

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

Энергетический институт

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра ЭПЭО

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка и исследование цифровых систем управления синхронным электродвигателем с возбуждением от постоянных магнитов

УДК 681.516.32

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Чиков Иван Николаевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова М.Н.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., к.т.н.		

Томск – 2016 г.

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

Энергетический институт
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра ЭПЭО

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(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
5Г2А	Чикову Ивану Николаевичу

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№966/с от 10.02.2016
---	----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

Синхронный электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов FL57BL02:

- число полюсов: 4;
- число фаз: 3;
- напряжение питания: 24 В;
- номинальная скорость: 3000 об/мин;
- номинальный крутящий момент: 2,2 кг·см;
- максимальный крутящий момент: 7 кг·см;
- максимальный потребляемый ток: 11,5 А;
- мощность, на выходном валу: 92 Вт;
- момент инерции ротора: 119 г·см².

Тип датчика обратной связи – энкодер, установленный на валу электродвигателя.

Преобразователь частоты MBS-FC01.

Тип используемого микропроцессора – TMS320F2833x.

Руководство по эксплуатации на среду программирования MexBIOS™ Development Studio.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	Разработать цифровую систему управления неявнополюсным синхронным электродвигателем с постоянными магнитами FL57BL02 и явнополюсным синхронным электродвигателем ДСМ Г-2,2-1500-1-Д-УХЛ-3 IM3281 IC49 380 В в режимах контроля тока, скорости с необходимыми защитами и алгоритмом выравнивания вала ротора. Перерегулирование скорости не должно превышать 10%, максимальное время пуска– 0,1 с., ошибка по возмущению должна равняться 0 при отработке момента нагрузки до 0,07 Н·м. Исследовать разработанную систему на модели и на экспериментальном оборудовании с двигателем ДСМ Г-2,2-1500-1-Д-УХЛ-3 IM3281 IC49 380 В на скоростях 300 и 500 об/мин на предмет получения максимального быстродействия.. Использовать среду графического программирования MexBIOS™ Development Studio.
--	---

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Дашковский Анатолий Григорьевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры менеджмента Трофимова Маргарита Николаевна

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов Александр Сергеевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Чиков Иван Николаевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2А	Чикову Ивану Николаевичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электропривод и автоматика

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску; Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 13% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	27,1 отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений; Оценки перспективности проекта по технологии QuaD.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Оценочная карта QuaD
3. График Ганта
4. График проведения и бюджет НИ
5. Определение ресурсоэффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Трофимова М.Н.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Чиков Иван Николаевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2А	Чикову Ивану Николаевичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электропривод и автоматика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	1. Описание рабочего места на предмет : Разработка системы управления на пользовательском компьютере в помещении площадью 40 м². Проведение экспериментов на стенде с электрооборудованием напряжением до 220 вольт..
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	1. Анализ вредных факторов, проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – Расчет освещения рабочей зоны, которое должно соответствовать СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, не снижающее зрение человека. – Уменьшение уровня шума. – Проверка уровня воздействия электромагнитного излучения и статического электричества. 2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – Составление правил работы с исследуемым оборудованием для предотвращения травматизма от движущихся механизмов. – Мероприятия для уменьшения вибрации. – Электробезопасность. 3. Охрана окружающей среды: – Правила утилизации твердых отходов. – Анализ влияния электромагнитного и теплового излучения. Меры уменьшения влияния данных факторов. 4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – Наиболее вероятным ЧС при разработке и проверке систем управления синхронными двигателями с возбуждением от постоянных магнитов являются пожар на рабочем месте. Составление плана эвакуации из лаборатории. 5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – Перечень законодательных и нормативных документов в порядке их цитирования по пунктам раздела.
Перечень расч-го и граф-го материала:	Расчет искусственного освещения для помещения; Составление плана эвакуации из помещения.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Чиков И.Н.		

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа содержит 79 с., 46 рис., 16 табл., 34 источника.

Ключевые слова: цифровая система управления, синхронный двигатель с постоянными магнитами, оптимизация, математическая модель, MexBIOS Development Studio.

В выпускной квалификационной работе, путем графического программирования в среде MexBIOS Development Studio, произведена разработка и исследование цифровой системы управления синхронным двигателем с постоянными магнитами.

Разработанная система управления исследована на стенде тип 4 с установленной цифровой системой управления синхронным двигателем с постоянными магнитами. По итогам работы разработано методическое пособие для создания систем управления для синхронных двигателей с постоянными магнитами.

Проведена проверка безопасности и экологичности проекта и рассчитана экономическая эффективность модернизации оборудования.

Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010; обработка формул велась в программе Math Type 6.9; для построений рисунков, диаграмм, функциональных и принципиальных схем использовались программы: Paint, Microsoft Visio 2010; программная реализация системы управления создана в графической среде MexBIOS Development Studio.

Оглавление

Введение	9
1. Математическое описание синхронного двигателя с постоянными магнитами.....	12
1.1. Особенности синхронного двигателя с постоянными магнитами.....	12
1.2. Векторная диаграмма, момент и структурная схема синхронного двигателя с постоянными магнитами.....	13
2. Разработка скалярного тестового режима работы СДПМ	17
2.1. Параметры двигателя и используемые константы.....	17
2.2. Создание модели двигателя и инвертора напряжения.....	18
2.3. Переход от модели к реальной системе	20
2.4. Алгоритм нахождения начального положения вала ротора.....	24
3. Разработка векторной системы управления	26
3.1. Настройка и проверка контура тока	27
3.2. Настройка и проверка контура скорости.....	29
4. Создание и проверка защит	38
5. Проведение испытаний на экспериментальном стенде.....	42
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	48
6.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	48
6.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	48
6.1.2. Технология QuaD	49
6.1.3. SWOT-анализ.....	50
6.2. Планирование научно-исследовательских работ и формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	54
6.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	54
6.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	56
6.2.3. Разработка графика проведения научного исследования	56
6.2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	59
6.2.5. Основная заработная плата исполнителей темы.....	60
6.2.6. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	63
6.2.7. Отчисления во внебюджетные фонды	63
6.2.8. Накладные расходы	64

6.2.9. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	64
6.3. Определение ресурсоэффективности проекта.....	65
7. Производственная безопасность.....	67
7.1. Описание технологического процесса и рабочего места.....	67
7.2. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	68
7.3. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	68
7.4. Экологическая безопасность	72
7.4.1. Тепловое излучение	72
7.4.2. Утилизация твердых отходов.....	73
7.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	74
7.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	76
Заключение.....	77
Список используемых источников	78
CD-диск. Пояснительная записка к ВКР (файл ВКР Чиков.docx).....	79

Введение

Разнообразие существующих типов электродвигателей приводит к вопросу: какая из машин является наиболее подходящей для разрабатываемого электропривода.

Двигатели постоянного тока являются дорогостоящими, громоздкими и ненадежными из-за наличия щёточно-коллекторного узла, требующего профилактического обслуживания. Поэтому основное сравнение проводится между асинхронными и синхронными двигателями с возбуждением от постоянных магнитов [1].

Как и все синхронные машины, двигатель синхронный с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ) работает с высоким коэффициентом мощности, что обеспечивает снижение потребляемого тока и уменьшение потерь. По сравнению с асинхронным двигателем, имеющим ту же мощность, КПД синхронного будет выше, что показано на рисунке 1 [2].

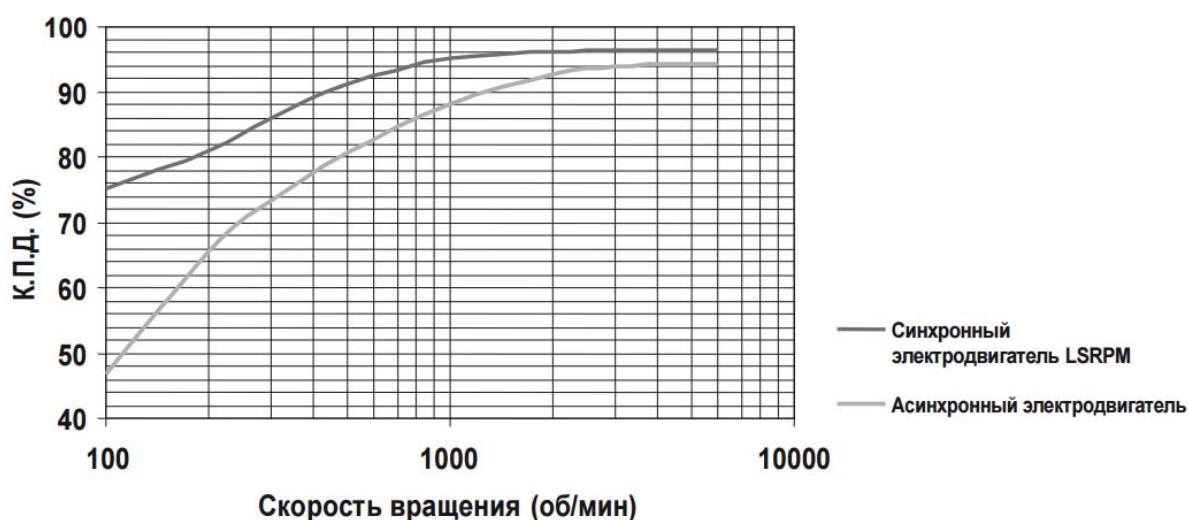


Рисунок 1 – КПД синхронного и асинхронного электродвигателя в зависимости от скорости вращения

У синхронного двигателя вращающий момент пропорционален действующему напряжению сети. Поэтому синхронный двигатель, даже при снижении напряжения в сети, сохраняет нагрузочную способность больше, чем асин-

хронный. Это говорит о большей надежности такого типа двигателей. Массогабаритные показатели СДПМ меньше конкурентов. Ротор имеет низкий момент инерции.

Указанные преимущества позволяют применять СДПМ в тех областях техники, где традиционно применялись только машины постоянного тока или специальные асинхронные двигатели.

Динамические характеристики синхронных двигателей с постоянными магнитами определяются по большей мере системой управления. Самыми распространенными видами систем управления являются бездатчиковый и с использованием энкодеров. Первые являются менее точными и недостаточно надежными. Поэтому наиболее актуальным является разработка системы управления с использованием датчика положения вала ротора.

Многие ученые занимаются созданием и усовершенствованием СДПМ и электроприводов на их основе, среди них: В.В. Панкратов, И.Е. Овчинников, О.Г. Вегнер, А.А. Глотов, Ю.Н. Калачев, Л. Зонг, Ж.Х. Кан и многие другие. Объемы научных работ по данной тематике говорит о том, что разработка цифровых систем управления синхронными двигателями с постоянными магнитами является актуальным вопросом.

Объектом исследования работы является синхронный двигатель с постоянными магнитами.

Предметом исследования являются цифровые системы управления двигателем с постоянными магнитами.

Целью работы является создание универсальной, простой, надежной и удобной цифровой системы управления синхронными двигателями с постоянными магнитами с неявнополюсным ротором с использованием датчика положения вала ротора.

Методы исследования. Для выполнения поставленной цели применялись теоретические и экспериментальные методы исследований.

Практическая значимость результатов ВКР. По результатам выполненной работы составлено методическое пособие в ООО "НПФ Мехатроника-Про", по которому проходят повышение квалификации инженера с различных предприятий, а также результаты исследований будут внедрены в учебный процесс кафедры электропривода и электрооборудования ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Томский политехнический университет".

1. Математическое описание синхронного двигателя с постоянными магнитами

1.1. Особенности синхронного двигателя с постоянными магнитами

Ротор СДПМ представляет собой постоянный магнит. Ток обмотки статора создает вращающееся магнитное поле статора ($\vec{\psi}_s$), магнитные полюса которого притягивают противоположные магнитные полюса ротора. Вследствие этого возникает момент, вращающий ротор вслед за полем статора (рисунок 2) [3].

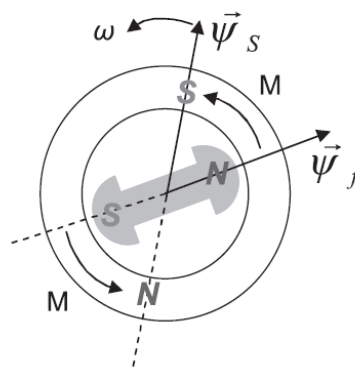


Рисунок 2 – Принцип работы СДПМ

Физическая модель синхронного двигателя с постоянными магнитами приведена на рисунке 3.

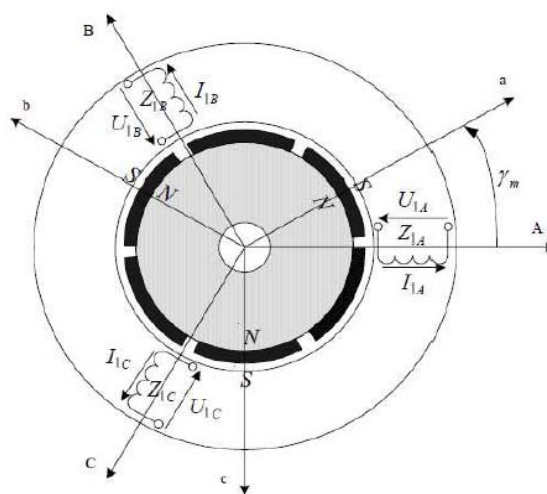


Рисунок 3 – Физическая модель СДПМ

Для синхронных двигателей с постоянными магнитами характерны низкая степень насыщения и значительный воздушный зазор. Поэтому не учитываем нелинейность магнитной цепи.

В модель синхронного электромеханического преобразователя без учета насыщения вводится ряд допущений:

1. Магнито-мягкий материал магнитопровода имеет бесконечную магнитную проницаемость;
2. Отсутствие насыщения делает все сосредоточенные электрические параметры независимыми от электрических переменных;
3. Реальные обмотки и постоянные магниты заменяются эквивалентными токовыми слоями, создающими требуемое значение и форму напряженности или магнитодвижущих сил магнитного поля в равномерном воздушном зазоре машины;
4. Запасенная магнитная энергия, используемая для описания электрической машины, рассматривается лишь как энергия статического магнитного поля;
5. Энергия электростатического считается пренебрежимо малой;
6. Постоянный магнит является идеальным источником напряженности магнитного поля и представляет собой бесконечно тонкую пластину;
7. Потери в стали отсутствуют;
8. Магнитная проницаемость воздушного зазора представляется в виде произведения магнитной проницаемости статора и ротора [4].

1.2. Векторная диаграмма, момент и структурная схема синхронного двигателя с постоянными магнитами

На рисунке 4 показана векторная диаграмма СДПМ. Будем рассматривать их в системе dq , ось d которой ориентирована по оси ротора [3].

Ротор двигателя создает потокосцепление (ψ_f), равное произведению потока ротора на число витков обмотки статора. Направлен вектор этого потокосцепления по оси ротора от положительного полюса к отрицательному.

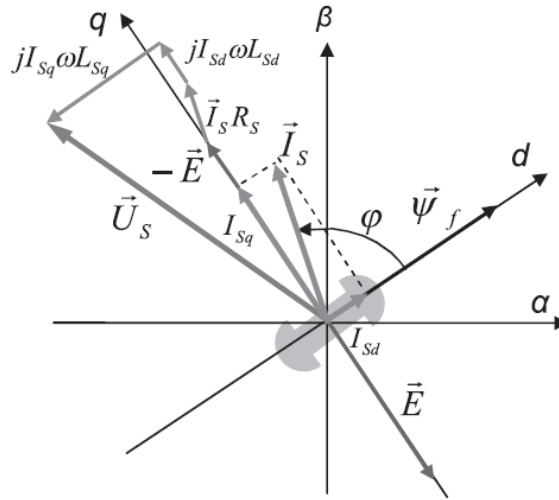


Рисунок 4 – Векторная диаграмма СДПМ

Ψ_f отстает от вектора тока на угол скручивания (φ). В обмотках статора создается постоянным потоком вращающегося ротора направленный под прямым углом к потоку и отстающий от него на 90 градусов вектор ЭДС (E).

Амплитуда вектора ЭДС определяется выражением:

$$E = \psi_f \omega.$$

Заметим, что ω – электрическая скорость вращения, определяющаяся по формуле:

$$\omega = Z_p \omega_R,$$

где ω_R – скорость вращения ротора, $рад/с$;

Z_p – число пар полюсов двигателя.

Из рисунка 4 можно записать следующее векторное соотношение:

$$\vec{U}_s = -\vec{E} + \vec{I}_s R_s + j\omega(\vec{I}_{sd} L_{sd} + \vec{I}_{sq} L_{sq}),$$

где $\vec{U}_s$ – вектор напряжения статора, B ;

$\vec{I}_s$ – вектор тока статора, а $\vec{I}_{sd}$ и $\vec{I}_{sq}$ его осевые составляющие, A ;

L_{sd} и L_{sq} – индуктивность статора по осям d и q , $Гн$;

R_s – активное сопротивление статора, $Ом$.

Статорное напряжение уравнивается ЭДС и падением напряжения на активном и реактивном сопротивлениях статорной обмотки.

Момент двигателя создается от взаимодействия тока и потокосцепления статора. С учетом фазности и числа пар полюсов он равен произведению этих векторов.

Для трехфазного двигателя можно записать следующее выражение:

$$\vec{M} = \frac{3}{2} Z_p \vec{I}_s \times \vec{\psi}_s.$$

Переходя к осям dq :

$$M = \frac{3Z_p}{2} (I_{sq}\psi_d - I_{sd}\psi_q),$$

где ψ_d и ψ_q – потокосцепления статора по соответствующим осям, Вб.

Выражения для этих потокосцеплений:

$$\psi_d = L_{sd}I_{sd} + \psi_f,$$

$$\psi_q = L_{sq}I_{sq}.$$

С учетом этих выражение уравнение момента:

$$M = \frac{3Z_p}{2} (I_{sq}\psi_f + I_{sd}I_{sq}(L_{sd} - L_{sq})).$$

Так как у неявнополюсной машины $L_{sd} = L_{sq}$, то:

$$M = \frac{3Z_p}{2} I_{sq}\psi_f.$$

Пренебрегая магнитными потерями уравнения равновесия статора синхронного двигателя во вращающейся системе координат dq имеет следующий вид:

$$\begin{cases} U_{sd} = L_{sd} \frac{dI_{sd}}{dt} + R_s I_{sd} - \omega L_{sq} I_{sq}, \\ U_{sq} = L_{sq} \frac{dI_{sq}}{dt} + R_s I_{sq} + \omega L_{sd} I_{sd} + \omega \psi_f. \end{cases}$$

Условие механического равновесия описывается выражением:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c.$$

Тогда, применяя преобразования Лапласа строим структурную схему СДПМ на основе полученных выражений (рисунок 5) [5].

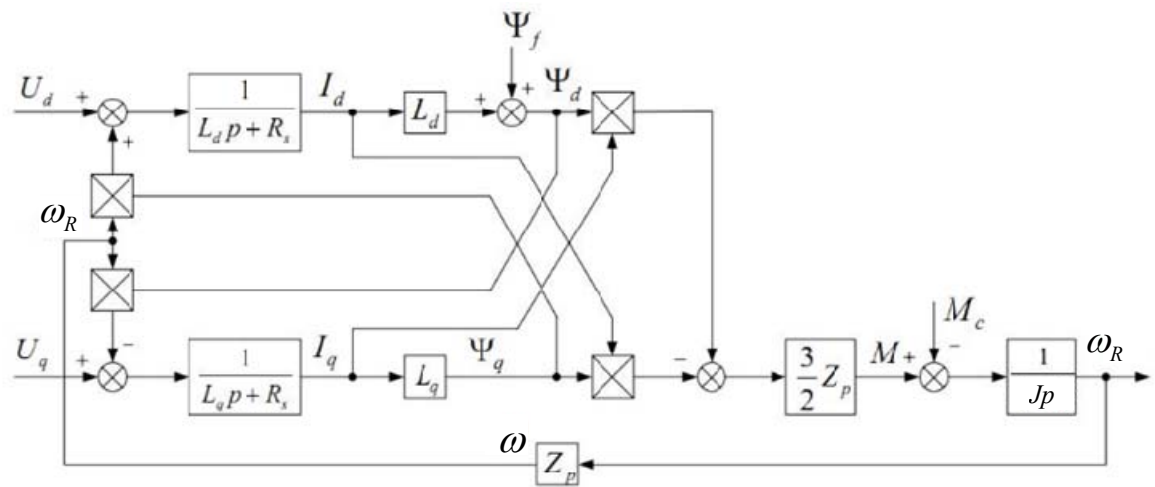


Рисунок 5 – Структурная схема СДПМ во вращающейся системе координат

2. Разработка скалярного тестового режима работы СДПМ

Скалярный режим формирования напряжения питания не подходит для контроля СДПМ с нагрузкой на низких оборотах. Но данный режим идеально подходит для выполнения сервисных функций: проверки работоспособности инвертора напряжения, полярности сигналов датчиков тока и сигнала скорости. Систему собираем в визуальной среде разработки и моделирования встроенного программного обеспечения систем управления электродвигателями, технологическими комплексами и программируемыми логическими контроллерами MexBIOS Development Studio.

2.1. Параметры двигателя и используемые константы

Параметры двигателя:

$R_s = 0,54$ – сопротивление статора, Ω ;

$L_d = 0,0022$ – полная индуктивность статора по оси d, $Гн$;

$L_q = 0,0022$ – полная индуктивность статора по оси q, $Гн$;

$Flux = 0,0051274$ – амплитуда вектора потокосцепления ротора, $Вб$;

$z_p = 2$ – число пар полюсов двигателя;

$J = 11,9 \cdot 10^{-6}$ – приведённый момент инерции двигателя, $кг \cdot м^2$;

$n_H = 3000$ – номинальная скорость вращения двигателя, $Об/мин$;

$\omega_H = 314,1593$ – номинальная скорость вращения двигателя, $рад/с$;

$I_H = 5$ – действующее значение номинального тока двигателя, A ;

$U_{пит} = 24$ – напряжение питания двигателя, B ;

$f_H = 50$ – номинальная частота питающей сети, $Гц$.

Параметры инкрементного энкодера:

$Qep4Ticks = 2500$ – число меток на оборот инкрементного энкодера.

Параметры преобразователя частоты:

$U_{dc_bus} = 24$ – величина напряжения на шине постоянного тока преобразователя частоты, B ;

$k_u = \frac{24}{\sqrt{3}} = 13,8564$ – коэффициент усиления преобразователя частоты, B .

Периоды дискретизации:

$T_s = 0,0001$ – период дискретизации модели, c ;

$T_{s_TINT0} = 0,0002$ – период дискретизации системы управления, c ;

$T_{s_Spd} = 0,001$ – период дискретизации контура скорости, c .

2.2. Создание модели двигателя и инвертора напряжения

Для начала создания системы управления создаем упрощенную модель объекта управления (синхронный двигатель). Наличие модели объекта управления позволит произвести поэтапную отладку разрабатываемого программного обеспечения.

Применяемая модель синхронного двигателя представляет собой решённые методом Эйлера первого порядка дифференциальные уравнения, которые описывают поведение синхронного двигателя с достаточной степенью приближения для получения сигналов скорости и токов нужных порядков для отладки системы управления.

Вводим переменную θ для создания модели имитации сигнала с инкрементного энкодера и переменную θ_{eth} , необходимую для создания электрического угла поворота координатной системы из механического угла поворота θ . Структура модели объекта управления представлена на рисунке 6.

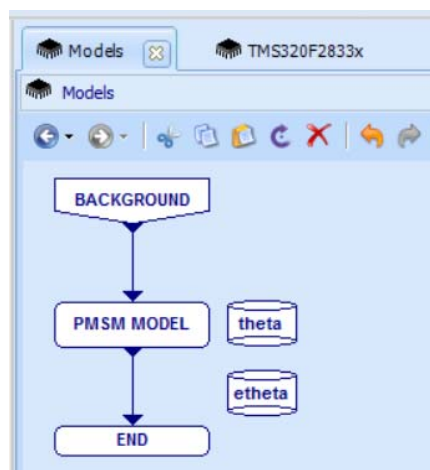


Рисунок 6 – Структура модели объекта управления в библиотеке Models

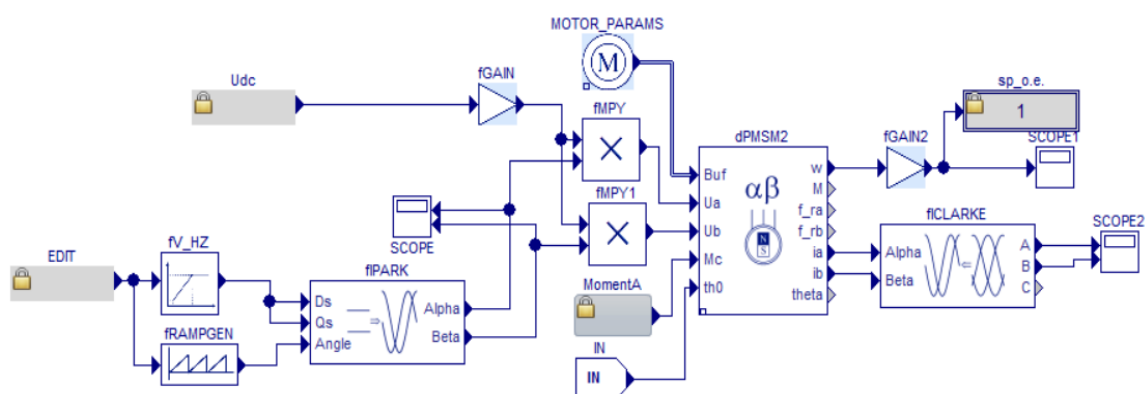


Рисунок 7 – Скалярная система управления

Блок fV_HZ формирует амплитуду вектора напряжения. На вход fPARK необходимо подать значение от 0 до 0.2, так как в системе управления будет задание в относительных единицах.

Упрощенная модель преобразователя частоты представляет собой величину напряжения на шине постоянного тока U_{dc} , которое с помощью fGAIN преобразуется в амплитудное фазное напряжение и поступает на блоки fMPY

При подаче напряжения частотой 5 Гц на входе СДПМ должен быть сигнал с периодом 0,2 с и сдвигов фаз 90 градусов. Полученный входящий сигнал показан на рисунке 8.

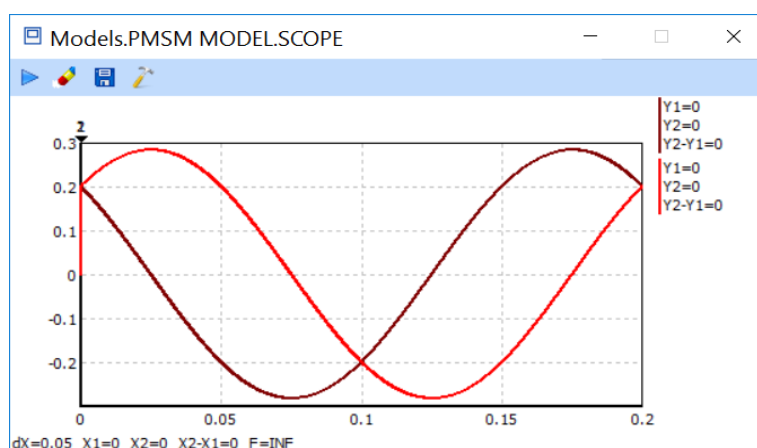


Рисунок 8 – Сигнал задания при скалярной СУ

Для системы управления необходимо два сигнала с инкрементного энкодера: пилообразный сигнал положения вала ротора, пилообразный сигнал электрического положения вала ротора. Пилообразный сигнал необходим для вычисления скорости вращения вала двигателя. Пилообразный сигнал электрического положения необходим для вращения координатной системы при формировании токов. Имитацию указанных сигналов получаем из сигнала скорости, для этого интегрируем скорость и приводим полученное значение положения в радианах в сигнал меток инкрементного энкодера. Также пилообразный сигнал необходимо получить в относительных единицах от 0 до 1. Для этого используем готовый шаблон в MexBIOS. Итоговая модель представлена на рисунке 9.

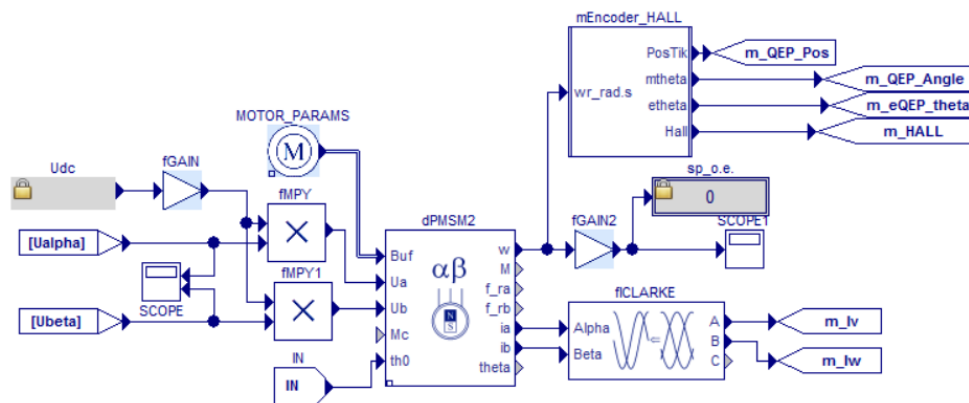


Рисунок 9 – Полученная модель объекта регулирования с имитацией сигналов обратных связей

2.3. Переход от модели к реальной системе

До этого момента все действия производились в библиотеке Models, которая предназначена только для моделирования. Далее необходимо перенести скалярную систему управления в библиотеку TMS320F2833x на прерывание, выполняемое с периодом 0,0002 с.

Для перехода создаем новую формулу SCALAR в библиотеке TMS320F2833x. После этого вырезаем схему скалярного управления из Models и вставляем в TMS320F2833x.

Так как необходимо создать СУ со следующими режимами работы: скалярное управления, векторное управление скоростью, причем с возможностью добавления/удаления других режимов работы, то вводим переменную CS_mode, задавая значение которой будет изменяться режим управления. Переключение режимов будем осуществлять с помощью блока IF, в котором задаем условие: если CS_mode == 1, то в ветке true начинает работать схема SCALAR. Для добавления ещё одной СУ необходимо будет добавить ещё один блок IF и задать в него уже условие CS_mode == 2 и так далее (рисунок 10).

На главное поле набора добавляем три переменные для передачи сигналов с блока fIPARK: theta – угол поворота координатной системы, Ud и Uq – составляющие вектора напряжения во вращающейся системе координат.

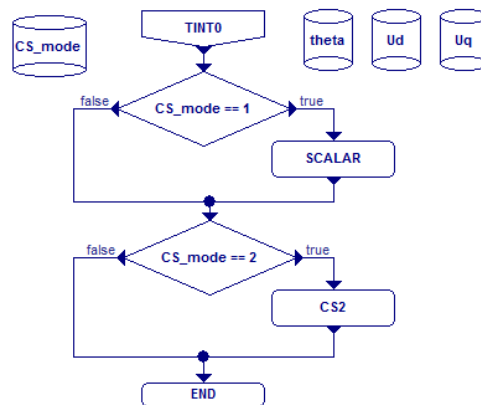


Рисунок 10 – Структура системы управления

Создаем отдельную формулу VoltControl для размещения драйвера управления ШИМ и специальных блоков формирования вектора напряжения с помощью ШИМ. Данные схемы необходимы будут для любых СУ трехфазными двигателями.

Для получения и обработки сигналов с драйверов преобразователя частоты добавим новую формулу на главное поле набора. В данную формулу будем добавлять драйвера, которые передают в систему управления сигналы с обратных связей. Полученные сигналы с блоков драйверов будут приводиться к необходимому масштабу. Также, в формуле Drivers, будут схемы логики для

формирования разрешающего или запрещающего сигнала на движение (работу).

Схема вычисления сигнала скорости представлена на рисунке 11. Сигнал `fdb_wr` необходим для обратной связи в СУ, а сигнал `wr_ob.min` необходим для отображения текущего значения скорости на виртуальном пульте управления.

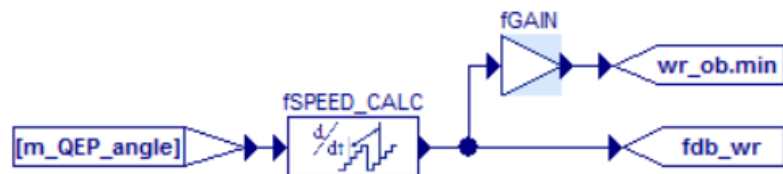


Рисунок 11 – Схема получения сигнала скорости

Сигналы тока необходимо преобразовать из трехфазной системы координат в двухфазную, для этого собираем схему рисунок 12:

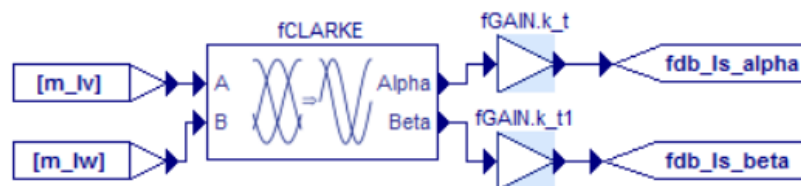


Рисунок 12 – Схема преобразования сигналов тока

Собираем схему для получения приближенного значения действующего значения тока в абсолютных единицах. Для вычисления приближенного действующего значения воспользуемся операцией вычисления модуля вектора `fMAG` (рисунок 13).

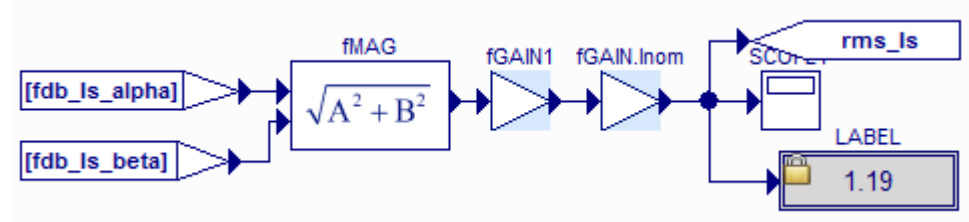


Рисунок 13 – Схема получения действующего значения тока

Далее необходимо создать схему, которая будет разрешать или запрещать работу системы управления по кнопке Старт/Стоп. Схему собираем в формуле Drivers (рисунок 14).

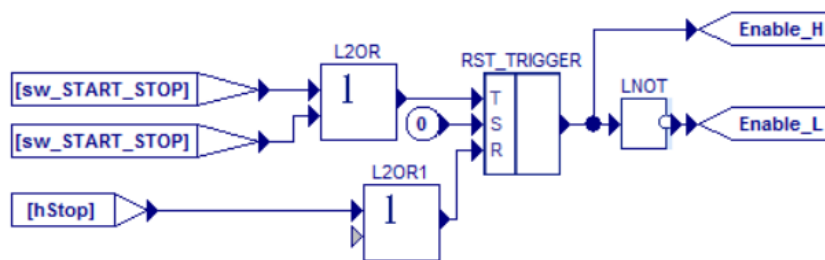


Рисунок 14 – Схема разрешения и запрета работы СУ

Блок hStop – сигнал запрета на работу, на него будет подаваться сигнал возникновения аварии; hw_START_STOP – сигнал разрешения на работу с аппаратной кнопки; Enable_H и Enable_L – сигналы разрешения на работу блоков. Для некоторых блоков разрешение на работу производится высоким уровнем сигнала (Enable_H), для других низким уровнем сигнала (Enable_L).

Схема на рисунке 14 работает следующим образом: при нажатии на кнопку Старт/Стоп на виртуальной панели управления (будет построена ниже) на блок L2OR будет приходить высокий логический сигнал, который установит на выходе RST_TRIGGER высокий логический сигнал, который в свою очередь разрешит работу блокам СУ через сигналы Enable_H и Enable_L. Для снятия разрешения на работу необходимо снова нажать на кнопку Старт/Стоп в GUI либо подать логическую единицу по сигналу hStop. Добавляем в схему скалярного управления блок GATE, который будет управляться схемой разрешения на работу.

Для получения сигналов обратных связей с ПЧ MBS-FC01, который будем использовать для проведения испытаний, необходимо добавить драйвера периферии. Драйвера энкодера QEP, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) ADC и широтно-импульсной модуляции (ШИМ) PWM6 поместим в формулу Drivers. Воспользуемся готовыми схемами, которые предоставляются с программной средой MexBIOS.

2.4. Алгоритм нахождения начального положения вала ротора

Если координатные преобразователи векторной системы управления синхронным двигателем ориентируются с помощью инкрементного энкодера, то необходимо произвести предварительное позиционирование вала ротора с помощью специального алгоритма.

Работа алгоритма заключается в следующем: на заданное время формируется положительный ток I_d (заданной амплитуды) с помощью регулятора тока во вращающейся системе координат, а ток I_q при этом равен 0. Величина задания I_d определяется экспериментальным путем (если задать слишком маленькое значение I_d , то поле может оказаться недостаточным для притягивания вала ротора в необходимое положение). Таким образом, статор двигателя формирует постоянное магнитное поле. Так как ротор выполнен из постоянных магнитов, то поле статора и ротора будут взаимодействовать друг с другом, и в результате этого взаимодействия произойдет выставление магнитного поля ротора по одной оси с полем статора. Ротор СД при этом поворачивается на необходимый угол и происходит зацепление зубцов постоянных магнитов с наведенным полем статора. После этого синхронизация завершается и двигатель готов для запуска в режиме управления скоростью вращения.

Управление выравниванием вынесем на виртуальную панель управления. Схема отсчета времени алгоритма нахождения начального положения вала ротора представлена на рисунке 15.

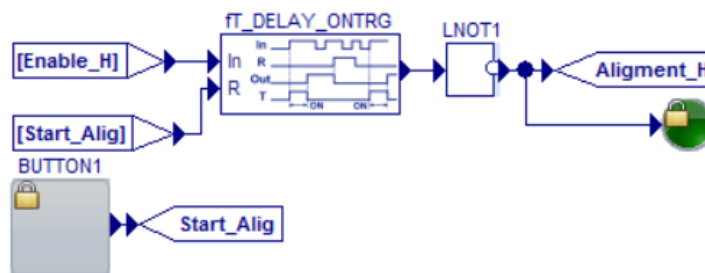


Рисунок 15 – Схема отсчета времени алгоритма нахождения начального положения вала ротора

После разрешения работы, включится в работу блок `ft_DELAY_ONTRG`, по истечению заданного времени `Aligment_H` выставится в ноль, тем самым показывая, что процесс выравнивания завершен. Интервал времени работы синхронизации регулируется в зависимости от инерционности нагрузки на валу.

Конечный вид алгоритма представлен на рисунке 16.

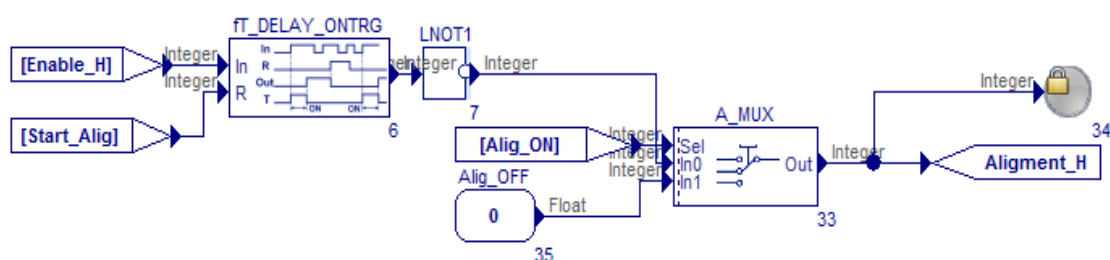


Рисунок 16 – Схема алгоритма выравнивания вала ротора

Данный алгоритм уменьшает время подготовки синхронного электропривода к стартовому режиму, так как исключается необходимость разгона синхронного двигателя при помощи нахождения текущего положения ротора относительно вращающегося поля статора методами поисковых алгоритмов.

3. Разработка векторной системы управления

Основа векторной системы управления – дифференциальные уравнения, (пункт 1.2), описывающие электрическую машину как в динамике, так и в статике. Момент при этом получают с помощью управления амплитудой и мгновенной фазой вектора тока статора или вектора статорного напряжения.

Корректность управления в динамике векторного управления дает возможность получать высокودинамичные и прецизионные электроприводы переменного тока, которые обеспечивают наивысшую точность и скорость регулирования [4].

Добавим в имеющуюся схему векторную систему управления. Векторная система управления состоит из трёх контуров. Два контура тока и контур скорости. Контур скорости выполняется на частоте 1 кГц, контур тока выполняется на частоте 5 кГц. Структурная схема векторной системы управления представлена на рисунке 17.

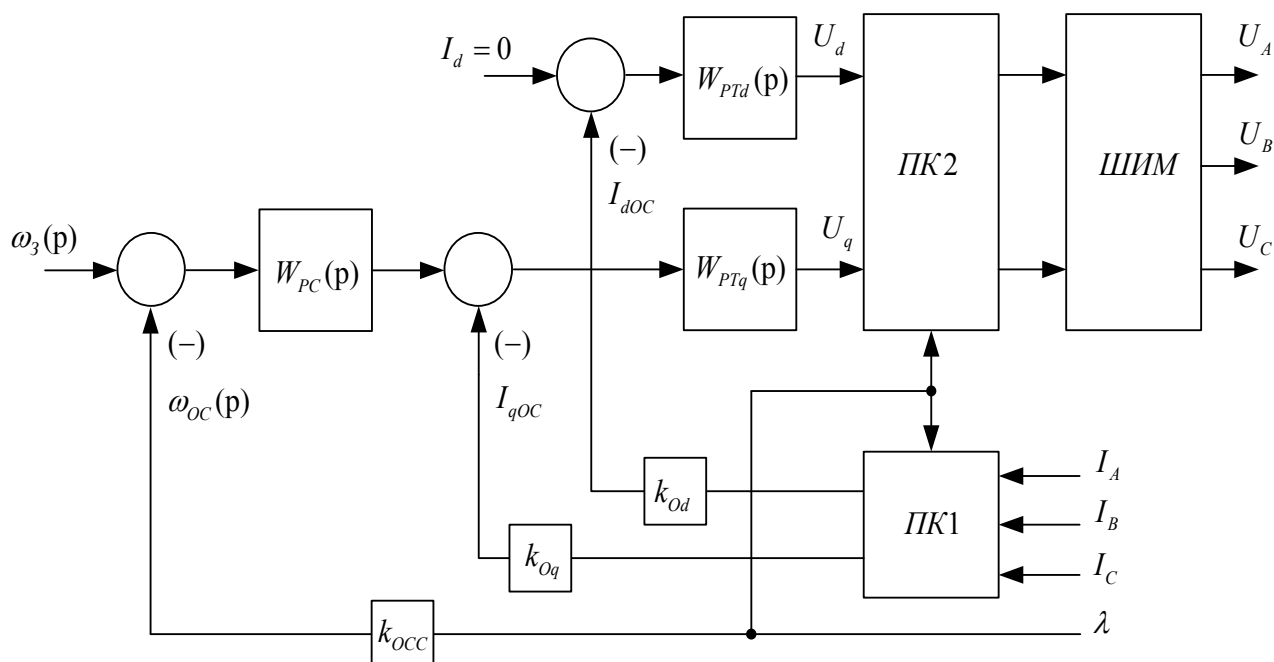


Рисунок 17 – Структурная схема векторной системы управления СДПМ

3.1. Настройка и проверка контура тока

Внешний вид структурной схемы контура тока представлен на рисунке 18.

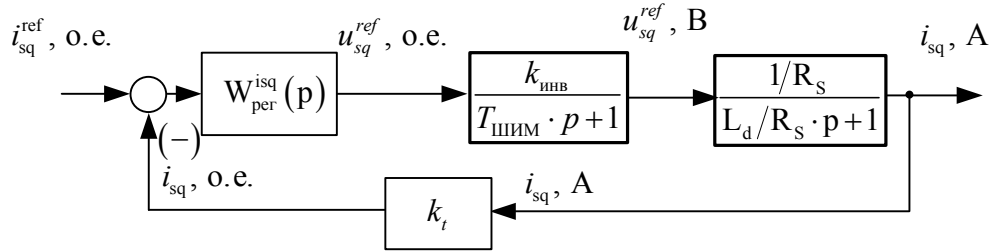


Рисунок 18 – Структурная схема контура тока

Передаточная функция разомкнутого контура тока при оптимизации по модульному оптимуму – $W_{PK}^{MO}(p) = \frac{1}{p \cdot 2 \cdot T_{\mu} \cdot (p \cdot T_{\mu} + 1)}$, тогда выражение для оптимизации регулятора:

$$W_{PK}^{MO}(p) = \frac{1}{p \cdot 2 \cdot T_{\mu T} \cdot (p \cdot T_{\mu T} + 1)} = W_{PT}(p) \cdot \frac{k_{инв} \cdot 1/R_s \cdot k_t}{(pT_{ШИМ} + 1) \cdot (pT_e + 1)};$$

$$W_{PT}(p) = \frac{1}{p \cdot 2 \cdot T_{\mu T} \cdot (p \cdot T_{\mu T} + 1)} \cdot \frac{(pT_{ШИМ} + 1) \cdot (pT_e + 1)}{k_{инв} \cdot 1/R_s \cdot k_t}.$$

Так как $T_{ШИМ} < T_e$, то малая некомпенсируемая постоянная времени $T_{\mu T} = T_{ШИМ} = 0,000062$ с.

Значит:

$$W_{PT}(p) = \frac{1}{p \cdot 2 \cdot T_{\mu T} \cdot (p \cdot T_{\mu T} + 1)} \cdot \frac{(pT_{ШИМ} + 1) \cdot (pT_e + 1)}{k_{инв} \cdot 1/R_s \cdot k_t} = \frac{pT_e + 1}{p \cdot 2 \cdot T_{ШИМ} \cdot k_{инв} \cdot 1/R_s \cdot k_t}.$$

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что используем ПИ-регулятор. Тогда: $W_{PI}(p) = \frac{(pT_e + 1)}{p \cdot \underbrace{T_e}_{T_H}} \cdot \frac{T_e}{\underbrace{2 \cdot T_{ШИМ} \cdot k_{инв} \cdot 1/R_s \cdot k_t}_{k_{PT}}}$,

где $T_H = T_e = L_d/R_s = 0,0022 / 0,54 = 0,004074$ с – постоянная времени регулятора тока;

$$k_{\text{пр}} = \frac{L_d}{2 \cdot T_{\mu Te} \cdot k_t \cdot k_{\text{инв}}} = \frac{0,0022}{2 \cdot (0,000062 + 0,0002 \cdot 2) \cdot 0,2 \cdot 13,856} = 0,859$$
 – коэффициент усиления регулятора.

Для дискретной модели регулятора необходимо дополнительно учитывать коэффициента интегральной составляющей:

$$K_{iPT} = \frac{dt}{T_e} = \frac{0,0002}{0,004074} = 0,049092,$$

где dt – время расчёта контура управления тока, c .

Управление токами без влияния противоЭДС возможно при неподвижном роторе. В применяемой модели двигателя есть параметр Brake, если его установить равным единице, то вал модели двигателя будет застопорен и возможно формировать различные токи. Реализованный в MexBIOS контур тока изображен на рисунке 19.

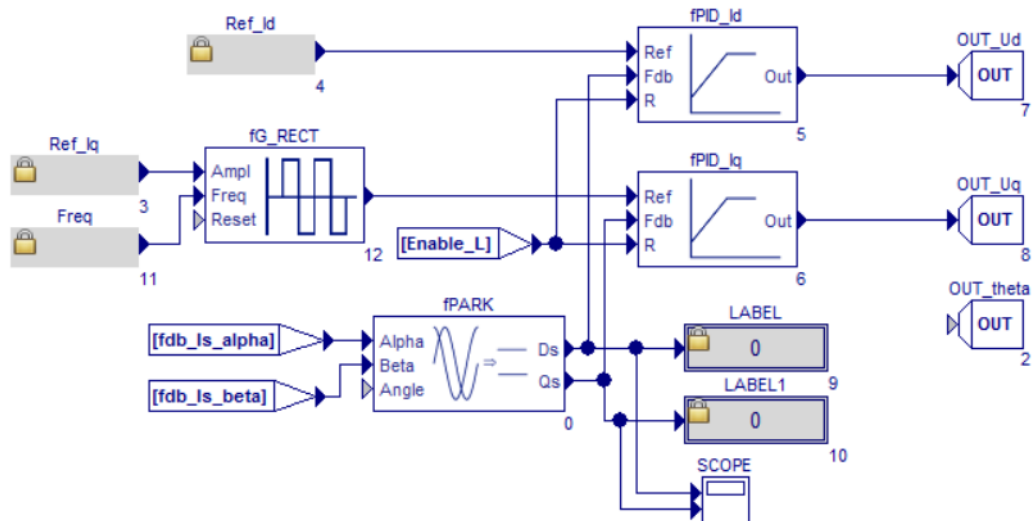


Рисунок 19 – Контур тока СДПМ в MexBIOS

Составляющая I_q отвечает за формирование момента синхронного двигателя. Поэтому необходимо произвести проверку настройки контура управления составляющей I_q с помощью генератора ступенек.

Задавая значения Ref_Iq в диапазоне от 0 до 1 получаем переходный процесс по току, изображенный на рисунке 20.

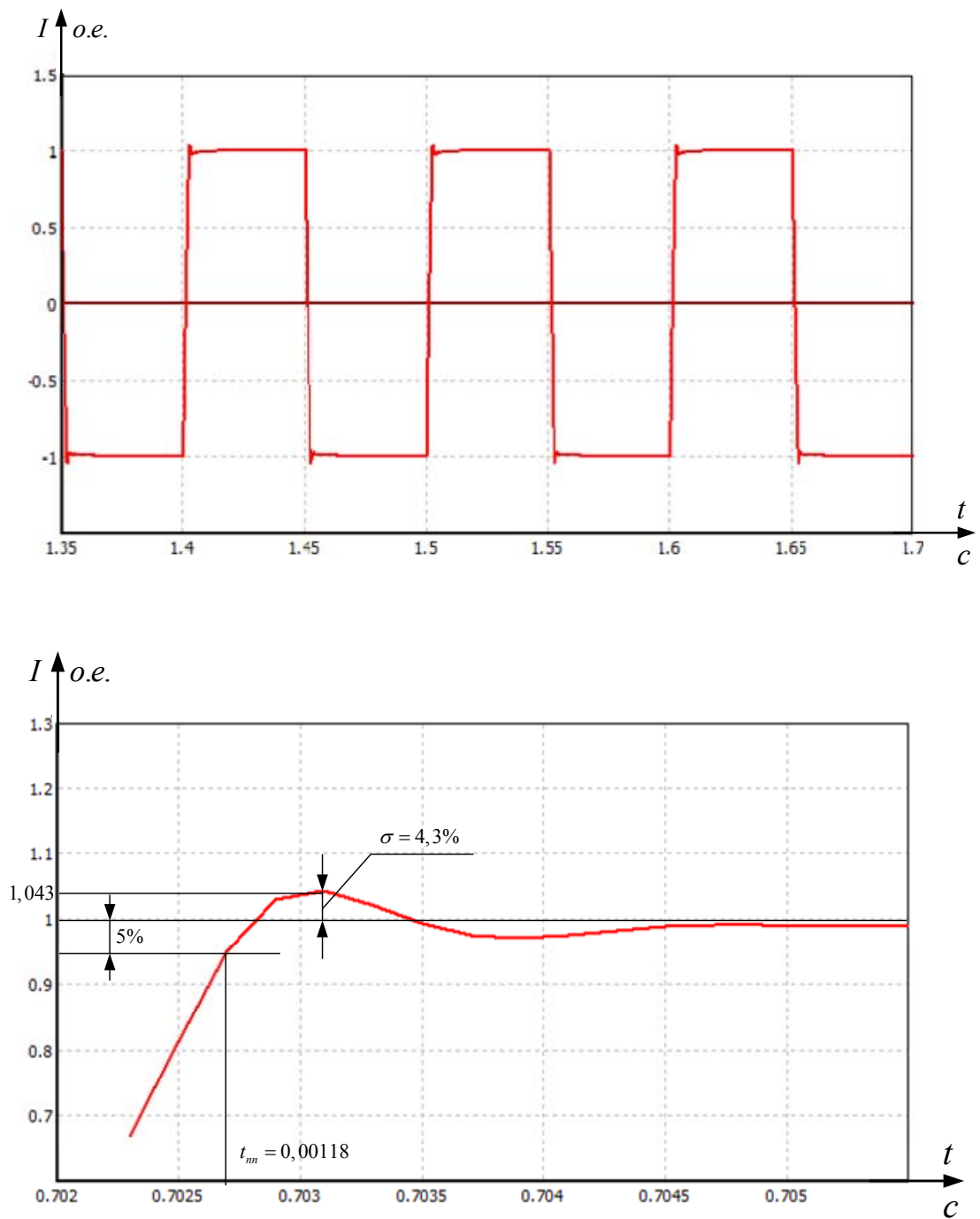


Рисунок 20 – Переходный процесс при подаче ступенчатого задания в оптимизированном контуре тока

3.2. Настройка и проверка контура скорости

Настройку контура скорости произведём на симметричный оптимум с фильтром на входе.

Структурная схема контура скорости с ПИ-регулятором скорости и замкнутым контуром тока $\frac{1/k_t}{2 \cdot T_{\mu Te} p + 1}$, оптимизированным выше, показана на рисунке 21.

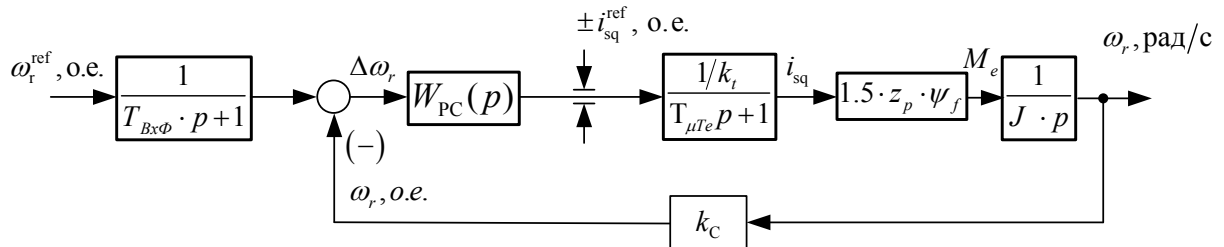


Рисунок 21 – Структурная схема контура скорости

Малая некомпенсируемая постоянная времени контура скорости равна $T_{\mu C} = 2 \cdot T_{\mu Te} = 0,000924 \text{ с}$.

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$k_C = \frac{\omega^{\text{ref}}}{\omega_H} = \frac{1}{314,1593} = 0,00318,$$

где $\omega^{\text{ref}} = 1 \text{ о.е.}$ – максимальное задание на скорость, соответствующая базовой скорости;

ω_H – номинальная скорость двигателя, рад/с .

Передаточная функция разомкнутого контура при оптимизации по симметричному оптимуму $W_{PK}^{CO}(p) = \frac{4T_{\mu C} p + 1}{8T_{\mu C}^2 p^2 (T_{\mu C} p + 1)}$, тогда выражение для оптимизации регулятора:

$$W_{PK}^{CO}(p) = \frac{4T_{\mu C} \cdot p + 1}{8T_{\mu C}^2 \cdot p^2 (T_{\mu C} \cdot p + 1)} = W_{PC}(p) \cdot k_C \cdot \frac{1/k_t}{2 \cdot T_{\mu Te} \cdot p + 1} \cdot \frac{1.5 \cdot z_p \cdot \psi_f}{J \cdot p};$$

$$W_{PC}(p) = \frac{(4T_{\mu C} \cdot p + 1)}{8T_{\mu C}^2 \cdot p \cdot \cancel{(T_{\mu C} \cdot p + 1)}} \cdot \frac{\cancel{(2 \cdot T_{\mu Te} \cdot p + 1)} \cdot J \cdot \cancel{p}}{k_C \cdot 1.5 \cdot z_p \cdot \psi_f \cdot 1/k_t} = \frac{(4T_{\mu C} \cdot p + 1)}{\underbrace{4T_{\mu C} \cdot p}_{T_{PC}}} \cdot \frac{J \cdot k_t}{\underbrace{2 \cdot 1.5 \cdot z_p \cdot \psi_f \cdot T_{\mu C} \cdot k_C}_{k_{PC}}},$$

где $T_{PC} = 4T_{\mu C} = 4 \cdot 0,000924 = 0,0037 \text{ с}$ – постоянная времени регулятора скорости;

$$k_{pc} = \frac{J_s \cdot k_t}{2 \cdot 1.5 \cdot z_p \cdot T_{\mu Ce} \cdot k_C \cdot \psi_f} = \frac{0,0000119 \cdot 0,2}{3 \cdot 2 \cdot (0,000924 + 2 \cdot 0,001) \cdot 0,00318 \cdot 0,00513} = 8,316 \quad \text{ко-}$$

эффициент усиления регулятора.

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что используем ПИ-регулятор.

Передаточная функция фильтра:

$$W_{\text{ex.}\phi}(s) = \frac{1}{4 \cdot T_{\mu c} s + 1}.$$

Для дискретной модели регулятора необходимо дополнительно выполнить расчет коэффициента интегральной составляющей:

$$K_{iPC} = \frac{dt}{T_{PC}} = \frac{0,001}{0,0037} = 0,27027.$$

где dt – шаг расчёта контура управления скоростью по времени.

Переходим к реализации контура скорости в программной среде. Контур скорости состоит из регулятора скорости и дополнительной схемы задержки на включение работы регулятора скорости. Задержка на работу контура скорости необходима для формирования тока I_d , который формирует потокосцепление двигателя. Для работы в СУ, замкнутой по скорости, необходимо предварительно произвести намагничивание двигателя (формирование номинального потокосцепления), которое участвует в формировании электромагнитного момента двигателя. Задержка включения контура скорости формируется от начала нажатия кнопки Старт/Стоп. Реализованный контур скорости показан на рисунке 22.

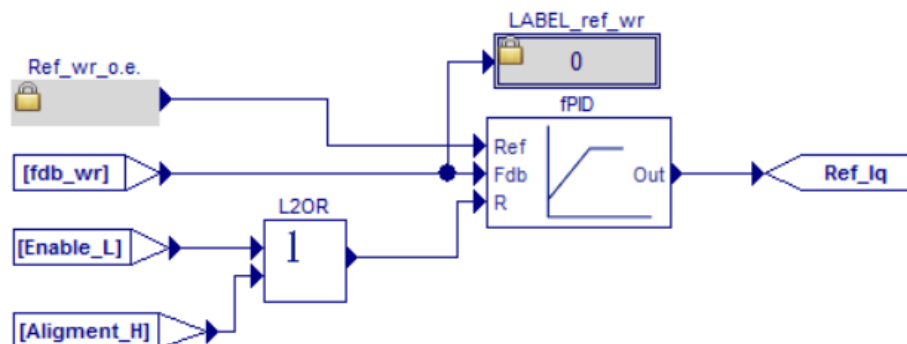


Рисунок 22 – Контур скорости в программной среде MexBIOS

Добавление контура скорости в общую систему осуществляем с помощью блока IF (рисунок 23).

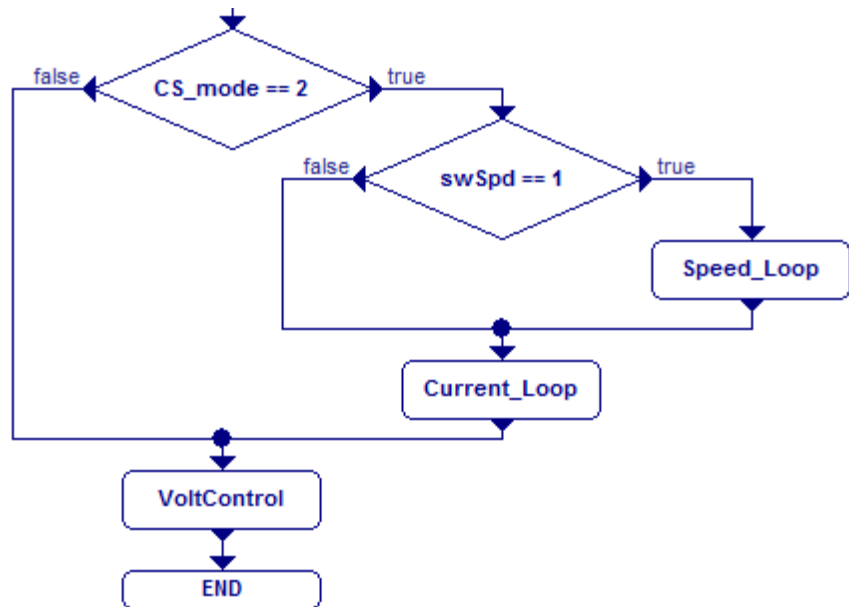


Рисунок 23 – Контур скорости в общей системе

Добавим задатчик интенсивности, для плавного разгона и торможения двигателя, для этого из окна шаблонов добавим на поле набора шаблон fREF Intensity – подсистема, в которой собрана схема задатчика интенсивности, настроенного на работу с частотой 1 кГц. Совместно с подсистемой будут добавлены два Edit для задания времени разгона и торможения (рисунок 24).

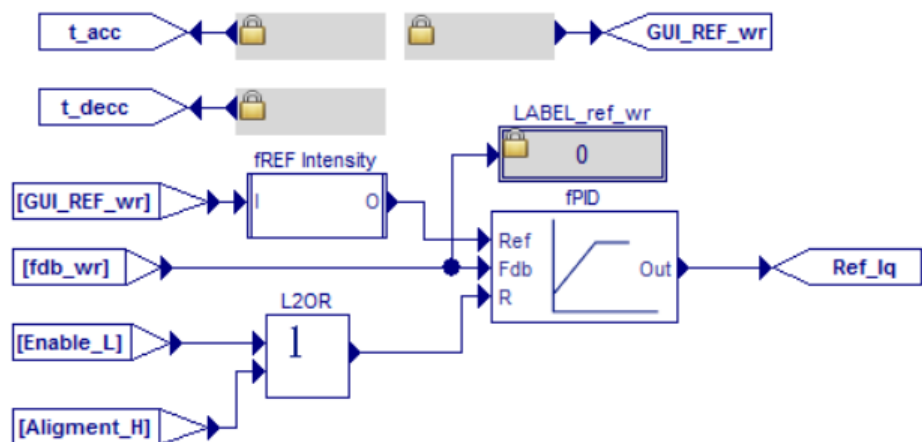


Рисунок 24 – Контур скорости с задатчиком интенсивности

Для упрощения управления двигателем создадим виртуальную панель управления (рисунок 25). Подробный процесс создания панели управления представлен в методическом пособии для визуальной среды разработки и моделирования встроенного программного обеспечения систем управления электродвигателями, технологическими комплексами и программируемыми логическими контроллерами MexBIOS Development Studio.

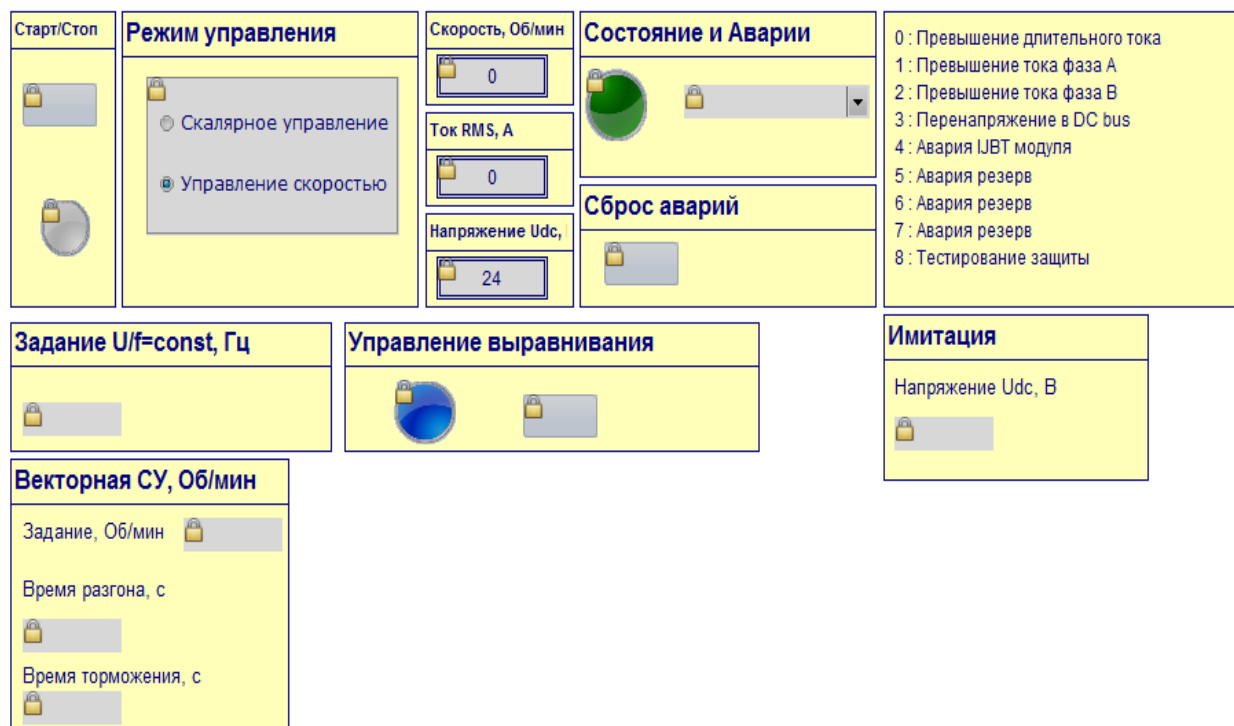


Рисунок 25 – Виртуальная панель управления двигателем в MexBIOS Development Studio

Панель "Состояние и Аварии" на данном этапе не рабочая. Реализация и настройка данной системы будет осуществлена позднее.

Переходные процессы при пуске в холостую на номинальную скорость оптимизированной системы представлены на рисунке 26.

Из графиков переходных процессов при набросе нагрузки, изображенных на рисунке 27, видно, что система обрабатывает возмущения и возвращается на номинальную скорость.

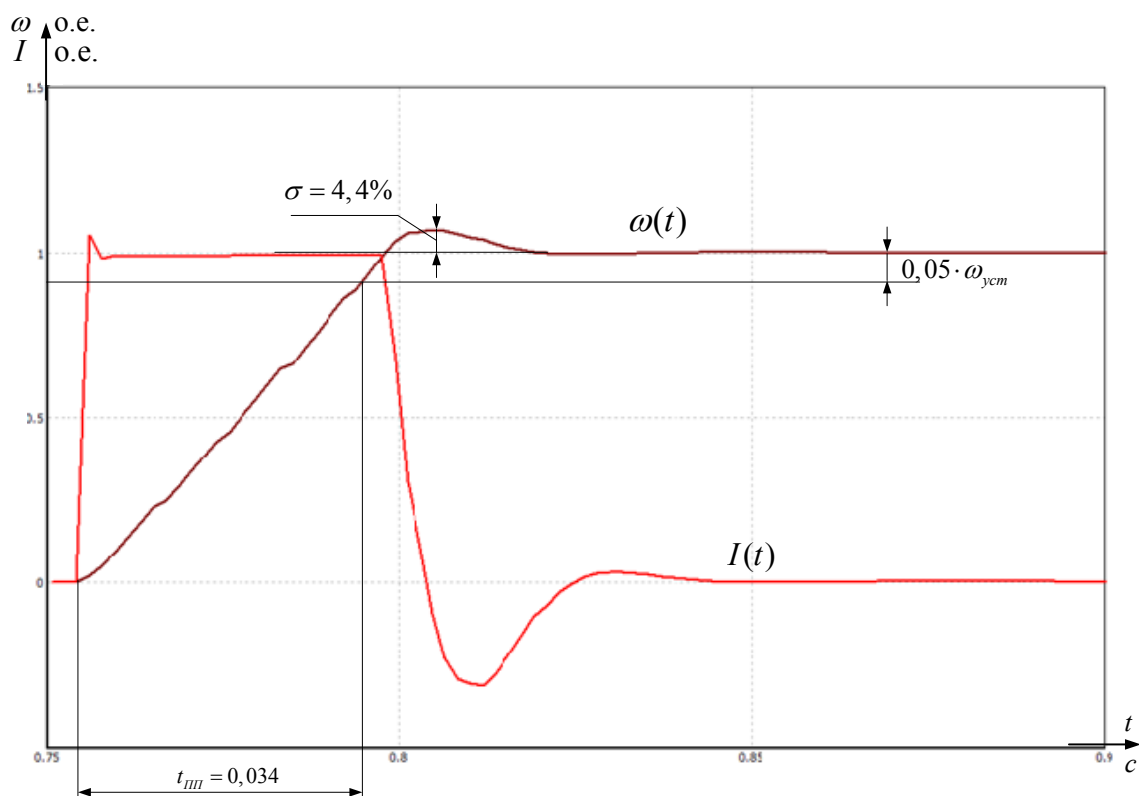


Рисунок 26 – Переходные процессы при пуске СДПМ без нагрузки

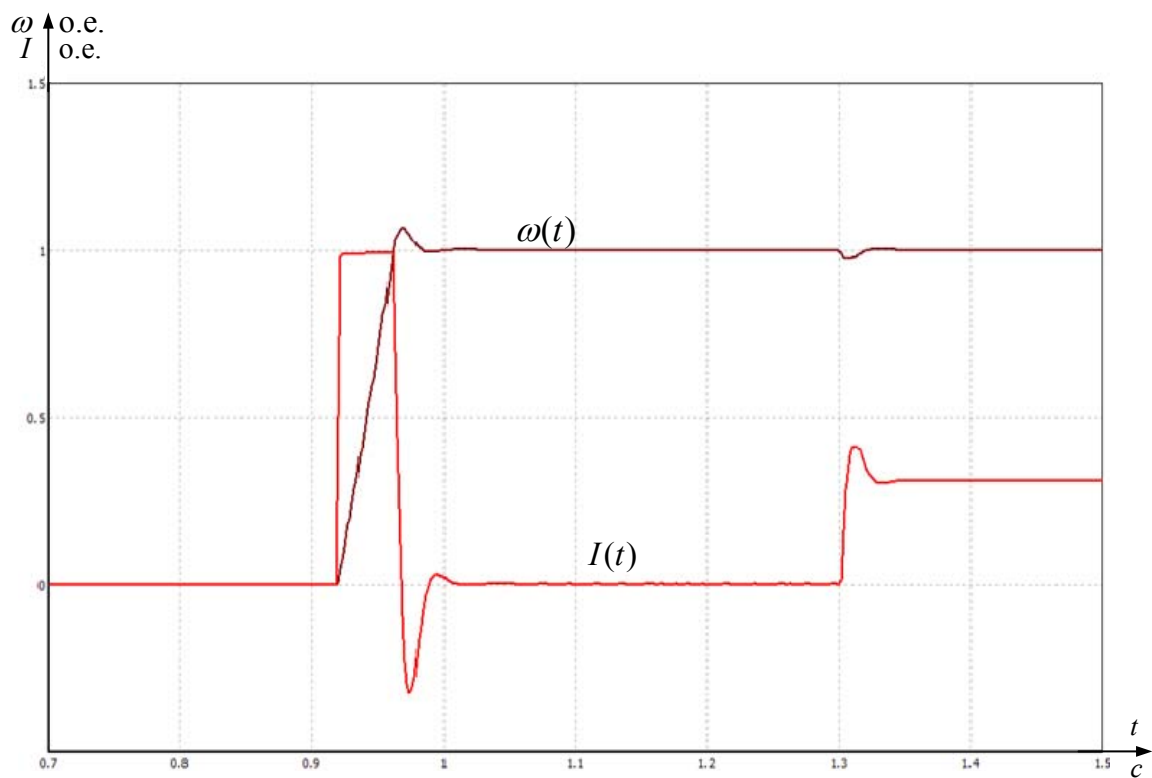


Рисунок 27 – Переходные процессы при набросе нагрузки

Проанализируем переходный процесс при воздействии номинальной нагрузки (рисунок 28).

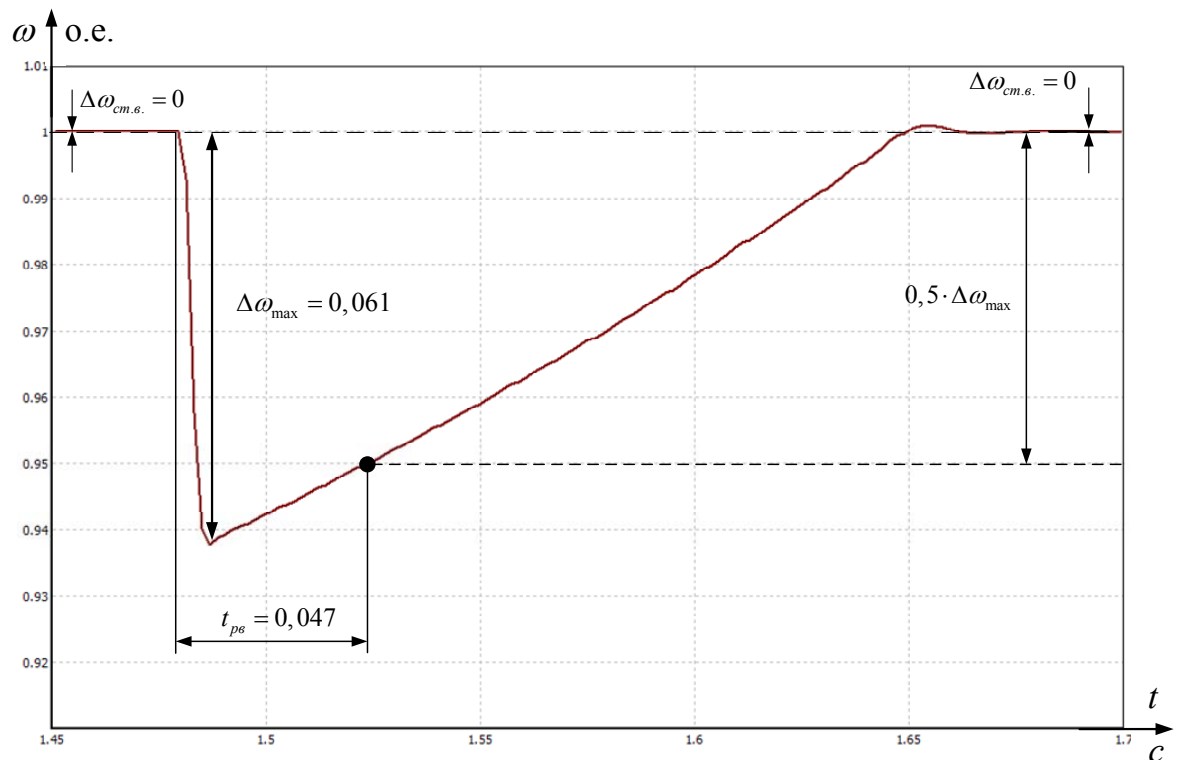


Рисунок 28 – Переходный процесс по скорости при набросе нагрузки

Как видно из графика, при оптимизации на симметричный оптимум с фильтром на входе, статическая ошибка по возмущению отсутствует. Время реакции на возмущение составляет 0,047 секунды.

Произведем реверс системы при работе без нагрузки, а затем под нагрузкой. Результаты представлены на рисунке 29 и рисунке 30. На рисунке 31 представлен график переходного процесса при пуске под нагрузкой.

Из полученных графиков видно, что система управления отрабатывает все основные режимы работы двигателя с достаточно высокой скоростью и точностью.

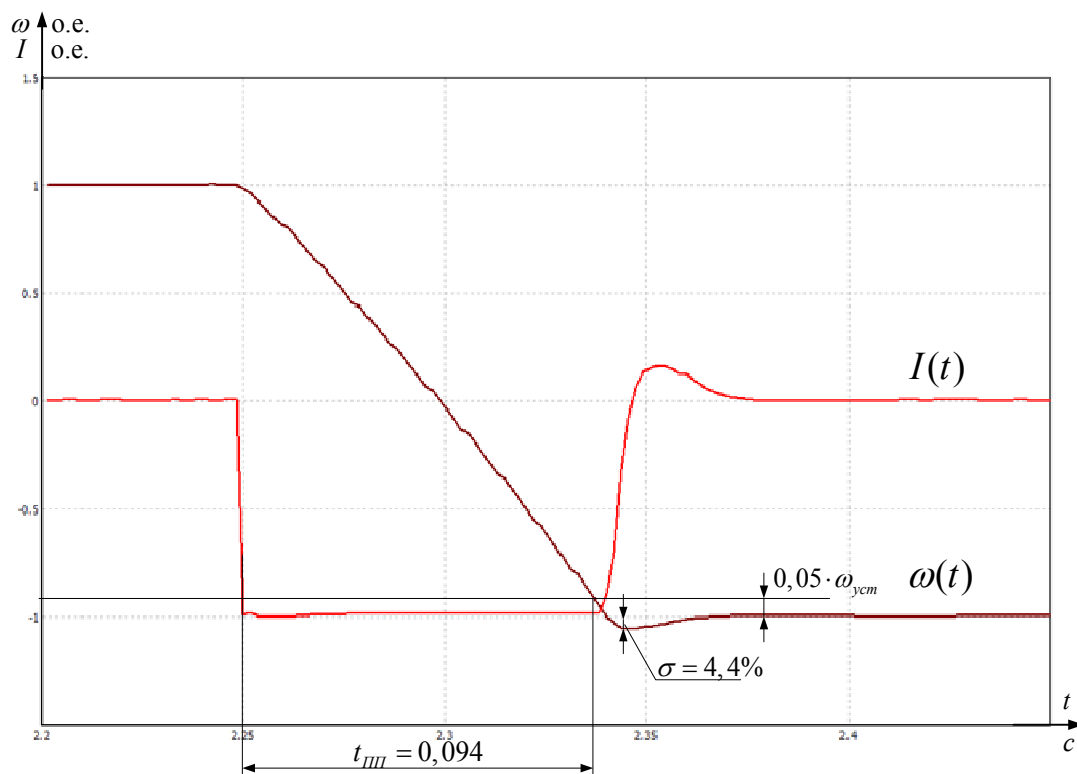


Рисунок 29 – Реверс при работе без нагрузки

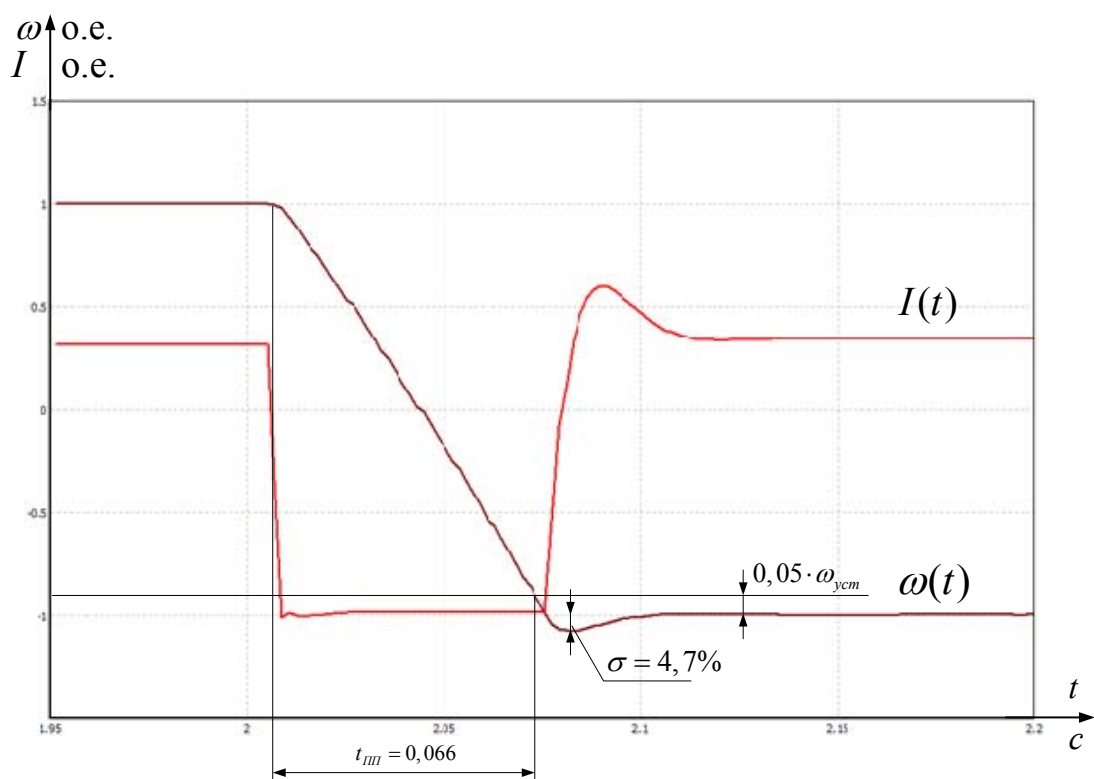


Рисунок 30 – Реверс при работе под нагрузкой

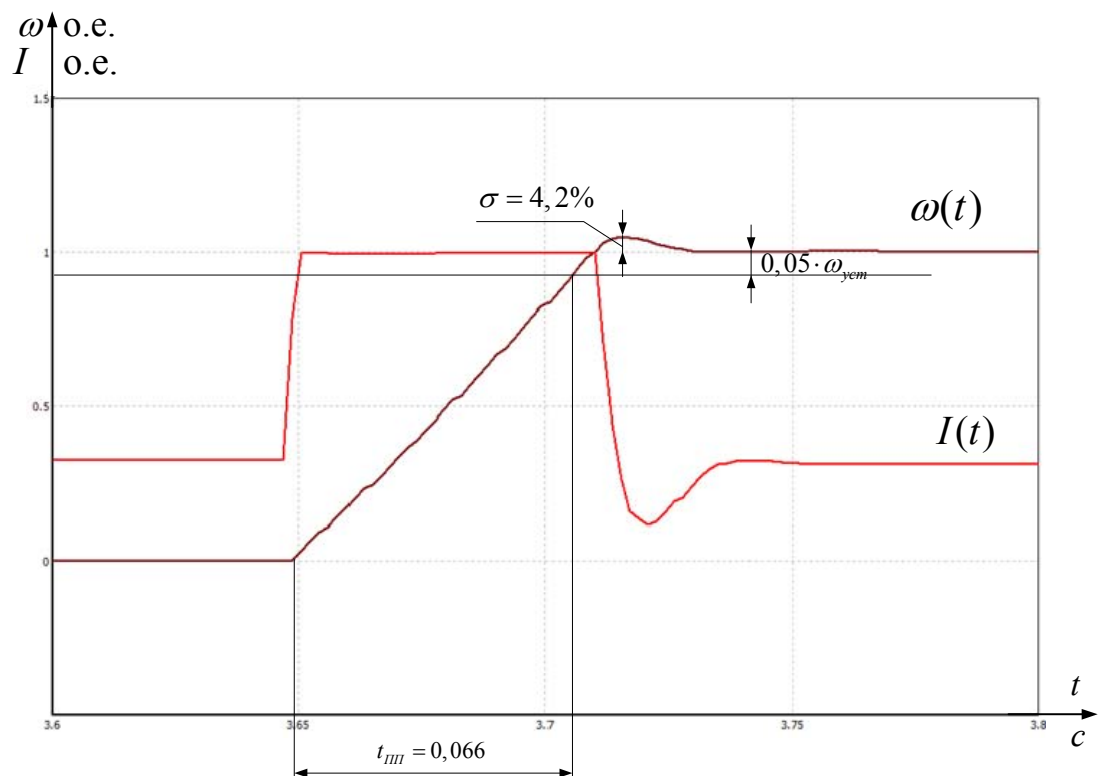


Рисунок 31 – Пуск под нагрузкой

Анализ полученных графиков показывает, что время переходного процесса при пуске даже под нагрузкой составляет 0,066 секунд, что на 0,024 секунды меньше, чем в техническом задании. Максимальное значение перерегулирования достигается при реверсе с работой под нагрузкой и составляет 4,7 % и удовлетворяет техническому заданию 10 %.

4. Создание и проверка защит

В процессе разработки систем управления возможно допустить ошибки, которые приведут к формированию тока, опасного для силового модуля и двигателя, поэтому, прежде чем проверять созданные системы управления на стенде, необходимо реализовать минимальный набор защит:

- превышение длительного тока;
- превышение максимального тока в фазе А;
- превышение максимального тока в фазе В;
- перенапряжение в DC-bus (более 100 В).

Защиты должны выполняться на частоте основного прерывания и обрабатываться сразу после получения сигналов с обратных связей. При возникновении события срабатывания защиты необходимо: запретить формирование ШИМ, подать сброс на регуляторы СУ (запретить формирование сигнала задания). Также необходимо зафиксировать событие и вывести его на виртуальный пульт управления.

Систему защиты создаем в формуле Protect на главном поле набора. Начальная схема для реализации защиты показана на рисунке 32.

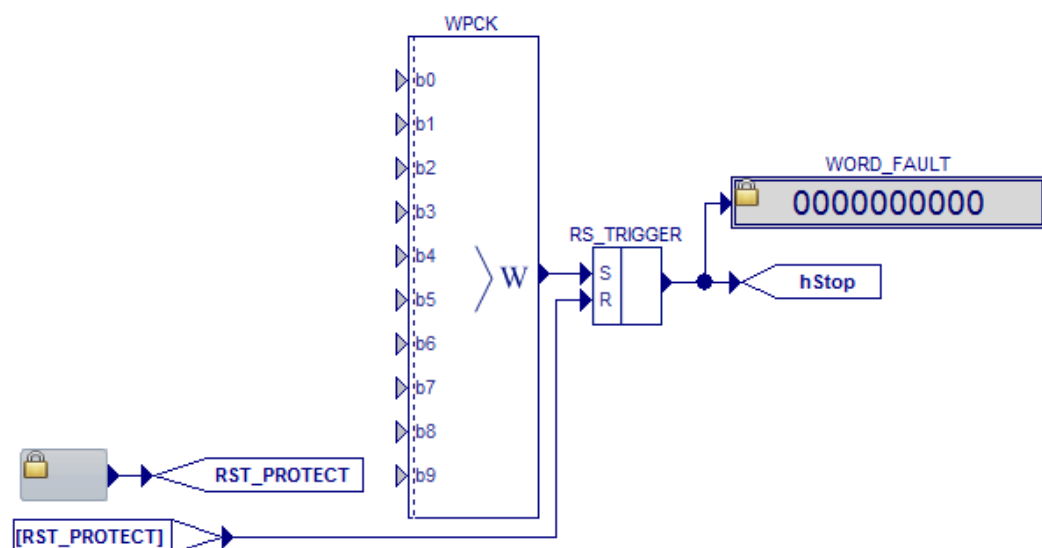


Рисунок 32 – Начальная схема защиты

Событие аварии подается на блок конвертирования шестнадцати бит в два байта WPCK. Для фиксирования возникшей аварии на выходе установлен блок RS_TRIGGER, выход которого подключается к hStop.

Защита от превышения длительного тока реализуется в формуле Protect блоком численной логики fGE и блоком задержки включения и выключения T_DELAY_ONOFF (рисунок 33).

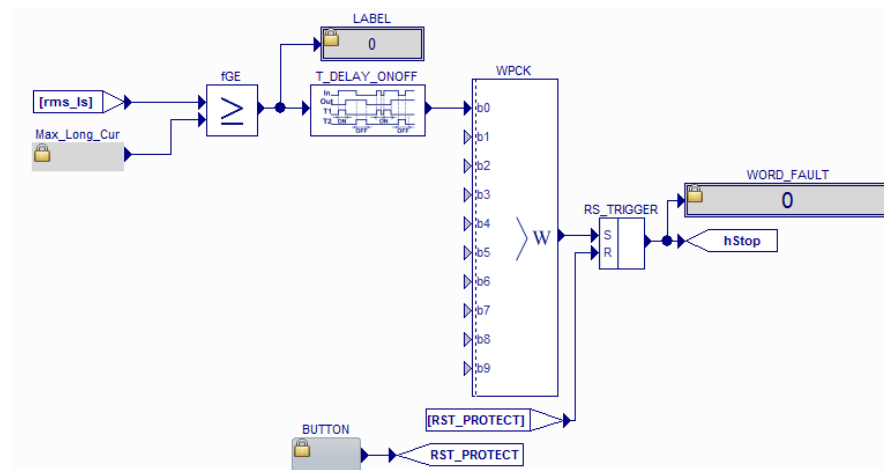


Рисунок 33 – Защита по превышению длительного тока

Установка $\text{Max_Long_Cur} = 6$ означает, что двигатель будет работать в течение 5 секунд при токе 6 ампера, а затем срабатывает защита.

В случае превышения действующего значения уставки на выходе блока fGE появится высокий уровень, который запустит отсчёт в блоке T_DELAY_ONOFF. Если высокий уровень на выходе fGE продержится время, указанное в параметре Time_Del_ON блока T_DELAY_ONOFF, то на выходе блока T_DELAY_ONOFF появится единица, которая запишется RS_TRIGGER. Произойдёт остановка СУ по сигналу с hStop. Данная защита позволяет предотвратить перегрев двигателя длительным током.

Произведем проверку, задав значение уставки 1 ампер и нагрузив двигатель (рисунок 34). Через 2,5 секунды работы двигателя подаем нагрузку $0,2 \cdot M_{\text{ном}}$, после чего запускается счетчик. После отсчета 5 секунд подается задание на отключение двигателя и выставляется сигнал аварии. Счетчик обнуляется.

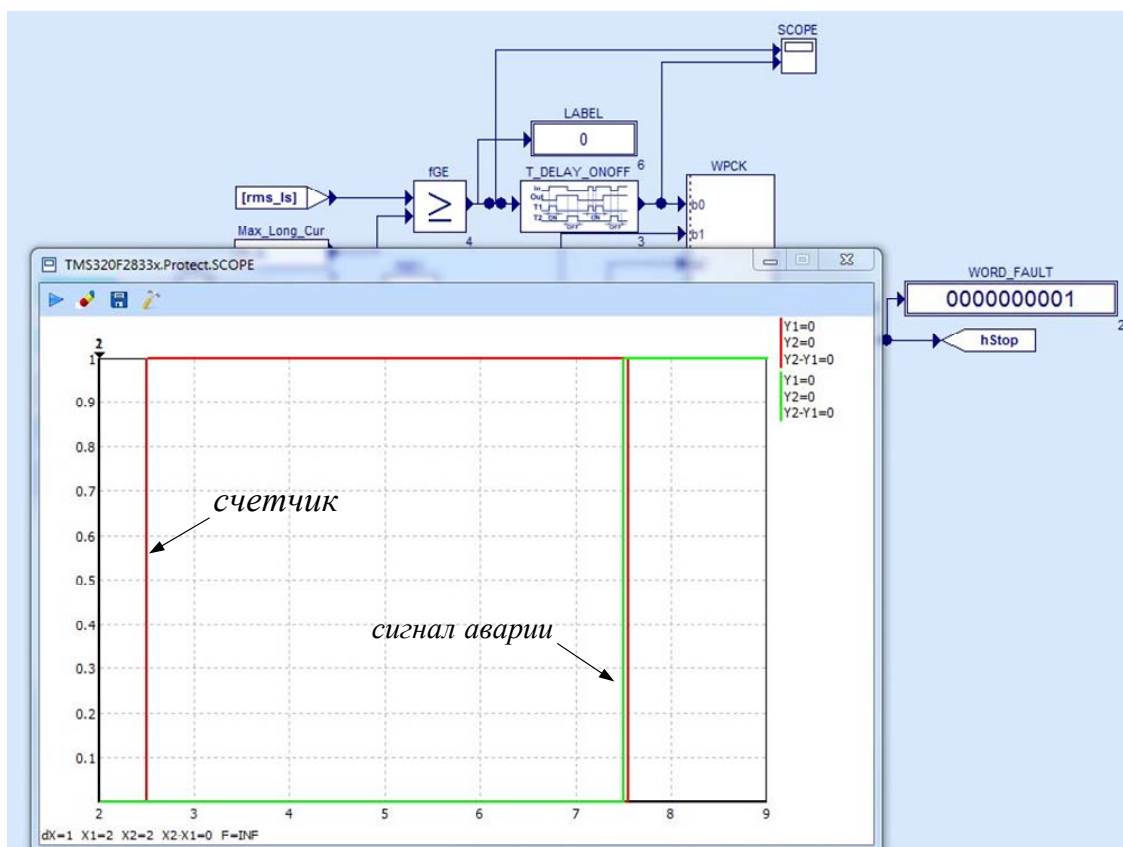


Рисунок 34 – Демонстрация работы защиты по превышению длительно-го тока

На рисунке 35 представлена схема защиты от превышения максимального тока. Сигналы тока, в абсолютных единицах, поступают на блоки вычисления модуля сигнала f_{ABS} и сравниваются с величиной Max_Pik_Cur . Если в какой-то момент времени ток становится больше уставки Max_Pik_Cur , то происходит срабатывание защиты.

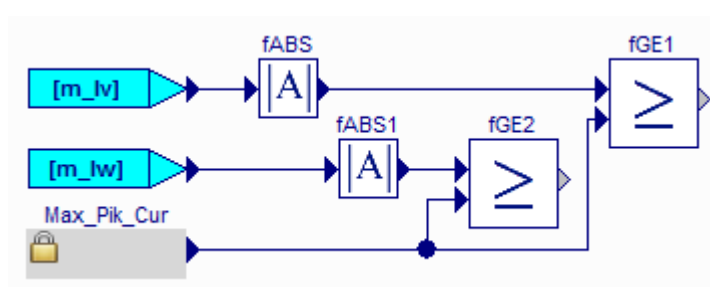


Рисунок 35 – Защита от превышения максимального тока

Далее создаем защиту от превышения напряжения в звене постоянного тока (рисунок 36).

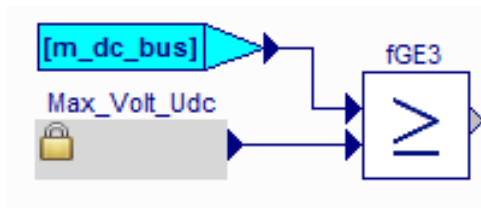


Рисунок 36 – Схема защиты от превышения напряжения в звене постоянного тока

Значение напряжения звена постоянного тока подаётся на вход блока fGE, который при превышении значения U_{dc} над уставкой Max_Volt_Udc выдаст высокий уровень и произойдёт срабатывание защиты. Защита позволяет сохранить конденсаторы звена постоянного тока в случае выхода из строя тормозного резистора.

В ПЧ MBS-FC01 есть аппаратная защита IGBT модуля – отдельная дискретная ножка процессора, которая в случае возникновения аварии выдаёт высокий уровень. Данная защита подключается готовым шаблоном IGBT_FAULT.

Итоговый вид схемы защит представлена на рисунке 37.

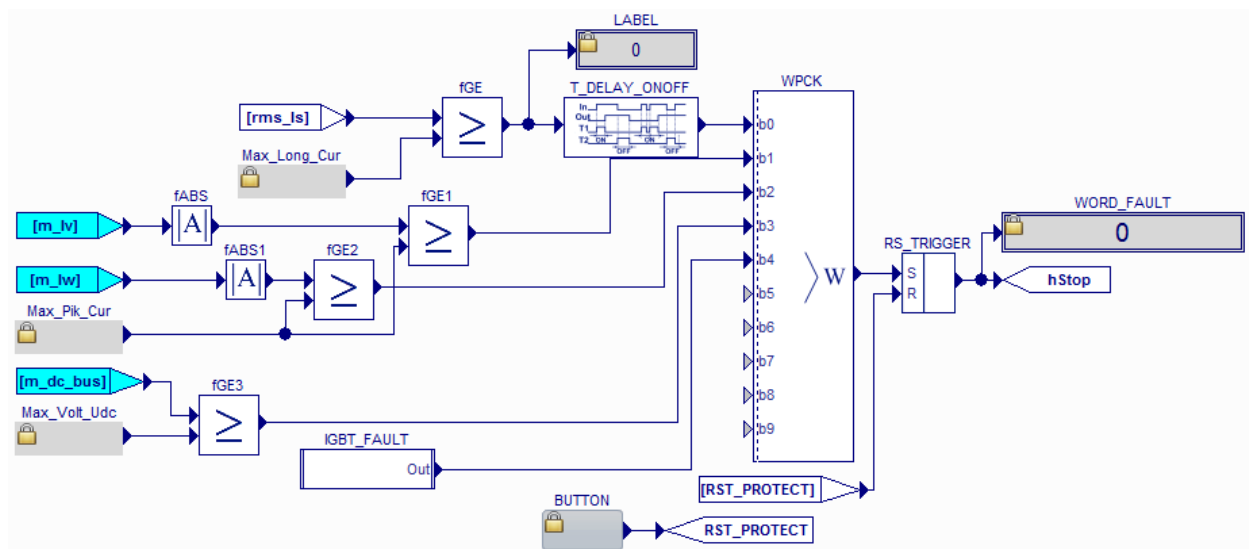


Рисунок 37 – Схема защиты в MexBIOS Development Studio

Далее активизируем в пульте управления панель сведений о работе системы управления и сброс аварии.

5. Проведение испытаний на экспериментальном стенде

Целью работы было создание именно универсальной системы управления, поэтому произведем проверку работоспособности разработанной системы управления на учебном стенде тип 4 с отечественным двигателем с постоянными магнитами ДСМ Г-2,2-1500-1-Д-УХЛ-3 IM3281 IC49 380 В. На стенде используется преобразователь частоты MBS-FC01 с открытой программной платформой на базе микроконтроллера TMS320F28335 производства Texas Instruments. Основные характеристики силовой части преобразователя приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики силовой части преобразователя

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение питания от трёхфазного источника питания переменного тока, В	380
Номинальное напряжение питания от источника постоянного тока, В	540
Рекомендуемое действующее значение тока, А	Не более 6
Рекомендуемая номинальная мощность двигателя, кВт	2,2
Номинальное напряжение питания источника цепей управления, В	220
Рекомендуемое действующее значение максимального тока, А	12

Преобразователь частоты MBS-FC01 состоит из трех плат:

- плата управления (модуль управления ControlCard-28335V1.1);
- плата силовая (силовой модуль PowerCard-03V2.2);
- источник питания (модуль PC-03PowerSupplyV1.1).

Плата ControlCard-28335V1.1 выполняет функции устройства управления и интерфейсные функции (рисунок 38). Соединение с силовым модулем PowerCard-03V2.2 осуществляем через разъем XS2 гибким шлейфом. Широтно-модулированные импульсы управления силовыми ключами поступают от платы управления через разъем XP2. На силовой плате импульсы буферизируются,

с помощью оптронов гальванически развязываются и подаются на силовой модуль.

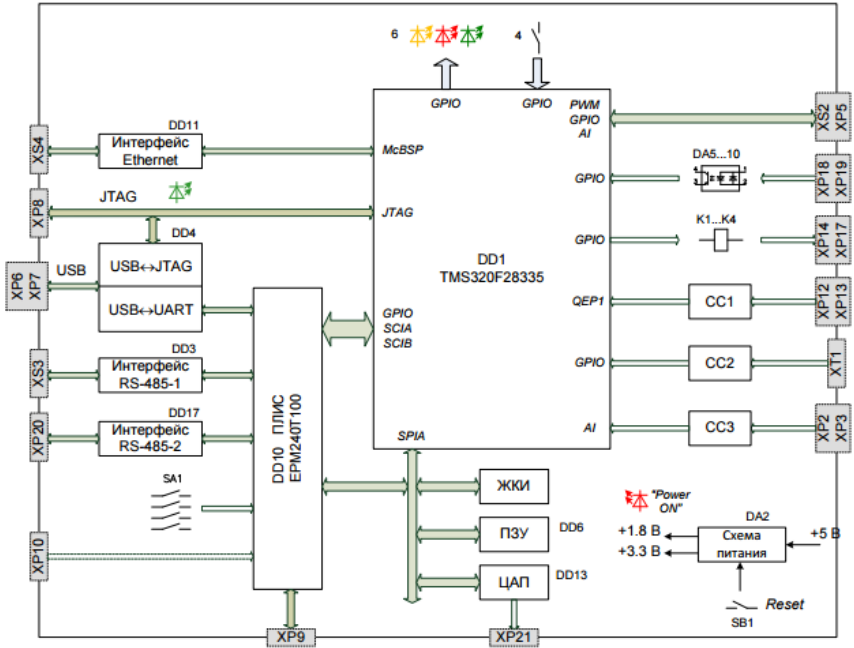


Рисунок 38 – Функциональная схема платы управления ControlCard-28335V1.1

Собираем силовую цепь согласно схеме, изображенной на рисунке 39.

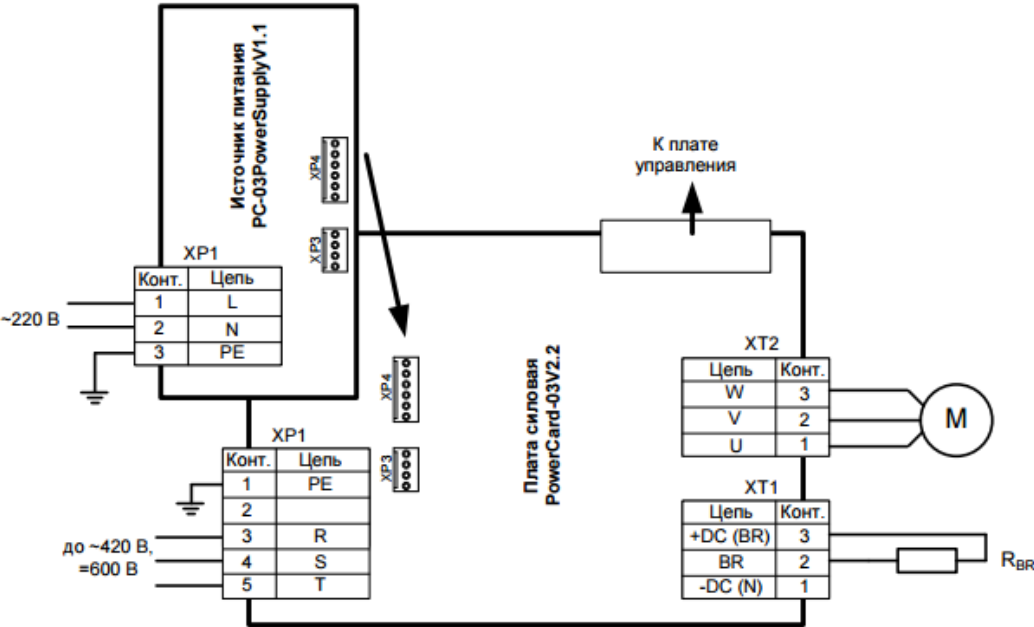


Рисунок 39 – Функциональная схема подключения силовых цепей

Для соединения ControlCard-28335V1.1 с персональным компьютером используем интерфейс Ethernet (разъем XS4). Данный интерфейс позволяет осуществить скоростную и устойчивую к помехам связь с устройствами. В качестве драйвера используется микросхема ENC28J60-I/SS (DD11), которая преобразует сигналы интерфейса SPI микроконтроллера в Ethernet.

Плата управления имеет в своём составе интерфейс инкрементного энкодера. Схема интерфейса позволяет работать как с энкодерами с дифференциальным выходным сигналом 5 В, RS-422 (Line driver output), так и с энкодерами с однополярным сигналом TTL 5 В. В качестве нагрузки линии RS-422 используются резисторы R73...R75. Сигналы от энкодера подаются через разъёмные клеммники XP12, XP13.

Произведем пуск двигателя с заданием 300 об/мин (рисунок 40).

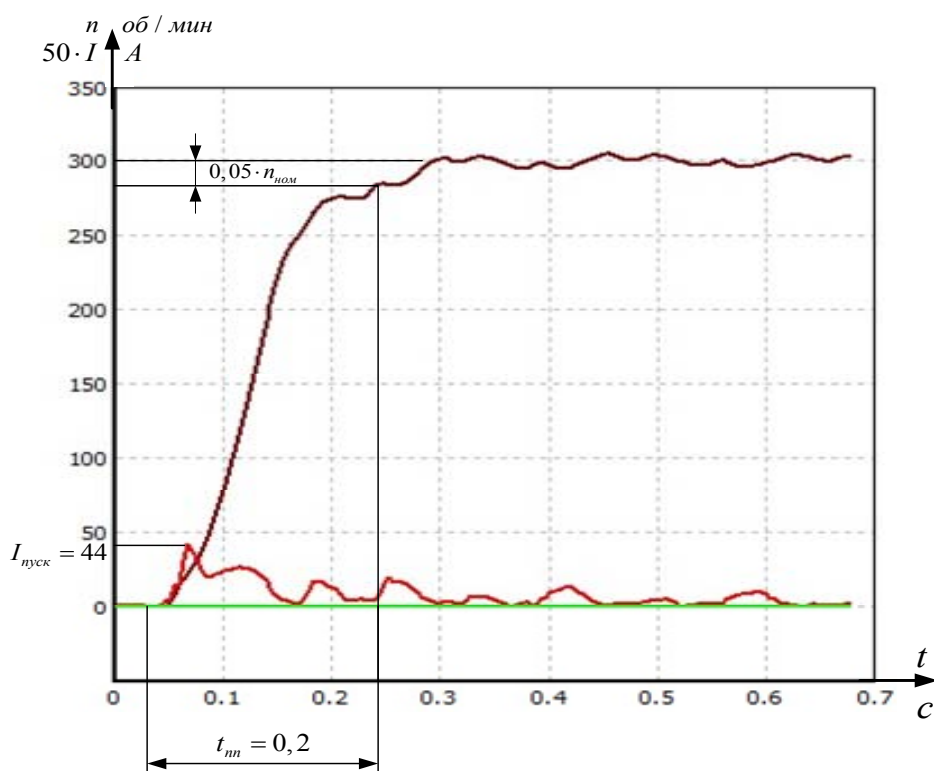


Рисунок 40 – График переходного процесса при пуске двигателя с заданием 300 об/мин

Произведем пуск двигателя с заданием 500 об/мин (рисунок 39) и реверс с 300 об/мин (рисунок 41).

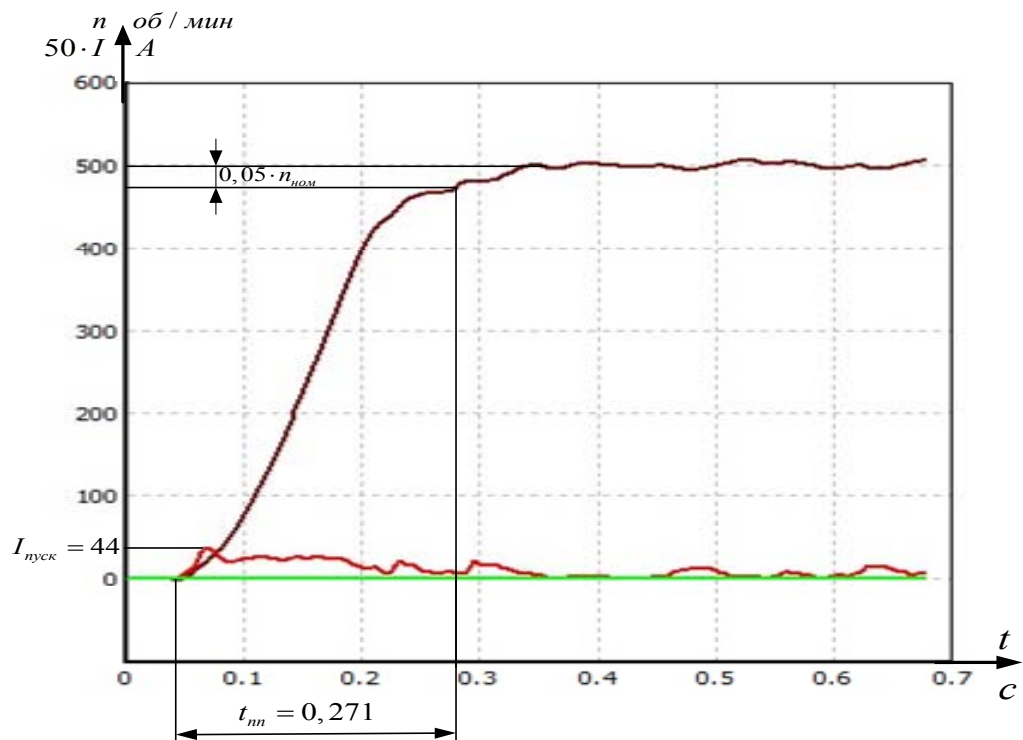


Рисунок 41 – График переходного процесса при пуске двигателя с заданием 500 об/мин

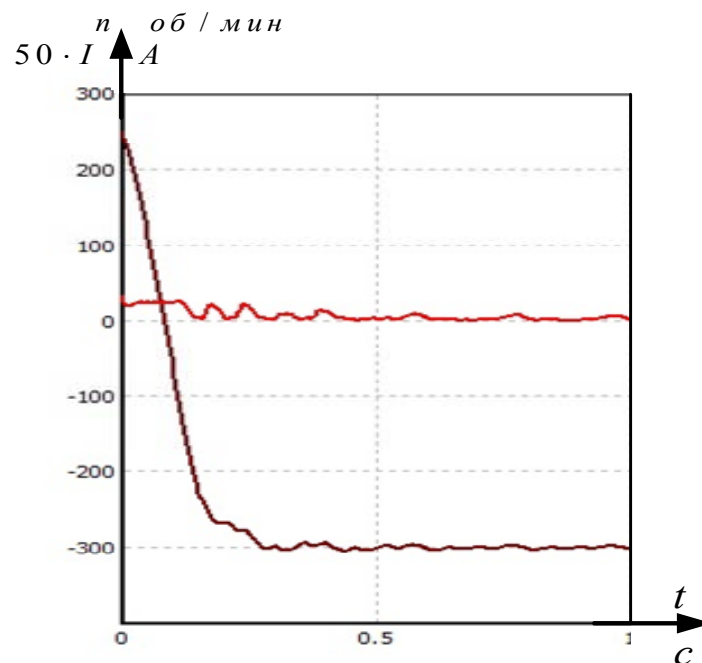


Рисунок 42 – График переходного процесса при реверсе двигателя

А так же снимем график переходного процесса при позиционировании вала ротора. Результат приведен на рисунке 43.

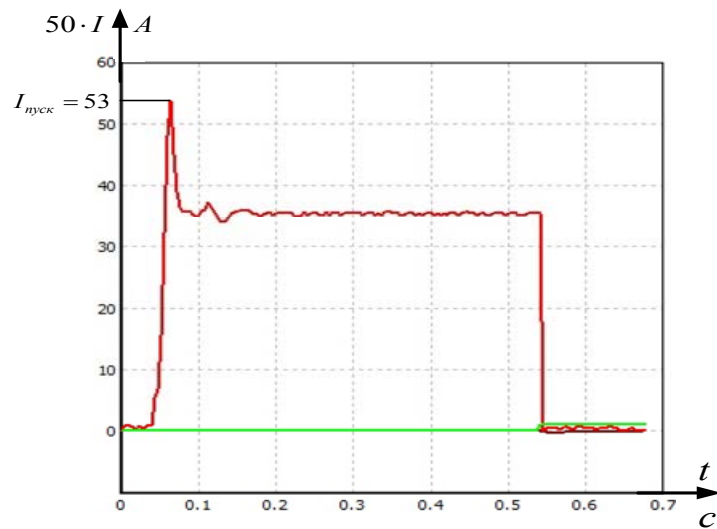


Рисунок 43 – График переходного процесса при нахождении начального положения вала ротора

Снимем аналогичные графики переходных процессов с модели (рисунок 44).

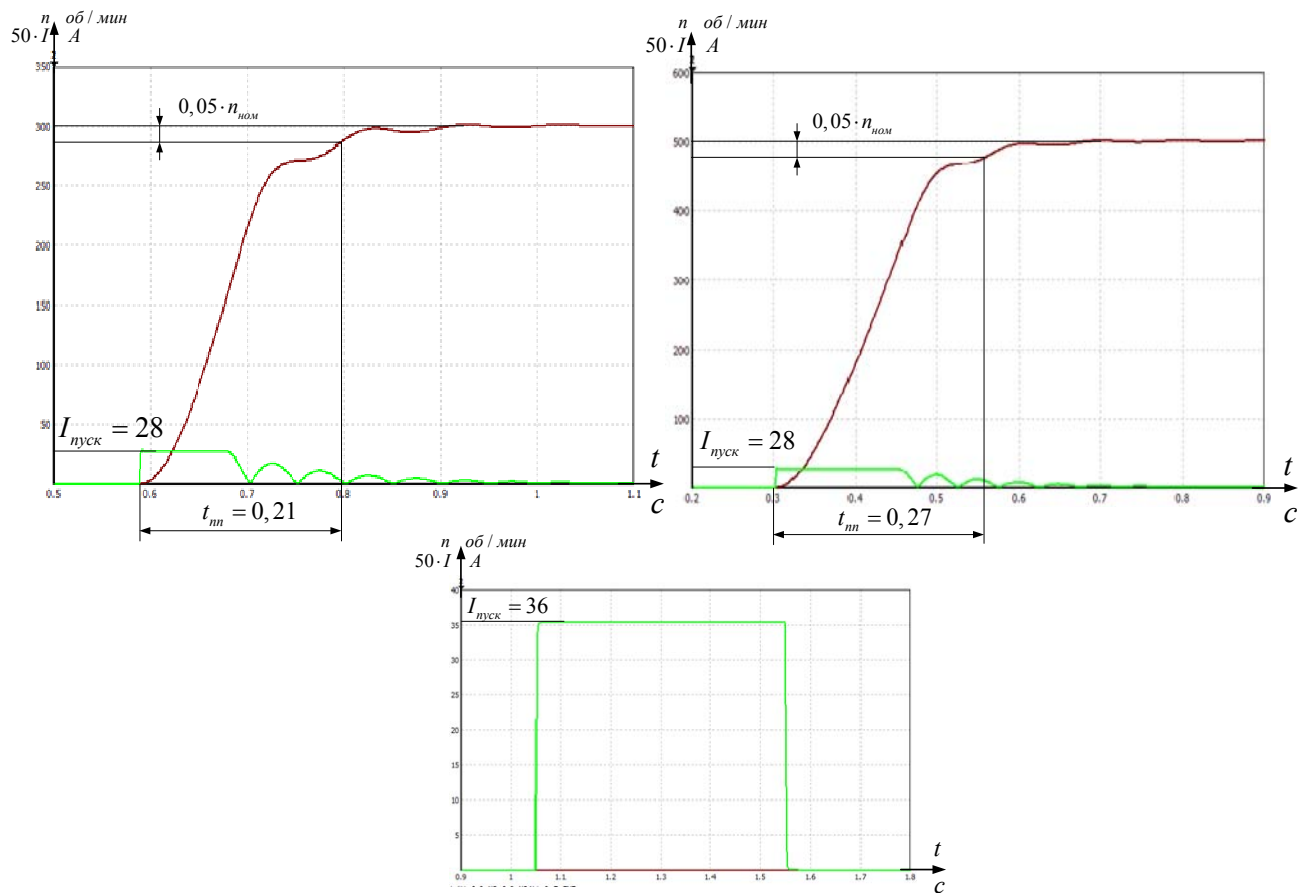


Рисунок 44 – Графики переходных процессов модели

Сведем анализируемые параметры в таблицу 2.

Таблица 2 – Показатели качества переходных процессов

$t_{PY1}^{(5)}, c$	$t_{PY2}^{(5)}, c$	$\sigma, \%$	$n_{уст}, об / мин$ (I, A)	$I_{пуск}, A$	
0,21	0,21	0	300	0,56	Модель, 300 об/мин
0,27	0,27	0	500	0,574	Модель, 500 об/мин
0,5	0,5	0	0,72	0,72	Модель, позиционирование
0,218	0,218	0	300	0,88	Эксперимент, 300 об/мин
0,271	0,271	0	500	0,886	Эксперимент, 500 об/мин
0,5	0,5	51	0,72	1,06	Эксперимент, позиционирование

По полученным результатам видно, что система управления обрабатывает задания плавно и достаточно быстро. Показатели модели и эксперимента совпали с максимальной погрешностью 3,8 % (по времени переходного процесса при пуске), что является допустимым. Различие пусковых токов происходит в следствии того, что мы не учитываем инерционность муфты в модели. Шумы тока обусловлены шумами в АЦП. Исходя из вышесказанного, приходим к выводу, что разработанная модель является рабочей и пригодной для использования. Повышение быстродействия системы возможны путем более точной настройки регуляторов и фильтров.

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование [34].

В данном случае сегментирования целесообразно провести по критерию регулирования скорости, так как для различных типов механизмов, требуется разная величина скорости вращения вала двигателя.

Следует выделить сегменты рынка:

- по разработке, проектированию и производству;
- по установке и пуско-наладке;
- по дальнейшему обслуживанию и ремонту.

Исходя из сегмента рынка, будет произведено сегментирование коммерческих организаций по отраслям. Сегментирование приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Карта сегментирования рынка разработок для электроприводов

	Электропривода постоянного тока с датчиками скорости	Асинхронные электропривода с датчиками скорости	синхронные электропривода с датчиками скорости
Проектирование и производство			
Установка и пуско-наладка			
Обслуживание и ремонт			
Фирма А		Фирма Б	

Результаты сегментирования:

- основными сегментами рынка являются все виды деятельности для электроприводов постоянного тока и асинхронных электроприводов с датчиками скорости;

- наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой синхронных электроприводов с датчиками.

6.1.2. Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (таблица 4).

Таблица 4 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средне-взвешенное значение (5x2)x100
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,07	95	100	0,95	6,65
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,12	87	100	0,87	10,44
3. Помехоустойчивость	0,03	90	100	0,9	2,7
4. Энергоэкономичность	0,11	90	100	0,9	9,9
5. Надежность	0,06	97	100	0,97	5,82
6. Уровень шума	0,03	80	100	0,8	2,4
7. Безопасность	0,01	80	100	0,8	2,4
8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	75	100	0,75	1,5
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	85	100	0,85	3,4
10. Простота эксплуатации	0,04	98	100	0,98	3,92

Окончание таблицы 4

11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	96	100	0,96	4,8
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	100	100	1	6
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	90	100	0,9	3,6
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	70	100	0,7	2,8
3. Цена	0,1	65	100	0,65	6,5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	95	100	0,95	6,65
5. Послепродажное обслуживание	0,03	90	100	0,9	2,7
6. Финансирование научной разработки	0,05	78	100	0,78	3,9
7. Срок выхода на рынок	0,03	71	100	0,71	2,13
8. Наличие сертификации разработки	0,04	80	100	0,8	3,2
Итого	1				91,41

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 0,07 \cdot 95 + 0,12 \cdot 87 + \dots + 0,04 \cdot 80 = 91,41,$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} получилось равным 91,41, что говорит о том, что данная разработка является перспективной.

6.1.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Проводится в два этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представляем в табличной форме (таблице 5).

Таблица 5 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4.Повышение производительности труда. С5. Квалифицированный персонал. С6. Высокий срок эксплуатации. С7.Надежность данной системы по сравнению с другими. С8. Высокое качество продукции. С9. Универсальность схемы управления.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Большой срок выхода на рынок Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии произ-		

водства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок.		
--	--	--

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз производим на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Полученная интерактивная матрицы проекта представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта										
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	B1	0	+	0	0	+	0	+	+	+
	B2	+	+	+	+	-	+	+	+	+
	B3	+	-	+	+	-	+	+	0	+
	B4	+	-	-	0	+	+	+	+	+
	B5	+	0	+	+	+	+	+	+	+
Слабые стороны проекта										
Возможности проекта		Сл1			Сл2			Сл3		
	B1	-			-			-		
	B2	-			-			-		
	B3	-			-			-		
	B4	-			-			0		
	B5	+			0			+		

Продолжение таблицы 6

Сильные стороны проекта										
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	У1	-	-	-	-	+	-	-	-	-
	У2	0	0	-	-	-	-	-	-	+
	У3	+	0	+	+	-	+	0	0	0
	У4	-	-	-	0	-	-	-	-	-
	У5	0	-	-	-	+	-	-	-	-
Слабые стороны проекта										
Угрозы		Сл1			Сл2			Сл3		
	У1	+			0			0		
	У2	-			0			+		
	У3	+			+			+		
	У4	+			-			+		
	У5	+			0			+		

В рамках **третьего этапа** составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 7).

Таблица 7 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии С2. Экологичность технологии С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С4.Повышение производительности труда. С5. Квалифицированный персонал ... (смотри таблицу 3)	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Большой срок выхода на рынок Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на	В2В3В4С1С6С7С9 В1С2С5С7С8С9 В4С1С5С6С7С8С9 В5С1С3С4С5С6С7С8С9	В5Сл1Сл3

электроэнергию и материалы, используемые при научных исследованиях В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос У5. Появление новых конкурентных разработок	У1С5 У3С1С3С4С6 У2С9 У5С5	У1Сл1 У2Сл3 У3Сл1Сл2Сл3 У4У5Сл1Сл3

Из анализа полученных результатов видно, что разработка обладает большим количеством сильных сторон, а также большими возможностями. Основной угрозой является высокая стоимость лицензионного программного обеспечения. Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

6.2. Планирование научно-исследовательских работ и формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

6.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в таблице 8.

Таблица 68 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер
	6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер
	7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер
	8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	Инженер
	9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Инженер
	10	Оптимизация САР электропривода	Инженер
	11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	13	Технико-экономические расчеты	Инженер
	14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

6.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

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

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

6.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где $T_{ки}$ – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения сводим в таблицу (таблица 9).

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел.-дн.		t_{max} , чел.-дн.		$t_{ожг}$, чел.-дн.					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утвержде- ние технического задания	1		2		2		2		4	
Подбор и изучение мате- риалов по теме		5		8		7		7		11
Описание объекта авто- матизации (модерниза- ции)		3		4		4		4		7
Календарное планирова- ние работ по теме	3		5		4		4		7	
Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП		4		9		6		6		10
Расчет параметров двига- теля и модели		4		6		5		5		8
Выбор способа регулиро- вания скорости		2		4		8		8		12
Расчет предельных ха- рактеристик системы «преобразователь– электродвигатель»		2		4		3		3		5
Разработка математиче- ской модели системы АУ ЭП	3		6		5		5		8	

Оптимизация САР электропривода		4		8		6		6		10
Разработка программы имитационного моделирования		5		8		7		7		11
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		3		3		5	
Технико-экономические расчеты		3		7		5		5		8
Вопросы безопасности и экологичности проекта		3		7		5		5		8
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		4

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел} - \text{дней};$$

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 116 - 14} = 1,553;$$

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,553 = 3,106 \approx 4 \text{ дня}.$$

На основе таблицы 9 строим календарный план-график (таблица 10).

Таблица 10 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ ра- бот	Вид работ	Испол- нители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				фе в.		март			ап- рель			май			июн ь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утвер- ждение технического задания	Руково- дитель	4														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инже- нер	11														
3	Описание объекта ав- томатизации (модер- низации)	Инже- нер	7														
4	Календарное плани- рование работ по теме	Руково- дитель	7														
5	Разработка структур- ной (принципиальной) схемы ЭП	Инже- нер	10														

6.2.5. Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 11.

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	2351	9404
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11	1523	16753
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7	1523	10661
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7	2351	16457
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер	10	1523	15230
6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер	8	1523	12184
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	12	1523	18276
8	Расчет предельных характ. системы «преобр.– электродвиг.»	Инженер	5	1523	7615
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководитель	3	2351	7053
10	Оптимизация САР электропривода	Инженер	10	1523	15230
11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер	11	1523	16753

12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2	2351	4702
13	Технико-экономические расчеты	Инженер	8	1523	12184
14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	8	1523	12184
15	Составление пояснительной записки	Инженер	4	1523	6092
Итого:					180778

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} ,$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p ,$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 8);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot M}{F_o} = \frac{53594 \cdot 10,4}{237} = 2351 \text{ руб.} ,$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 12).

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 27484 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53594 \text{ руб.},$$

где $З_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{ТС}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{\text{ТС}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $З_{\text{ТС}}$ находится из произведения тарифной ставки первого разряда $T_{\text{с1}} = 600$ руб. на тарифный коэффициент $k_{\text{т}}$ и учитывается по единой, для бюджетных организаций, тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 13.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{ТС}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	27484	0,3	0,2	1,3	53594	2351	16	37616
Инженер	17808	0,3	0,2	1,3	34725	1523	95	144685
Итого $З_{\text{осн}}$:								182301

6.2.6 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,12 \cdot 37616 = 4514 \text{ руб.},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

6.2.7. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,271 \cdot (37616 + 4514) = 11417 \text{ руб}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ, установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2016 году вводится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (таблица 14).

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	37616	4514
Студент-дипломник	144685	17362
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого :		
Руководитель	11417	
Инженер	43914	

6.2.8. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 = \\ = (182301 + 21876 + 55331) = 41521,$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов берем в размере 16%.

6.2.9. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который, при формировании договора с заказчиком, защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	182301	Пункт 2.4.1.
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21876	Пункт 2.4.2.
3. Отчисления во внебюджетные фонды	55631	Пункт 2.4.3.
4. Накладные расходы	41521	Пункт 2.4.4..
5. Бюджет затрат НТИ	301329	Сумма ст.

6.3. Определение ресурсоэффективности проекта

Интегральный показатель финансовой эффективности для любой схемы управления является одинаковым, поэтому переходим к определению ресурсоэффективности проекта [34].

Ресурсоэффективность проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы (таблица 16).

Таблица 16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Электропривод постоянного тока, с датчиком скорости	Асинхронный электропривод, с датчиком скорости	Синхронный электропривод, с датчиком скорости
1. Безопасность	0,25	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	5	5
3. Помехоустойчивость	0,10	4	4	5
4. Энергосбережение	0,15	4	4	5
5. Надёжность	0,25	5	5	5
6. Материалоёмкость	0,15	4	4	4
Итого:	1,00	4,5	4,5	4,85

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,85.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Таким образом, применение электроприводов постоянного тока и сейчас остается эффективным. Переход к приводу на синхронных двигателях с постоянными магнитами, целесообразен в момент реструктуризации производства, или в тех производственных процессах, где применение других представленных схем нецелесообразно.

7. Производственная безопасность

7.1. Описание технологического процесса и рабочего места

Технологический процесс разработки и проверки системы управления синхронными двигателями с возбуждением от постоянных магнитов заключается в следующем:

- Ознакомление и анализ литературы (статьи, диссертации, учебные пособия и монографии) по данной тематике. На основании этого пункта создается и строится математическая модель синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ) в наиболее применимой форме для дальнейших исследований.
- Создание метода разработки системы управления для СДПМ.
- Компьютерное моделирование системы управления.
- Анализ полученных результатов моделирования.
- Проверка разрабатываемой системы управления на реальном двигателе.
- Анализ полученных результатов проверки.

В описанном технологическом процессе основным оборудованием является:

- исследуемый синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов;
- шкаф диагностики и управления;
- преобразователь частоты;
- пользовательский компьютер;
- монитор.

Оборудование находится в помещении площадью 40 м², имеющим один выход и 2 окна.

7.2. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе разработки и проверки системы управления СДПМ.

В связи с тем, что основные работы при проверке метода проводятся с рабочими электрическими установками, таким как двигатель и преобразователь частоты, то основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [19-23].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим синхронным двигателем в режиме холостого хода и при нагрузке, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Для снижения риска получения травмы устанавливают кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей.

Опасность может представлять повышенный уровень вибрации, который возникает во время работы исследуемого двигателя при нагрузках выше номинальной. Для избегания влияния вибраций на человека необходимо осуществить жесткую фиксацию рабочих механизмов на своих местах с использованием виброгасящих материалов [24].

7.3. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Часть технологического процесса разработки и проверки системы управления СДПМ основана на работе с двигателями, которые в свою очередь являются источниками повышенного уровня шума, что является вредным фактором производственной среды [25]. Для уменьшения влияния данного фактора

применяются технологические и конструктивные меры, такие как: замена подшипников качения на подшипники-скольжения, проверка и своевременная замена смазочных материалов у подшипников. Однако такие меры слишком затратные и трудоемкие. Другими решениями проблемы являются: использование звукопоглощающих материалов ограждения и отдельных частей установки, в нашем случае защитного кожуха. Также возможно закрытие звукоизолирующими кожухами всей установки. Последнее мероприятие является эффективным, но может плохо сказаться на всем технологическом процессе, так как необходим постоянный и легкий способ контакта с установкой.

Еще одними вредоносными факторами, оказывающими влияние на окружающую среду при работе системы, являются излучения, связанные с функционированием аппаратных модулей работающего компьютера и преобразователя. В основном это электромагнитное излучение и статическое электричество.

Для защиты от вредного воздействия излучений возможно применение различных защитных экранов. Так же используются мониторы, которые соответствуют спецификации MPR II, которая разработана Шведским Национальным Советом по измерению и тестированию. В нашем случае уровень электромагнитного излучения для нижней полосы (5 Гц – 2 кГц) не превышает 25 В/м, так же и для верхней полосы (2 – 400 кГц) превышения 2,5 В/м нет. Соответственно напряженность магнитного поля не превышает 2,5 нТл [30].

Напряженность электростатического поля менее 20 кВ/м, так как источники имеют заземление [31, 32].

Так как оборудование установлено в помещении, то излучения гасятся конструктивными элементами (стенами, окнами) и не выходят за пределы здания, и, соответственно, не оказывают вредное экологическое воздействие на окружающую среду.

Следующий вредный фактор – недостаток естественного света [19], в связи с расположением рабочего места в подвальном помещении. Данный фактор более психологический, чем физиологический, соответственно решение –

это набор сотрудников с высоким психоустойчивым порогом или с опытом работы в таких условиях.

Однако, недостаток освещенности рабочей зоны и лаборатории в целом плохо сказывается на здоровье работника [19,27]. Для улучшения ситуации, необходимо установить светильники на основании следующего расчета:

Данные, необходимые для расчета искусственного освещения:

- длина помещения $A_{\text{пом}} = 8 \text{ м};$
- ширина $B_{\text{пом}} = 6,5 \text{ м};$
- высота $H_{\text{пом}} = 3 \text{ м};$
- коэффициент отражения стен $R_c = 30\%;$
- высота рабочей поверхности $h_p = 0,5 \text{ м};$
- коэффициент отражения потолка $R_n = 50\%;$
- коэффициент запаса $k = 1,5;$
- коэффициент неравномерности $Z = 1,1.$

Требуется создать освещенность $E = 300$ люкс.

Рассчитаем систему общего освещения (люминесцентного).

Выбираем светильники типа ОД с $\lambda = 1,4$.

Принимаем свес $h_c = 0,1$ метр, тогда расчётная высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H_{\text{пом}} - h_c - h_p = 3 - 0,1 - 0,5 = 2,4 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,4 = 3,36 \text{ м.}$$

Расстояние от несущих стен до светильников:

$$\frac{L}{3} = \frac{3,36}{3} = 1,12 \text{ м.}$$

Светильники размещаем в два ряда. В каждом из рядов будет установлено 4 светильника типа ОД. Мощность светильника 40 ватт, длина 1,230 метра. Разрывы между светильниками, которых будет 3 в ряду, составят 28 сантиметров. План размещения светильников представлен на рисунке 45. В каждом све-

тильнике установлено по две лампы, соответственно общее число ламп в помещении $n = 16$.

Найдем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 6,5}{2,4 \cdot (8 + 6,5)} = 1,49.$$

Тогда, коэффициент использования светового потока равен $\eta = 0,5$.

Рассчитаем световой поток:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 52 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,5} = 3217,5 \text{ лм.}$$

Определим потребный световой поток ламп в ряде. Для этого выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД 65 Вт со световым потоком 3750 люмен. Делаем проверку условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% = \frac{3750 - 3218}{3750} \cdot 100 \leq 20\%$$

Получаем:

$$-10\% \leq 14,19\% \leq +20\% - \text{условие выполнено.}$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 16 \cdot 40 = 640 \text{ Вт.}$$

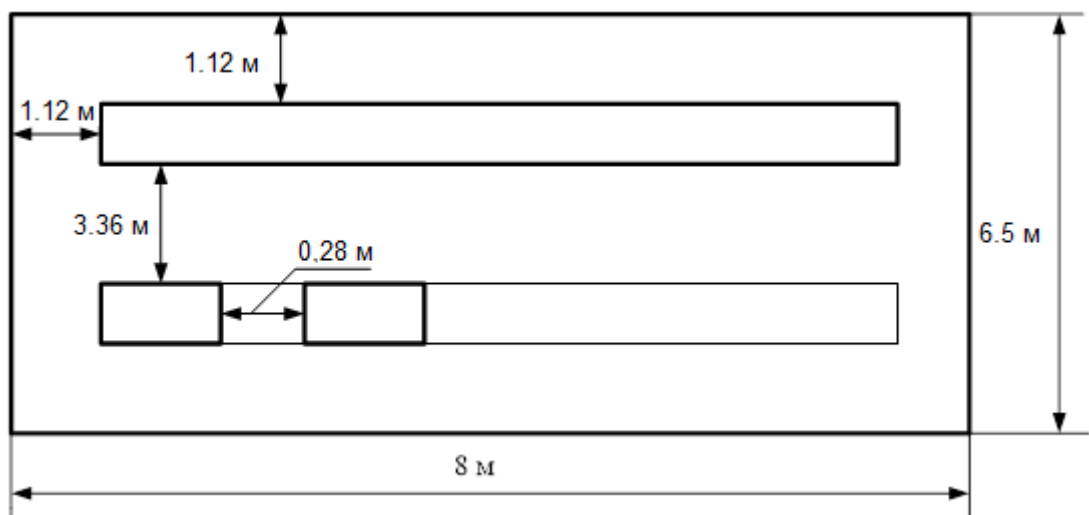


Рисунок 45 – План размещения светильников с люминесцентными лампами

Пониженная контрастность в взаимодействии с плохой освещенностью является наиболее опасным для зрительных органов работника и может привести к травмам, при работе с движущимися частями установки [19]. Простым решением для снижения риска является покраска отдельных частей установки в различные отчетливо видные цвета.

Последствие наличия теплоотдающих элементов установки будет повышенная температура воздуха рабочей зоны [28], которая пагубно влияет на состояние человека. Выход – установка вентиляционной системы и системы кондиционирования.

7.4. Экологическая безопасность

При работе самых разных устройств имеет место загрязнение окружающей среды. Все эти приборы могут оказывать влияние на атмосферу и гидросферу, выделять тепло и разного рода излучения.

Рассмотрим факторы загрязнения при использовании установок, применяемых при работе данного проекта:

- тепловое загрязнение;
- твердые отходы.

7.4.1. Тепловое излучение

В персональных компьютерах нового поколения выбросы тепловой энергии значительно меньше, чем в самых первых ЭВМ, но все же имеют место. Основными источниками теплового загрязнения при работе персональных компьютеров являются:

- кристалл центрального процессора;
- кристаллы микросхем ОЗУ;
- кристаллы контроллеров материнской платы;
- кристалл графического процессора видео карты;
- блок питания;
- винчестер.

Значительное тепловое излучение производит и преобразователь частоты. Для уменьшения тепловых выделений установлены вентиляторы и радиаторы.

7.4.2. Утилизация твердых отходов

Разработанный проект предусматривает применение вычислительных устройств. Данные устройства предусматривают в среднем 7 лет работы, после чего они подвергаются списыванию и утилизации. Утилизация ЭВМ является обязательным условием, которое прописано в российском законодательстве. Под него попадают как организации, так и физические лица. Необходимость в профессиональной утилизации оргтехники возникает в связи с тем, что внутри микросхем содержатся драгоценные металлы.

Выброс компьютеров на свалки приводит к повреждению экологии и окружающей среды. Поэтому необходимо обратиться к лицензированным компаниям, представляющим услуги по утилизации отходов.

При утилизации ЭВМ происходит разделение частей на фракции: металлы, пластмассы, стекло, провода, штекеры. Применяются следующие методы переработки компьютеров:

- сортировка печатных плат по доминирующим материалам;
- дробление и измельчение;
- гранулирование; сепарация;
- обжиг полученной массы для удаления сгорающих компонент;
- расплавление полученной массы;
- рафинирование;
- прецизионное извлечение отдельных материалов;
- создание экологических схем переработки компьютерного лома;
- создание экологически чистых компьютеров.

В Томске можно обратиться в компанию РУСУТИЛИТ, занимающуюся утилизацией ЭВМ, которая работает на основании лицензии Федеральной службы по надзору в сфере природопользования 066 № 00329 от 04 февра-

ля 2016 г. на деятельность по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию размещению отходов I-IV классов опасности [33].

7.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при разработке и проверке системы управления является пожар на рабочем месте [29,30]. Потенциальное возникновение пожара связано с наличием промышленного компьютера, накоплением токоведущей пыли внутри, и, как следствие, возможно короткое замыкание и быстрое возгорание пыли, что и приведет к пожару. Также наличие нагреваемых в ходе работы элементов установки, в симбиозе с плохой теплоотдачей, может привести к воспламенению материалов вблизи с установкой.

В связи с возможной угрозой возникновения пожара был разработан план действий:

- в случае обнаружения возгорания необходимо сообщить руководителю и попытаться потушить очаг возгорания своими силами с помощью средств первичного пожаротушения, а именно: огнетушитель порошковый, углекислотный О-1П0 (з)-АВСЕ;
- в случае, если потушить очаг возгорания не удастся, привести в действие ручной пожарный извещатель;
- немедленно сообщить о чрезвычайной ситуации в пожарную охрану по телефону 01 (сотовый 010), назвать адрес объекта, место и причины возникновения пожара;
- принять меры по эвакуации людей, материальных ценностей;
- приступить к тушению пожара, отключив электроэнергию;
- встретить подразделения пожарной охраны и, при необходимости, оказать помощь при выборе наилучшего пути для подхода к очагу возгорания.

План эвакуации персонала представлен на рисунке 46.

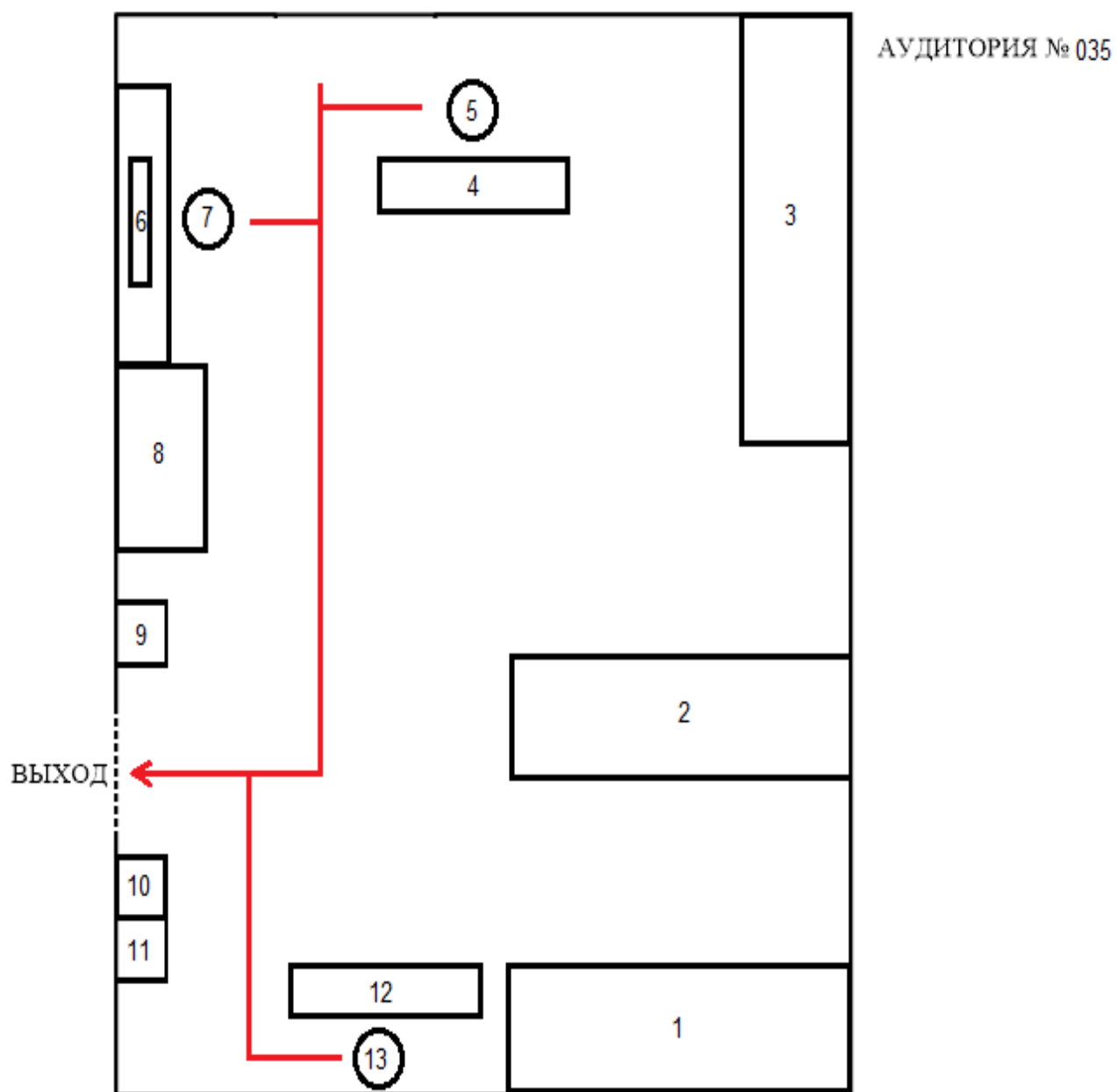


Рисунок 46 – План эвакуации сотрудников из лаборатории в случае возникновения чрезвычайной ситуации

1, 2, 3 – шкафы инструментов; 4, 5, 12, 13 – рабочие места программистов; 6 – монитор; 7 – рабочее место разработчика СУ; 8 – экспериментальное оборудование; 9 – огнетушитель; 10 – пожарный извещатель; 11 – общее питание лаборатории.

Возникновение других видов ЧС маловероятно, соответственно рассмотрению не подлежат.

7.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с Трудовым кодексом РФ, в целях обеспечения требований охраны труда осуществляется контроль за их выполнением, в каждой организации численностью более 100 сотрудников создается служба охраны труда. Либо заключается договор со специалистами. Служба охраны труда подчиняется руководителю предприятия. На должность специалиста по охране труда назначаются имеющие квалификацию инженера по охране труда или прошедшие специальное обучение.

В нашем случае на предприятии 20 человек, поэтому, в соответствии с Трудовым кодексом, на производстве с численностью более десяти человек должны создаваться комитеты по охране труда, в состав которых входят представители работодателя и профсоюзов. Задачами комитета являются: организация по обеспечению выполнения работниками требований по охране труда, контроль за соблюдением охраны труда, информация о состоянии охраны труда. Комитет по охране труда ведет учет и анализ производственного травматизма и профессиональных заболеваний, измерение величин опасных и вредных факторов, оценку травмобезопасности, аттестацию рабочих мест, приемку в эксплуатацию производственных объектов, согласование документации в области охраны труда, участие в расследовании несчастных случаев, обучение по охране труда в соответствии со следующими документами:

- Трудовой кодекс РФ;
- ГОСТ 12.0.003–74 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ;
- ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ;
- СНиП П-12-77;
- СанПиН 1757-77;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

Заключение

В результате выполнения работы реализованы математические модели систем управления синхронными двигателями с постоянными магнитами в визуальной среде разработки и моделирования встроенного программного обеспечения систем управления электродвигателями, технологическими комплексами и программируемыми логическими контроллерами MexBIOS Development Studio. Полученные характеристики, показатели качества соответствуют теоретическим. Опираясь на модели, реализована система управления для управления любым синхронным двигателем с постоянными магнитами на базе учебного стенда тип 4 с преобразователем частоты MBS-FC01.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что разработанная система управления является рабочей и пригодной для использования в учебных целях. Показатели качества переходных процессов двигателя и модели имеют небольшие погрешности [п.5 табл.2], что вполне допустимо с учетом принятых допущений. Повышение показателей качества переходных процессов может быть произведено в результате более точной настройки контуров тока и скорости с учетом допущений. Статическая ошибка по возмущению равняется 0, а максимальное перерегулирование модели 4,8 %, что полностью удовлетворяет техническому заданию.

Система защиты безошибочно и с высокой скоростью выполняет свои функции, что позволяет производить различные эксперименты, допускаемые используемым оборудованием, без риска его выхода из строя.

Дальнейшая работа будет направлена на разработку алгоритма автоматического нахождения начального положения вала ротора при пуске двигателя и его подробного исследования, а также на проведение экспериментов с различными нагрузками и более точную настройку регуляторов.

Список используемых источников

1. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока Минск: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
2. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учеб. для студ. вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Академия, 2005. – 304 с.
3. Калачев И.Ю. Векторное регулирование (Заметки практика) - 2013, 78 с.
4. Вольдек А.И. Электрические машины: учеб. для вузов. – 2-ое изд., перераб. и доп. - Л.: Энергия, 1974.
5. Усынин Ю.С. Системы управления электроприводов: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004 – 328 с.
6. Каширских В.Г. Теория автоматического управления Ч.1. Линейные системы: учеб. пособие – Кемерово, 1999. – 148 с.
7. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.
8. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 544 с.
9. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоиздат, 2001. – 704 с.
10. Онищенко Г.Б. и др. Автоматизированный электропривод промышленных установок. – М.: РАСХН, 2001. – 520 с.
11. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
12. Глазырин А.С. Математическое моделирование электромеханических систем. Аналитические методы: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 206 с.
13. Мальцева О.П., Кояин Н.В., Удут Л.С. Численные методы в электротехнике: компьютерный лабораторный практикум. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 100 с.
14. Пантелеева А.В., Якимова А.С., Босов А.В. Обыкновенные дифференциальные уравнения в примерах и задачах: учебное пособие. – М.: Высш. шк., 2001. – 376 с.
15. Федорюк М.В. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М.: Наука, 1980.
16. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – введ. 2004-07-01. – М.: ИПК. Издательство стандартов, 2004. – 48 с.

17. ГОСТ Р 51086-97. Датчики и преобразователи физических величин электронные. Термины и определения. – введ. 1998-07-01. – М. : ИПК. Издательство стандартов, 1998 . – 11 с.
18. Шкляр В.Н. Надёжность систем управления: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 126 с.
19. ГОСТ 12.0.003–74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
20. ГОСТ 12.1.019–79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
21. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда.
22. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
23. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
24. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
25. СНиП П-12-77. Защита от шума.
26. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
27. СНиП 2.04. 05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
28. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
29. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.
30. Регулирующий стандарт по электромагнитным полям МРР II.
31. ГОСТ 12.1.045-84. Электростатические поля.
32. СанПиН 1757-77. Допустимая напряженность электростатического поля.
33. Федеральная служба по утилизации компьютеров и оргтехники [Электронный ресурс]. URL: <http://rusutilit.ru>. (Дата обращения: 11.05.2016г).
34. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 36 с.