

Институт социально- гуманитарных технологий

Направление подготовки Приборостроение

Кафедра физических методов и приборов контроля качества

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Анализ методов и средств защиты промышленного электрооборудования

УДК 621.31-7.004.384

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151Б30	Чжан Дини		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФМПК	Гальцева О.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Меньшикова Е.В.	к.фил.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Волков Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ФМПК	Суржиков А.П.	д. ф.-м. н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции
	<i>Универсальные компетенции</i>
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной

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

Институт социально- гуманитарных технологий
 Направление подготовки Приборостроение
 Кафедра физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
151Б30	Чжан Дини

Тема работы:

Анализ методов и средств защиты промышленного электрооборудования
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе:	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i>	<i>Объект исследования: лабораторный стенд с программируемым контроллером Siemens LOGO и с асинхронным двигателем AIP56A4Y3</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<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>	<i>- аналитический обзор по литературным источникам по методам и средствам защиты промышленного электрооборудования с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; - постановка задачи исследования, проектирования: разработать систему защиты асинхронного</i>

	двигателя в программных обеспечениях Matlab и LOGO!Soft Comfort; - апробация разработанной системы и получение экспериментальных данных на лабораторном стенде; - проведение сравнительного анализа имитационной и физической систем.
Перечень графического материала:	Презентация в Microsoft Office PowerPoint 2007
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:	
Раздел	Консультант
Анализ методов и средств защиты промышленного электрооборудования	Гальцева О. В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	Волков Ю.В.
Названия разделов:	
Обзор существующих систем защиты промышленного электрооборудования	
Имитационное моделирование систем защиты промышленного электрооборудования	
Разработка системы защиты асинхронного двигателя на основе программируемого контроллера LOGO!	
Экспериментальные исследования на лабораторном стенде	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества	Гальцева Ольга Валерьевна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151Б30	Чжан Дини		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 101 страница, 32 рисунка, 17 таблиц, 25 источника.

Ключевые слова: программируемое реле, асинхронный электродвигатель, максимально-токовая защита, моделирование, эксперимент.

Объектом исследования является лабораторный стенд (электропривод переменного тока) с программируемым реле *LOGO!*.

Цель работы: разработка систем защиты асинхронным двигателем на базе программируемого микроконтроллера *LOGO!*, удовлетворяющей современным высоким технологическим требованиям.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования систем защиты для электропривода на лабораторном стенде «Электрический привод».

В результате исследования была доказана адекватность моделей, а также получены характеристики переходных процессов по скорости и току для различных систем защиты.

Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: быстродействие системы защиты, простота в эксплуатации, надежность.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010. Были использованы следующие методы и средства: среда имитационного моделирования *MatLab R2012b*; система компьютерной алгебры *MathCad*; программный продукт *LabVIEW*, *LOGO!Soft Comfort*; программа для работы с электронными таблицами *Microsoft Excel 2007*.

Оглавление

Реферат	5
Введение	7
1 Обзор методов и средств защиты электрооборудования	9
1.1 Аварийные режимы систем электрооборудования	9
1.2 Виды защит электротехнических систем	11
2 Имитационное моделирование систем защиты электроприводов переменного тока	24
2.1 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя	24
2.2 Расчет статических характеристик	28
2.3 Математическое описание модели асинхронного двигателя	30
2.4 Максимально-токовая защита асинхронного двигателя	36
2.5 Автоматическое включение резервного асинхронного двигателя	36
2.6 Разработка систем защиты электросистемы на базе программируемого интеллектуального реле <i>LOGO!</i>	39
2.6.1 Описание лабораторного стенда	39
2.3.2 Описание модуля <i>LOGO!</i>	41
2.6.3 Разработка функциональных схем защит асинхронного двигателя	43
2.6.3.1 Максимально-токовая защита	44
2.6.3.2 Модель автоматического резервирования асинхронного двигателя	48
3 Экспериментальные исследования на лабораторном стенде	52
3.1 Проверка адекватности имитационной модели	52
3.2 Максимально-токовая защита (МТЗ)	55
3.3 Использование резервного двигателя	58
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	62
5 Социальная ответственность	86
Заключение	96
Список публикаций студента	98
Список использованных источников	99

Введение

Непрерывно растущие требования к электробезопасности персонала и к экономической эффективности во всех отраслях промышленности приводят к повышению внимания к проблемам надежной защиты систем промышленного оборудования, и, как следствие, к электрозащите двигателей. Тем самым показана актуальность представленного исследования.

Исходя из этого, при эксплуатации современной системы управления асинхронным двигателем должны обеспечиваться оптимальные параметры закона управления, высокая надежность и точность регулирования частоты, невысокая стоимость, и, в дополнение к этому, максимальная экономия электроэнергии.

Достичь требуемых технологических параметров позволяют системы управления на базе микропроцессоров.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является разработка систем защиты промышленного оборудования, в составе которого есть асинхронный двигатель на базе программируемого микроконтроллера *LOGO!*, удовлетворяющей современным высоким технологическим требованиям.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

1. Изучить аварийные режимы работы асинхронного двигателя и соответствующие им системы защит.
2. Разработать модели в программной среде *Simulink Matlab*, позволяющую имитировать максимально-токовую защиту и автоматическое резервирование двигателя.
3. Разработать системы защит электропривода переменного тока на основе логического модуля *LOGO!*.
4. Обработать и провести сравнительный анализ полученных данных.

В экономической части провести анализ рынка потребителей разработанной продукции, оценить плюсы и минусы разработки, сложности внедрения исследования, сравнение разработки с аналогами, расчет сметы затрат и экономическую эффективность внедрения разработки на предприятии. В разделе «Социальная ответственность» определить и проанализировать вредные, опасные факторы, негативные воздействия на окружающую среду, чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при выполнении работы.

1 Обзор методов и средств защиты электрооборудования

Говоря о системе электрооборудования, мы понимаем систему, в составе которой присутствует двигатель. Девяносто пять процентов двигателей, эксплуатируемых во всем мире, являются асинхронными. В сравнении с другими типами электродвигателей асинхронный имеет лучшие параметры надёжности, что обуславливает его широкое применение в различных сферах производственной деятельности.

Выбор электродвигателей согласно их номинальным параметрам (номинальной мощности, режиму работы и форме исполнения) в конечном итоге влияет на бесперебойную работу всей электросистемы. Также необходимо соблюдать необходимые требования и правила при составлении электрической схемы, выборе пускорегулирующей аппаратуры, проводов и кабелей, монтаже и эксплуатации схемы.

Чтобы обеспечить защиту исследуемого объекта, первоначально необходимо изучить работу систем электрооборудования в аварийных режимах.

1.1 Аварийные режимы систем электрооборудования

Вероятность появления аварийных (ненормальных) режимов для электрооборудования (включая двигатель) разрабатываемой системы присутствует даже для правильно спроектированной и эксплуатируемой системы [1–2].

К аварийным режимам относятся:

1. Короткие замыкания (КЗ):

- многофазные (трех- и двухфазные) и однофазные короткие замыкания в обмотках электродвигателя;
- многофазные короткие замыкания в выводной коробке электродвигателя и во внешней силовой цепи (в проводах и кабелях, на контактах коммутационных аппаратов, в ящиках сопротивлений);
- короткие замыкания фазы на корпус или нулевой провод внутри двигателя или во внешней цепи — в сетях с заземленной нейтралью;
- короткие замыкания в цепи управления;
- короткие замыкания между витками обмотки двигателя (витковые замыкания).

Короткие замыкания являются наиболее опасными аварийными режимами в электроустановках. В большинстве случаев они возникают из-за пробоя или перекрытия изоляции. Токи короткого замыкания иногда достигают величин, в десятки и сотни раз превосходящих значения токов нормального режима, а их тепловое воздействие и динамические усилия, которым подвергаются токоведущие части, могут привести к повреждению всей электроустановки;

2. Тепловые перегрузки электродвигателя из-за прохождения по его обмоткам повышенных токов:

- при перегрузках рабочего механизма по технологическим причинам;
- особо тяжелых условиях пуска двигателя под нагрузкой или его застопоривании;
- длительном понижении напряжения сети;
- обрыве провода в обмотке двигателя или выпадении одной из фаз внешней силовой цепи;

- механических повреждениях в двигателе или рабочем механизме;
- а также тепловые перегрузки при ухудшении условий охлаждения двигателя.

В первую очередь, тепловые перегрузки вызывают ускоренное старение и разрушение изоляции двигателя; это приводит к коротким замыканиям, т. е. к серьезной аварии и преждевременному выходу двигателя из строя.

Приведенный выше перечень свидетельствует о разнообразии аварийных режимов, в которых может оказаться электромеханическая система в условиях эксплуатации.

1.2 Виды защит электротехнических систем

Разнообразные явления, которые происходят в аварийных режимах, влияют на срок службы двигателя. Необходимо гарантировать сохранность двигателя, и поэтому его защита должна быть универсальной. При угрозе аварии защита должна либо действовать на сигнал, либо должно происходить отключение двигателя. Несмотря на то, что стремление к получению универсальной защиты породило появление множества разнообразных устройств, предназначенных для защиты асинхронных двигателей, с различным набором достоинств и недостатков, осуществить принцип полной универсальности пока не удалось.

Понятно, что поддержание в исправном состоянии защиты требует определенных эксплуатационных затрат. Чем более совершенна защита, тем она требует больших экономических вложений, хотя и требует меньшего наблюдения в процессе эксплуатации, но, с другой стороны, повышается надежность.

Для выбора оптимального решения необходимо проводить технико-экономический расчет, принимая во внимание затраты на приобретение устройства, его монтаж и эксплуатацию, а также величину ущерба при отказе защиты из-за ее несовершенства.

Главным и наиболее действенным средством является электрическая защита двигателей, выполняемая в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ).

Выделяют основные виды электрической защиты асинхронных двигателей.

Схемозлементы для максимальной токовой защиты. При различных режимах работы электросхемы возможны различные внештатные ситуации, которые могут привести к замыканию электрических цепей. Также можно выделить отдельно ситуации, связанные с обрывом фаз питающего напряжения, резким снижением тока возбуждения двигателей постоянного тока или стопорением движения исполнительного органа двигателя. Данные ситуации приводят к резкому скачку тока до сверхдопустимых значений.

Именно в таких случаях сверхтоков предусматривается максимальная токовая защита (МТЗ). Средствами реализации МТЗ служат плавкие предохранители, реле максимального тока и автоматические выключатели. Плавкие предохранители FU включаются в каждую линию (фазу) питающей двигатель сети между выключателем QF напряжения сети и контактами линейного контактора KM , а также могут включаться в цепь управления [2, 3].

На рисунке 1 приведены схемы реализации МТЗ с помощью подключения реле в схему.

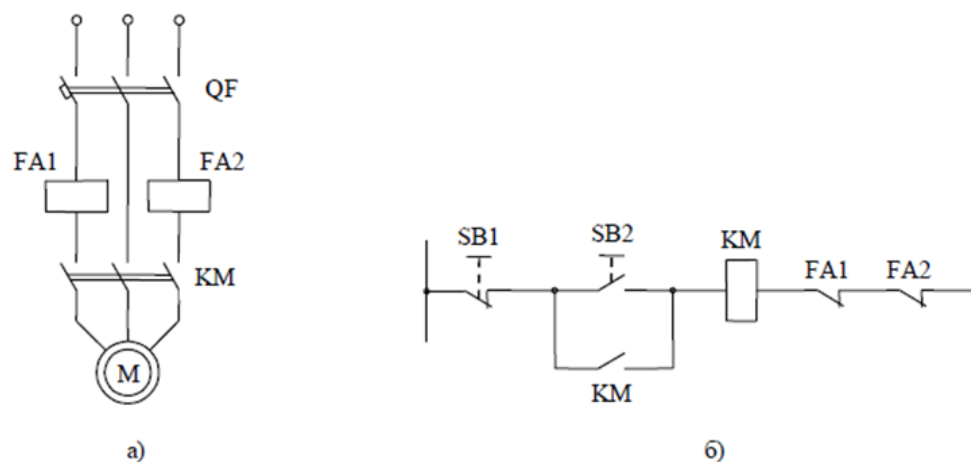


Рисунок 1 – Схемы включения реле для МТЗ:

а) для асинхронного двигателя; б) для контактов реле в цепи управления.

Выбор плавкой вставки предохранителей основан на расчете и выборе их для устойчивой работы по отношению к величине пускового тока в электросхемах средней и большой мощности.

Катушки этих реле FA1 и FA2 между выключателем QF и линейным контактором KM (рис. 1а). Размыкающие контакты этих реле включены в цепь катушки KM линейного контактора (рис. 1б). При возникновении сверхтоков в контролируемых цепях выше уставок реле FA1 и FA2 они размыкаются, и двигатель отключается от сети.

Уставки реле максимального тока должны выбираться так, чтобы не происходило отключения двигателей при их пуске или других переходных процессах. В этот момент токи в силовых цепях превышают номинальный уровень в несколько раз.

Автоматические воздушные выключатели (автоматы). Эти комплексные многоцелевые аппараты обеспечивают ручное включение и отключение двигателей и защиту от сверхтоков, перегрузок и снижения питающего напряжения. Для выполнения этих функций автомат имеет контактную систему, замыкание и размыкание которой осуществляется

вручную с помощью рукоятки или кнопки, максимальное токовое реле и тепловое токовое реле. Кроме этого, некоторые типы автоматов обеспечивают защиту от снижения напряжения и дистанционное отключение двигателей. Важным устройством автомата является механизм свободного расцепления, который обеспечивает его отключение при поступлении управляющих или защитных воздействий. В общем случае отключение автомата этим механизмом может происходить при протекании токов перегрузки, короткого замыкания, снижении напряжения сети, а также при дистанционном отключении автомата [2, 3].

Часто в автоматах применяют тепловые расцепители без нагревателя, в этом случае контролируемый ток пропускается непосредственно через биметаллическую пластину. В маломощных автоматах такой расцепитель может выполнять функции и элемента максимальной токовой защиты. Автоматические выключатели широко используются для коммутации и защиты силовых и маломощных цепей электроприводов всех видов.

Нулевая защита. При значительном снижении напряжения сети или его исчезновении эта защита обеспечивает отключение двигателей и предотвращает самопроизвольное их включение (самозапуск) после восстановления напряжения [2, 3].

В тех случаях, когда двигатели управляются от кнопок контакторами или магнитными пускателями, нулевая защита осуществляется самими аппаратами без применения дополнительных средств. Например, если в схеме (рис. 1а) исчезло или сильно понизилось напряжение сети, катушка линейного контактора КМ потеряет питание, и он отключит двигатель от сети. При восстановлении напряжения двигатель может быть включен только после нажатия на кнопку управления SB2 (рис. 1б). При управлении электроприводом от командоконтроллера или ключа с фиксированным положением их рукояток нулевая защита осуществляется с помощью дополнительного реле напряжения FV (рис. 2).

В этой схеме реле FV включается в нулевом положении командоконтроллера (ключа) через контакт SM0, после чего оно становится на самопитание через свой собственный контакт. При переводе рукоятки командоконтроллера (ключа) в положение пуска 1, питание всей схемы управления осуществляется через этот контакт, поэтому при исчезновении напряжения реле FV отключится, прекратится ее питание и линейный контактор KM отключит двигатель от сети. При восстановлении напряжения питания повторное включение двигателя может быть произведено лишь после установки рукоятки вновь в нулевое (среднее) положение, чем исключается возможность его самозапуска.

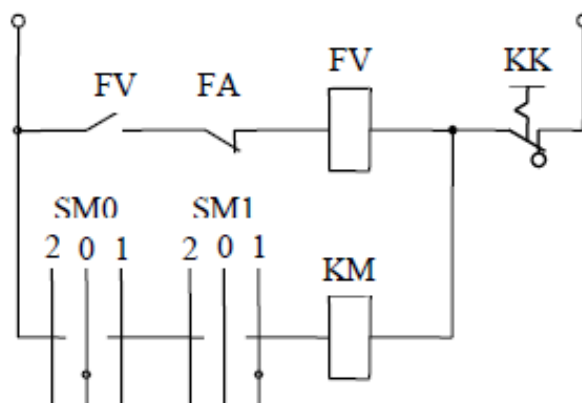


Рисунок 2 – Схема нулевой защиты

Отметим, что в схеме (рис. 2) реле FV является исполнительным элементом еще двух защит: от токов короткого замыкания (контакты реле максимального тока FA) и тепловой (контакты теплового реле KK), что часто практикуется в схемах управления.

Тепловая защита. Эта защита отключает двигатель от источника питания, если вследствие протекания по его цепям повышенных токов имеет место более высокий нагрев его обмоток. Такая перегрузка возникает, в частности, при обрыве одной из фаз трехфазных асинхронных двигателей. Тепловая защита двигателей может быть осуществлена с помощью тепловых, максимально – токовых реле и автоматических выключателей. Тепловые реле KK включаются в две или три фазы

трехфазных двигателей переменного тока непосредственно (рис. 3а) или через трансформаторы тока ТА (рис. 3б), если ток двигателя превышает номинальный ток реле. Размыкающие контакты тепловых реле включаются или в цепи катушек главных (линейных) контакторов, или в цепь защитного реле, как это показано на рисунке 2. Номинальный ток теплового элемента реле $I_{т.э.}$ выбирают равным или несколько большим номинального тока двигателя $I_{ном}$ [2, 3].

$$I_{т.э.} \geq (1 \div 1,5) I_{ном}$$

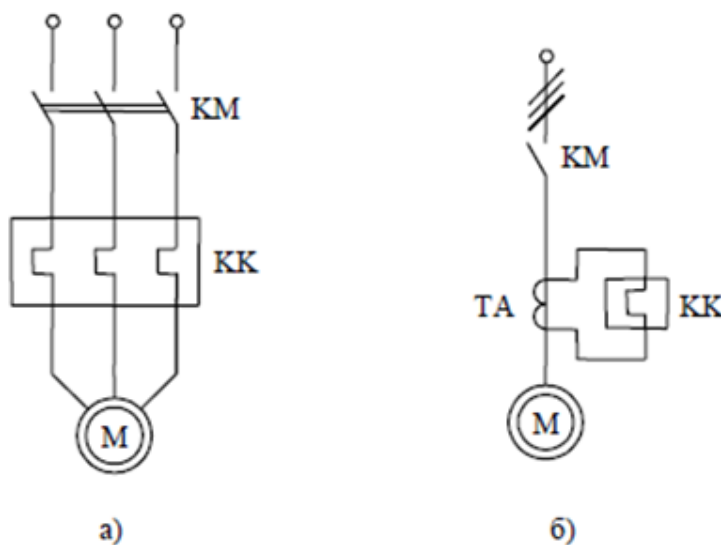


Рисунок 3 – Тепловая защита:

а) схема включения теплового реле в цепь статора асинхронного двигателя без трансформатора тока; б) схема включения теплового реле в цепь статора асинхронного двигателя с трансформатором тока

Тепловая защита двигателей может осуществляться автоматическими выключателями и магнитными пускателями, если они имеют встроенные тепловые расцепители. При повторно – кратковременных режимах работы электропривода, когда процессы нагрева реле и двигателя различны, защита двигателей от перегрузок осуществляется с помощью максимально – токовых реле FA1 и FA2 (рис. 1). Токи уставок реле при этом выбираются на 20 – 30 % выше номинального тока двигателя. Так как уставки реле ниже пускового тока,

то при пуске его контакты шунтируются контактами реле времени, имеющего выдержку времени, несколько большую времени пуска двигателя.

Защита от превышения скорости применяется в электроприводах рабочих машин, не допускающих превышения скорости движения своих исполнительных органов (лифты, подъемные лебедки, эскалаторы, шахтные подъемники). Для предотвращения недопустимых скоростей движения в электроприводах используется защита, которая может быть выполнена с помощью тахогенераторов или центробежных выключателей, соединенных с валом двигателя. Центробежные выключатели непосредственно воздействуют на цепь управления, а в случае применения тахогенератора это воздействие осуществляется с помощью реле напряжения, включаемого на его якорь. [2, 3]

Путевая защита обеспечивает отключение электропривода при достижении исполнительным органом рабочей машины крайних положений. Она осуществляется с помощью конечных выключателей, устанавливаемых в этих положениях исполнительного органа и размыкающих цепи реле защиты или непосредственно линейных контакторов. [2, 3]

Электрические блокировки в схемах ЭП. Они служат для обеспечения заданной последовательности операций при его управлении, предотвращения нештатных и аварийных ситуаций и неправильных действий со стороны оператора, что в итоге повышает надежность работы электропривода и технологического оборудования. Так, например, при работе двух контакторов КМ1 и КМ2 (рис. 4) перекрестное включение их размыкающих контактов в цепи катушек не допускает включения одного контактора при включенном другом. Такой вид блокировки применяется в реверсивных электроприводах, где недопустимо одновременное включение двух контакторов, или в электроприводах с электрическим

торможением двигателя, где торможение может начаться только после отключения двигателя от сети. [2, 3]

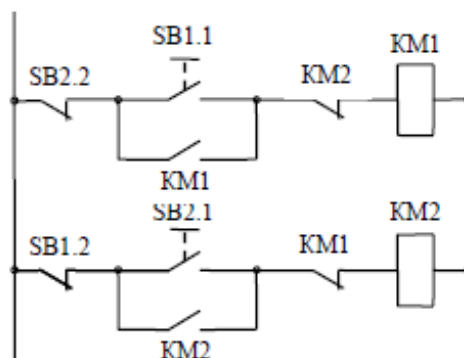


Рисунок 4 – Блокировка в схемах электропривода для предотвращения одновременного включения двух контакторов

Одновременное включение двух контакторов может быть предотвращено и с помощью использования двухцепных кнопок управления, имеющих замыкающий и размыкающий контакты.

Сигнализация в схемах управления ЭП. Для контроля за ходом технологического процесса или последовательности выполняемых операций, состояния защиты и наличия напряжения питания или какого-либо электрического сигнала применяется сигнализация, которая может быть световой (сигнальные лампы, табло), звуковой (звонок, сирена) и визуальной (указательные реле, измерительные приборы). На рисунке 5 приведен пример возможной сигнализации в схеме управления асинхронным двигателем. Лампа HL1 свидетельствует о включении контактора KM1 и вращении двигателя в направлении «Вперед», лампа HL2 – о срабатывании реле максимальной токовой защиты FA, лампа HL3 – о подаче напряжения на схему, лампа HL4 – о срабатывании конечного выключателя SQ. [2, 3]

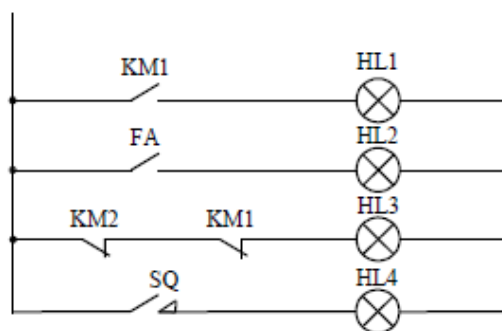


Рисунок 5 – Схема сигнализации

Важнейшей типовой функцией, возлагаемой на релейно–контакторные системы управления (РКСУ), является защита электрической и механической частей электропривода от аварийных режимов. Задача узла защиты – отключить двигатель от источника питания и остановить рабочий орган производственной машины. Аварийными режимами в электрических цепях двигателя могут быть: короткие замыкания, кратковременные и длительные перегрузки по току двигателя, перебои в электроснабжении, недопустимое снижение напряжения сети. Аварийная пауза в электроснабжении может привести после возобновления электроснабжения к самозапуску двигателя и неконтролируемому оператором движению рабочего органа. Для исключения самозапуска используется так называемая нулевая защита (нулевая блокировка), осуществляемая с помощью кнопки управления с самовозвратом или командоконтроллера с нулевым замыкающим контактом. При недопустимом уровне снижения напряжения для номинально загруженных асинхронных двигателей возникают токовые перегрузки.

Кроме того, из–за разных коэффициентов возврата аппаратов управления нарушается правильная работа РКСУ. Защита от недопустимого уровня снижения напряжения выполняется с помощью реле напряжения с высоким коэффициентом возврата.

Кроме перечисленных защит общего назначения, имеются защитные средства, учитывающие специфику производственных установок и их технологические режимы. К таким средствам относятся, например, различные защитные блокировки в лифтах, защитные устройства от отсутствия подачи смазки и охлаждающей жидкости в металлорежущих станках, от пробуксовки шкивов и барабанов в подъемно – транспортных установках.

Современные микропроцессорные средства защиты асинхронного двигателя

Для повышения эффективности и снижения стоимости конечного продукта реализуются проекты, направленные на модернизацию электропривода машин и механизмов. Наиболее рационально эти цели могут быть достигнуты применением электронных систем защиты.

Современное микропроцессорное реле РДЦ-01, созданное на ОАО «Электротехнический завод» (рис. 6). Предназначены для комплексной защиты и управления трехфазными асинхронными двигателями напряжением $3 \times (220/380)\text{В}$ с индикацией причин аварий, передачи информации на диспетчерские пункты, автоматическим повторным пуском и возможностью автоматического ввода резерва и дублирования [4].

Данное реле обеспечивает защиту двигателей и имеет ряд отличительных характеристик:

- для полной защиты двигателя токи измеряются по всем трем фазам;
- реализована отстройка от значительных пусковых токов, что предохраняет от ложного отключения двигателя;
- время срабатывания токовой защиты имеет интегральную зависимость для корректной работы защиты при небольших длительных перегрузках и при значительных кратковременных;

- для предотвращения биения ротора реализовано отключение при возникновении недопустимой асимметрии токов;
- реализована защита по цепям напряжения, которая включает: защиту от повышения напряжения; защиту от понижения напряжения; от неправильного чередования фаз, асимметрии;
- защита от недогруза и перегруза.



Рисунок 6 – Микропроцессорное реле РДЦ

Монитор тока двигателя (МТД) или блок управления и защиты представляет собой микропроцессорное устройство и предназначен для измерения токов, защитного отключения электродвигателей и других электроустановок общепромышленного назначения, а также для индикации режимов работы двигателей в системах переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220/380В с номинальными токами нагрузки от 1 до 250 А (рис. 7).

Монитор имеет набор различных выходных сигналов (реле, стандартный токовый и др.), а также органов управления (кнопки, переключатели, различные интерфейсы), и может быть легко встроен в различные системы управления и автоматизации промышленного оборудования. МТД обладает рядом преимуществ. Наличие функции автоматической настройки позволяет простым и доступным способом получить высокоэффективную защиту от недогрузки или перегрузки

вследствие заклинивания, обрыва ремня или цепи, сухой работы или повреждения подшипников [3].



Рисунок 7 – Монитор тока двигателя

Простое и удобное меню позволяет запрограммировать параметры срабатывания МТД:

- перегрузка относительно номинального тока;
- недогрузка относительно номинального тока;
- время задержки перед включением двигателя в противоположном направлении (реверс);
- время задержки отключения при 4-х кратной перегрузке;
- время задержки отключения при перегрузке;
- время задержки отключения при недогрузке.

Основные свойства МТД. При активации режима автоматической настройки, обычно при первом запуске, МТД по истечении 15 секунд записывает номинальный ток двигателя и устанавливает параметры защиты. Наличие возможности установки величины перегрузки и недогрузки, а также длительности задержки срабатывания защиты при возникновении аварии позволяет реализовать в одном приборе функции монитора недогрузки и монитора перегрузки. МТД защищает электрооборудование от следующих аварийных ситуаций:

- превышение номинального тока в 4 раза;
- перегрузка;

- недогрузка;
- обрыв любой из фаз.

Программируемые интеллектуальные реле (микроконтроллеры) Siemens LOGO! (рис. 8). Интеллектуальные реле являются одной из разновидностей программируемых логических контроллеров. Диапазон их применения весьма широк, однако чаще всего они состоят на службе в предприятиях, там, где необходимо логическое управление поступающими сигналами, иначе говоря, координация действий электрооборудования. В свою очередь в роли такого электрооборудования может выступать небольшие машины и аппараты, электродвигатели, системы освещения, аппараты поддержки уровня влажности воздуха и т.д. [5, 6].

Конструкция программируемых интеллектуальных реле чаще всего моноблочная, - в одном небольшом корпусе содержатся все узлы. Это, как правило, блок питания небольшой мощности, микроконтроллер, каналы ввода и вывода информации, клеммы для подключения исполнительных устройств. Корпуса таких устройств невелики.



Рисунок 8 - Программируемые интеллектуальные реле Siemens *LOGO!*

В данном дипломном проекте при разработке систем защиты использовался программируемый микроконтроллер Siemens LOGO.

2 Имитационное моделирование систем защиты электроприводов переменного тока

На сегодняшний день почти все процессы и методы сначала моделируются, до их фактической реализации. Это значительно снижает количество попыток и затраты на фактическую реализацию. Эксплуатационные характеристики системы можно точно оценить с помощью соответствующих имитационных моделей. Таким образом, модели должны быть гибкими и точными, а также учитывать проблемы фактической реализации. В данный момент благодаря стремительному развитию аппаратного и программного обеспечения доступны новые более быстрые и удобные для использования пакеты программ для моделирования.

2.1 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя

В справочной литературе отсутствуют параметры схемы замещения электродвигателя. Для определения параметров воспользуемся наиболее простой и удобной Т-образной схемой замещения, представленной на рисунке 9 [7].

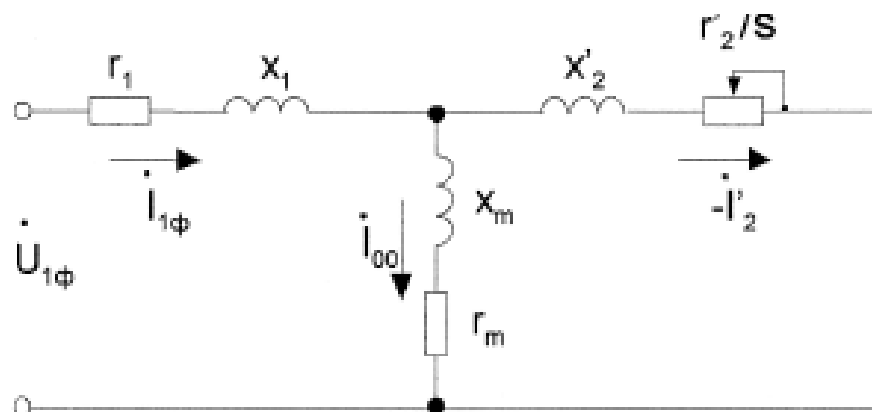


Рисунок 9 - Т-образная схема замещения

Исходными данными являются каталожные данные асинхронного двигателя АИР56А4У3, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Каталожные данные асинхронного двигателя АИР56А4У3

P_n , кВт	U_n , В	$n_{ном}$, об/мин	$n_{макс}$, об/мин	$\eta_{ном}$	$\cos\varphi_n$	k_i	k_m	J , кг/м ²
0,12	220	1350	1500	0,57	0,66	5	2,2	0,0007

где P_n – номинальная мощность двигателя;

U_n – номинальное напряжение;

$n_{ном}$ – номинальная частота вращения;

$n_{макс}$ – максимальная частота вращения;

$\eta_{ном}$ – коэффициент полезного действия;

$\cos\varphi_n$ – коэффициент мощности;

k_i – кратность пускового тока;

k_m – кратность пускового момента;

J – момент инерции двигателя.

Расшифровка маркировки электродвигателя АИР56А4:

А – асинхронный

И – двигатель унифицированной серии по стандарту «Интерэлектро»

Р (или С) – привязка мощности к установочно-присоединительным размерам согласно стандарту РС3031-71; С: CENELEC.

56 – один из габаритов электродвигателя АИР 56А4 – высота оси вращения в мм, от центра вала до основания лап электродвигателя.

А – длина сердечника статора.

4 – в электродвигателе АИР 56А4 – четыре полюса, которые соответствует частоте вращения 1500 об/мин.

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти по следующему выражению:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1H}^2 - \left[\frac{P_* I_{1H} (1 - s_H)}{(1 - p_* s_H)} \right]^2}{1 - \left[\frac{P_* (1 - s_H)}{(1 - p_* s_H)} \right]^2}} = \sqrt{\frac{0,435^2 - \left[\frac{0,75 \cdot 0,394 \cdot (1 - 0,1)}{(1 - 0,75 \cdot 0,1)} \right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,1)}{(1 - 0,75 \cdot 0,1)} \right]^2}} = 0,449 A, \quad (1)$$

где S_H - номинальное скольжение;

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0} = \frac{157,08 - 141,37}{157,08} = 0,1, \quad (2)$$

где ω_0 - скорость холостого хода, рад/с;

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\max}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1500}{60} = 157,08 \text{ рад / с}; \quad (3)$$

ω_H - номинальная скорость вращения, рад/с;

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{ном}}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1350}{60} = 141,3 \text{ рад / с}; \quad (4)$$

I_{1H} - номинальный ток статора двигателя;

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{120}{3 \cdot 220 \cdot 0,66 \cdot 0,57} = 0,483 A. \quad (5)$$

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

$$I_{11} = \frac{p_{\text{ж}} \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p_{\text{ж}}} \cdot \eta_{p_{\text{ж}}}} = \frac{0,75 \cdot 120}{3 \cdot 220 \cdot 0,55 \cdot 0,53} = 0,468 A. \quad (6)$$

Коэффициент загрузки двигателя

$$p_{\text{ж}} = \frac{P}{P_H} = 0,75 \quad (7)$$

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

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_m + \sqrt{k_m^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_m - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_m - 1)} = 0,1 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - [1 - 2 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,577. \quad (8)$$

значение коэффициента β находится в диапазоне 0,6 – 2,5, поэтому в первом приближении принимаем $\beta = 1,25$.

$$C_1 = 1 + \left(\frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} \right) = 1 + \frac{0,449}{2 \cdot 5 \cdot 0,492} = 1,093. \quad (9)$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_H^2 (1 - s_H)}{2 \cdot C_1^2 \cdot k_m \cdot P_H \cdot (\beta + \frac{1}{s_k})} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,1)}{2 \cdot 1,093^2 \cdot 2,2 \cdot 120 \cdot (1,25 + \frac{1}{0,1})} = 69,465 \text{ Ом.} \quad (10)$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,092 \cdot 69,465 \cdot 1 = 94,907 \text{ Ом.} \quad (11)$$

Определим параметр γ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{\text{кн}}$:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,577^2}\right) - 1,25^2} = 1,199. \quad (12)$$

Тогда

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 1,199 \cdot 1,089 \cdot 69,465 = 91,069 \text{ Ом.} \quad (13)$$

Для того чтобы выделить из индуктивного сопротивления $X_{\text{кн}}$ сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, необходимо воспользоваться соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано

$$X_{2\sigma}' = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 91,069}{1,093} = 48,326 \text{ Ом.} \quad (14)$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 91,389 = 38,249 \text{ Ом.} \quad (15)$$

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cos f_{1H} - R_1 I_{1H})^2 + (U_{1H} \sin f_{1H} + X_{1H} I_{1H})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,66 - 94,907 \cdot 0,492)^2 + (220 \cdot 0,75 - 38,249 \cdot 0,492)^2} = 177,242 \text{ В.} \quad (16)$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{177,242}{0,449} = 394,317 \text{ Ом.} \quad (17)$$

Исходя из расчетов индуктивных сопротивлений, рассчитаем индуктивность обмотки статора, ротора, намагничивания, по формуле

$$L_1 = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{38,249}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,122 \text{ Гн;} \quad (18)$$

$$L_2 = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{48,326}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,154 \text{ Гн;} \quad (19)$$

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{394,314}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,255 \text{ Гн.} \quad (20)$$

2.2 Расчет статических характеристик

Используя параметры схемы замещения, рассчитаем естественные механические и электромеханические характеристики.

Расчет естественной механической характеристики проводим по выражению (21). Она изображена на рисунке 10.

$$M(s) = \frac{2 \cdot U_{1H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}, \quad (21)$$

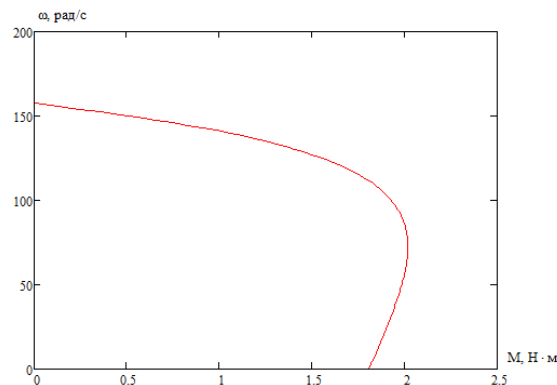


Рисунок 10 - Естественная механическая характеристика АД

Естественные электромеханические характеристики $I_1(s)$ и $I_2'(s)$ электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{1H} = 50$ Гц по выражению (22). Она изображена на рисунке 11.

$$I_2'(s) = \frac{U_H^2}{\sqrt{X_{KH}^2 + (R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu})^2}}, \quad (22)$$

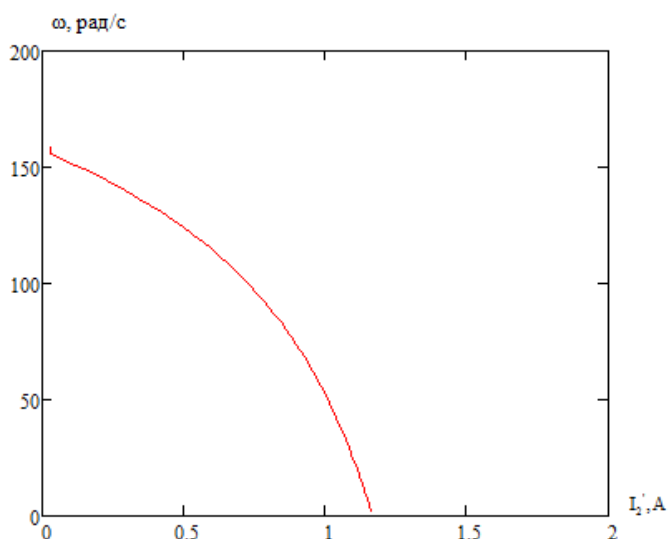


Рисунок 11 - Естественная электромеханическая характеристика АД ротора

Полагая, что ток намагничивания двигателя имеет полностью реактивный характер, выражение для электромеханической характеристики, описывающей зависимость тока статора от скольжения, запишется следующим образом

$$I_I(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}, \quad (23)$$

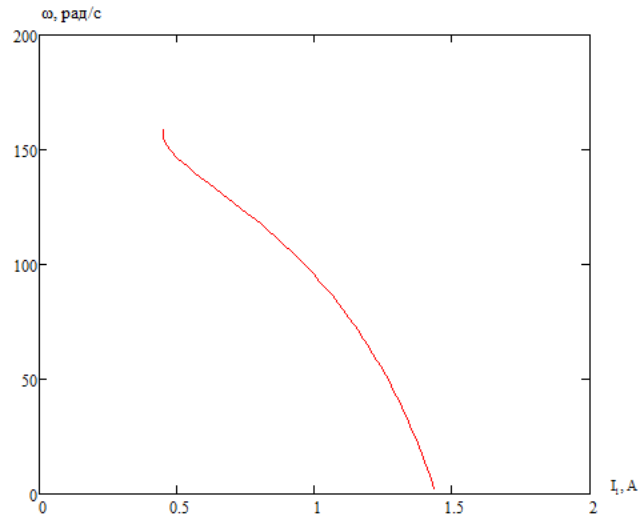


Рисунок 12 - Естественная электромеханическая характеристика АД статора

2.3 Математическое описание модели асинхронного двигателя

При построении реальных систем электропривода переменного тока в системы управления включают преобразователи фаз 3/2 и 2/3 (рис. 13-14) [8].

Первый (3/2) –осуществляет преобразование трехфазных напряжений U_A, U_B, U_C (формула) в двухфазные U_α, U_β , в соответствии с выражениями (24, 25)

$$\begin{aligned}\vec{U}_A &= U_m \sin \omega t, \\ \vec{U}_B &= U_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}), \\ \vec{U}_C &= U_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}).\end{aligned}\tag{24}$$

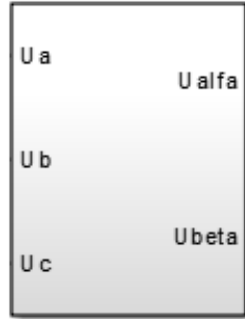
$$\begin{aligned}\vec{U}_s &= \frac{2}{3} \vec{U}_\Sigma = \frac{2}{3} (\vec{U}_A + a\vec{U}_B + a^2\vec{U}_C), \\ a &= e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, \\ a^2 &= e^{-j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}.\end{aligned}\tag{25}$$

где a – оператор поворота;

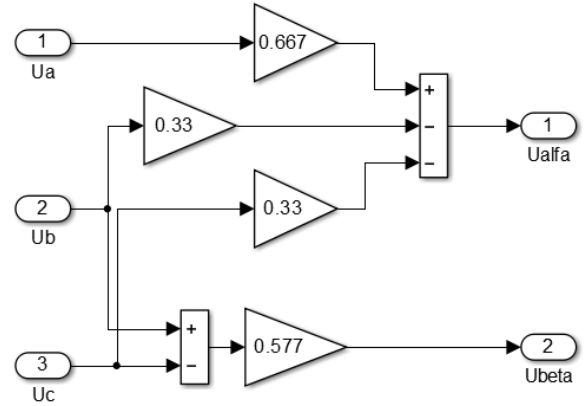
$$\vec{U}_s = U_\alpha + jU_\beta = \frac{2}{3} (\vec{U}_A + a\vec{U}_B + a^2\vec{U}_C) = \frac{2}{3} (\vec{U}_A + (-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2})\vec{U}_B + (-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2})\vec{U}_C).\tag{26}$$

После преобразования уравнения (26) получим

$$\begin{aligned} U_{\alpha} &= 2[U_A - (U_B + U_C) / 2] / 3, \\ U_{\beta} &= (U_B - U_C) / \sqrt{3}. \end{aligned} \quad (27)$$



а)



б)

Рисунок 13 – Преобразователь (3/2):

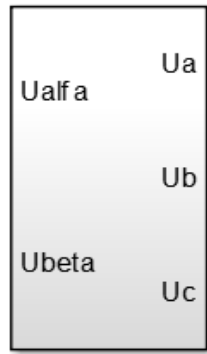
а) условное графическое обозначение преобразователя;

б) модель преобразователя в Simulink

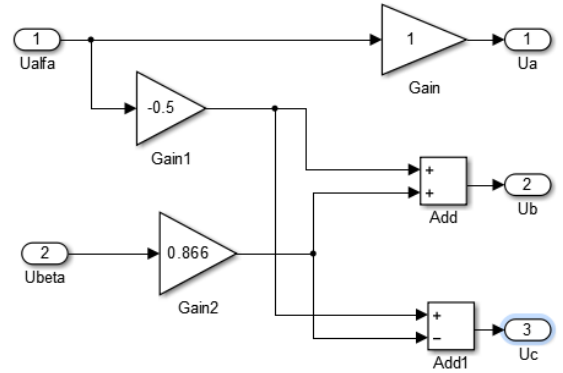
При разработке преобразователя (2/3) следует иметь в виду, что фазный вектор трехфазной системы $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$ представляет проекцию пространственного вектора \vec{U}_s на оси А, В, С. Выражения для фазных напряжений $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$ представляют действительную часть проекции пространственного вектора \vec{U}_s на фазные оси А, В, С.

В соответствии с этим, имеем следующую систему выражений:

$$\begin{aligned} \vec{U}_A &= \text{Re}(U_s) = \text{Re}(U_{\alpha} + jU_{\beta}) = U_{\alpha}, \\ \vec{U}_B &= \text{Re}(\bar{a} \cdot U_{a_s}) = \text{Re}\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(U_{\alpha} + jU_{\beta}) = -\frac{1}{2}U_{\alpha} + j\frac{\sqrt{3}}{2}U_{\beta}, \\ \vec{U}_C &= \text{Re}(\bar{a} \cdot U_{a_s}) = \text{Re}\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(U_{\alpha} - jU_{\beta}) = -\frac{1}{2}U_{\alpha} - j\frac{\sqrt{3}}{2}U_{\beta}, \end{aligned} \quad (28)$$



а)



б)

Рисунок 14– Преобразователь (3/2):

а) условное графическое обозначение преобразователя;

б) модель преобразователя в Simulink

Для исследования в среде Matlab используем двухфазную модель реальной трёхфазной машины в системе координат α, β . Такая замена переменных широко используется при математическом исследовании электрических машин с целью упрощения систем дифференциальных уравнений электрического равновесия статорных и роторных цепей.

Обобщенная система уравнений для описания асинхронной двигателя с короткозамкнутым ротором имеет вид:

$$\begin{cases} \bar{u}_s = R_s \bar{i}_s + \frac{d\bar{\psi}_s}{dt} \\ 0 = R_r \bar{i}_r + \frac{d\bar{\psi}_r}{dt} - j p \omega \bar{\psi}_r \\ \bar{\psi}_s = x_s \bar{i}_s + x_m \bar{i}_r \\ \bar{\psi}_r = x_r \bar{i}_r + x_m \bar{i}_s \\ M_e = \frac{3}{2} p \bar{k} (\bar{\psi}_i \bar{i}_k) \\ \bar{J} \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_c \end{cases} \quad (29)$$

Подставив уравнения потокосцеплений в уравнения напряжений получим:

$$\bar{u}_s = R_s \bar{i}_s + x_s \frac{d\bar{i}_s}{dt} + x_m \frac{d\bar{i}_r}{dt} \quad (30)$$

$$0 = R_R \bar{i}_R + x_R \frac{d\bar{i}_R}{dt} + x_m \frac{d\bar{i}_s}{dt} - jp\omega \bar{\psi}_R \quad (31)$$

Выразим из (31) $\frac{d\bar{i}_R}{dt}$:

$$\frac{d\bar{i}_R}{dt} = -\frac{R_R \bar{i}_R}{x_R} - \frac{x_m}{x_R} \frac{d\bar{i}_s}{dt} + jp\omega \frac{1}{x_R} \bar{\psi}_R \quad (32)$$

Выразим ток ротора из четвертого уравнения системы:

$$\bar{i}_R = \frac{1}{x_R} \bar{\psi}_R - \frac{x_m}{x_R} \bar{i}_s \quad (33)$$

Подставим выражение (33) в уравнение (32), и результат помножим на x_m в соответствии с уравнением (30):

$$x_m \frac{d\bar{i}_R}{dt} = -\frac{R_R \bar{i}_R}{x_R^2} \bar{\psi}_R + \frac{x_m^2 R_R}{x_R^2} \bar{i}_s - \frac{x_m^2}{x_R} \frac{d\bar{i}_s}{dt} + jp\omega \frac{x_m}{x_R} \bar{\psi}_R \quad (34)$$

Подставим (11) и (10) в (7):

$$\bar{u}_s = R_s \bar{i}_s + \frac{x_m^2 R_R}{x_R^2} \bar{i}_s + x_s \frac{d\bar{i}_s}{dt} - \frac{x_m^2}{x_R} \frac{d\bar{i}_s}{dt} - \frac{x_m R_R}{x_R^2} \bar{\psi}_R + jp\omega \frac{x_m}{x_R} \bar{\psi}_R \quad (35)$$

Перепишем полученное уравнение равновесия вектора напряжения

статора с учетом новых параметров: $R = R_s + k_R^2 R_R$, $k_R = \frac{x_m}{x_R}$, $x_s' = x_s - \frac{x_m^2}{x_R}$, $\bar{T}_R = \frac{x_R}{R_R}$ в виде:

$$\bar{u}_s = R \bar{i}_s + x_s' \frac{d\bar{i}_s}{dt} - \frac{k_R}{\bar{T}_R} \bar{\psi}_R + jp\omega k_R \bar{\psi}_R \quad (36)$$

Основное уравнение равновесия напряжений для цепи ротора получим при подстановке соотношения (33) во второе уравнение системы:

$$0 = \frac{1}{\bar{T}_R} \bar{\psi}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt} - k_R R_R \bar{i} - jp\omega \bar{\psi}_R \quad (37)$$

Распишем векторное произведение в выражении для момента двигателя:

$$M_e = \frac{3}{2} p \bar{k} (\bar{\psi}_i \bar{i}_k) = \frac{3}{2} p \bar{k} (\bar{\psi}_{s\alpha} \bar{i}_{s\beta} - \bar{\psi}_{s\beta} \bar{i}_{s\alpha}) \quad (38)$$

Подставим выражение (33) третье уравнение системы:

$$\bar{\psi}_s = x_s \bar{i}_s + x_m \left(\frac{1}{x_R} \bar{\psi}_R - \frac{x_m}{x_R} \bar{i}_s \right) = x_s' \bar{i}_s + k_R \bar{\psi}_R \quad (39)$$

Распишем уравнение (39) через составляющие по осям α и β :

$$\begin{aligned}\bar{\psi}_{s\alpha} &= x_s \bar{i}_{s\alpha} + k_R \bar{\psi}_{R\alpha}; \\ \bar{\psi}_{s\beta} &= x_s \bar{i}_{s\beta} + k_R \bar{\psi}_{R\beta}.\end{aligned}\quad (40)$$

Подставим это выражение в (37), тогда:

$$M_e = \frac{3}{2} p \bar{k} (\bar{\psi}_{R\alpha} \bar{i}_{s\beta} - \bar{\psi}_{R\beta} \bar{i}_{s\alpha}) \quad (41)$$

Система уравнений (29) после всех преобразований принимает вид:

$$\begin{cases} \bar{u}_s = R \bar{i}_s + x_s \frac{d\bar{i}_s}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \bar{\psi}_R - j p \omega k_R \bar{\psi}_R \\ 0 = \frac{1}{T_R} \bar{\psi}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt} - k_R R \bar{i}_s + j p \omega \bar{\psi}_R \\ M_e = \frac{3}{2} p k_R (\bar{\psi}_{R\alpha} \bar{i}_{s\beta} - \bar{\psi}_{R\beta} \bar{i}_{s\alpha}) \\ \bar{J} \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_c \end{cases} \quad (42)$$

Разработаем структуру асинхронного двигателя. В неподвижной системе координат. Пространственные векторы в этом случае раскладываются по осям α и β :

$$\begin{cases} u_{s\alpha} = R i_{s\alpha} + x_s \frac{di_{s\alpha}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\alpha} - p \omega k_R \psi_{R\beta} \\ u_{s\beta} = R i_{s\beta} + x_s \frac{di_{s\beta}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\beta} + p \omega k_R \psi_{R\alpha} \\ 0 = \frac{1}{T_R} \psi_{R\alpha} + \frac{d\psi_{R\alpha}}{dt} - k_R R i_{s\alpha} + p \omega \psi_{R\beta} \\ 0 = \frac{1}{T_R} \psi_{R\beta} + \frac{d\psi_{R\beta}}{dt} - k_R R i_{s\beta} - p \omega \psi_{R\alpha} \\ M_e = \frac{3}{2} p k_R (\psi_{R\alpha} i_{s\beta} - \psi_{R\beta} i_{s\alpha}) \\ J \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_L \end{cases} \quad (43)$$

Система дифференциальных уравнений первого порядка (43) в операторной форме примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{s\alpha} = (1 + T_s) R i_{s\alpha} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\alpha} - p \omega k_R \psi_{R\beta} \\ u_{s\beta} = (1 + T_s) R i_{s\beta} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\beta} + p \omega k_R \psi_{R\alpha} \\ 0 = \frac{1 + T_R s}{T_R} \psi_{R\alpha} - k_R R i_{s\alpha} + p \omega \psi_{R\beta} \\ 0 = \frac{1 + T_R s}{T_R} \psi_{R\beta} - k_R R i_{s\beta} - p \omega \psi_{R\alpha} \\ M_e = \frac{3}{2} p k_R (\psi_{R\alpha} i_{s\beta} - \psi_{R\beta} i_{s\alpha}) \\ J s \omega = M_e - M_L \end{array} \right. \quad (44)$$

Дополнительно введена переменная $T_s = \frac{x_s}{R}$.

Для разработки модели представим систему (44) в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{s\alpha} = (u_{s\alpha} + \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\alpha} + p \omega k_R \psi_{R\beta}) \frac{1/R}{1 + T_s} \\ i_{s\beta} = (u_{s\beta} + \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\beta} - p \omega k_R \psi_{R\alpha}) \frac{1/R}{1 + T_s} \\ \psi_{R\alpha} = (k_R R i_{s\alpha} - p \omega \psi_{R\beta}) \frac{T_R}{1 + T_R s} \\ \psi_{R\beta} = (k_R R i_{s\beta} + p \omega \psi_{R\alpha}) \frac{T_R}{1 + T_R s} \\ M_e = \frac{3}{2} p k_R (\psi_{R\alpha} i_{s\beta} - \psi_{R\beta} i_{s\alpha}) \\ \omega = \frac{M_e - M_L}{J s} \end{array} \right. \quad (45)$$

Данной системе уравнений соответствует модель в Matlab Simulink, представленная на рисунке 15 [8].

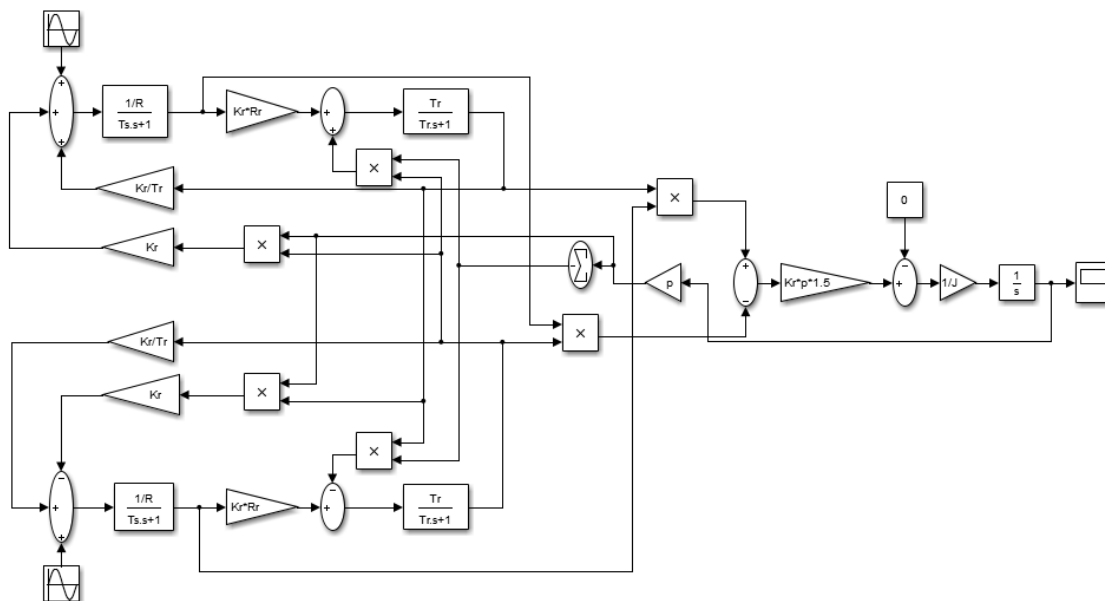


Рисунок 15 – Имитационная модель асинхронного двигателя с активной нагрузкой в Matlab Simulink.

2.4 Максимально-токовая защита асинхронного двигателя

Силовой канал реализован с помощью виртуальных блоков специализированного пакета расширения SimPowerSystem, а управляющий и информационный каналы построены на основе блоков основного пакета Simulink.

Модель МТЗ содержит источник питания, блок преобразователя (3/2), блок электрической машины, блок преобразователя (2/3), измерительные блоки.

Имитационная схема максимально-токовой защиты асинхронного двигателя представлена на рисунке 16. Для построения графиков переходных процессов использован блок «Scope».

2.5 Автоматическое включение резервного асинхронного двигателя

Схема автоматического включения резервного двигателя представлена на рисунке 17. В данном примере два двигателя находятся на одном валу, питание происходит от разных источников [9] .

Для построения графиков переходных процессов использован блок «Scope».

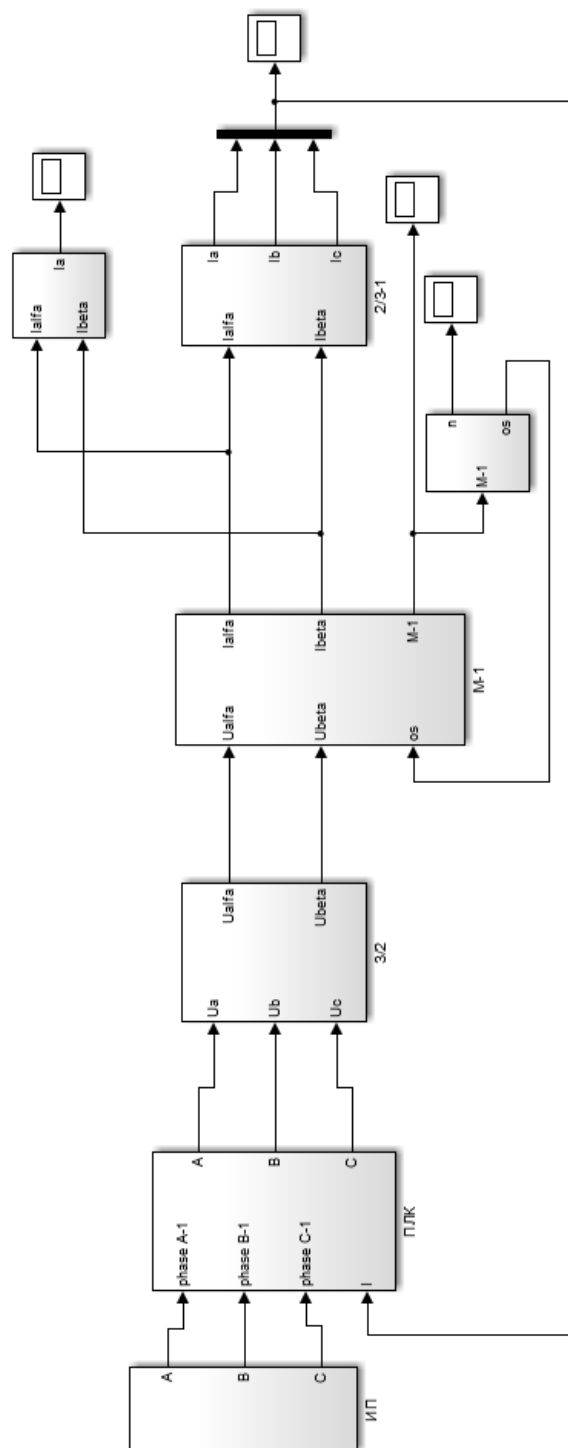


Рисунок 16 - Имитационная модель максимально-токовой защиты асинхронного двигателя

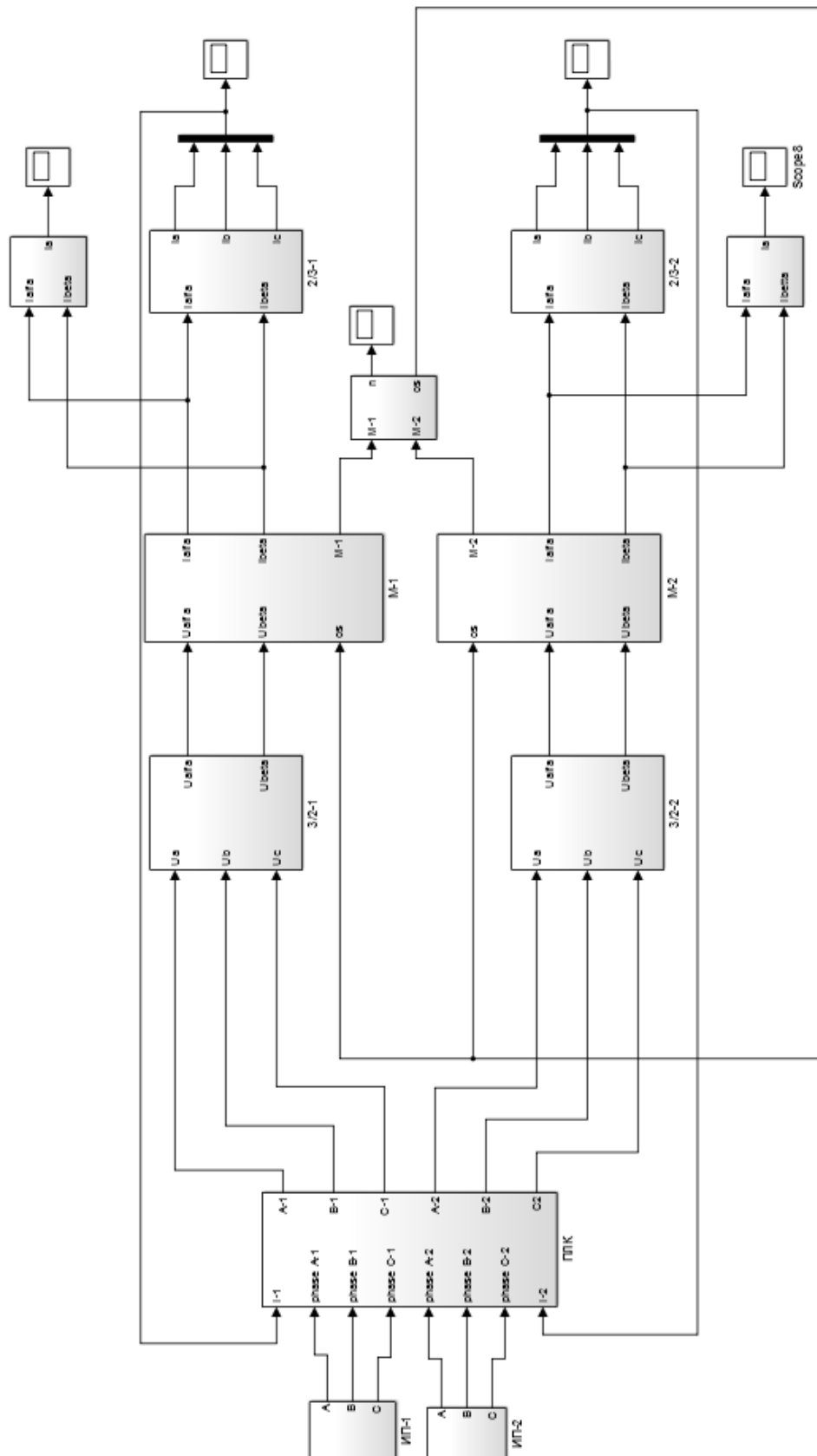


Рисунок 17 – Имитационная модель автоматического включения резервного асинхронного двигателя

2.6 Разработка систем защиты электросистемы на базе программируемого интеллектуального реле *LOGO!*

2.6.1 Описание лабораторного стенда

Аппаратная часть комплекта «**Электрический привод**» выполнена по блочному (модульному) принципу и содержит:

- лабораторный стол с двухсекционным контейнером и двухуровневой рамой, для хранения проводников, рамами для установки необходимых в эксперименте функциональных блоков, выкатной полкой для клавиатуры компьютера и подставкой для системного блока последнего;
- трансформаторы и элементы электрических цепей;
- источники питания;
- персональный *IBM*-совместимый компьютер со встроенной платой ввода/вывода данных фирмы *National Instruments*;
- измерительные преобразователи и приборы.

Питание комплекса осуществляется от трехфазной электрической сети напряжением 380 В с нейтральным и защитным проводниками. Параметры стенда приведены в таблице 2.

В состав функциональных блоков стенда входят следующие элементы:

трехфазный источник питания, предназначенный для питания комплекта от сети (защита от перегрузок реализуется устройством защитного отключения, включение источника происходит вручную, имеется кнопка аварийного отключения и ключ от несанкционированного включения);

источник питания машины постоянного тока (МПТ), предназначенный для питания обмоток якоря и возбуждения (якорное напряжение регулируется вручную или дистанционно, его включение происходит вручную или дистанционно/автоматически (от ПК), напряжение возбуждения нерегулируемое);

Таблица 2. Параметры лабораторного стенда

Потребляемая мощность, В·А, не более	50
Электропитание: - от однофазной сети переменного тока с рабочим нулевым и защитным проводниками напряжением, В - частота, Гц	220 ± 22 $50 \pm 0,5$
Класс защиты от поражения электрическим током	I
Габаритные размеры, мм, не более - длина (по фронту) - ширина (ортогонально фронту) - высота	920 350 800
Масса, кг, не более	20

трехполюсный выключатель, предназначенный для защиты электродвигателя от перегрузки и коротких замыканий;

блок световой сигнализации, предназначенный для визуального наблюдения о готовности узлов защит и автоматики электросхем к работе;

блок измерительных трансформаторов тока и напряжения, предназначенный для преобразования электрических сигналов в сигнал нагрузки;

контактор, предназначенный для управления электроцепями, моделирующими токовые защиты и системы их автоматического включения;

цифровой блок мультиметров, предназначенный для измерения параметров цепи (токов, напряжений, омических сопротивлений);

указатель частоты вращения, предназначенный для отображения в аналоговой форме частоты вращения электрических машин в электромашинном агрегате;

электромашинный агрегат, предназначенный для электромеханического преобразования тока и получения сигналов, определяющих частоту вращения и угловое положение подвижных частей агрегата. Этот элемент включает взаимосвязанные между собой и находящиеся на одном основании электрические машины: МПТ, машину переменного тока, маховик и преобразователь угловых перемещений;

асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (объект представленного исследования);

двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (нагрузочная машина постоянного тока);

блок коннектор, предназначенный для подключения, который выполняет соединительно-записывающую функцию с датчика на ПК;

блок программируемого контроллера, предназначенный для управления лабораторным комплексом (путем программирования параметров токовых защит и систем автоматического включения электросхем) и отображение информации.

2.6.2 Описание модуля *LOGO!*

В простейших устройствах автоматики с логической обработкой информации на данный момент широко используются такие

функциональные элементы, как логические модули *LOGO!*. Программа, состоящая из набора встроенных функций, задает алгоритм работы модулей.

Возможность программирования модулей *LOGO!* со встроенной клавиатуры позволяет программировать, а значит и использовать модули даже без специального ПО, что является их несомненным достоинством.

Программирование реле с помощью, установленного на ПК программного обеспечения (ПО) *Logo! SoftComfort* [5–6].

Подключение модулей реле *Logo! Basic* к компьютеру происходит с помощью кабеля (шнура) *PC-LOGO* с *RS232/D-SUB*-разъемом или *USB*-разъемом. Система ввода-вывода включает 8 входов (дискретные, аналоговые) и 4 выхода (релейные, транзисторные) с возможностью дополнения модулями расширения дискретных и аналоговых входов/выходов.

Существует также возможность долговременного хранения программ и данных модулей памяти *LOGO!*, переноса программ с одного модуля на другой и сохранения данных при перебоях в питании.

Монтаж модуля: установить на *DIN*-рейку 35 мм или на плоскую поверхность.

На рисунке 18 представлен внешний и функциональный вид представленных логических модулей.



Рисунок 18 – Внешний (а) и функциональный вид (б) логических модулей *Siemens LOGO!*

2.6.3 Разработка функциональных схем защит асинхронного двигателя

В данном разделе отражены основные принципы разработки и функционирования исследуемого программного комплекса, а именно: автоматическое включение/отключение двигателя, автоматическое определение факта перегрузки (обрыва фазы), отключение двигателя при перегрузках, диспетчеризация. Алгоритм работы исследуемой системы состоит в измерении и анализе тока двигателя при пуске и работе. При аварийном останове одного двигателя должны обеспечиваться пуск и работа другого.

2.6.3.1 Максимально-токовая защита

Возрастание значения рабочего тока до величины, превосходящей максимальное значение, в большинстве случаев приводит к возникновению короткого замыкания в электрической схеме. Максимальная токовая защита (рис. 19) отключает двигатель от сети при появлении таких токов в главной цепи или в цепи управления [10].

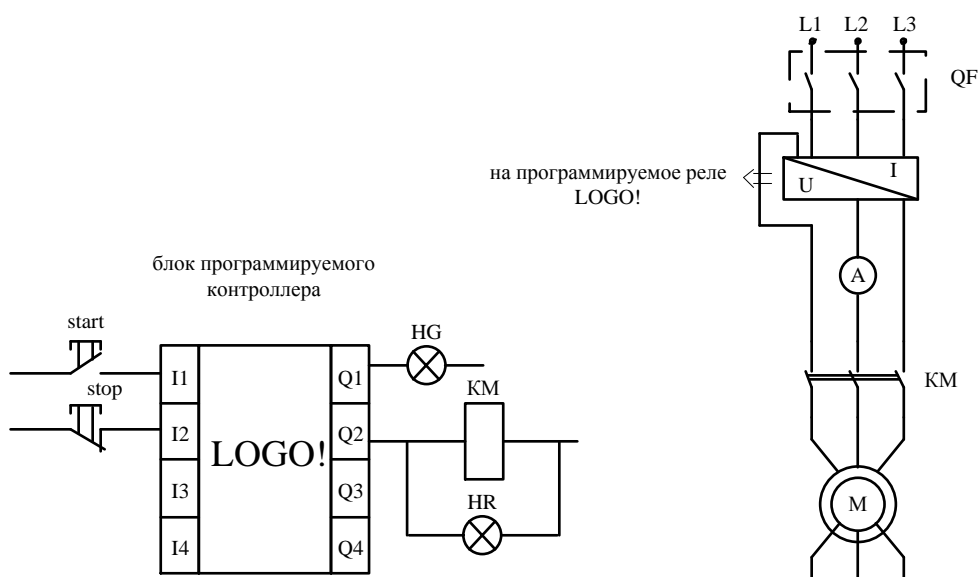


Рисунок 19 - Функциональная схема максимально-токовой защиты асинхронного двигателя

В соответствии с алгоритмом работы в текущий момент времени включен один двигатель. Поэтому в системе достаточно иметь трехканальный (для каждой фазы) модуль преобразования переменного тока в нормированный сигнал по току с гальваноразвязкой. Факт подачи напряжения на двигатель определяется по замыканию трехполюсного выключателя QF. Включение двигателя осуществляется по команде контроллера контактом KM1. Двигатель постоянного тока нагружает асинхронный, что ведет к увеличению тока, а значит, к срабатыванию защиты.

Логическая схема собрана в программе *LOGO!Soft Comfort* и представлена на рисунке 20.

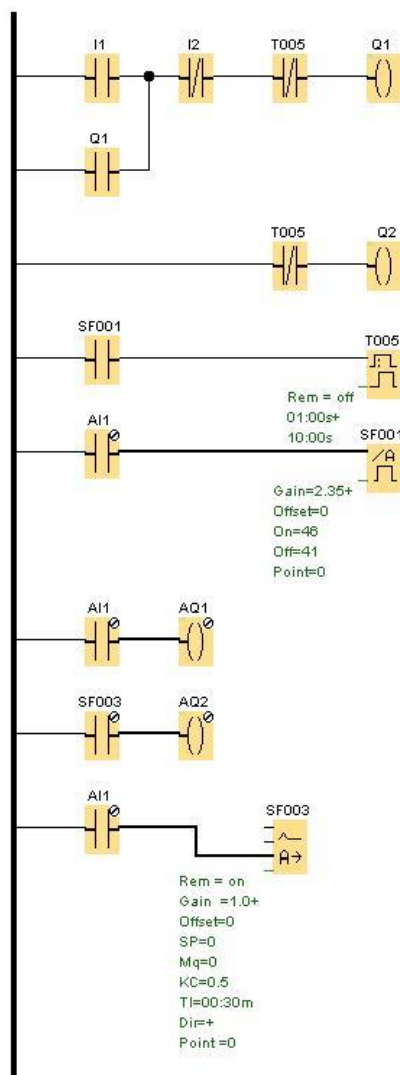


Рисунок 20 - Схема управления асинхронным двигателем в *LOGO!Soft Comfort*

Описание блоков логической схемы:

Блок *AI1* – аналоговый вход - обрабатывает аналоговые сигналы. В данном случае на аналоговый вход поступает значение тока [11].

Блок *SF001* – аналоговый пороговый выключатель - выход устанавливается или сбрасывается с учетом двух конфигурируемых пороговых значений. Используется как токовое реле на включение защиты.

Блок *SF003* – ПИ-регулятор - представляет собой регулятор пропорционального и интегрального действия. С помощью данного блока получаем график изменения тока в режиме реального времени.

Блок *T005* – задержка включения и отключения - блок функции задержки включения и выключения используется для установки выхода после истечения заданного времени задержки включения и его сброса после завершения второго запрограммированного значения времени.

Блок *T005* – задержка включения и отключения - блок функции задержки включения и выключения используется для установки выхода после истечения заданного времени задержки включения и его сброса после завершения второго запрограммированного значения времени.

Блок *Q1* – представляет собой выходную клемму лампочки, сигнализирующей о подаче напряжения на двигатель.

Блок *Q2* – представляет собой выходную клемму на контактор асинхронного двигателя.

Ниже приведена функциональная схема, поясняющая принцип действия логической схемы (рис. 21).

Зеленая сигнальная лампа *LG* загорается при подаче напряжения на схему. При нажатии на кнопку включения *SB1* включается контактор *KM*, и далее на защищаемый двигатель подается напряжение. При питании через контакт *KM1* загорается красная сигнальная лампа *LR1*, при этом гаснет зеленая сигнальная лампа *LG*. При отпускании кнопки *SB1* обмотка контактора *KM* получает питание через нормально разомкнутый контакт.

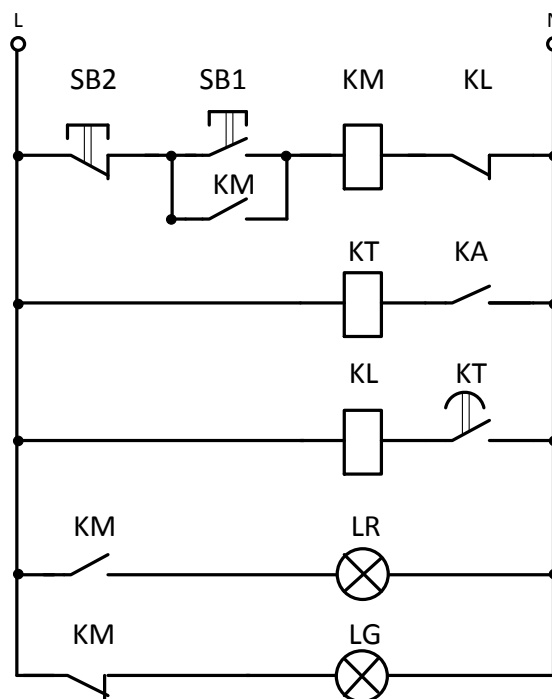


Рисунок 21 - Функциональная схема, поясняющая принцип действия логической схемы

При нажатии на кнопку *SB2* контактор *KM* отключится. Напряжение с линий снимается. Красная сигнальная лампа гаснет, зеленая - загорается.

При обрыве одной фаз контакт *KA* токового реле замыкается, подавая питание на обмотку реле времени *KT*. Контакт *KT*, замыкаясь с выдержкой времени, подает питание на обмотку промежуточного реле *KL*, которое своим контактом *KL* размыкает цепь питания контактора *KM*.

При исчезновении напряжения питающей сети контактор *KM* отключается. При восстановлении напряжения в сети контактор остается отключенными (самовозврата схемы не происходит).

С помощью схем (рис. 19-21) были смоделированы следующие опыты:

- Пуск асинхронного двигателя на холостом ходу;
- Обрыв фазы.

2.6.3.2 Модель автоматического резервирования асинхронного двигателя

Автоматическое резервирование двигателя – это способ включения резервного двигателя при выходе из строя основного двигателя. В данной работе рассмотрен пример резервирования при обрыве фазы (рис. 22).

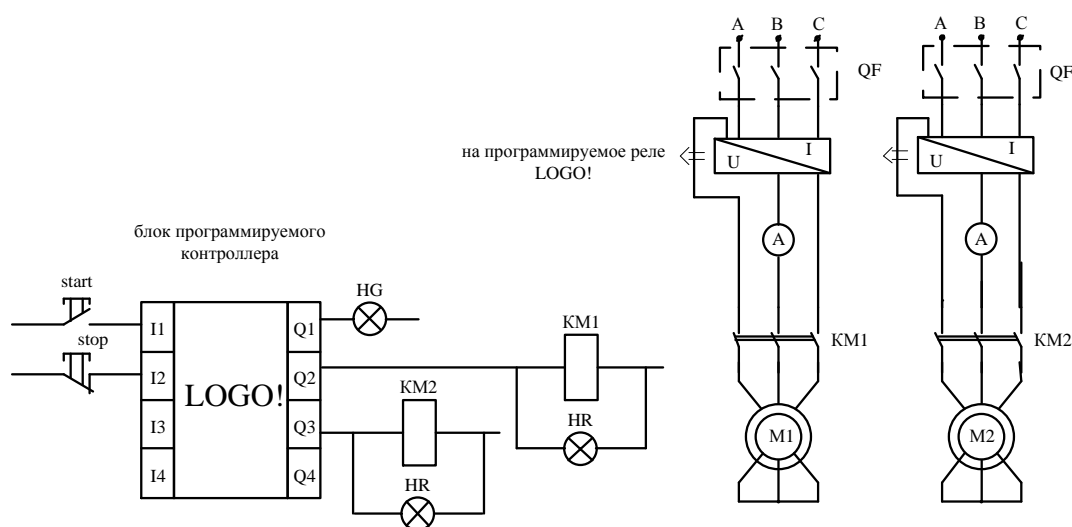


Рисунок 22 - Функциональная схема автоматического резервирования асинхронного двигателя

В соответствии с алгоритмом работы в текущий момент времени включен один двигатель. Поэтому в системе достаточно иметь трехканальный модуль преобразования переменного тока в нормированный сигнал по току с гальваноразвязкой. Факт подачи напряжения на двигатель определяется по замыканию трехполюсного выключателя QF . Включение двигателя $M1$ осуществляется по команде контроллера контактом $KM1$; двигатель $M2$ является резервным, включение по команде $KM2$.

Логическая схема создана в программе *LOGO!Soft Comfort* (рис. 23).

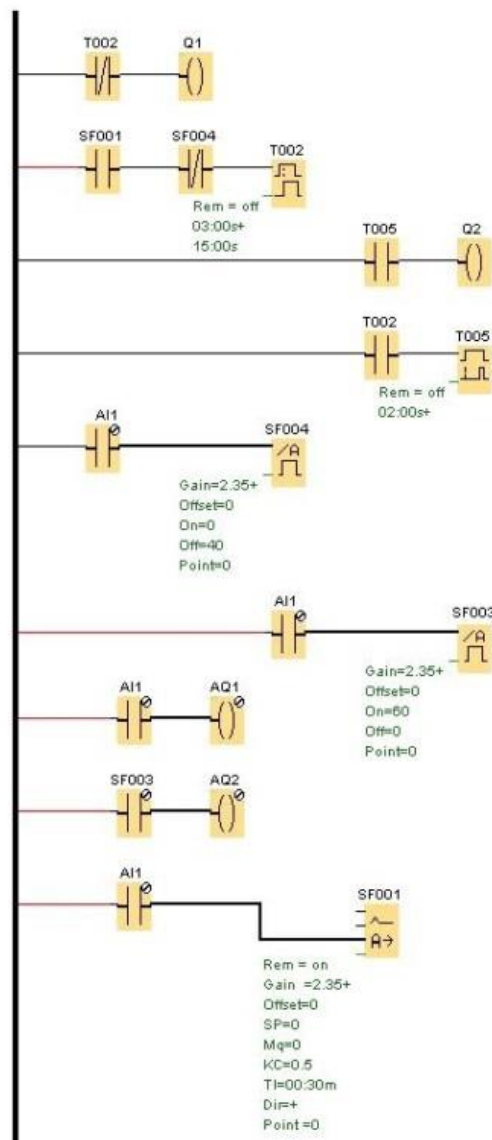


Рисунок 23 - Схема управления асинхронным двигателем в LOGO!

Soft Comfort

Функционал блоков логической схемы показан ниже [11].

Блок *AI1* – аналоговый вход - обрабатывает аналоговые сигналы. В данном случае на аналоговый вход поступает значение тока.

Блок *SF001* – аналоговый пороговый выключатель - выход устанавливается или сбрасывается с учетом двух конфигурируемых пороговых значений. Используется как токовое реле на включение защиты.

Блок *SF003* – ПИ-регулятор - представляет собой регулятор пропорционального и интегрального действия. С помощью данного блока получаем график изменения тока в режиме реального времени.

Блок *T002* – задержка включения и отключения - блок функции задержки включения и выключения используется для установки выхода после истечения заданного времени задержки включения и его сброса после завершения второго запрограммированного значения времени.

Блок *T005* – задержка включения - выход не включается до истечения заданного интервала задержки.

Блок *Q1* – представляет собой выходную клемму на контактор асинхронного двигателя *M1*.

Блок *Q2* – представляет собой выходную клемму на контактор асинхронного двигателя *M2*.

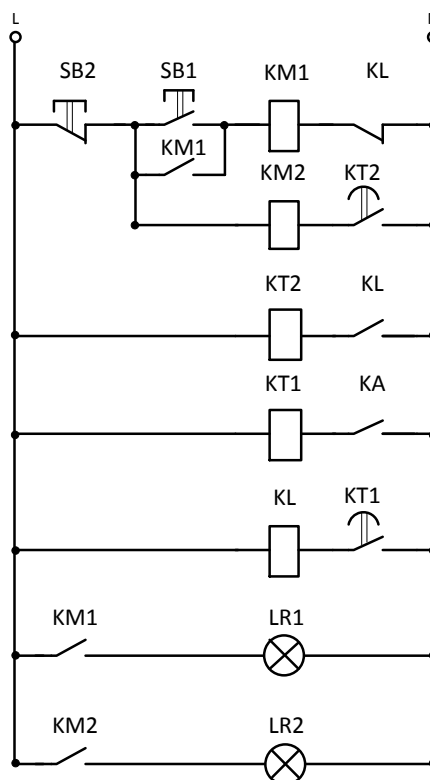
Структурная схема, поясняющая принцип действия логической схемы (рис. 24).

При нажатии на кнопку включения *SB1* включается контактор *KM1* и на защищаемую линию *L1* подается напряжение. Загорается красная сигнальная лампа *LR1*, получая питание через контакт *KM1*. При отпускании кнопки *SB1* обмотка контактора *KM1* получает питание через нормально разомкнутый контакт.

При нажатии на кнопку *SB2* контакторы *KM1* и *KM2* отключаются. Напряжение с линий снимается. Красная сигнальная лампа гаснет, зеленая - загорается.

Контакт *KA* токового реле замыкается при обрыве одной фазы, тем самым подается питание на обмотку реле времени *KT1*. Контакт *KT1*, замыкаясь с выдержкой времени, подает питание на обмотку

При исчезновении напряжения питающей сети контакторы $KM1$ или $KM2$ отключаются. При восстановлении напряжения самовозврата схемы не происходит, и контакторы остаются отключенными.



С помощью схем (рис. 22-24) были смоделированы эксперименты «Обрыв фазы» и «Включение резервного двигателя».

3 Экспериментальные исследования на лабораторном стенде

3.1 Проверка адекватности имитационной модели

В настоящее время в мировой практике повсеместно распространено использование различных методов компьютерного моделирования для исследования сложных электромеханических систем. Во всех случаях существует проблема оценки адекватности получаемых результатов компьютерного моделирования характеристикам реальной физической системы [12-13].

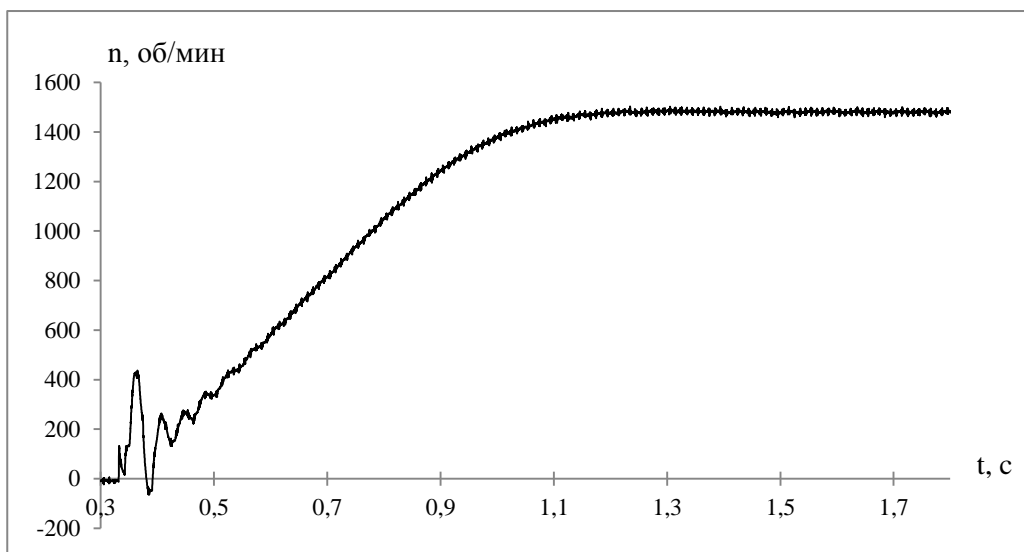
Данный пункт посвящен исследованию прямого пуска изучаемой системы электропривода переменного тока. Одним из способов решения этой проблемы может быть сравнение по основным показателям динамики и статики поведения реальной системы с соответствующими показателями, полученными на физическом стенде с компьютерным аналогом на основе имитационной виртуальной модели.

Физическая система содержит следующие базовые элементы: асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором марки АИР56А4У3 и программируемое реле *LOGO!*. Имитационная модель синтезирована в среде *Matlab*.

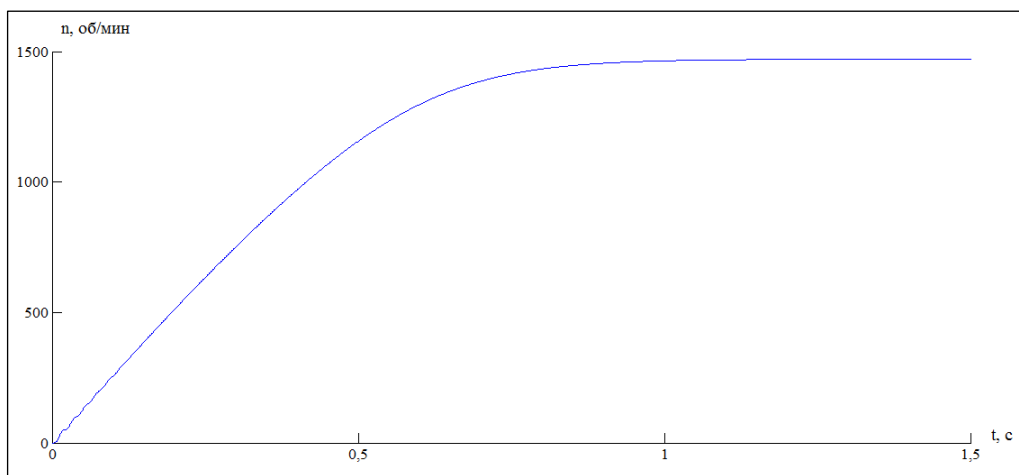
В качестве параметров для виртуальных блоков взяты паспортные данные элементов физической модели (для создания условий максимального соответствия физической и имитационной модели системы).

Для обоих объектов были получены переходные характеристики при прямом пуске системы (рис. 25).

Анализ переходных характеристик по скорости (рис. 25) для различных систем показывает, что скорость холостого хода одинакова и равна $n_0=1480$ рад/с. Время разгона двигателя в обоих случаях составляет 1с.



а)

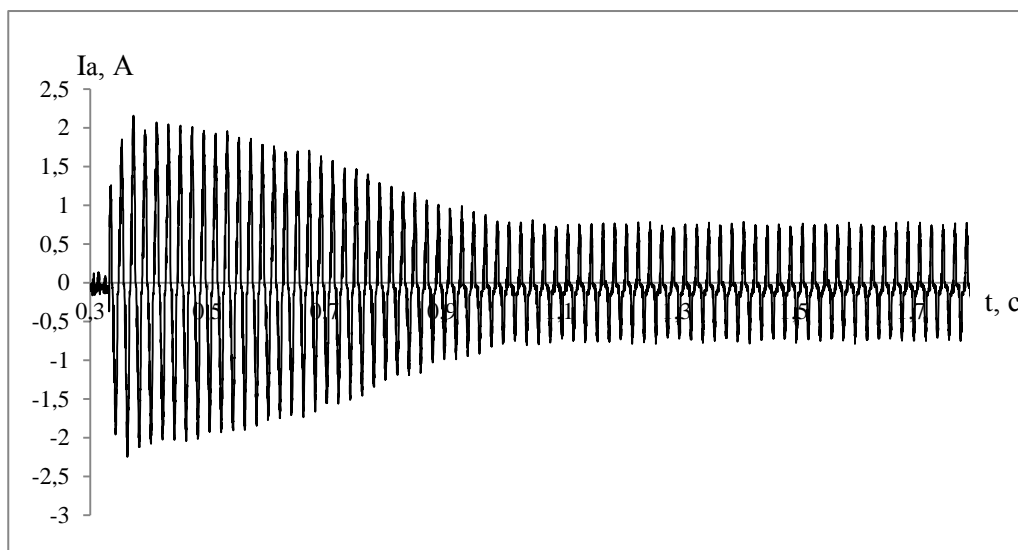


б)

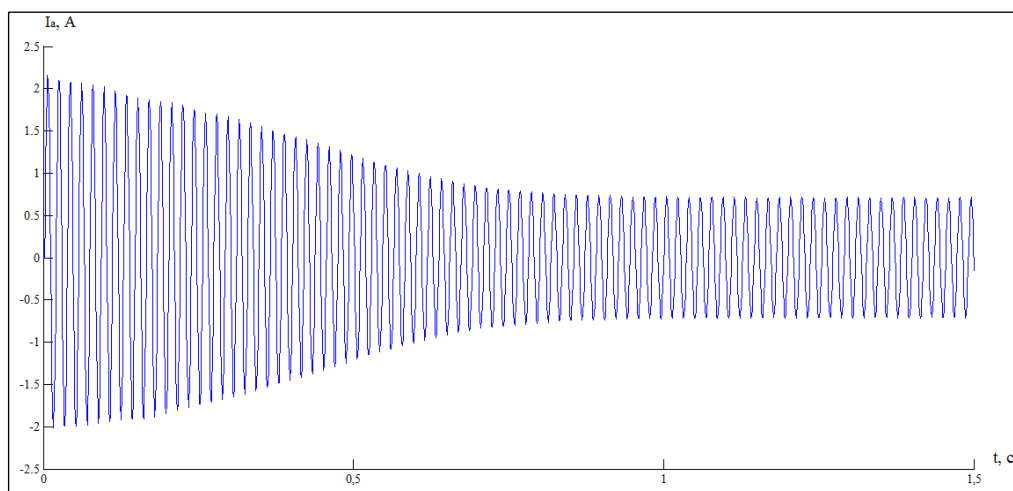
Рисунок 25 – Переходная характеристика $n=f(t)$ асинхронного двигателя при прямом пуске:

а) физическая система; б) имитационная система

Анализ переходных характеристик по току в фазе А (рис. 26) для различных систем показывает, что величина пускового тока в первый момент времени одинакова и равна 2,1А. Затем ток начинает постепенно уменьшаться и через $t=0,7\text{с}$ значение тока будет равно установившемуся значению 0,52А.



а)



б)

Рисунок 26 – График зависимости $I_a=f(t)$ при прямом пуске:

а) физическая система; б) имитационная система

На основании приведенного материала можно сделать следующие основные выводы:

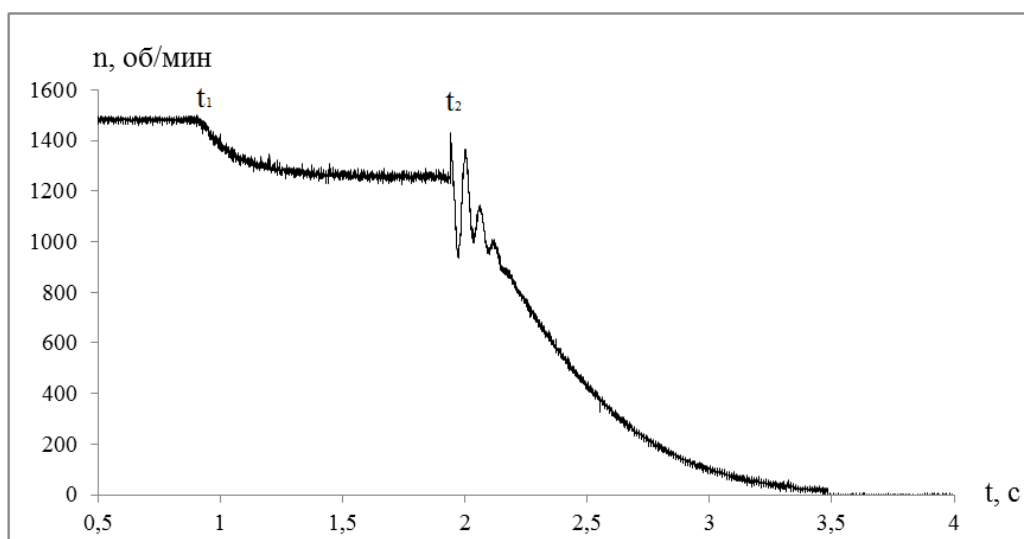
1. Созданная имитационная модель адекватно позволяет получить данные о процессах в реальных системах электропривода;
2. Исследование электромеханических систем любой сложности можно проводить с использованием имитационных виртуальных моделей.

3.2 Максимально-токовая защита (МТЗ)

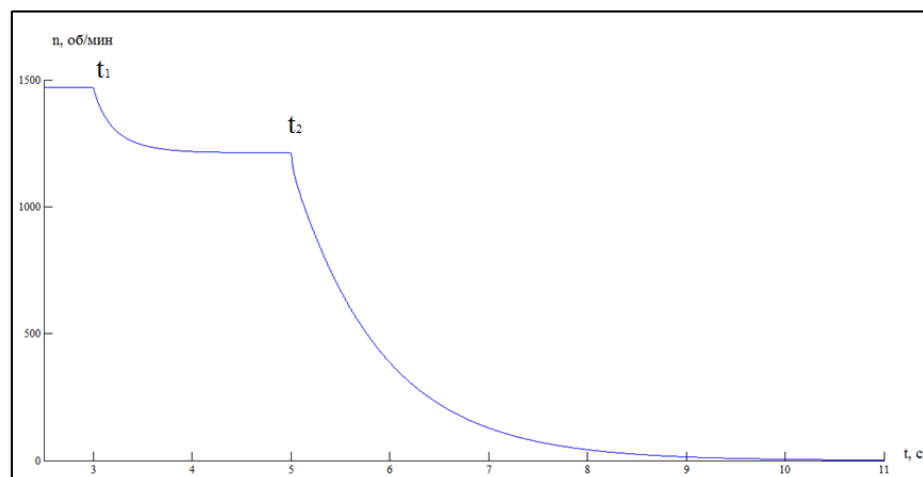
Исследование МТЗ проводилось в соответствии со схемами, представленными на рисунках 16, 19- 21.

В качестве аварийного режима и для проверки работоспособности релейной защиты на исследуемый двигатель подключалась нагрузка больше номинальной.

Анализ переходных характеристик по скорости (рис. 27) для различных систем показывает, что скорость холостого хода одинакова и равна $n_0=1480$ рад/с. В момент времени t_1 на двигатель подается нагрузка больше номинальной. Релейная защита сработает в момент времени t_2 , отключая тем самым двигатель от сети. Время торможения физической системы составляет 1,5 с; имитационной модели – 6 с. Такое расхождение по времени можно объяснить тем, что в имитационной модели не учитываются силы на трения в подшипниках, на трение вращающихся частей о воздух (вентиляционные потери).



а)



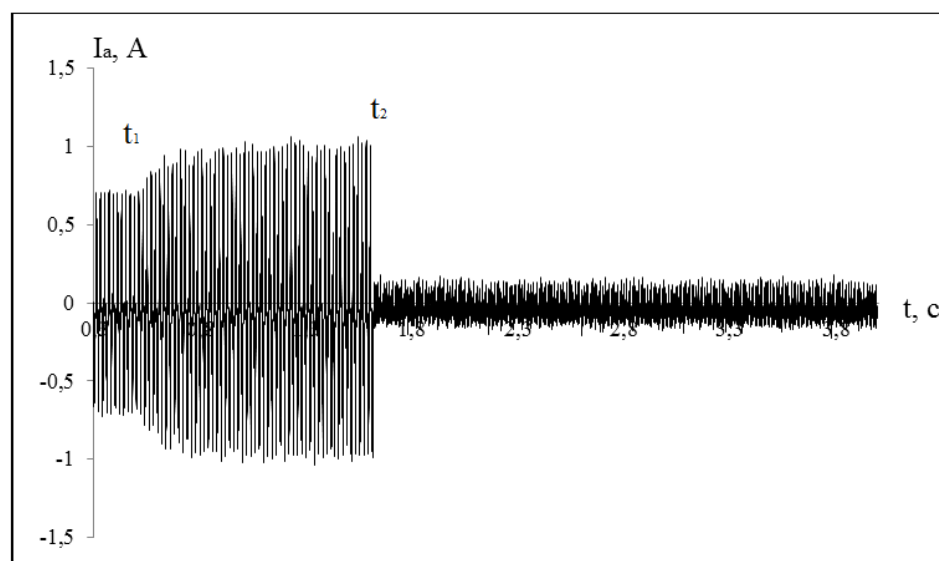
б)

Рисунок 27 – График зависимости $n=f(t)$ при моделировании
максимально-токовой защиты:

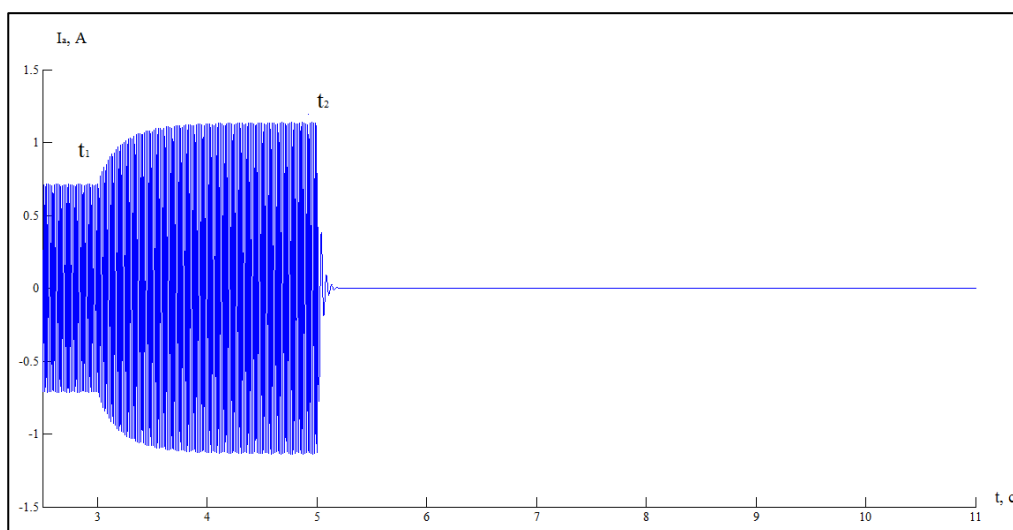
а) физическая система; б) имитационная система

Анализ переходных характеристик по току (рис. 28) для различных систем показывает, что в момент времени t_1 при подаче на двигатель нагрузки больше номинальной, ток начинает возрастать, обусловлено возрастанием потерь в меди обмоток. Наличие тока в физической системе после отключения питания объясняется неисправным датчиком, плохим

соединением проводов, неисправностью аналого-цифрового преобразователя.



а)



б)

Рисунок 28 – График зависимости $I_a=f(t)$ при моделировании
максимально-токовой защиты:

а) физическая система; б) имитационная система

3.3 Использование резервного двигателя

Исследование резервирования проводилось в соответствии со схемами, представленными на рисунках 17, 22-24.

В качестве аварийного режима и для проверки работоспособности релейной защиты был смоделирован обрыв фазы С.

Анализ переходных характеристик по скорости (рис. 29) для различных систем проведем по участкам:

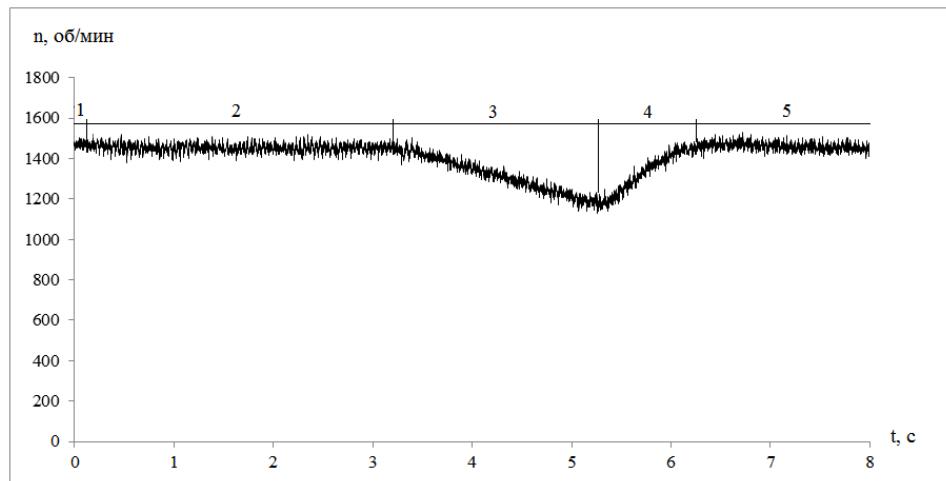
Участок 1 – участок работы электродвигателя на холостом ходу, установившийся режим работы. Частота вращения равна $n=1500$ об/мин.

Участок 2 – свидетельствуют об обрыве фазы. Данное явление заметно при рассмотрении физической модели. Таким образом, можно сделать вывод, что при работе двигателя на холостом ходу скорость не чувствительная к обрывам фаз. Время работы на этом участке равно 2 с.

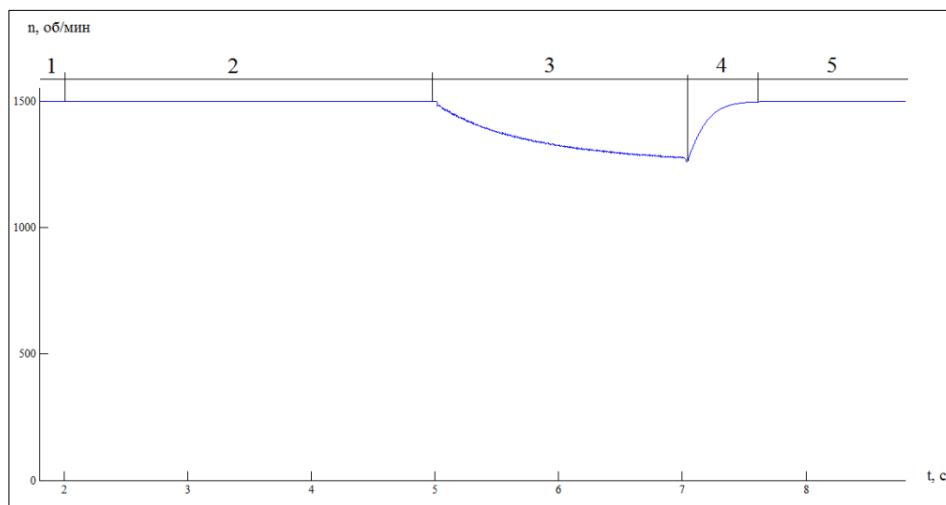
Участок 3 – через две секунды срабатывает релейная защита на отключение двигателя М1. На пульт управления подается сигнал об аварии.

Участок 4 – через две секунды после срабатывания релейной защиты включается резервный двигатель М2. Данный участок соответствует разгону двигателя.

Участок 5 – резервный двигатель работает в установившемся режиме, на холостом ходу.



а)



б)

Рисунок 29 – График зависимости $n=f(t)$ при резервировании двигателя:

а) физическая система; б) имитационная система

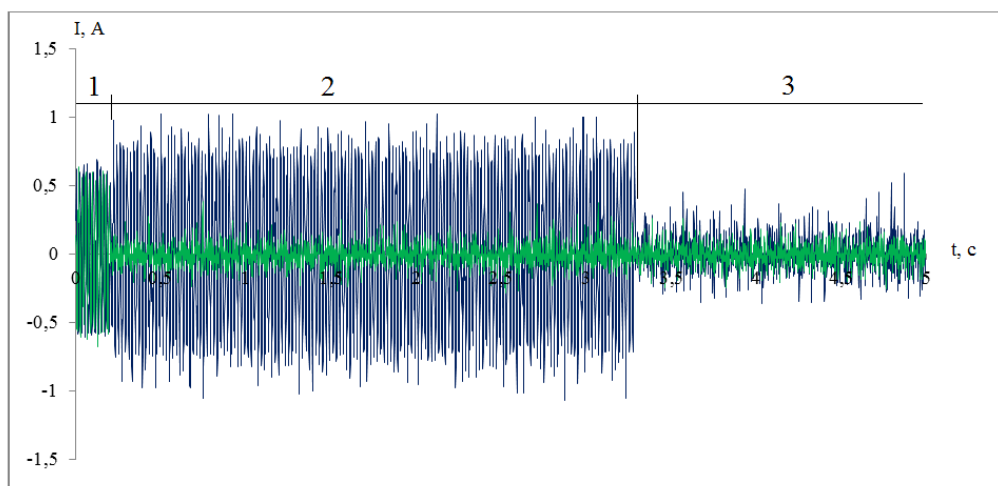
Анализ переходных характеристик току (рис. 30) для различных систем проведем по участкам:

Участок 1 – участок работы электродвигателя на холостом ходу, установившийся режим работы.

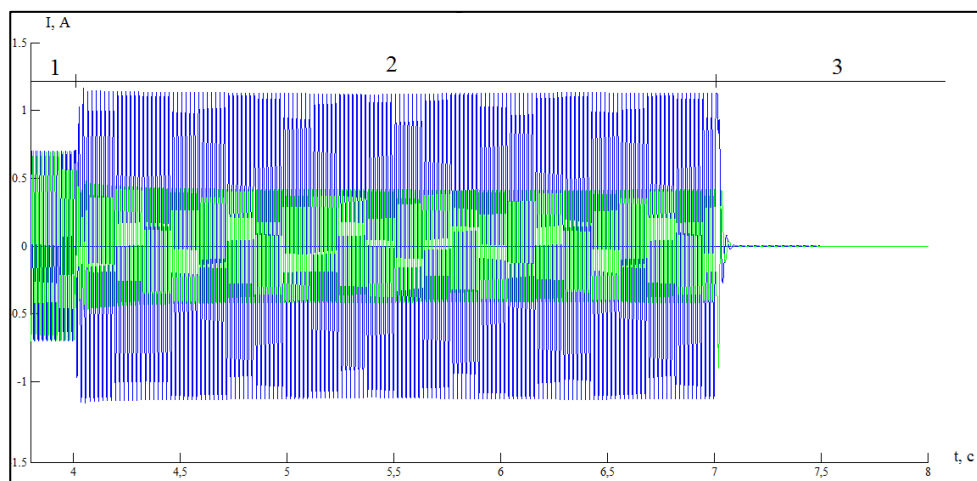
Участок 2 – свидетельствуют об обрыве фазы С. Ток в фазе С равен нулю, в фазе А возрастает. Наличие тока в физической системе при обрыве

фазы и отключении питания объясняется неисправным датчиком, плохим соединением проводов, неисправностью аналого-цифрового преобразователя.

Участок 3 – через две секунды срабатывает релейная защита на отключение двигателя М1. На пульт управления подается сигнал об аварии.



а)



б)

Рисунок 30 – График зависимости $I=f(t)$ при резервировании двигателя:

а) физическая система; б) имитационная система

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
151Б30	Чжан Дини

Институт	социально-гуманитарных технологий	Кафедра	физических методов и приборов контроля качества
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определение стоимости ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых информационных и человеческих (19756руб)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Знакомство и отбор норм и нормативов расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Районный коэффициент 30%, Отчисления во внебюджетные фонды 27,1%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование процесса управления НТИ: Структура и график проведения, бюджет
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегрального показателя эффективности НИ.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Меньшикова Е.В.	К. фил.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151Б30	Чжан Дини		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Предприятия, которые производят изделия для защиты электрооборудования, например: «[rotor](#)», [IEK](#), «SIBA», имеют потребность в системах защиты, которые спроектированы и исследованы в данной работе. На основе анализа рынка услуг была разработана карта сегментирования рынка по разработке и производству приборных изделий для защиты электросхем (рис. 31).

		Вид продукции		
		Высоковольтное предохранение	Низковольтное предохранение	Сверхбыстрое предохранение
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Рисунок 31 - Карта сегментирования рынка услуг по разработке
продукции, где

	Фирма А (Ротор)		Фирма Б (IEK)		Фирма В (SIBA)
--	--------------------	--	------------------	--	-------------------

Основные сегменты данного рынка является производство приборов для схем защиты электрооборудования. предприятие ориентируется на сегмент «Высоковольтное предохранение». Для предприятия в будущем необходимо развивать сегмент «Низковольтное предохранение».

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

На основе анализа конкурентных технических решений была составлена оценочная карта (табл. 3) [14].

Таблица 3 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Факторы конкурентоспособности	В	НТП		Аналог	
		<u>Б_{нТП}</u>	КС	<u>Б_{ан}</u>	КС
Надежность	0,4	5	2	5	1,6
Быстродействие	0,3	5	1,5	4	1,5
Функциональность	0,2	5	1	3	0,6
Точность	0,1	5	0,5	4	0,4
Малогабаритность	0,1	5	0,5	4	0,4
Портативность	0,1	5	0,5	3	0,3
Простота использования	0,1	5	0,5	5	0,25
Итого	1,3		6,5		4,85

Аналог: Метод максимально-токовой защиты.

Факторы надежности и простоты использования возможности занять свою нишу. Для развития определенной доли рынка необходимо увеличить быстродействие и точность.

4.1.2. SWOT-анализ

Для получения возможностей применения разработанного продукта был проведен SWOT-анализ, который предполагает выявление сильных и слабых сторон проекта (табл. 4).

Таблица 4 - Матрица SWOT

	Сильные стороны научно- исследовательского проекта:	Слабые стороны научно- исследовательского проекта:
	<p>С1. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С2. Высокая надежность</p> <p>С3. Простое устройство</p>	<p>Сл1. Устаревшие технологии и оборудование</p> <p>Сл2. Высокая степень износа оборудования</p> <p>Сл3. Высокая себестоимость</p>
Возможности: В1. Снижение стоимости на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях В2. Повышение стоимости конкурентных разработок	При снижении стоимости на сырье и материалы, может еще снизить стоимости.	Увеличение стоимости развития конкуренции, эффективное использование новых материалов, чтобы уменьшить износ машины

Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологий производства У2. Низкий спрос рынка по-за высокой цены У3. Отсутствие спроса на новые технологии производства	За счет высокой надежности может увеличить спрос рынка на технологии.	Применять новых эффективных материалов, развивать конкуренция технологий производства может устранить угрозы
---	---	--

Также составим интерактивную матрицу проекта, где выделим сильные и слабые стороны проекта (табл. 5).

Таблица 5 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	-	+
	B2	-	+	-

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		C1	C2	C3
	У1	-	+	+
	У2	-	-	+
	У3	+	-	+

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	+	+
	B2	-	+	+

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	0
	У2	-	+	+
	У3	0	+	+

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Научный руководитель
Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов и вариантов по теме	Научный руководитель

	3	Выбор варианта исследования и способов анализа	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов, обоснований разработка моделей для исследования и анализ получаемого результата	Руководитель, консультант, студент-дипломник
	6	Реализация моделей	Студент-дипломник
	7	Анализ результата и поиск методов решения	Руководитель, консультант, Студент-дипломник
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов, выводы	студент-дипломник, консультант
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, консультант, студент-дипломник
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник

4.2.2 Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (1)$$

где $t_{ожi}$ - 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.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

работа 1 :

$$t_{ож1} = \frac{3t_{\min 1} + 2t_{\max 1}}{5} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 12}{5} = 8.4$$

работа 2 :

$$t_{ож2} = \frac{3t_{\min 2} + 2t_{\max 2}}{5} = \frac{3 \cdot 15 + 2 \cdot 20}{5} = 17$$

работа 3 :

$$t_{ож3} = \frac{3t_{\min 3} + 2t_{\max 3}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 10}{5} = 5.8$$

работа 4 :

$$t_{ож4} = \frac{3t_{\min 4} + 2t_{\max 4}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 8}{5} = 5.6$$

работа 5 :

$$t_{ож5} = \frac{3t_{\min 5} + 2t_{\max 5}}{5} = \frac{3 \cdot 8 + 2 \cdot 15}{5} = 10.8$$

работа 6 :

$$t_{ож6} = \frac{3t_{\min 6} + 2t_{\max 6}}{5} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 10}{5} = 8.2$$

работа 7 :

$$t_{ож7} = \frac{3t_{\min 7} + 2t_{\max 7}}{5} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 12}{5} = 9$$

работа 8:

$$t_{ож8} = \frac{3t_{\min 8} + 2t_{\max 8}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 10}{5} = 6.4$$

работа 9:

$$t_{ож9} = \frac{3t_{\min 9} + 2t_{\max 9}}{5} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 9}{5} = 7.2$$

работа 10:

$$t_{ож10} = \frac{3t_{\min 10} + 2t_{\max 10}}{5} = \frac{3 \cdot 8 + 2 \cdot 12}{5} = 9.6$$

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (2)$$

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

$t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работ.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot \kappa, \quad (3)$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения одной работы, календ.дн.;

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

κ - коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$\kappa = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (4)$$

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.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$K = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1.22$$

Тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ T_{ki} нужно округлить до целых чисел.

Результаты расчетов приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения ВКР

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ					
		t_{\min} чел-дн	t_{\max} чел-дн	$t_{\text{ож}}$ чел-дн	Ч_i чел	T_{pi} раб-дн	T_{ki} кал-дн
1	Научный руководитель,	6	12	8.4	1	8.4	10.248
2	Научный руководитель, Студент-дипломник	15	20	17	2	8.5	10.37

3	Студент- дипломник,	3	10	5.8	1	5.8	7.076
4	Научный руководитель	4	8	5.8	1	5.8	7.076
5	Руководитель, студент- дипломник	8	15	10.8	2	5.4	6.588
6	Студент- дипломник,	7	10	8.2	1	8.2	10
7	Руководитель, студент- дипломник,	7	12	9	2	4.5	5.49
8	Студент- Дипломник,	4	10	6.4	1	6.4	7.808
9	Руководитель, студент- дипломник	6	9	7.2	3	2.4	2.928
10	Студент- дипломник,	8	12	9.6	1	9.6	11.712
ИТОГО		68	118	88.2		15.8	19.276
						49.2	60.02

4.3 Построение графика работ

Наиболее удобным и наглядным видом календарного плана работ является построение ленточного графика проведения НИР в форме диаграмм Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в рамках таблицы 8 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 8 - Календарный план проведения НИР дни сделать в соответствие с длительностью по месяцам

№ раб	Вид работ	Должность исполнителя	Тк. <u>кал. дн.</u>	Продолжительность выполнения работ, дни												
				февраль		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Получение и анализ задания	<u>Руков.</u>	10													
2	Утверждение технического задания	<u>Руков., дип.</u>	10													
3	Подбор и изучение литературы	<u>Дип.</u>	7													

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле (5):

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расхi} \quad (5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 9.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Бумага	лист	100	1	115
Ручка	шт.	1	25	28.75
Тетрадь	шт.	1	50	57.5
Плата	шт.	2	210	483
источники питания	шт.	1	2300	2645
Контактор	шт.	2	158	363,4
Электромашиный агрегат	шт.	2	190	437
RS232/D-SUB-разъемом	шт.	1	290	333.15
Блок световой сигнализации	шт.	1	1599	1838.85
Источник питания машины	шт.	1	1650	1897.5
Трехполюсный выключатель	шт.	1	750	862.5
Всего за материалы			9061.65	
Электроэнергия			464	

4.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу 10.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблицу 10.

Таблица 10 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	Компьютер	1 Шт.	25000	28750
Итого:				28750

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Таблица 11 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	66	66
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48	48
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Таблица 12 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс},$ руб.	$k_{сп}$	k_d	k_p	$Z_m,$ руб.	$Z_{дн},$ руб.	$T_{р},$ <u>раб.дн.</u>	$Z_{доп},$ руб.
Руководитель	26300	0.3	0.2	1,3	51285	2125.0	15.8	33575
Инженер	9893	0.3	0.2	1,3	19291	799.3	49.2	39325.56
Итого $Z_{осн}$								72900.56

4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется, исходя из формулы (7):

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (7)$$

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

На 2017 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 2014 году введена пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 13 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	
Руководитель проекта	33575	
Студент-дипломник	39325.56	
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27.1%	
Итого	Руководитель	9098.8
	Студент	10657.2
	Итого	19756

4.4.5 Накладные расходы

В этих расходах нужно посчитать затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием. Для этого нужно узнать мощность, время использования оборудования и рассчитать затраты. Стоимость 1 кВт/час – составляет 5,8 руб.

$$50 \cdot 6 \cdot 0.08 \cdot 5.8 = 139.2 \text{руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Материальные затраты НТИ	9061.65	Пункт 4.1
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	28750	Пункт 4.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	72900.56	Пункт 4.3
Отчисления во внебюджетные фонды	19756	Пункт 4.4
Накладные расходы	27187.35	Пункт 4.5
Бюджет затрат НТИ	157655.56	Сумма ст. 1- 6

4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 14). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (8)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	15232.5
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	28750
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	72900.56
4. Отчисления во внебюджетные фонды	22126.79
5. Накладные расходы затраты на электроэнергию	27187.35
6. Бюджет затрат НТИ	174945.27

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{157655.56}{174945.27} = 0.9$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{174945.27}{157655.56} = 1.11$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (9)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 15).

Таблица 15 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Факторы конкурентоспособности	Весовой коэффициент параметра	Исп.1		Исп.2	
		Б	I_{pi}	Б	I_{pi}
Надежность	0,3	5	1,5	5	1,5
Быстродействие	0,2	4	0,8	3	0,6
Точность	0,1	5	0,5	4	0,4
Портативность	0,2	5	1	3	0,6
Итого	1,0		3,8		3.1

Исп.1: Теневой метод в параллельном пучке

Исп.2: Теневой метод в расходящемся пучке

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 = 3,8;$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 = 3,1$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \quad (10)$$

$$I_{исп.1} = \frac{3.8}{0.9} = 4.2 \quad I_{исп.2} = \frac{3.1}{1.11} = 2.79$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.16) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{4.2}{2.79} = 1.51 \quad (11)$$

Таблица 16 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0.9	1.11
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3.8	3.1
3	Интегральный показатель эффективности	4.2	2.79
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.51	

При сравнении значений интегральных показателей эффективности можно получить, что теневой метод более эффективный для технической задачи бакалаврской работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
151Б30	Чжан Дини

Институт	социально- гуманитарных технологий	Кафедра	физических методов и приборов контроля качества
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Прибор: установка Siemens LOGO; Рабочая зона: лабораторная аудитория; Материал: трехфазный источник питания, сигнализация, мультиметр.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<p>1.Производственная безопасность:</p> <p>1.1 Анализ выявленных вредных факторов и методы защиты:</p> <p>а) превышение уровней шума;</p> <p>б) превышение уровней электромагнитных излучений;</p> <p>в) недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>г) отклонение показателей микроклимата в помещении.</p> <p>1.2 Анализ выявленных опасных факторов и методы защиты:</p> <p>Электробезопасность</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>2. Региональная безопасность:</p> <p><input type="checkbox"/> - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</p> <p><input type="checkbox"/> - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</p> <p>- методы решения.</p>

3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности <ul style="list-style-type: none"> – расположение и компоновка рабочего места; – окраска и размеры органов управления (маркировка опасных зон); – <input type="checkbox"/> технологические перерывы, проветривание помещения и комнаты психологической разгрузки 	3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> - Инструментальная подготовка; - Контроль оборудования; - Организация рабочего места.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	4. Особенности законодательного регулирования проектных решений.
5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> - Средства избежания опасности пожара и взрыва; - План эвакуации людей

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Волков Ю.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151Б30	Чжан Дини		

5 Социальная ответственность

В выпускной квалификационной работе на тему «Анализ методов и средств защиты промышленного электрооборудования» показана актуальность представленного исследования.

Вместе с этим известно, что непрерывно растущие требования к электробезопасности персонала и к экономической эффективности во всех отраслях промышленности приводят к повышению внимания к проблемам надежной защиты систем промышленного оборудования [17].

Целью моей выпускной квалификационной работы является разработка систем защиты промышленного оборудования, в составе которого есть асинхронный двигатель на базе программируемого микроконтроллера *LOGO!*, удовлетворяющей современным высоким технологическим требованиям.

Следовательно, при исследовании аварийных режимов работы асинхронного двигателя и соответствующих им системам защит, минимизирующих негативные последствия проектируемой деятельности, было уделено особое внимание безопасности и гигиенам труда при осуществлении работ на основе программируемых интеллектуальных реле *Siemens LOGO!*.

5.1 Производственная безопасность

Исследование проводилось на базе лабораторного стенда «Электрический привод», работа которого производится за счет питания комплекса от трехфазной электрической сети напряжением 380 В [18].

В процессе проведения исследования возможно воздействие вредных факторов таких, как:

- Превышение уровней шума;
- Недостаточное освещение;
- Превышение уровней электромагнитных излучений;
- Нарушение микроклимата.

Также возможно воздействие следующих опасных производственных факторов:

- Нарушение электробезопасности.

Для удобства работы в помещении необходимо нормирование параметров микроклимата [19]. Необходимо проведение защитных мероприятий по способам и средствам защиты от высоких и низких температур, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха и т.п.

Для нормализации микроклимата мы можем применять следующие средства: дистанционное управление и наблюдение; рациональная тепловая изоляция оборудования; защита работающих различными видами экранов и рациональная вентиляция и отопление.

Исследование параметров моего рабочего места показало, что показатели температуры воздуха и влажности являются допустимыми, только при условии рациональной вентиляции. Была выбрана естественная вентиляция.

В таблице 17 приведены оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Таблица 17 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений [19]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22–24	21–25	60–40	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23–25	22–26	60–40	0,1

5.2 Анализ выявленных вредных факторов и методы защиты

5.2.1 Превышение уровней шума

В связи с работой насоса в лаборатории возникло превышение уровней шума. Проявление вредного воздействия шума на организм человека весьма разнообразно. Воздействия шума может происходить чувствительности органов слуха, а при большой длительности и интенсивности шума происходят необратимые потери слуха [СН 2.2.4/2.1.8.562–96]. По санитарным нормам, допустимым уровнем шума принято считать: 55 децибел (дБ) в дневное время и 40 децибел (дБ) ночью. Средствами защиты от шума являются балансировка вращающихся деталей, уменьшение зазоров в зацеплениях механических передач, а также применение соответствующей смазки [20].

5.2.2 Недостаточное освещение

Одним из условий, препятствующих работе в лаборатории, является недостаточная освещенность рабочей зоны. Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прикладываемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов. Для промышленных предприятий оптимальная освещенность территории и помещений является важной и непростой технической задачей, решение которой обеспечивают нормальные гигиенические условия для работающего персонала [СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03]. В России норма освещения помещений научно-технической лаборатории устанавливается следующая: средняя горизонтальная освещенность примерно 400 лк. Для улучшения условий освещения можно использовать искусственное освещение [21-22].

5.2.3 Превышение уровней электромагнитных излучений

При воздействии компьютера и приборы в лаборатории на человека еще воздействует электромагнитное излучение. Их могут разрушать здоровье человека. Защита расстоянием от электромагнитного излучения – достаточно простой и надежный способ защиты.

При работе с компьютером допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) указаны в СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03: временный допустимый уровень ЭМП, соответствующий напряженности электрического поля в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц, равно 25 В/м.

5.3 Анализ выявленных опасных факторов и методы защиты

5.3.1 Электробезопасность

Электронасыщенность современных рабочих мест формирует электрическую опасность, источником которой могут быть электрические сети, электрифицированное оборудование и инструмент, вычислительная и организационная техника, работающая на электричестве.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), все производственные помещения по опасности поражения электрическим током разделяются на три категории: помещения с повышенной опасностью, особо опасные помещения и помещения без повышенной опасности. К опасным производственным факторам на рабочем месте относится возможность поражения электрическим током.

Комната, в которой выполнялась работа, относится к категории помещений без повышенной опасности, поскольку она характеризуется следующими признаками: температура воздуха и влажность в норме, отсутствие сырости, химически активной среды, токопроводящих пыли и полов.

Но в процессе деятельности с ЭВМ, работающим от источника тока, может возникнуть опасность поражения электрическим током. Основными причинами этого могут послужить следующие: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением [23-24]. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением ЭВМ в сеть должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей на корпус компьютера;

- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети ЭВМ и устранить неисправность;

- запрещается при включенной ЭВМ одновременно прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электрозащитные средства.

Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают:

- защитное заземление - предназначено для превращения «замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание - самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током);

- защитное зануление – замыкание на корпус электроустановок;

- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;

- защитное разделение сетей;

- предохранительные устройства.

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

5.4 Региональная безопасность

При выполнении работ надо обратить внимание на охрану окружающей среды.

Работа в лаборатории всегда связана с постоянным образованием различных отходов: олово, проводники, вредный газ и т.д, которые могут вызвать загрязнение окружающей среды.

Для охраны атмосферы от вредного газа можно использовать очистные установки.

Для охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения можно использовать экстракцию, когда полученный стирол и толуол после процесса экстракции можно использовать повторно.

5.5 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Для обеспечения безопасности перед началом работы необходимо правильно надеть спецодежду, подготовить для работы необходимый инструмент и приспособления, приготовить рабочий стол. Также необходимо проверить отсутствие внешних повреждений электрооборудования, наличие и исправность контрольных, измерительных и сигнальных приборов, компьютера, тумблеров, переключателей и т.п. При выявлении неисправностей необходимо доложить руководителю лаборатории.

Работа с платой сбора данных *Siemens LOGO!* должна производиться в чистом помещении, свободном от пыли, паров, кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающий коррозию. Недопустимо наличие открытого огня около прибора.

После окончания работы с установкой необходимо:

- закрыть вибростенд, измерительный комплекс, усилитель;
- выйти из программы, отключить питание компьютера;
- отключить прибор;

- проверить целостность датчика и прибора.

5.6 Особенности законодательного регулирования проектных решений

В этой работе к использованию установки прибор *Siemens LOGO!* допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинские противопоказания, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте [25].

К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний норм и правил работы с электроустановками, правил безопасности работы с газовыми баллонами, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на *Siemens LOGO!*, имеющие не менее II группы по электробезопасности и получившие допуск к работе.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца.

По данной теме рассматриваются законодательные и нормативные документы:

- а) инструкция №2–07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением;
- б) инструкция №2–14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
- в) СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
- г) СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
- д) ГОСТ 12.1.006–84.ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля

е) ГОСТ 12.1.045–84 Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля;

ж) СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;

з) СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС)

Одними из наиболее вероятных и разрушительных видов ЧС являются пожар или взрыв. Пожарная безопасность представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров и взрывов [СП 12.13130.2009].

В связи с тем, что асинхронный двигатель выделяет большое число теплоты, что является потенциальным пожарным фактором. Кроме того, при выборе пускорегулирующей аппаратуры, проводов и кабелей, монтаже и эксплуатации электропривода, есть вероятность взрыва.

Чтобы избежать опасности пожара и взрыва, можно принять следующие мероприятия:

1) планирование защиты населения и территорий от пожара и взрыва на уровне предприятия;

2) эвакуация работающих;

3) создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности;

4) проектирование, размещение, строительство и эксплуатация объектов инфраструктуры, в том числе и потенциально опасных;

5) инженерное обеспечение защиты населения – строительство защитных сооружений (средств коллективной защиты);

В лаборатории обязательно показан план эвакуации. Заранее разработанный план (схема), в котором указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации (рис. 32).



Рисунок 32 – План эвакуации людей

Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах, расположенных на лестничной клетке. В пунктах первичных средств огнетушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе была разработана система управления и защиты для асинхронного двигателя на основе логического модуля *LOGO!*.

Для этого был проведен обзор аварийных режимов работы и соответствующих им способов защиты асинхронного двигателя.

Произведен расчет параметров схемы замещения, построены статические характеристики, построена математическая модель асинхронного двигателя АИР56А4У3. На основе полученного материала были смоделированы максимально-токовая защита и автоматическое резервирование.

На лабораторном стенде «Электрический привод» при использовании микроконтроллера *LOGO!* и программного продукта *LOGO!Soft Comfort*, была создана физическая модель системы защиты.

Проведены экспериментальные исследования, которые подтвердили адекватность имитационной модели и работоспособность разработанных систем защиты.

В экономической части произведен сравнительный анализ технического уровня программируемого реле с техническим уровнем аналогов, рассчитана смета затрат, экономическая эффективность новшества, проанализированы сильные и слабые стороны проектируемого объекта.

В разделе «Социальная ответственность» определены и проанализированы вредные, опасные факторы, негативные воздействия на окружающую среду, чрезвычайные ситуации, которые могли возникнуть при выполнении работы.

По результатам проделанной работы можно сказать, что программируемое реле *LOGO!* удовлетворяет высоким технологическим требованиям, а именно, его можно запрограммировать на срабатывание при

различных аварийных режимах, что увеличивает функциональные возможности, повышает эффективность, снижает затраты.

Список публикаций студента

1. Payuk L., Voronina N., Galtseva O., Zhang D., Rogachev A., « Special Modes of AC Drives Operation in the Mining Industry», E3S Web of Conferences, **15**, 03014, 2017, doi: 10.1051/e3sconf/20171503014 (Scopus)
2. Чжан Д., «Исследование факторов, влияющих на эффективность кроссграничного обучения иностранных студентов», Актуальные проблемы современного общества сборник материалов XIII международной научно-практической конференции молодых учёных. 2016. С. 399-403 (РИНЦ)

Список использованных источников

1. Виды электрической защиты асинхронных электродвигателей // НТЦ Энерго-Ресурс [Электронный ресурс] – 2012. – Режим доступа: <http://www.induction.ru> – Загл. с экрана.
2. Защита трехфазных асинхронных двигателей в быту // ООО ЭлектроАС [Электронный ресурс] – 2011. – Режим доступа: <http://elektroas.ru/zashhita-trefaznyx-asinxronnyx-dvigatelej-v-bytu> – Загл. с экрана.
3. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для вузов – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2006 – 639 с.
4. Чернышев И. А., Чернышева Т.А. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий: методические указания. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 120с.
5. Модельный ряд микропроцессорных защит электродвигателей РДЦ// РЕЛСisC [Электронный ресурс] – 2013. – Режим доступа: <http://www.relsis.ua> – Загл. с экрана.
6. Программируемые интеллектуальные реле(микроконтроллеры) Siemens LOGO!// LLC "ProgressAvtomatika" [Электронный ресурс] – 2013. – Режим доступа: <http://progressavtomatika.ru> – Загл. с экрана.
7. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов. Учебно-методическое пособие. Томск, 2005 г.
8. Терехин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2010. - 290с.
9. Rolf Iserman, Fault-tolerant. Drive-by-Wire Systems. IEEE Control Systems Magazine. October 2002.
10. Электрическая защита асинхронных электродвигателей// Электрика на производстве и в доме [Электронный ресурс] – 201. – Режим доступа: <http://faza.ru> – Загл. с экрана.

11. LOGO! Soft Comfort ver.6 // Инженерное оборудование [Электронный ресурс] – 201. – Режим доступа: <http://www.eneq.ru> – Загл. с экрана.
12. Карпеш М.А., Красногорцев И.Л., Сенигов П.Н. Силовая электроника. Руководство по выполнению базовых экспериментов. СЭ.001 РБЭ (911). – Челябинск: ООО «Учебная техника», 2003. – 172 с.
13. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. Москва, 2001, стр.320.
14. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Техничко-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
15. Коршунова Л.А., Кузьмина Н.Г. Экономика предприятия и отрасли (в электроэнергетике): учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.
16. Непомнящий Е.Г. Инвестиционное проектирование: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003.
17. Безопасность жизнедеятельности. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 2002. – 357с.
18. Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы. Санитарные правила и нормы 2.2.2 2.4.1340 – 03. – М., 2003.
19. Гигиенические нормативы на параметры микроклимата в рабочей зоне. ГОСТ 12.1.005 — 76 и СанПиН 2.2.4.548-96 от 1 октября 1996 года.
20. ГОСТ 54321-2011. Машины и оборудование для пищевой промышленности.
21. Инструкция по охране труда для операторов и пользователей персональных электронно-вычислительных машин и работников, занятых эксплуатацией ПЭВМ и видеодисплейных терминалов. ТОИ Р 01-00-01-96 .
22. Основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 – 76.

23. Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 1991.

24. Правила устройства электроустановок. Минэнерго СССР, 6-е издание – Энергоатомиздат, 1996. – 640с.

25. Трудовой кодекс Российской Федерации, 2014 г.