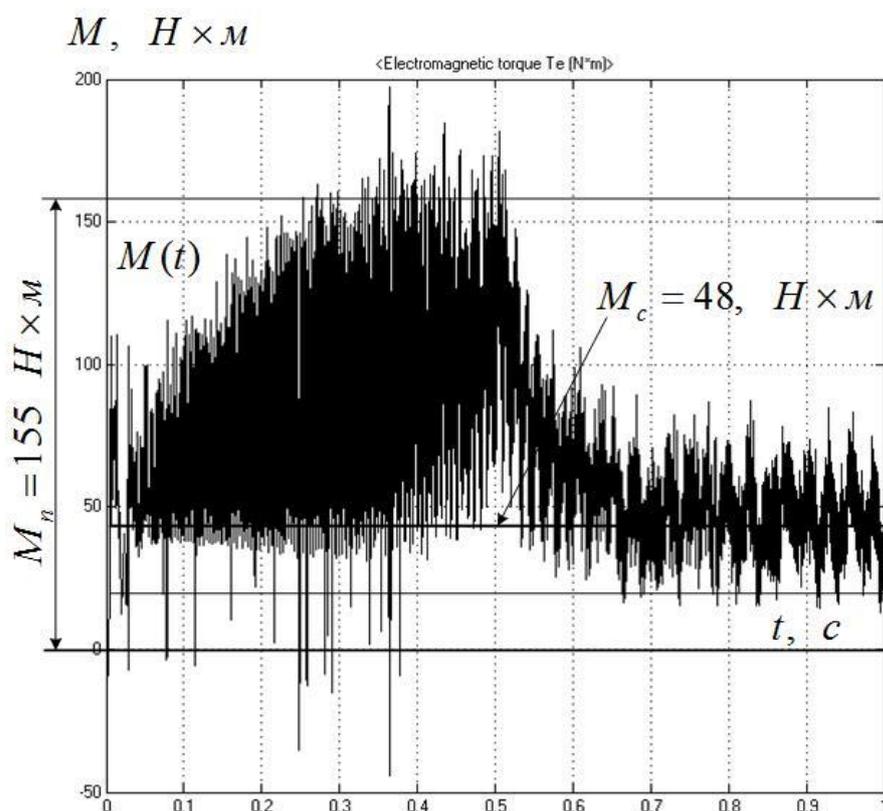


Рисунок 25б – зависимость момента от времени $M(t)$ при плавном пуске под нагрузкой

Проанализировав полученные характеристики сделаем вывод, что при плавном пуске момент намного меньше, чем при прямом пуске, что благоприятно сказывается на механической части привода, но при этом время переходного процесса t_{nn} увеличивается.

9.4. Цикл работы ЭП ленточного конвейера

Смоделируем в программной среде MATLAB 2013a цикл работы ленточного конвейера.

Две скорости электропривода необходимы для того, чтобы наполнить емкость сыпучим грузом с более высокой точностью. Пока емкость пустая, насыпаем груз с большей скоростью, по мере заполнения емкости скорость уменьшается, что позволяет более точно дозировать сыпучие грузы.

Двигатель электропривода работает в 2 скорости, $\omega_{cm1} = 94 \text{ рад/с}$, $\omega_{cm2} = 47 \text{ рад/с}$.

Обеспечим плавный пуск при помощи плавного изменения скважности импульсов γ . Далее для обеспечения необходимой скорости, устанавливаем требуемое значение $\gamma_{cm1} = 0,88$, $\gamma_{cm2} = 0,45$ (рисунок 26).

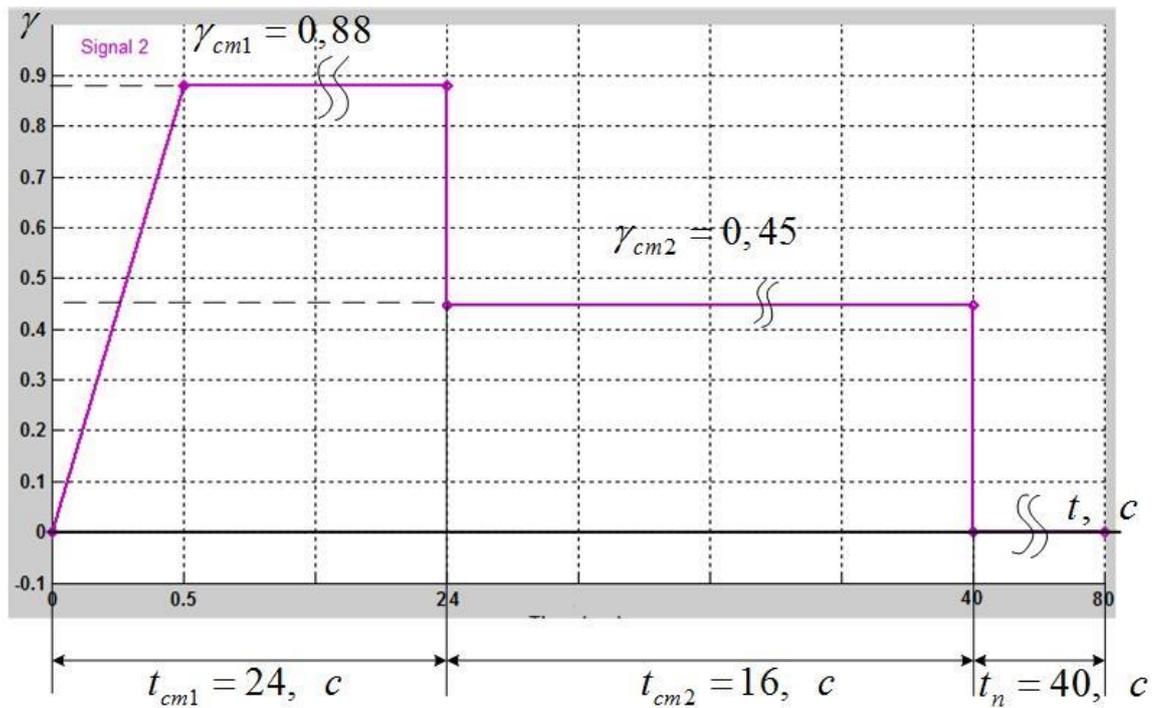


Рисунок 26 – График зависимости $\gamma(t)$

Установив необходимые значения скважности импульсов, чтобы убедиться в правильности работы электропривода снимем зависимости скорости, момента и тока от времени $\omega(t)$, $M(t)$. Данные зависимости представлены на рисунках 27, 28.

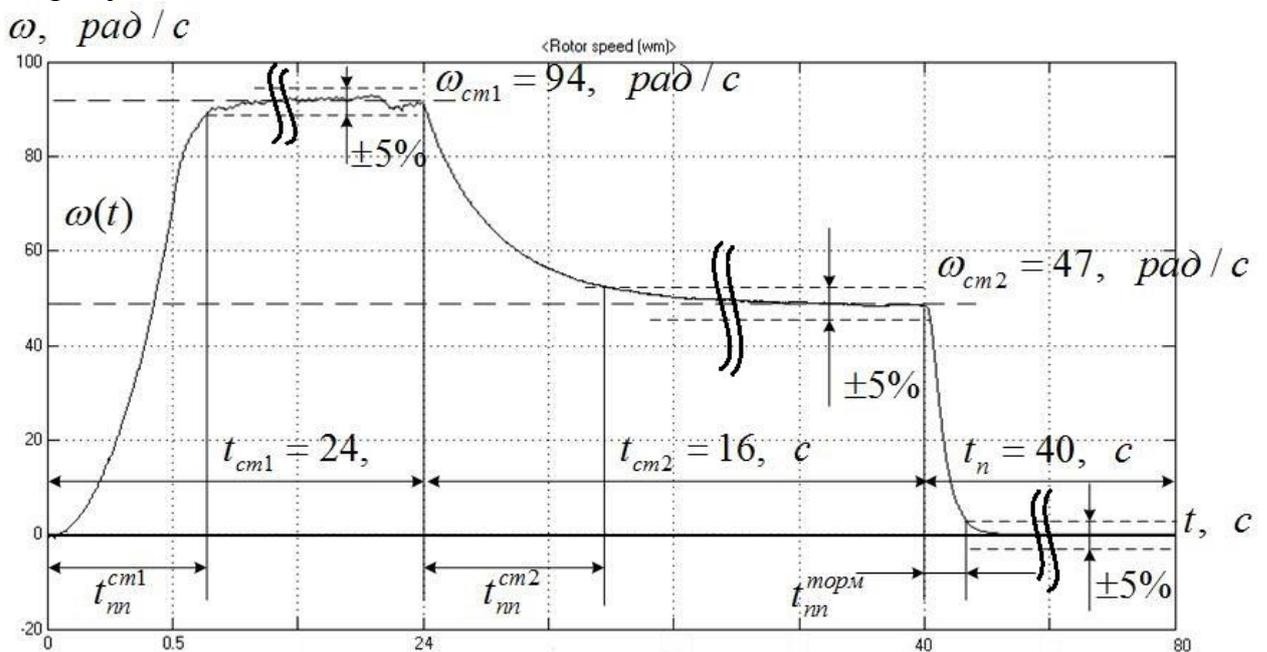


Рисунок 27 – График зависимости скорости от времени $\omega(t)$ за цикл работы электропривода

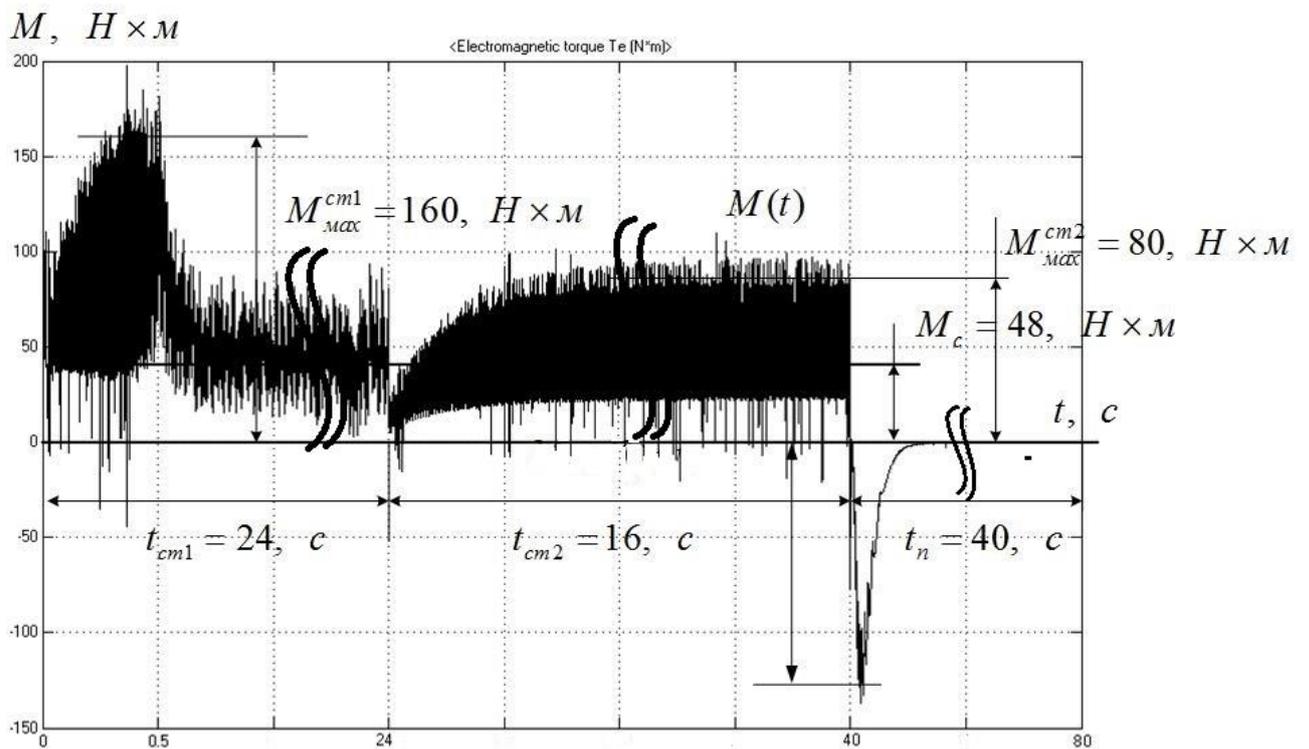


Рисунок 28 – график зависимости момента от времени $M(t)$ за цикл работы электропривода

Для того что бы избавиться от пульсаций, необходимо увеличить частоту импульса, для этого в системе управления в блоке Repeating sequence увеличиваем частоту пульсации методом подбора. На рисунке 29 получен график зависимости момента от времени $M(t)$ при увеличенной частоте пульсации.

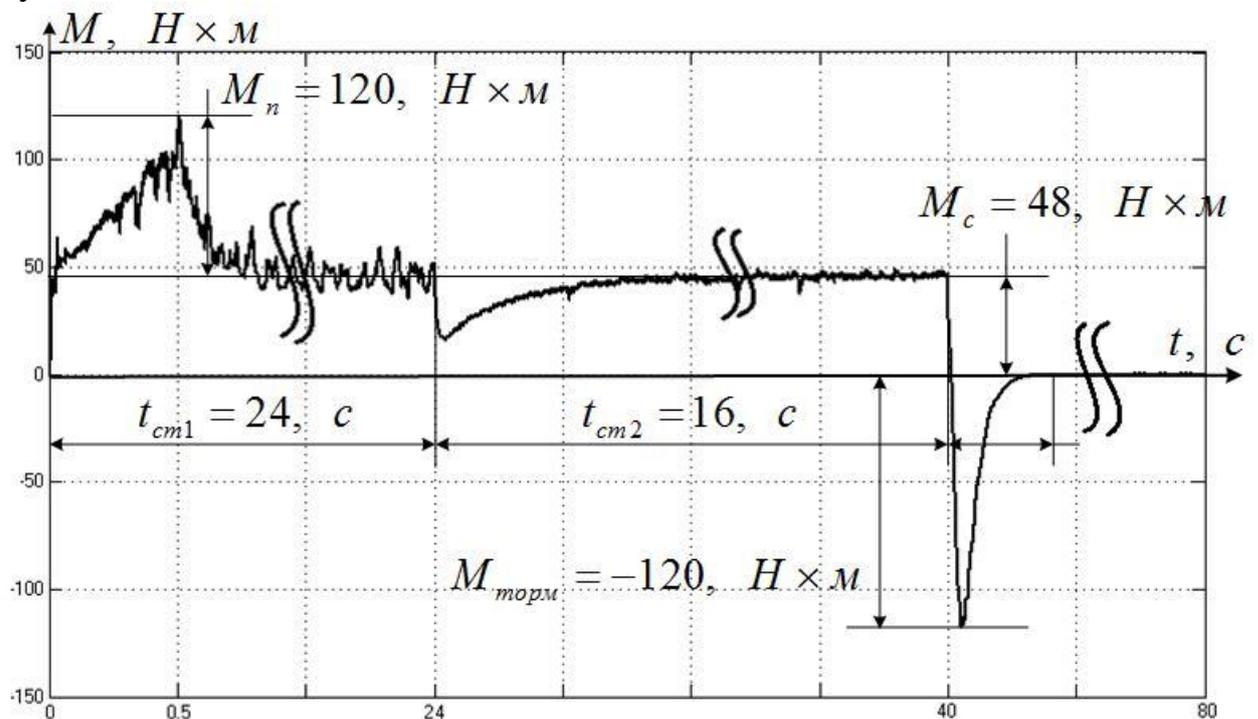


Рисунок 29 - график зависимости момента от времени $M(t)$ за цикл работы электропривода при увеличенной частоте пульсации

Проанализировав полученные графики зависимостей скорости и момента от времени $\omega(t)$, $M(t)$, можно сделать вывод, что модель электропривода выполнена верно, так как были получены необходимые скорости вращения двигателя, при помощи импульсного регулирования.

Обеспечивая плавный пуск, добились невысоких значений момента на валу двигателя, что благоприятно влияет на механическую часть привода.

Скачки момента объясняются тем, что используется импульсное регулирование, с частотой коммутации ключа 5000 Гц.

10. Энергетика асинхронного электропривода

Активная энергия

Установившийся двигательный режим:

Полезный расход энергии (механическая работа):

$$A_{2(1)} = M_{c1} \cdot \omega_{c1} \cdot t_{p1} = 45,819 \cdot 46,1 \cdot 16 = 33810 \text{ Вт} \cdot \text{с};$$

$$A_{2(2)} = M_{c2} \cdot \omega_{c2} \cdot t_{p2} = 45,819 \cdot 94,247 \cdot 24 = 103600 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

Где: $\omega_{r1,2}$, $t_{p1,2}$ – угловая скорость и время установившегося режима. [17, с. 648]

Постоянная составляющая потери энергии:

$$\Delta A_{c1} \approx \Delta P_{cn} \left(\frac{\omega_{c1}}{\omega_n} \right)^2 = 215,571 \cdot \left(\frac{46,1}{98,96} \right)^2 = 46,828 \text{ Вт} \cdot \text{с};$$

$$\Delta A_{c2} \approx \Delta P_{cn} \left(\frac{\omega_{c2}}{\omega_n} \right)^2 = 215,571 \cdot \left(\frac{94,247}{98,96} \right)^2 = 195,528 \text{ Вт} \cdot \text{с};$$

$$\Delta P_{cn} = \Delta P_n - \Delta P_{vn} = 1429 - 1213 = 215,571 \text{ Вт} - \text{ постоянные потери мощности}$$

$$\Delta P_n = P_n \left(\frac{1}{\eta_n} - 1 \right) = 7500 \cdot \left(\frac{1}{0,84} - 1 \right) = 1429 \text{ Вт} - \text{ полные потери мощности}$$

$$\Delta P_{vn} = 3I_n^2 R_1 + 3(I'_{2n})^2 R_2' = M_H \cdot (\omega_0 - \omega_H) \cdot \left(1 + \frac{R_1'}{R_2'} \right) = 98,96 \cdot (104,72 - 98,96) \cdot \left(1 + \frac{0,9}{0,798} \right) = 1213 \text{ Вт}.$$

ΔP_{vn} - переменные потери

$$B = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot (X_1 + X_2')}{U_1} = 1 + \frac{2 \cdot 14,2 \cdot (0,663 + 1,165)}{220} = 1,213 \cdot 10^3;$$

Переменная составляющая потери энергии:

$$\begin{aligned} \Delta A_{v1} &= 3 \cdot [I_0^2 R_1 + (I_2')^2 \cdot (R_1 + R_2')] \cdot t_{p1} = \\ &= 3 \cdot [14,2^2 \cdot 0,9 + 11,641^2 \cdot (0,9 + 0,798)] \cdot 16 = 19760 \text{ Вт} \cdot \text{с}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta A_{v2} &= 3 \cdot [I_0^2 R_1 + (I_2')^2 \cdot (B \cdot R_1 + R_2')] \cdot t_{p2} = \\ &= 3 \cdot [14,2^2 \cdot 0,9 + 11,641^2 \cdot (1,236 \cdot 0,9 + 0,798)] \cdot 24 = 31700 \text{ Вт} \cdot \text{с}; \end{aligned}$$

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2' + R_d'}{s_c} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0,9 + \frac{0,798 + 18,697}{0,055} \right)^2 + (0,663 + 1,165)^2}} = 11,641 \text{ А}.$$

Потребляемая энергия: $A_1 = A_2 + \Delta A_c + \Delta A_v$

$$A_{1(1)} = 33810 + 46,828 + 19760 = 53610 \text{ Вт} \cdot \text{с};$$

$$A_{1(2)} = 103600 + 195,527 + 31700 = 135500 \text{ Вт} \cdot \text{с};$$

$$A_1 = 189200 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

Переходный режим электрического торможения:

$$\Delta A_{\text{сдин}} \approx [\Delta P_{\text{сн}} \left(\frac{\omega_{\text{сп}2}}{\omega_n} \right)^2 + U_B I_B] \cdot t_T = \left[\left(\frac{70,815}{98,96} \right)^2 + 220 \cdot 14,2 \right] \cdot 0,228 = 747,131 \text{ Вт} \cdot \text{с};$$

$$\Delta A_{\text{вдун}} = 3 \cdot (I'_{2\sigma})^2 \cdot (R_1 + R'_2) \cdot t_T = 3 \cdot (3,5)^2 \cdot (0,9 + 0,798) \cdot 0,228 = 14,228 \text{ Вт} \cdot \text{с};$$

$$A_T = \Delta A_{\text{сдин}} + \Delta A_{\text{вдун}} = 747,131 + 14,228 = 761,358 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

Реактивная энергия

Потребление реактивной энергии за цикл:

$$\begin{aligned} A_p &= 3 \cdot [I_0^2 (X_1 + X_\mu) + (I'_2)^2 \cdot (X_1 + X'_2)] \cdot t_{p1} + 3 \cdot [I_0^2 (X_1 + X_\mu) + (I'_2)^2 \cdot (X_1 + X'_2)] \cdot t_{p2} = \\ &= 3 \cdot [14,2^2 (0,663 + 15,445) + (11,641)^2 \cdot (0,663 + 1,165)] \cdot 16 + \\ &+ 3 \cdot [14,2^2 (0,663 + 15,445) + (11,641)^2 \cdot (0,663 + 1,165)] \cdot 24 = \\ &= 273300 \text{ Вт} \cdot \text{с} \end{aligned}$$

X_μ – индуктивное сопротивление намагничивающего контура двигателя

$$X_\mu \approx \sqrt{\left(\frac{U_1}{I_0} \right)^2 - R_1^2 - X_1};$$

Энергетические показатели электропривода

Энергетический (среднецикловый) КПД:

$$\eta = \frac{\sum A_2}{\sum A_1 + \sum A_{\text{мех}}} = \frac{137500}{189200 + 761,358} \cdot 100\% = 72,4\%.$$

Где: $\sum A_1$ – суммарное потребление энергии из сети за цикл;

$\sum A_2$ – суммарный расход полезной энергии за цикл;

Энергетический (среднецикловый) коэффициент мощности:

$$\cos \varphi_\Sigma = \frac{\sum A_1}{\sqrt{(\sum A_1)^2 + (\sum A_p)^2}} = \frac{189200}{\sqrt{(189200)^2 + (273300)^2}} = 0,69.$$

11. Расчет надежности системы

Расчет выполняется на основании коэффициентов, полученных при помощи анализа статистических данных выхода из строя различных узлов, которые входят в систему электропривода. [17, с. 677]

На рисунке 30 представлено разделение элементов на блоки.

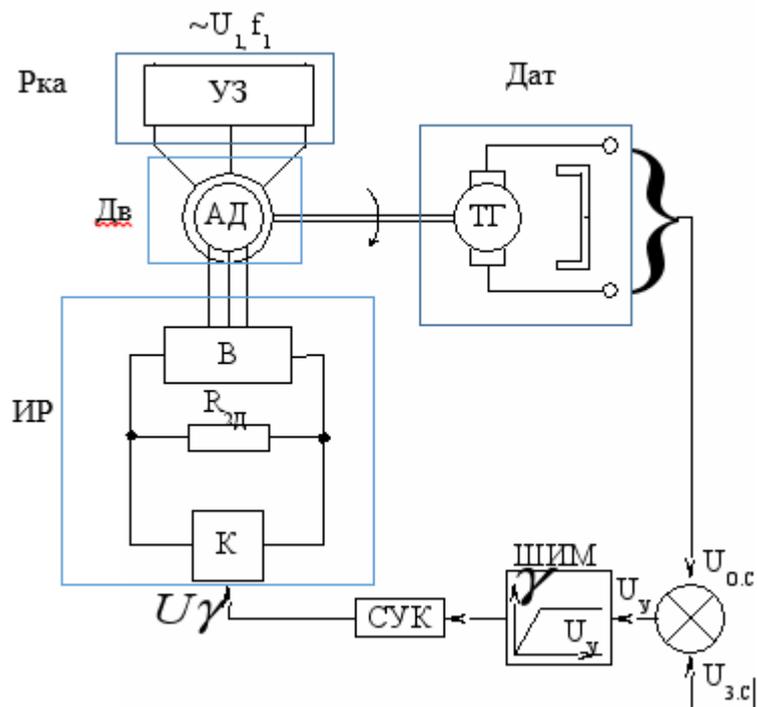


Рисунок 30 – Функциональная схема управления

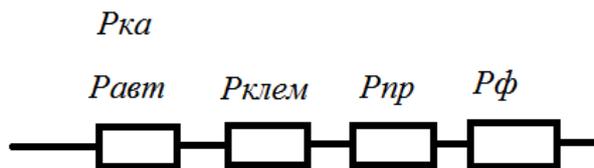


Рисунок 31 – узлы схемы управления

Расчет эффективности отдельных узлов.

Эквивалентный элемент будет равен произведению всех в него состоящих из – за того, что элементы соединены последовательно.

Где: $P_{ка}$ – вероятность безотказной работы коммутационной аппаратуры;

$P_{пр} = 0,999$ – проводники;

$P_{фильтр} = 0,995$ – фильтр;

$P_{авт} = 0,993$ – автоматический выключатель;

$P_{клем} = 0,991$ – клеммы.

Отсюда:

$$P_{ка} = P_{клем} \cdot P_{пр} \cdot P_{фильтр} \cdot P_{авт} = 0,991 \cdot 0,999 \cdot 0,995 \cdot 0,993 = 0,978.$$

Вероятность безотказной работы:

- Импульсного регулятора $P_{ир} = 0,985$;

- Системы управления $P_{су} = 0,984$;

- Асинхронного двигателя $P_{ад} = 0,981$;

- Датчиков $P_{дат} = 0,993$;

Полная вероятность безотказной работы системы:

$$P = P_{ир} \cdot P_{су} \cdot P_{ад} \cdot P_{дат} = 0,978 \cdot 0,985 \cdot 0,984 \cdot 0,981 \cdot 0,993 = 0,923$$

12. Расчет параметров структурной схемы

12.1. Составление структурной схемы регулируемого электропривода

Структурную схему (рисунок 32) составляем на основании [17, с. 507].

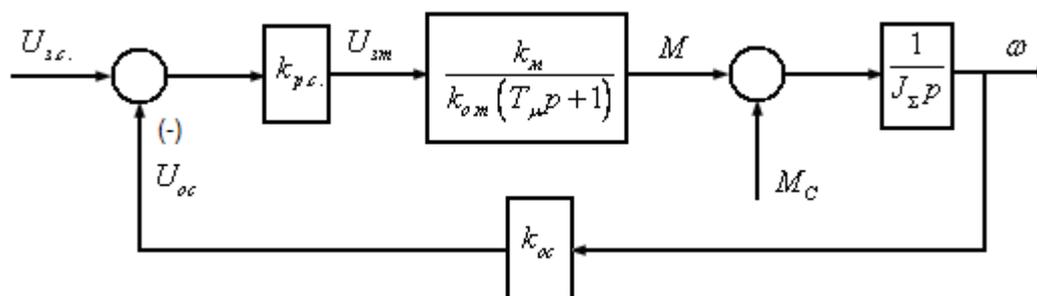


Рисунок 32 – Структурная схема регулируемого электропривода

На схеме (рисунок 32) приняты следующие обозначения:

U_{zc} - напряжение задания на скорость;

U_{zm} - напряжение задания на ток;

U_{oc} - напряжение обратной связи по скорости;

k_{pc} - коэффициент усиления регулятора скорости;

k_{oc} - коэффициент обратной связи по скорости;

k_{om} - коэффициент обратной связи по току;

T_μ - постоянная времени, равная постоянной времени T_0 , соответствующей открытому состоянию транзисторного ключа;

k_m - коэффициент передачи по моменту.

12.2. Расчет коэффициентов усиления и постоянных времени системы

1. Рассчитаем постоянную времени T_μ : [17, с. 505-507]

$$T_\mu = T_0 = \frac{L_{op}}{R_\partial + R_{op}} = \frac{0,75 \cdot 10^{-3}}{2,253 + 3 \cdot 10^{-3}} = 3,324 \cdot 10^{-4} \text{ с},$$

Где: R_∂ - эквивалентное сопротивление, состоящее из следующих слагаемых:

$$R_\partial = 2R_1' + 2R_2 + \frac{3(x_1' + x_2)}{\pi} = 2 \cdot 0,394 + 2 \cdot 0,35 + \frac{3 \cdot (0,29 + 0,511)}{3,14} = 2,253 \text{ Ом}$$

Где: $R_1' = \frac{R_1}{k_e^2} = \frac{0,9}{1,51^2} = 0,394 \text{ Ом}$ - активное сопротивление фазы статора, приведенное к ротору;

$x_1' = \frac{x_1}{k_e^2} = \frac{0,663}{1,51^2} = 0,290 \text{ Ом}$ - индуктивное сопротивление фазы статора, приведенное к ротору.

2. Определим коэффициент передачи по моменту k_M :

$$k_M = \frac{M_H}{I_{d.c.p}} = \frac{94,399}{3,365} = 28,053$$

3. Определим коэффициент обратной связи по току k_{om} :

Для этого задаемся величиной напряжения обратной связи по току

$$U_{от} = 10 \text{ В}.$$

Напряжение обратной связи по току определяется как:

$$U_{от} = k_{om} \cdot I_{d.c.p}$$

Тогда:

$$k_{от} = \frac{U_{om}}{I_{d.c.p}} = \frac{10}{3,365} = 2,971.$$

4. Определим коэффициент обратной связи по скорости k_{oc} :

Для этого задаемся величиной напряжения обратной связи по скорости

$$U_{oc} = 10 \text{ В}.$$

Напряжение обратной связи по скорости определяется как:

$$U_{oc} = k_{oc} \cdot \omega_H.$$

Тогда:

$$k_{oc} = \frac{U_{oc}}{\omega_H} = \frac{10}{98,96} = 0,101.$$

5. Определим коэффициент усиления регулятора скорости k_{pc} .

Для этого сначала определим электромеханическую постоянную времени $T_{м.з}$, которую можно найти из отношения

$$\frac{T_{м.з}}{T_0} = 2,$$

Тогда:

$$T_{м.з} = 2 \cdot T_0 = 2 \cdot 3,324 \cdot 10^{-4} = 6,648 \cdot 10^{-4} \text{ с}.$$

Воспользуемся выражением и определим $\beta_{3.c.} : T_{м.з} = \frac{J_{\Sigma}}{\beta_{3.c.}}$,

$$\beta_{3.c.} = \frac{J_{\Sigma}}{T_{м.з}} = \frac{0,465}{3,324 \cdot 10^{-4}} = 1398,916.$$

В свою очередь $\beta_{3.c.}$ определяется как:

$$\beta_{3.c.} = \frac{k_{oc} \cdot k_{pc} \cdot k_{м}}{k_{от}}.$$

Из этого выражения находим k_{pc} :

$$k_{pc} = \frac{\beta_{3.c.} \cdot k_{от}}{k_{oc} \cdot k_{м}} = \frac{1398,916 \cdot 2,971}{0,101 \cdot 28,053} = 1466,71.$$

6. Определим напряжения задания на скорость $U_{зс}$:

$$U_{зс} = k_{oc} \cdot \left(\omega_H + \frac{M_H}{\beta_{3.c.}} \right) = 0,101 \cdot \left(98,96 + \frac{94,399}{1466,71} \right) = 10,031 B.$$

7. Определим входное напряжение регулятора скорости:

$$U_{вх.р.с} = U_{зс} - U_{oc} = 10,031 - 10 = 0,031 B.$$

8. Определим выходное напряжение регулятора скорости:

$$U_{вых.р.с} = k_{р.с} \cdot U_{вх.р.с} = 1466,71 \cdot 0,031 = 45,468 B.$$

9. Определим входное напряжение регулятора тока:

$$U_{вх.р.т} = U_{вых.р.с} + U_{от} = 45,468 + 10 = 55,468 B.$$

10. Выходным напряжением регулятора тока является напряжение управления транзистором:

$$U_{вых.р.т} = U_{УПР} = 45,468 B.$$

11. Определим коэффициент усиления регулятора тока $k_{р.т}$:

$$k_{р.т} = \frac{U_{вых.р.т}}{U_{вх.р.т}} = \frac{45,468}{55,468} = 0,819.$$

13. Разработка функциональной схемы системы регулируемого электропривода

Силовая схема привода по системе ИР-АД представлена на рисунке 23.

Основные элементы, входящие в функциональную схему:

- СФ – сетевой фильтр;
- $R_{доб}$ – добавочное сопротивление;
- VT1 – транзисторный ключ;
- VD1 – VD6 – неуправляемый выпрямитель;

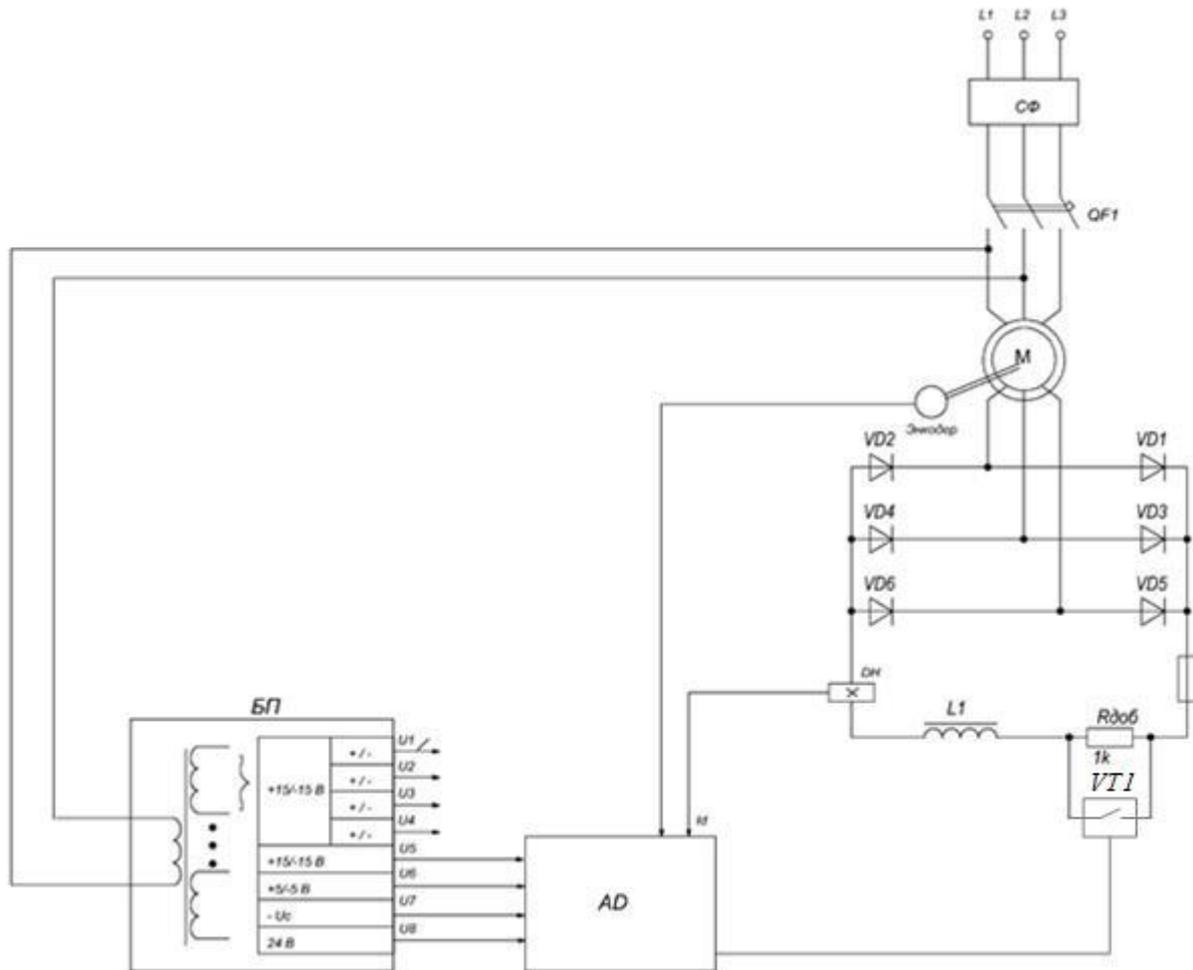


Рисунок 33 - Функциональная схема ИР – АД

Функциональная схема ИР – АД, представленная на рисунке 33, состоит из выпрямителя в цепи ротора асинхронного двигателя, добавочного сопротивления $R_{доб}$ и транзисторного ключа VT1 для импульсного изменения добавочного сопротивления. Напряжение сети U_1 подаётся на фазы статора АД. Одновременно в информационную часть схемы поступает питание (это напряжения U_1-U_8) и затем производится запуск программы управления процессором. Выполняется загрузка.

Происходит запись первоначальных условий в ячейки ОЗУ процессора. Далее определяется способ управления (местное или дистанционное). Если от всех каналов вторичного источника питания, с датчика тока на выходе неуправляемого выпрямителя ДН и напряжение сети U_c , поступает информация о допустимых параметрах, то ЭП готов к работе.

Выпрямленный ток проходит через добавочное сопротивление $R_{доб}$, значение которого изменяется путем закорачивания его с помощью транзисторного ключа VT1. Работа данного ключа происходит при большой частоте переключений с изменяемой скважностью γ . Скважность γ регулируется блоком управления АД в функции сигнала управления.

Для того чтобы устранить обратные напряжения и избавиться от токов ЭДС самоиндукции во время коммутации, параллельно с IGBT транзисторами работают быстродействующие диоды FWD.

Микроконтроллер АД TMS320 2812 управляет силовыми ключами. В данном случае используется широтно-импульсное регулирование, то есть выходное напряжение формируется в виде импульсов переменной за определенное время работы, модулируемых по заданному закону, это позволяет уменьшить содержание высших гармоник. При торможении, когда двигатель остановится, энкодер это зафиксирует и подаст информационный сигнал на микроконтроллер, который в свою очередь закроет ключ.

14. Расчет каналов измерения координат электропривода

На рисунке 34 представлена схема управления регулируемого электропривода по системе ИР – АД.

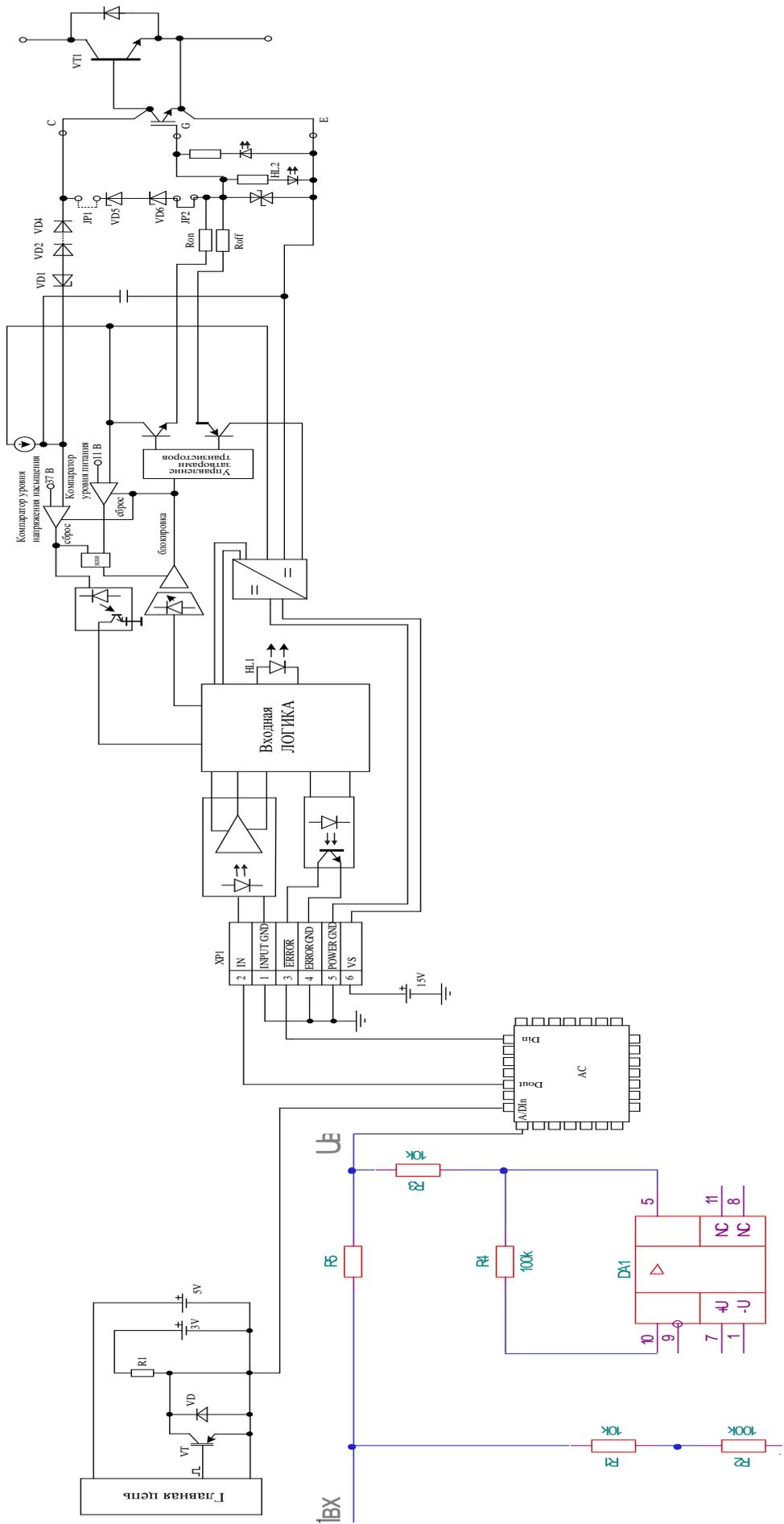


Рисунок 34 – схема управления РЭП

14.1. Расчет канала измерения тока

В качестве датчика тока выберем датчик Холла. Принцип действия данного датчика основан на эффекте Холла. Главным преимуществом датчиков Холла, является наличие гальванической развязки, отсутствие движущихся механических частей и высокой частоте срабатывания (до 100 кГц). Датчики Холла обладают высокой долговечностью, надежностью и не требуют физического контакта с объектом измерения.

Определим ток, проходящий через фазу:

$$I = I_n \cdot k_n \cdot \sqrt{2} \cdot 1,15 = 27,589 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,15 = 112,173 \text{ А}$$

Выбираем датчик тока на эффекте Холла MSA300-S-0004 фирмы NIEAF-SMITT BV [Приложение Г]. Основные технические характеристики датчика приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Основные технические характеристики датчика Холла MSA300-S-0004

Модель	Диапазон, А	U _{пит} , В	I _{вых} , мА	T _{зад} , мкс	Изоляция, кВ	точн., % от I _{номин}
MSA300-S-0004	± 500	± 12	150	<1	6	±0,5

Т.к. выходной сигнал с датчика токовый, его необходимо преобразовать в напряжение, для этого применим преобразователь тока в напряжения и рассчитаем его требуемые сопротивления (рисунок 35)

$$U_{\text{вых}} = k \cdot I_{\text{дх}}; \quad k = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{дх}}} = \frac{3}{150 \cdot 10^{-3}} = 20.$$

$$k = R5 \cdot \left(\frac{R3}{R2} \right); \quad R5 = \frac{k}{\left(\frac{R3}{R2} \right)}; \quad R5 = \frac{20}{\frac{100}{10}} = 2 \text{ Ом.}$$

$$P_{R5} = I^2 \cdot R5 = 0,15^2 \cdot 2 = 0,045 \text{ Вт. Принимаем } P_{\text{ст}}=0,250 \text{ Вт.}$$

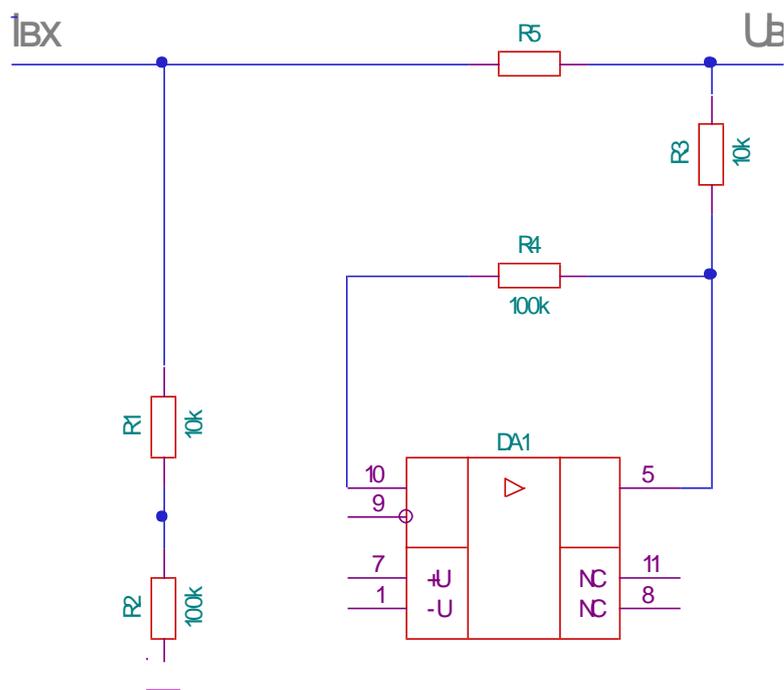


Рисунок 35 – Канал измерения тока

14.2. Расчет канала измерения скорости

В качестве датчика скорости выбираем инкрементальный энкодер фирмы «Промситех» ЕНА – 2000-2-2-5. Его технические характеристики представлены в приложении Д.

Определим максимально допустимое число оборотов выбранного нами энкодера [Приложение Д]:

$$N_{\max} = \frac{f_{\max}}{h} \cdot 60 = \frac{180000}{2000} \cdot 60 = 5400 \text{ об/мин,}$$

Где: N_{\max} – максимально допустимое число оборотов;

f_{\max} – максимальная частота отклика (паспортный параметр);

h – разрешение (смотри приложение Д).

Проверим максимальную частоту энкодера:

Синхронная частота вращения двигателя $n_0 = 1000$ об/мин, примем самые худшие условия, что контур скорости настроен на симметричный оптимум с перегулированием 43%, тогда частота энкодера: $N = 1000 \cdot 1,5 = 1500 \text{ об / мин,}$
 $N_{\max} > N$, условие выполнено.

Схема включения энкодера в цепь управления показана на рисунке 36.

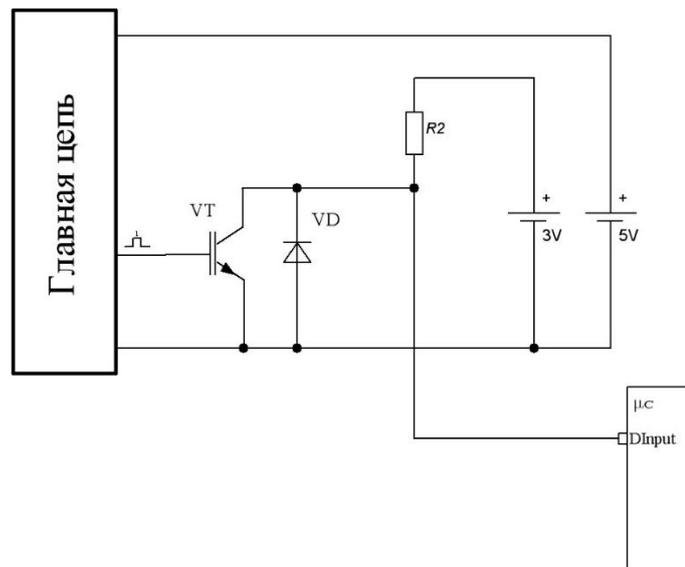


Рисунок 36 – Схема включения энкодера в цепь управления

14.3. Расчет и выбор драйверов силовых ключей

В схемах с большой частотой переключений на смену традиционным электромагнитным реле пришли силовые полупроводники с оптической развязкой. К изделиям этого типа относятся хорошо зарекомендовавшие себя на практике силовые оптронные диоды. Электронный контроль при коммутации мощных нагрузок, организованный на основе микропроцессорных контроллеров, цифровых и линейных управляющих схем получает всё большую популярность. Это, в свою очередь, увеличивает потребность в простых и надёжных интерфейсах между низковольтными схемами управления и нагрузками.

Выбираем драйвер производством фирмы ЗАО "ЭЛЕКТРУМ АВ" ДР1160П-Б, с гальванической развязкой на оптопаре. Его технические характеристики представлены в приложении Е.

Для управления силовыми ключами рекомендована следующая схема включения (рисунок 37).

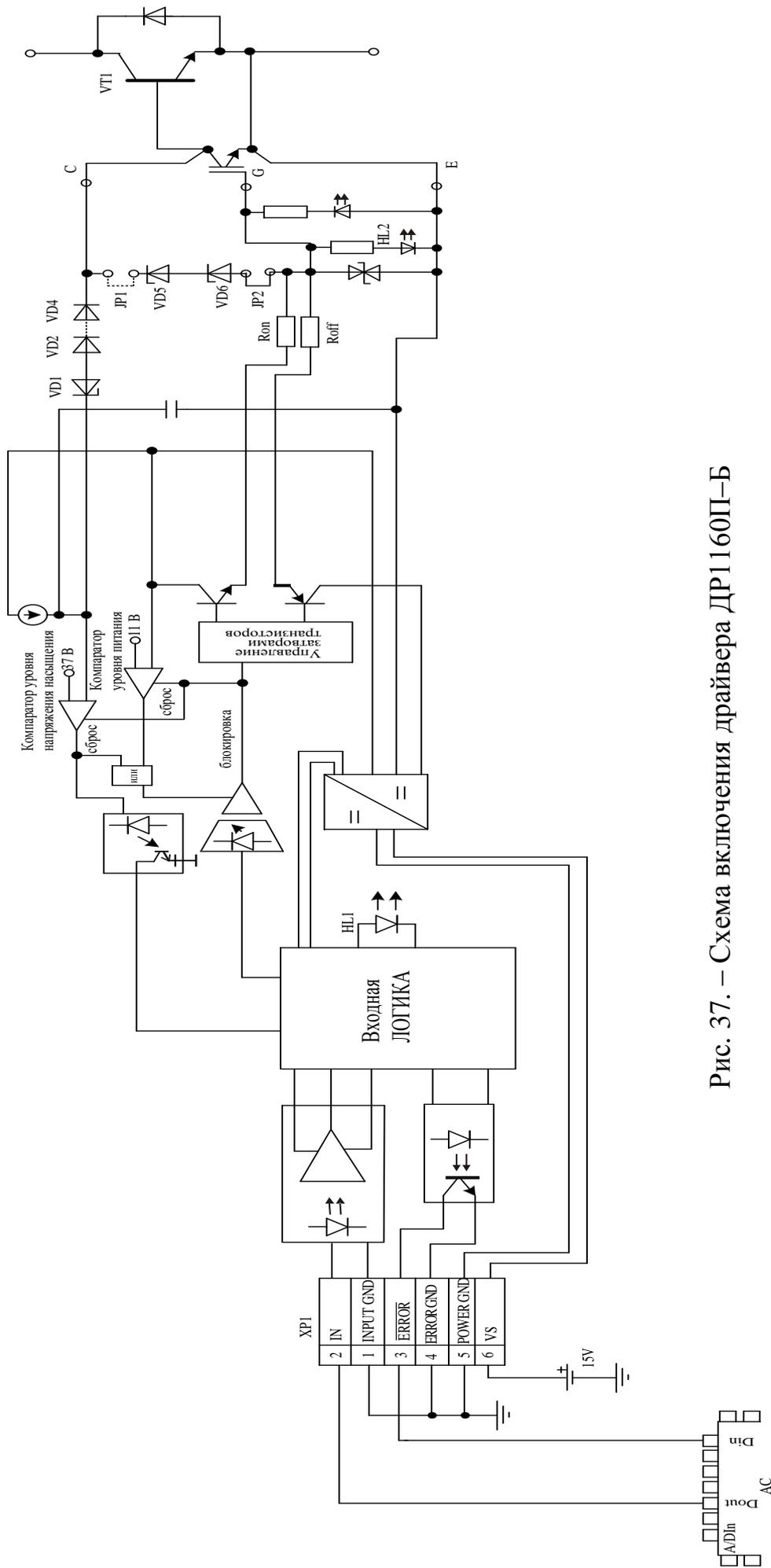


Рис. 37. – Схема включения драйвера ДР1160П–Б

15. Выбор аппаратуры управления и защиты

В качестве аппаратов защиты от токов короткого замыкания используем автоматический выключатель.

Выбираем автомат ВА13-29, $I_{ном} = 31,5 А$. Его технические характеристики представлены на рисунке 38.

Технические характеристики

Наименование параметра	Обозначение параметра				
Серии					
	ВА13-29-22	ВА13-29-23	ВА13-29-32	ВА13-29-33	ВА13-25-32
Число полюсов	2		3		
Номинальный ток (In), А	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63				
Номинальное напряжение (Ue), В	• переменного тока	690		690	
	• постоянного тока	440		-	
Уставка по току в зоне к.з. I/I _п :	на переменном токе	3; 12	12	3; 12	12
	на постоянном токе	6	6	-	-
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение U _{imp} , кВ	6				
Номинальная предельная наибольшая отключающая способность (I _{сн}), кА					
В цепи переменного тока:	400 В	12	12	12	12
	690 В	6	6	6	6
	1000 В	-	-	-	-
В цепи постоянного тока:	400 В	10	10	-	-
Износостойкость	Общая, циклов ВО	20000			
	Коммутационная, циклов ВО	10000			
Отключение независимым расцепителем, циклов	1000				5000
Отключение максимальным расцепителем, циклов	100				
Масса не более, кг	1,4		1,85		1,7
Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность I _{сн} = I _{сн}					

Уставка электромагнитного расцепителя, выделенная жирным шрифтом, является базовой.

* Верхнее значение рабочего напряжения 120% U_e

Рисунок 38 – Технические характеристики автоматического выключателя ВА13-29

Проверка:

$$1. I_{н.расц.} = 31,5 А \geq I_{дл} = I_{ном} = 27,5 А$$

$$2. I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{пуск} = 1,5 \cdot 28,4 = 42,6 А$$

$$\text{Принимаем } I_{кз} = k \cdot I_{ном.расц.} = 7 \cdot 27,5 = 192,5 А.$$

Выбор электромеханического тормоза

Чтобы предотвратить возможные аварии в следствие падения груза необходимо использовать электромеханический тормоз.

Электромеханический тормоз необходим, для того чтобы исключить дальнейшее движение привода после остановки двигателя или при потере питающей сети под действием активной нагрузки.

В качестве электромеханического тормоза выбираем, тормоз INTORQ ВFK454 со следующими параметрами (смотреть приложение Ж):

Номинальный момент торможения – 400 Н·м;

Напряжение питания – Питание от однофазной сети переменного тока.
U_п=220 В

16. Выбор сетевого фильтра

Сетевой фильтр является комбинацией сетевого дросселя и RFI фильтра в одном корпусе. Он уменьшает уровень помех, наводимых в сеть, поэтому уровень допустимых влияний на сеть остается в допустимых пределах EN 61800-3. Выбираем фильтр E94AZMP2004 [8]. Технические характеристики фильтра представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Технические характеристики

Модель	Ток, А	Напряжение, В(~)	Падение напряжения, мА	Габаритные размеры, мм	Вес, кг
E94AZMP2004	200	180 – 550	7,3	485 x 90 x 261	485 x 90 x 261

17. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

17.1. Анализ конкурентных технических решений

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

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

Для сравнения берется два типа исполнения электропривода: преобразователь частоты и импульсный регулятор напряжения. Для сравнения 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 4.

Таблица 4 – Показатели оценки качества проекта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		ИР	ПЧ	$K_{ИР}$	$K_{ПЧ}$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки					
1. Энергопотребление (А)	0,22	7	5	1,54	1,1
2. Помехоустойчивость (Б)	0,16	5	4	0,8	0,64
3. Диапазон регулирования скорости (В)	0,25	8	5	2	1,25
4. Удобство в эксплуатации (Г)	0,16	5	4	0,8	0,64
5. Надежность(Д)	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. В таблице 5 представлено определение коэффициента весомости по методу парного сравнения.

Таблица 5 – 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	7/20=0,35
Б	1	-	1	1	2	5/20=0,25
В	0	1	-	2	2	5/20=0,25
Г	0	1	0	-	2	3/20=0,15
Д	0	0	0	0	-	0/20=0
ИТОГО:	1	3	3	5	8	20

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:

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

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

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

17.2. 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 6.

Таблица 6 – 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 ИР	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, научный проект 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.

18. 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 [3]:

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

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

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

$t_{\max i}$ – 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 необходимо точно рассчитать заработную плату, так как удельный вес заработной платы в общей смете стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}$$

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

$t_{\text{ож}i}$ – 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:

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

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} = \frac{4,2}{1} = 4,2 \approx 4.$$

Данные по продолжительности работ сведены в таблицу 7.

Таблица 7 - Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях T		Длительность работ в календарны	
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{\text{ож}i}$, чел-дни		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	2,4	2,4	1	1	1	1

Продолжение таблицы 7

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

Таблица 8 – 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 рассчитан и построен календарный график (рисунок 39) выполнения работ. Судя по графику, следует вывод, что проектирование нужно начать 8 февраля и закончить 8 мая 2018 года.

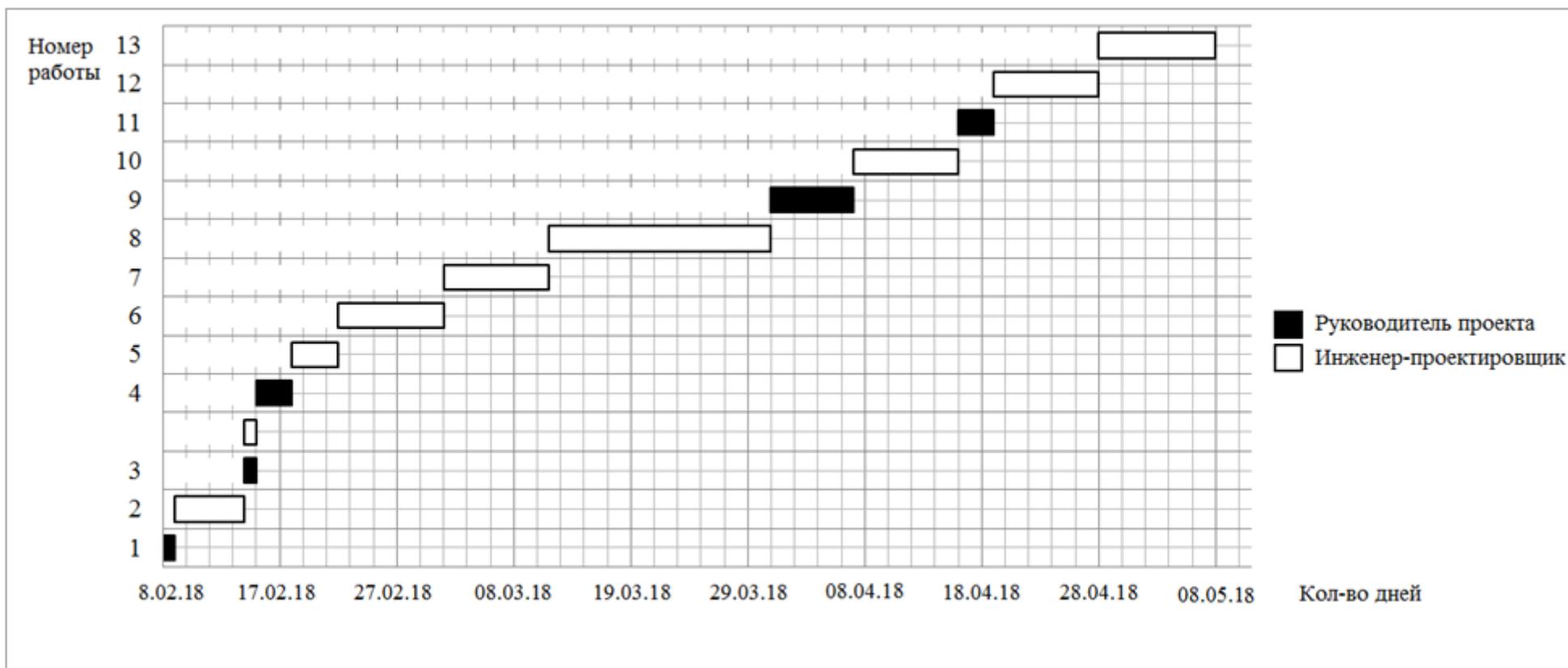


Рисунок 39 - Диаграмма Ганта

19. Бюджет научно – технического проектирование (нп)

Для того, чтобы запланировать бюджет НТП необходимо рассмотреть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. При формировании бюджета НТП 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 компьютерного оборудования, канцелярских принадлежностей, расходных материалов необходимых в работе над проектом.

Пусть срок эксплуатации компьютерного оборудования 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:

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

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

где I – итоговая сумма в тыс. руб.;

m – время использования в днях.

Основная заработная плата исполнителей

В этом разделе 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 данном 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:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p$$

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

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

Рассчитаем среднедневную заработную плату по формуле:

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

Для 5 – дневной недели (инженер-проектировщик):

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

Для 6 – дневной недели (руководитель проекта):

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

где Z_M - месячный должностной оклад работника, руб.:

$$Z_M = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_p$$

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

$k_{\text{пр}}$ - премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\text{д}}$ - 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.

$F_{\text{д}}$ - действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 9.

Таблица 9 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{мс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	k_p	Z_M , руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель проекта	20800	0,3	0,2	1,3	40560	1707,8	11	18785,8
Проектировщик	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	52	90641,2
Итого:								109427

Дополнительная заработная плата исполнителей

По формуле находится дополнительная заработная плата:

$$Z_{\text{дон}} = k_{\text{дон}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

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

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле:

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

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

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

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:

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

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

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

Формирование бюджета затрат научно – технического проектирования

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

Таблица 10 – Бюджет затрат НТП

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 НТП	188952,38	100

Сформировав таблицу результатов, был сделан вывод, что бюджет затрат НТП равен 186917,38 руб. Как и упоминалось ранее, основной процент бюджета затрат НТП составляет основная заработная плата – 58,6%, а самый малый процент занимает амортизация – 1,7%.

Вывод по разделу «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В результате выполнения задания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен анализ конкурентных технических решений и выбран тип исполнения электропривода.

Далее составлен план – график выполнения работ каждого из участников: руководителя проекта и инженера-проектировщика. В итоге получены 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;

Рассчитан бюджет НТП, который необходим для осуществления данного проекта. Он составил 188952,38 руб.

Реализация электропривода конвейерной ленты является очень актуальной для многих предприятий благодаря уменьшению энергозатрат.

20. Социальная ответственность

20.1. Введение

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

Для выпускной квалификационной работы была выбрана следующая тема: «Электропривод ленточного конвейера на базе импульсный регулятор – асинхронный двигатель с фазным ротором».

20.2. 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 [28]. 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 [21], при работе в условиях недостаточной освещённости, связанным с временем суток и погодными условиями. Пониженная контрастность в взаимодействии с плохой освещенность является наиболее опасным для зрительных органов работника и может привести к травмам, при работе с движущимися частями установки [21]. Простым решением для снижения риска является покраска отдельных частей установки в различные отчетливо видные 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.

20.2.1. 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. [21]

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 11.

Таблица 11 – 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 противозумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

20.2.2. 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. [23]

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 устанавливают 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 12 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 12 – Нормируемые значения КЕО

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом
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 %.

20.2.3. Микроклимат

Помещение цеха характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 13.

Таблица 13 - 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 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 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.

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.

20.2.4. Метеорологические условия

Говоря о биосфере в целом, необходимо отметить, что человек обитает в самом нижнем, прилегающем к Земле слое атмосферы, который называется тропосферой.[34]

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 $1,8 \text{ м}^2$) 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.

20.3. 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 [30 - 33].

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 устанавливаются 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, клиноремённые 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).

20.3.1. 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. [24]

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.

20.3.2. 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 [33]:

- 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.

20.3.3. 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».[26]

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 [26] на 800 м² защищаемой площади рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых огнетушителей. Для лаборатории достаточно одного двухкилограммового огнетушителя ОП.

20.4. 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) [35]: 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 [36]. 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 ртути 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 направляет 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.

20.5. 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 [25], 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.

20.6. 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 [36] 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 [36 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.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной выпускной квалификационной работы, разработан регулируемый электропривод ленточного конвейера с регулированием скорости на основе системы «импульсный регулятор – асинхронный двигатель с фазным ротором».

В ходе работы был выбран двигатель серии МТМ, мощностью 7,5кВт. Для данного двигателя были построены искусственные и естественные механические и электромеханические характеристики. Была составлена схема управления транзисторным ключом, выбраны полупроводниковые приборы, произведен тепловой расчет полупроводниковых приборов, рассчитаны каналы измерения тока и скорости, выбраны датчики тока и скорости, драйвер для транзисторного ключа, выбрана аппаратура защиты и управления, сетевой фильтр и электромеханический тормоз для остановки привода при отключении питающего напряжения.

Достоинством данного способа регулирования является простота в технической реализации регулирования скорости асинхронного двигателя с фазным ротором. Использование импульсного способа управления позволяет в ряде случаев осуществлять регулирование координат электропривода с помощью более простых схем управления, что является выгодным с экономической точки зрения.

Основным недостатком является то, что средняя скорость АД зависит от момента нагрузки на его валу. Работа на механических характеристиках отличается существенными перепадами скорости при возможных колебаниях момента нагрузки.

В данный момент тема ВКР актуальна, так как на многих предприятиях используются конвейеры с асинхронными двигателями с фазным ротором, которые еще не выработали свой ресурс. Менять их на другие двигатели не целесообразно, так как новое оборудование и системы управления дорогостоящие. Внедрив импульсное регулирование, можно значительно сэкономить финансовые средства, так как системы на основе «импульсный регулятор – асинхронный двигатель с фазным ротором» гораздо проще в эксплуатации и обслуживании, потому что в них нет необходимости ставить добавочное сопротивление и ключи в каждую фазу.

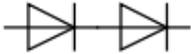
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта: Учебник для ВУЗов / Р.Л.Зенков, И.И.Ивашков, Л.Н.Колобов. – М.: «Машиностроение», 1987. – 432с
- 2 Онищенко Г.Б., Аксенов М.И., Грехов В.П., Зарицкий М.Н., Куприков А.В., Нитиевская А.И. Автоматизированный электропривод промышленных установок / Г.Б.Онищенко, М.И.Аксенов, В.П.Грехов, М.Н.Зарицкий, А.В.Куприков, А.И.Нитиевская – М.: РАСХН, 2001. – 520с
- 3 Выбор электропривода конвейеров [Электронный ресурс]: Школа для электрика. [Интернет-сайт] – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.electricalschool.info/elprivod/1158-vybor-jelektroprivoda-konvejjerov.html>, свободный. – Загл. с экрана.
- 4 Расчет ленточного конвейера [Электронный ресурс]: Собрание рефератов [Интернет-сайт] – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.alversch.ru/proizvodstvo-i-texnologii/lentochnyj-konvejer.html>, свободный. – Загл. с экрана.
- 5 Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для ВУЗов / М.П.Белов, В.А.Новиков, Л.Н.Рассудов. – 3-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 576с.
- 6 Каталог узлов ленточных стационарных конвейеров. ОАО «Первоуральский завод горного оборудования», 2010г. – 60с.
- 7 Бурцев А. Г., Матюнина Е. В. Автоматизация процесса дозирования сыпучего материала с учетом заданного расхода воды и флотореагента // Молодой ученый. — 2016. — №10. — С. 134-137.
- 8 Гусев Н.В., Нечаев М.А., Ляпушкин С.В., Коваленко М.В. Комплексная автоматизация технологических процессов. Лабораторный практикум: учебное пособие / Н.В.Гусев, М.А.Нечаев, С.В.Ляпушкин, М.В.Коваленко – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 143 с.
- 9 Качин С.И., Чернышев А.Ю., Качин О.С. Электрический привод: учебно-методическое пособие. – Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2009г. – 157 с.
- 10 Москаленко. В.В. Электрический привод. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368с.
- 11 Шикуть Э.В., Крайцберг М.И., Фукс П.А., Газганов А.Э. Импульсный регулируемый электропривод с фазными электродвигателями. – М: Энергия, 1972. – 104 с.
- 12 Мейстель А.М., Найдис В.А. Комплектные тиристорные устройства для управления асинхронным электроприводами. М.: - «Энергия» 1971г., -120с.
- 13 IGBT. <http://igbt.ru/>. Дата обращения: 25.10.18г.

- 14 Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П., Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч 4. Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003, - 152 с.
- 15 Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. - 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 704 с.: ил.
- 16 Браславский И.Я., Ишматов З.Ш. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М.: Академия, 2004г., - 256 с.
- 17 Мишуров В.С. Устройства преобразовательной техники: Методические указания по выполнению курсового проекта. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2002. – 127 с.
- 18 ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
- 19 ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
- 20 ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»
- 21 Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
- 22 ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т «Пожарная безопасность. Общие требования»
- 23 СП 9.13130.2009«Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»
- 24 Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
- 25 СНиП П-12-77. «Защита от шума»
- 26 СНиП 2.04. 05-91. «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
- 27 ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
- 28 ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. «Обучение работающих безопасности труда»
- 29 ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление»
- 30 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
- 31 Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных»
- 32 Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств»
- 33 ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».

ПРИЛОЖЕНИЕ А

N		Datenblatt / Data sheet	power electronics in motion eupec		
Netz-Dioden-Modul Rectifier Diode Module		DD171N			
		DD171N ND171N	DD171N..K...-A	DD171N..K...-K	
Elektrische Eigenschaften / Electrical properties					
Höchstzulässige Werte / Maximum rated values					
Periodische Spitzenspannung repetitive peak reverse voltages	$T_{vj} = -40^{\circ}\text{C} \dots T_{vj\text{max}}$	V_{RRM}	1200 1600	1400 1800	V V
Stoßspitzenspannung non-repetitive peak reverse voltage	$T_{vj} = +25^{\circ}\text{C} \dots T_{vj\text{max}}$	V_{RSM}	1300 1700	1500 1900	V V
Durchlaßstrom-Grenzeffektivwert maximum RMS on-state current		I_{FRM}		270	A
Dauergrenzstrom average on-state current	$T_C = 100^{\circ}\text{C}$	I_{FAVM}		171	A
Stoßstrom-Grenzwert surge current	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}, t_p = 10 \text{ ms}$ $T_{vj} = T_{vj\text{max}}, t_p = 10 \text{ ms}$	I_{FSM}		6.600 5.600	A A
Grenzlastintegral I ² -value	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}, t_p = 10 \text{ ms}$ $T_{vj} = T_{vj\text{max}}, t_p = 10 \text{ ms}$	I^2t		218.000 157.000	A ² s A ² s
Charakteristische Werte / Characteristic values					
Durchlaßspannung on-state voltage	$T_{vj} = T_{vj\text{max}}, i_F = 500 \text{ A}$	v_F	max.	1,26	V
Schleusenspannung threshold voltage	$T_{vj} = T_{vj\text{max}}$	$V_{(TO)}$		0,75	V
Ersatzwiderstand slope resistance	$T_{vj} = T_{vj\text{max}}$	r_F		0,8	mΩ
Sperstrom reverse current	$T_{vj} = T_{vj\text{max}}, v_{Rt} = V_{RRM}$	i_R	max.	20	mA
Isolations-Prüfspannung insulation test voltage	RMS, f = 50 Hz, t = 1 sec RMS, f = 50 Hz, t = 1 min	V_{ISO}		3,0 2,5	kV kV
Thermische Eigenschaften / Thermal properties					
Innerer Wärmewiderstand thermal resistance, junction to case	pro Modul / per Module, $\Theta = 180^{\circ}$ sin pro Zweig / per arm, $\Theta = 180^{\circ}$ sin pro Modul / per Module, DC pro Zweig / per arm, DC	R_{thJC}	max.	0,130 0,260 0,126 0,252	^o C/W ^o C/W ^o C/W ^o C/W
Übergangs-Wärmewiderstand thermal resistance, case to heatsink	pro Modul / per Module pro Zweig / per arm	R_{thCH}	max.	0,03 0,06	^o C/W ^o C/W
Höchstzulässige Sperrschichttemperatur maximum junction temperature		$T_{vj\text{max}}$		150	^o C
Betriebstemperatur operating temperature		$T_{C\text{op}}$		-40...+150	^o C
Lagertemperatur storage temperature		T_{thj}		-40...+150	^o C
prepared by: C. Drilling		date of publication: 30.04.03			
approved by: J. Novotny		revision: 1			
BIP AC / 88-01-18, Spec		A17/88		Seite/page 1/9	

N		Datenblatt / Data sheet	power electronics in motion eupec	
Netz-Dioden-Modul Rectifier Diode Module		DD171N		
Mechanische Eigenschaften / Mechanical properties				
Gehäuse, siehe Anlage case, see annex			Seite 3 page 3	
Si-Element mit Druckkontakt Si-pellet with pressure contact				
Innere Isolation internal insulation			AIN	
Anzugsdrehmoment für mechanische Anschlüsse mounting torque	Toleranz ±15%	M1	6	Nm
Anzugsdrehmoment für elektrische Anschlüsse terminal connection torque	Toleranz ±10%	M2	6	Nm
Gewicht weight		G	typ. 310	g
Kriechstrecke creepage distance			15	mm
Schwingfestigkeit vibration resistance	f = 50 Hz		50	m/s ²
	file-No.		E 83336	
BIP AC / 88-01-18, Spec	A17/88		Seite/page	2/9

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

IGBT MODULE (N series)

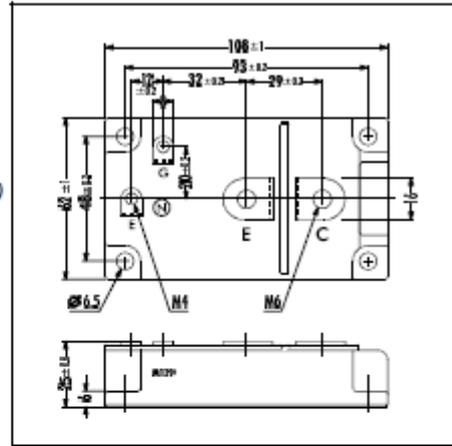
■ Outline Drawing

■ Features

- Square RBSOA
- Low Saturation Voltage
- Less Total Power Dissipation
- Improved FWD Characteristic
- Minimized Internal Stray Inductance
- Overcurrent Limiting Function (~3 Times Rated Current)

■ Applications

- High Power Switching
- A.C. Motor Controls
- D.C. Motor Controls
- Uninterruptible Power Supply



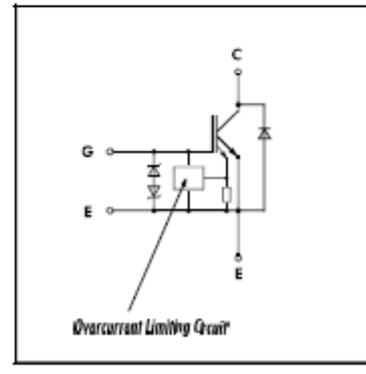
■ Maximum Ratings and Characteristics

• Absolute Maximum Ratings (T_c=25°C)

Items	Symbols	Ratings	Units
Collector-Emitter Voltage	V _{CE(S)}	600	V
Gate-Emitter Voltage	V _{GE(S)}	± 20	V
Collector Current	Continuous	I _C	600
	1ms	I _{C PULSE}	1200
	Continuous	-I _C	600
	1ms	-I _{C PULSE}	1200
Max. Power Dissipation	P _C	2000	W
Operating Temperature	T _J	+150	°C
Storage Temperature	T _{stg}	-40 ~ +125	°C
Isolation Voltage	V _{is}	2500	V
Screw Torque	Mounting *1	3.5	Nm
	Terminals *2	4.5	
	Terminals *3	1.7	

Note: *1 Recommended Value; 2.5 ~ 3.5 Nm (M3) or (M4)
 *2 Recommended Value; 3.5 ~ 4.5 Nm (M2)
 *3 Recommended Value; 1.3 ~ 1.7 Nm (M4)

■ Equivalent Circuit



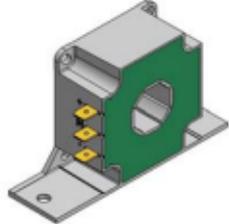
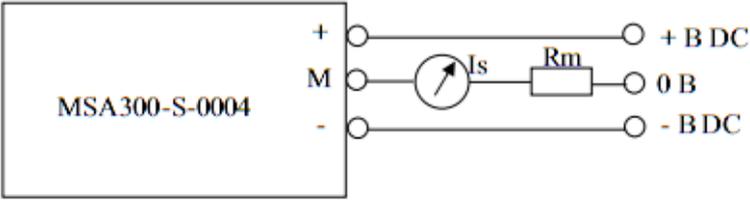
• Electrical Characteristics (at T_J=25°C)

Items	Symbols	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Zero Gate Voltage Collector Current	I _{CE(S)}	V _{GE} =0V V _{CE} =600V			4.0	mA
Gate-Emitter Leakage Current	I _{GES}	V _{CE} =0V V _{GE} =± 20V			60	μA
Gate-Emitter Threshold Voltage	V _{GE(th)}	V _{CE} =20V I _C =600mA	4.5		7.5	V
Collector-Emitter Saturation Voltage	V _{CE(sat)}	V _{GE} =15V I _C =600A			2.8	V
Input capacitance	C _{iss}	V _{CE} =0V		39600		pF
Output capacitance	C _{oss}	V _{CE} =10V		8600		
Reverse Transfer capacitance	C _{res}	f=1MHz		4000		
Turn-on Time	t _{on}	V _{CE} =300V	0.6	1.2		μs
	t _{tr}	I _C =600A	0.2	0.6		
Turn-off Time	t _{off}	V _{CE} =± 15V	0.6	1.0		μs
	t _{tr}	R _θ =2.7Ω	0.2	0.35		
Diode Forward On-Voltage	V _F	I _C =600A V _{GE} =0V			3.0	V
Reverse Recovery Time	t _r	I _C =600A			300	ns

• Thermal Characteristics

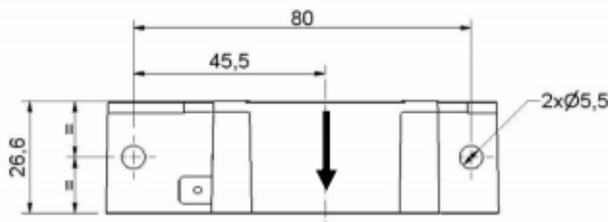
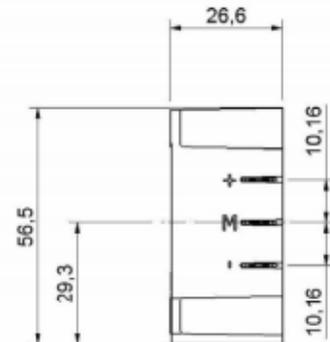
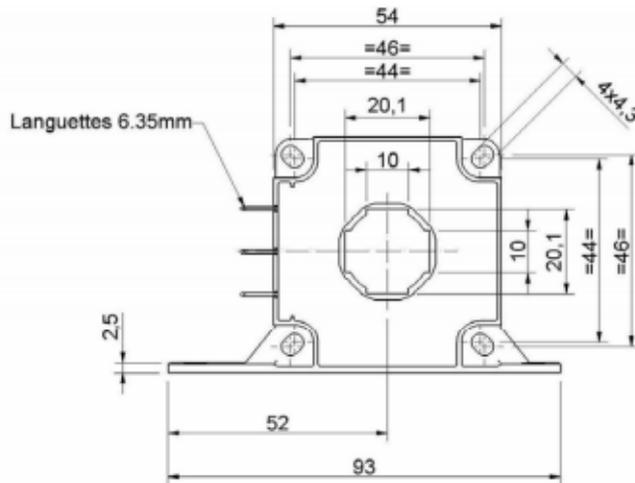
Items	Symbols	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Thermal Resistance	R _{th(j-c)}	IGBT			0.063	°C/W
	R _{th(j-e)}	Diode			0.11	
	R _{th(c-e)}	With Thermal Compound		0.0125		

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

 <p>NIEAF-SMITT BV Vrieslantlaan 6 3526 AA Utrecht, Netherlands Tel : +31 (0) 30 288-13-11 Fax : +31 (0) 30 289-88-16</p>	ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ	MSA300-S-0004
ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ ДАТЧИК ТОКА	ПРИМЕНЕНИЕ	
СПЕЦИФИКАЦИЯ ЗАКАЗЧИКА	КОД	
ОПИСАНИЕ Датчик тока используется для измерения DC и AC токов. Обладает высокой гальванической изоляцией между измеряемым током и выходом датчика.		
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Первичный номинальный эффективный ток I_{PN} 300A Диапазон измеряемого первичного тока I_P $\pm 500A$ Измерительное сопротивление выхода R_M 40 Ω макс для 500A при 18B Вторичный номинальный эффективный ток I_{SN} 150mA Коэффициент преобразования K_N 1:2000 Напряжение дополнительного питания V_C ± 12 BDC до ± 18 BDC +/-5% Потребление тока I_C $\pm 24mA + I_S$ при 18 VDC Диэлектрическая прочность между : Первичной и вторичной цепью V_{D1} 6kV - 50 Гц - 1 мин		
ТОЧНОСТЬ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Результирующая точность при I_{PN} - $T_A=25^\circ C$ X_G $\pm 0.5\%$ Линейность ϵ_L $< 0.1\%$ Ток сдвига при $I_P=0$ - $T_A=25^\circ C$ I_0 $\pm 0.2mA$ макс Температурный дрейф I_0 между $[-40^\circ C +70^\circ C]$ I_{0T} $\pm 0.35mA$ макс Время реакции при 90% I_{PN} и di/dt 100A/ μs T_r $< 1\mu s$ Точность di/dt d_i/dt $> 100A/\mu s$ Диапазон рабочих частот (-1 dB) f DC до 150 кГц		
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Диапазон рабочих температур* T_A -40 до $+75^\circ C$ Температура хранения T_S -50 до $+85^\circ C$ Сопротивление вторичной катушки при $70^\circ C$ R_S 25 Ω Вес m 140г $\pm 10\%$ * Диапазон -50 до $+75^\circ C$ по запросу		
СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТАМ NF EN 50155 (12-01)..... Железнодорожный стандарт Электронное оборудование, используемое на подвижном составе		
СОЕДИНЕНИЯ <div style="text-align: center;">  </div>		
Морс Смитт		N°
MSA300-S-0004		1 / 2

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ

Все размеры в миллиметрах



☛ Крепёж : 2 отверстия Ø 5,5 мм.

☛ Первичная цепь : отверстие Ø20 мм

☛ Температура проводника первичной цепи не должна превышать 100°C

☛ Для получения положительного выхода на клемме "M", ток через отверстие должен течь в направлении стрелки (условный ток).

МОДИФИКАЦИИ

Выпуск	Дата	Описание	N° OC/AE/DMD
D	06/11/06	Первый выпуск	-

ИМЯ - ДАТА - ВИЗИРОВАНИЕ

Автор	Технический менеджер	Главный конструктор	Менеджер по качеству
V.LHEGU	O.DOSDA	C.LEJEUNE	JY.CORMIER

Морс Смитт			N°
MSA300-S-0004			2 / 2

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

ENA Серия

Инкрементальный энкодер с боковым креплением

Возможности

- Прочная литая конструкция, защищающая от внешних ударов
- Монтируется с помощью специальных кронштейнов
- Соединительный тип
- Источник питания 5В, 12-24В±5%.



⚠ Внимание! Перед включением изучите инструкцию.

Коды для заказа

ENA	—	5000	—	2	—	2	—	24
Серия		Импульс / 1 оборот		Выходная фаза		Выход		Источник питания
Осевой тип, с возможностью боковой установки		См. разрешение		2 : A, B 3 : A, B, Z		1 : Комплементарн. выход 2 : Выход NPN, открытый коллектор 3 : Выход по напряжению		5 : 5В ±5% 24 : 12-24 В ±5%

* Стандартный : ENA - - 3 - 2 - 24

* Стандартный :
A, B

Характеристики

Тип		Инкрементальный энкодер осевого типа, бокового крепления		
Разрешение (P/R)		*1, *2, *5, 10, *12, 15, 20, 23, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 75, 100, 120, 150, 192, 200, 240, 250, 256, 300, 360, 400, 500, 512, 600, 800, 1000, 1024, 1200, 1500, 1800, 2000, 2048, 2500, 3000, 36000, 5000 (не указанные типы могут быть изготовлены на заказ)		
Электрические спецификации	Выходные фазы	Фазы A, B (по набору A, B, Z)		
	Фазовая разность выходов	Выход между фазами A и B: $\frac{T}{4} \pm \frac{T}{8}$ (T – 1 цикл фазы A)		
	Выход	Комплементарный выход	● Низкий Точная нагрузка: Max. 30 мА, остаточное напряжение: Max. 0.4В ● Высокий Точная нагрузка: Max. -10 мА, выходное напряжение: Min. (Напряжение питания - 1.5В)	
		NPN, открытый коллектор	Точная нагрузка: Max. 30 мА, остаточное напряжение: Max. 0.4В	
		Выход по напряжению	Точная нагрузка: Max. 10 мА, остаточное напряжение: Max. 0.4В	
	Время отклика (Фронт/Спад)	Комплементарный выход	Макс. 1 мксек.	
		NPN, открытый коллектор	Макс. 1 мксек.	
		Выход по напряжению	Макс. 1 мксек.	
	Мак. частота отклика		180 кГц	
	Напряжение питания		● 5 ± 5% (Пульсация P-P: макс. 5%) ● 12-24В ± 5% (Пульсация P-P: макс. 5%)	
Ток потребления		Макс. 60мА (без нагрузки)		
Импедансное сопротивление		Min. 100 МОм (при 5000B)		
Диэлектрическая прочность		750В AC 50/60 за 1 минуту (для всех клемм и случаев)		
Подключение		Соединительный разъем		
Механические спецификации	Начальный момент	Макс. 70gf·см (0.007 Н·м)		
	Момент инерции	Макс. 80г·см ² (8×10 ⁻⁶ кг·м ²)		
	Осевая нагрузка	Радиальная : Max. 10kgf, Осевая : Max. 2.5kgf		
	Отклонения оси	Радиальная : Max. 0.1мм, Осевая : Max. 0.2мм		
	Мак. кол-во оборотов	(* Примечание 1) 5000 об/мин		
Вибрация		1.5 мм амплитуда при частоте 10-55Гц в X, Y, Z направлениях за 2 часа		
Удара		Макс. 75 G		
Температура окружающей среды		-10 - 70°C (без замораживания), хранение: -25 - 85°C		
Влажность окружающей среды		35-85% RH, хранение: 35-90%RH		
Защита		IP50 (IP6C стандартный)		
Кабель		5P, Ø 5мм, длина: 2м, экранированный кабель		
Комплектация		Муфта 10мм		
Вес		Приблизительно 345г		

* (* Примечание 1) Max. допустимое кол-во оборотов = Max. отпесное кол-во оборотов [Max. отпесное кол-во оборотов (об/мин) - $\frac{\text{Мак. частота отклика}}{\text{Разрешение}} \times 60\text{сек}$]

Выбирайте разрешение так, чтобы максимальное количество оборотов было ниже, чем максимальное число допустимых оборотов.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е



ЗАО "ЭЛЕКТРУМ АВ"
ДРАЙВЕРЫ МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С ПОЛЕВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ

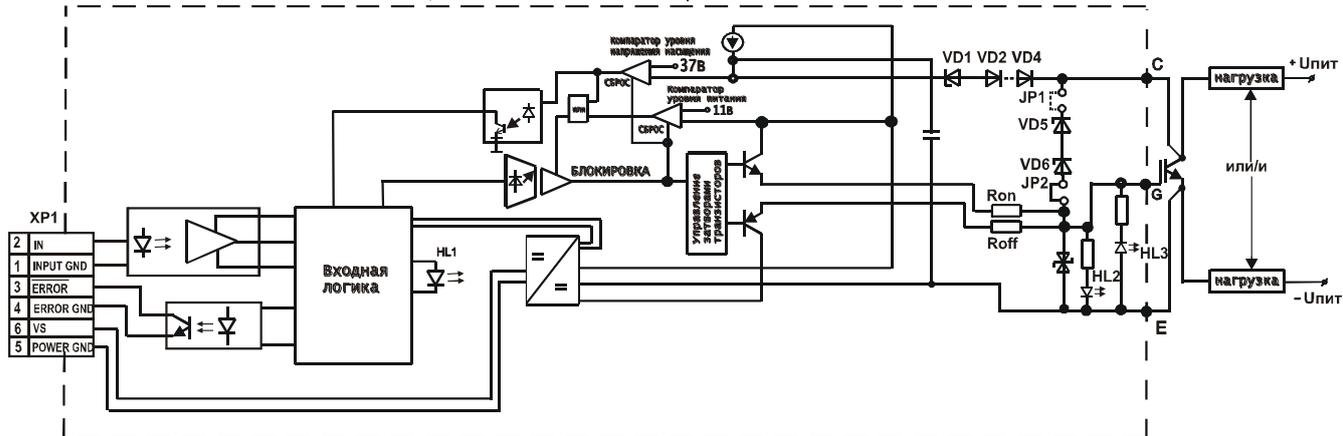
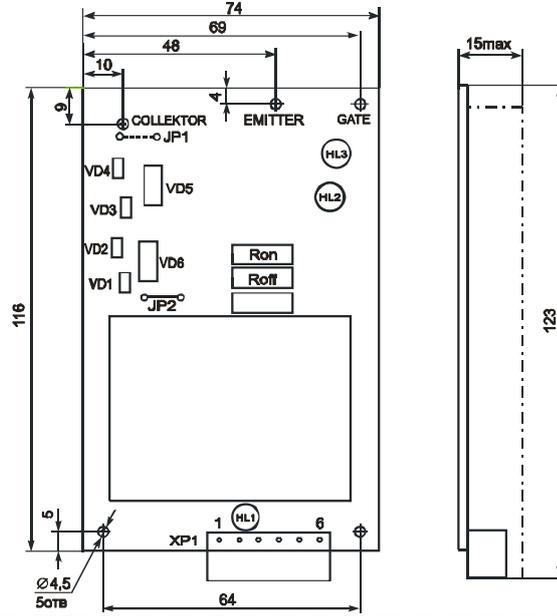


Таблица №14

№ вывода	Назначение выводов	Обозначение выводов
1	Питание +15В	VS
2	Общий статуса	ERROR GND
3	Общий питания	POWER GND
4	Общий сигнальный	INPUT GND
5	Сигнал статуса	ERROR
6	Управляющий вход	IN

G	Выход драйвера с настройкой времени выключения	GATE
E	Эмиттер (исток) силового транзистора	EMITTER
C	Измерительный коллектор - цепь контроля напряжения насыщения на IGBT транзисторе	COLLECTOR

Драйвер – печатная плата с необходимыми настроечными элементами и разъемами для подключения управляемых транзисторов и сигналов управления. Тип разъема XP1 – 5EHDR-06P с вилкой 5ESDV-06P.

Драйвер мощных транзисторов с полевым управлением предназначен для управления мощным IGBT транзистором. Драйвер является усилителем – формирователем сигналов управления затворами транзисторов с частотой до 100 кГц. Драйвер содержит гальванически развязанный DC-DC преобразователь, формирующий необходимые уровни отпирающих и запирающих напряжений на затворе транзистора.

Драйвер имеет индикацию состояния драйвера: индикатор HL1 загорается при превышении напряжения управляемого транзистора величины $U_{MC}^{крит}$, индикаторы состояния выхода драйвера HL2 – высокий уровень, HL3 – низкий уровень. Драйвер обеспечивает активную защиту управляемого транзистора от перенапряжения при коммутации нагрузки индуктивного характера и при аварии. В поставляемом драйвере эта функция отключена. Для ее включения необходимо установить переключку JP1. Драйвер настроен для включения активной защиты при $U_{кэ} \geq 1000$ В. Сигнал ошибки (низкий уровень на выходе «Сигнал статуса» появляется только при превышении напряжения управляемого транзистора величины $U_{MC}^{крит}$.

Драйвер обеспечивает следующие функции контроля и защиты транзисторов:

- 1) Контроль напряжения насыщения на коллекторе управляемого транзистора;
- 2) Регулировку порога защитного отключения по напряжению насыщения;
- 3) Регулировку времени включения - выключения управляемого транзистора;
- 4) Контроль уровня питающих напряжений драйвера (встроенный компаратор с порогом 11В);
- 5) Блокировку управления на время аварии ($U_{кэ} > U_{MC}^{крит}$);
- 6) Наличие встроенного DC-DC.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ $T_{cp} = 25^{\circ}C$

Таблица №15

	Напряжение питания, В	Ток потребления при максимальной нагрузке, А	Ток потребления без нагрузки, А	Входное напряжение высокоуровня, В	Входное напряжение низкого уровня, В	Напряжение включения на выходе драйвера, min, В	Напряжение выключения на выходе драйвера, max, В
ДР1160 П-Б	15 ± 1,0	0,5	0,25	4 ÷ 6	0 ÷ 0,6	+14 ÷ +16	-7,5 ÷ -5
ДР1160 П-Б1				12 ÷ 18	0 ÷ 5		

Таблица №16

	Частота переключения, Гц	Задержка распространения сигнала вход-выход при включении/выключении, мкс	Время задержки по срабатыванию защиты, мкс	Задержка появления сигнала ошибки, мкс	Минимальное напряжение защиты, $U_{МС}^{крит}$, В	Время блокировки управления при аварии, мс	Время плавного выключения при аварии, мкс	Ток управления при $U_{вх}=15$ В, мА
ДР1160 П-Б	$f = \frac{0,3}{Q_{gate}}$	1/1	8	2	27	250	6	15 (U _{вх} =5 В)
ДР1160 П-Б1								15 (U _{вх} =15 В)

где Q_{gate} – заряд затвора IGBT транзистора

ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМЫЕ РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Таблица №17

Наименование изделия	Напряжение питания max, В	Входное напряжение max, В	Выходной ток (пиковый) max, А		Напряжение коллектор – эмиттер, max, В	Скорость изменения напряжения max, кВ/мкс	Напряжение изоляции вход-выход, В (пост.ток, 1мин)	Напряжение силовой цепи max, В	Напряжение активной защиты max, В	Рабочий диапазон температур, Т, °С	Напряжение на выводе ERR OR, V _{ER} , В	Ток вывода ERR OR, I _{ER} , mA
			V _S	V _{IN}								
ДР116 ОП-Б	18	10	16	16	3000*	20	7000	800	1000	-40...+100	30	30
ДР116 ОП-Б1		20										

* - параметр измеряется при отключенной активной защите от перенапряжения

Таблица №18 подстроечные элементы

Обозначение элемента на схеме	Расчет параметров работы драйвера	Установленные элементы
V _{D1}	Уровень срабатывания защиты по напряжению насыщения $U_{MC}^{крит} = 37 - U_{VD1}$ (В), где V _{D1} - напряжение стабилизации стабилитрона.	$U_{VD1} = 10$ В
R _{on}	Время нарастания включающего напряжения на затворе транзистора $t = RC$, где С - емкость затвора транзистора	R1 = 1,0 Ом
R _{off}	Время спада выключающего напряжения на затворе транзистора $t = RC$, где С - емкость затвора транзистора	R2 = 1,8 Ом

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПРИЕМКЕ

Драйвер ДР1160П-Б1 соответствует АЛЕИ 468332.031 ТУ

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

INTORQ BFK458 spring-applied brake

A powerful and complete range

- 9 sizes
- Standard voltages 24 V, 96 V, 103 V, 170 V, 180 V, 190 V, 205 V
- Graduated torques from 2 to 600 Nm
- Short delivery times for the complete range, thanks to optimised logistics
- IP 54 enclosure, depending on the specific operating conditions
- CSA-CUS (UL) design as standard
- ATEX:

The product is suitable for use in potentially explosive atmospheres in zone II for stationary operation (holding or parking brake), explosion group II and temperature class T4.

Versatile

- Modular structure for virtually all applications
- Replacement product for the 14.448 and 14.450 brake ranges

Torque transmission

- designed for dry running

Ready for operation immediately

- Preset air gap, easy and quick mounting
- Special machining of the friction surfaces ensures that the rated torques are achieved after very few switching operations without a run-in procedure
- No fixed bearing is required on the brake

Durable

- The insulation system to temperature class F (155°C) ensures that the winding has a long service life
- Brakes are designed for 100% duty time (current applied to the brake)

Low maintenance

- Long rotor/hub connection with low rate of wear and a tried-and-tested involute gear
- Asbestos-free friction linings with low rate of wear
- Air gap must be checked depending on the friction energy used

Reliable

- The certified ISO 9001 and ISO 14001 quality system provides the basis for consistently high-quality products
- Manufacture and testing to VDE 0580

Options

- Manual release for all sizes, both directions can be used for release and mounting (one exception is the tachometer brake)
- Noise-reduced designs
- Different types of corrosion protection and enclosures
- Microswitches used to monitor air gap and wear (size 12 and above)
- Monitoring of manual release function (page 22)
- Non-standard voltages and bores on request