

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: «Электроприводы и системы управления электроприводов»

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Разработка системы управления электроприводом клиновой задвижки на базе системы ТРН-АД</b>

УДК 621.646.5-83-529

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Карпов Максим Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Отделение электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Юрий Николаевич	PhD, к.т.н.		

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: «Электроприводы и системы управления электроприводов»

УТВЕРЖДАЮ:

Рук. отделения

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Ю.Н. Дементьев  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Карпов Максим Сергеевич

Тема работы:

<b>РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ КЛИНОВОЙ ЗАДВИЖКИ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ ТРН-АД</b>
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Исполнительный механизм – клиновая задвижка; Приводящий двигатель – асинхронный двигатель; Вид рабочей среды – нефть; Давление рабочей среды – 10 МПа;</p>
--	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор технической литературы по теме асинхронного электропривода.          Моделирование асинхронного электропривода.          Технические решения по реализации управления электроприводом.          Исследования асинхронного электропривода.          Заключение</p>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Структурная схема.          2. Имитационная модель.          3. Презентация.</p>
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фигурко Аркадий Альбертович
«Социальная ответственность»	Амелькович Юлия Александровна

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Введение; Технологический процесс перекачки нефти; Выбор электропривода и его оборудования; Заключение;

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	9.09.2016 г.
--	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич	к. т. н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Карпов Максим Сергеевич		

## Реферат

Магистерская диссертация 144 с., 55 рисунков, 21 таблица, 20 источников.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, тиристорный регулятор напряжения, регулирование скорости вращения, динамические режимы работы, вычисление момента, задвижка, нефтепровод.

Объектом исследования является система «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель».

Цель работы – разработка системы управления электроприводом клиновой задвижки на базе системы ТРН-АД.

В ходе выполнения данной работы было проведено моделирование переходных процессов асинхронного электродвигателя в разных режимах работы в программной среде MATLAB.

В результате работы была смоделирована система «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» с системой управления, позволяющей осуществлять регулирование скорости асинхронного электродвигателя, вычисление момента на валу. Так же реализован режим плавного пуска и динамического торможения. Проведен анализ графиков переходных процессов в полученной модели.

Исследуемая система используется в качестве электропривода клиновой задвижки, устанавливаемой на магистральном нефтепроводе.

Экономическая эффективность заключается в значительном повышении ресурса механизма и электрической части электропривода.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007.

## Оглавление

Введение .....	7
1. Технологический процесс перекачки нефти.....	8
1.1. Описание технологического процесса перекачки нефти.....	8
1.2. Обзор задвижек .....	8
1.3. Обзор электрических преобразователей для электроприводов задвижек.....	12
1.4. Принцип действия тиристорного преобразователя .....	17
2. Выбор электропривода и расчет его оборудования .....	20
2.1. Исходные данные.....	20
2.2. Характеристики электропривода.....	21
2.2.1. Технические характеристики ЭПЦ-15000 .....	21
2.2.2. Состав электропривода .....	23
2.3. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя.....	24
2.4. Расчет статических характеристик электродвигателя.....	29
3. Имитационная модель ТРН – АД.....	31
3.1. Математическое описание асинхронного двигателя.....	31
3.2. Создание модели системы ТРН-АД в программной среде MATLAB Simulink .....	43
3.2.1. Однофазный ТРН с управлением от генератора импульсов .....	44
3.2.2. Однофазный ТРН с управлением от S-function Builder .....	48
3.2.3. Создание трехфазного ТРН.....	53
3.2.4. Плавное изменение угла управления по заданному закону .....	57
3.2.5. Прямой пуск асинхронного двигателя.....	59
3.2.6. Плавный пуск асинхронного двигателя.....	63
3.3. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя с помощью системы ТРН-АД.....	65
3.4. Вычисление момента на валу АД.....	69
3.5. Динамическое торможение АД .....	74
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	79
4.1. Предпроектный анализ.....	80
4.2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	80
4.2.1. Технология QuaD .....	80
4.2.2. SWOT-анализ .....	83
4.3. Планирование научно-исследовательских работ .....	90
4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования .....	90

4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ .....	91
4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования .....	92
4.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	96
4.4.1. Основная заработная плата исполнителей темы .....	96
4.4.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	99
4.4.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	99
4.4.4. Накладные расходы .....	100
4.4.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	100
4.5. Определение ресурсоэффективности проекта .....	101
5. Социальная ответственность .....	103
5.1. Характеристика объекта исследования .....	103
5.2. Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	104
5.3. Экологическая безопасность .....	116
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	117
5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и условий труда .....	120
Заключение.....	123
Список используемой литературы.....	123
Приложение А.....	126
Приложение Б .....	143
Приложение В.....	144

## **Введение**

Нефтяное месторождение, как правило, расположено на достаточно большом расстоянии от нефтеперерабатывающего предприятия. По этой причине задача транспортировки нефтепродуктов является актуальной. Нефть транспортируется несколькими способами: морским, железнодорожным, автомобильным, речным и трубопроводным транспортом. Эти способы транспорта отличаются условиями эксплуатации, пропускной способностью, техническими и экономическими показателями. У каждого вида транспорта есть свои параметры, подходящие для перевозки отдельной группы нефтепродуктов. Совокупность всех видов транспортировки нефти является единой системой.

Нефтепровод - это трубопровод, который служит для прокачки нефти. Нефтепровод является самым дешевым, надежным и прибыльным способом транспортировки нефти и нефтепродуктов. Также этот метод является самым экологически чистым. В России этот вид транспорта является основным. У данного вида транспортировки есть следующие положительные качества: нефтепровод можно проложить между любыми объектами; он является самым коротким расстоянием между двумя объектами; нефтепровод непрерывен, что позволяет бесперебойно доставлять нефтепродукты до потребителей. Поэтому нет необходимости в хранилищах.

Во время работы трубопровода возникают ситуации, когда по какой-то причине необходимо прекратить прокачку нефти по трубопроводу. Это может быть либо запланированная остановка для планового технического обслуживания нефтепровода, либо незапланированная остановка (например, в случае чрезвычайной ситуации). Достичь этих целей можно с помощью такого механизма, как задвижка. Задвижки должны располагаться по всей длине трубопровода с определенным интервалом, и при необходимости их можно использовать для блокировки отдельной секции трубопровода.

Учитывая тот факт, что нефтепроводы имеют большую длину, необходимо дистанционное управление открыванием и закрытием задвижек. Для таких целей на этом механизме установлен электропривод. Это поможет в кратчайшие сроки совершать необходимые действия с задвижками. Это серьезно упрощает обслуживание нефтепровода. Кроме того, с помощью электрического привода можно быстро реагировать на чрезвычайные ситуации. Это может значительно снизить последствия аварии на нефтепроводе.

В работе рассмотрены динамические режимы работы электропривода клиновых задвижек путем имитации переходных процессов в программной среде MATLAB Simulink.

## **1. Технологический процесс перекачки нефти**

### **1.1. Описание технологического процесса перекачки нефти**

Нефть перемещается по трубопроводу из-за наличия разности давлений в начале и конце трубопровода. Создают этот перепад давления насосные станции, расположенные через каждые 70-150 км. Скорость нефти составляет 3 м/с. Внутренний диаметр нефтепровода обычно составляет от 100 до 1400 мм. Нефтепровод способен прокачать через себя 80-90 млн. тонн в год [1].

При производстве нефтепроводов используется высокопрочная сталь, которая способна выдержать различные виды воздействий (механические, химические и термические).

Нефтепровод может быть подземным и наземным. Преимуществом наземного метода является простота конструкции и эксплуатации такого нефтепровода. Кроме того, подземный нефтепровод более защищен от внешних воздействий и, как следствие, более долговечен.

Чтобы иметь возможность выполнять ремонтные работы на любой части трубопровода, задвижки расположены на расстоянии 10-30 километров. С помощью задвижек в случае аварии можно покрыть отдельный участок трубопровода, что предотвратит серьезные последствия и позволит ликвидировать этот несчастный случай.

### **1.2. Обзор задвижек**

Задвижка представляет собой тип запорной арматуры, в которой запирающий элемент перемещается перпендикулярно оси потока рабочей среды [2].

Как правило, задвижка состоит из корпуса и крышки, которые образуют полость рабочего тела. Внутри этой полости есть элемент, который обеспечивает отключение потока жидкости - затвор. Крепление клапана к корпусу осуществляется одним из трех способов: фланцевым, муфтой и сваркой.

Чтобы создать максимальную герметичность внутри корпуса при закрытой задвижке, в конструкции предусмотрены «седла», к уплотнениям которых



прилегает уплотнения затвора. Движение затвора обеспечивается штоком или шпинделем.

Задвижки бывают следующих конструкций:

### *1. Клиновые*

Седла таких защелок расположены под углом. Затвор выполнен в виде клина, который определяет название клиновой задвижки.

При закрытии затвор плотно входит в зазор между седлами, что обеспечивает хорошую герметичность. Простота конструкции клиновых задвижек позволяет использовать его в различных условиях. Кроме того, клиновая задвижка имеет небольшое гидравлическое сопротивление, что особенно важно при использовании в магистральных трубопроводах.

Недостатком такой конструкции является большую строительная высота.

На рисунке 1 показано устройство клиновой задвижки.

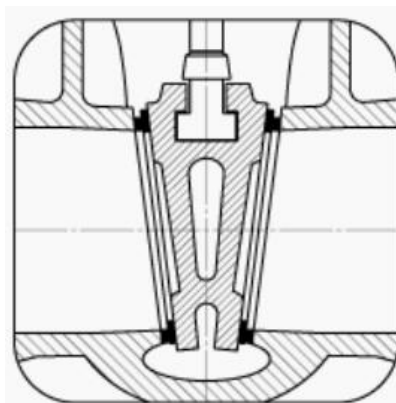


Рисунок 1 – Клиновая задвижка

### *2. Параллельные*

У параллельной задвижки поверхности седел перпендикулярны оси движения потока. В основе работы параллельной задвижки лежит принцип расклинивания. Только в случае параллельной задвижки клин расположен между тарелками затвора.

Рисунок 2 отображает устройство параллельной задвижки.

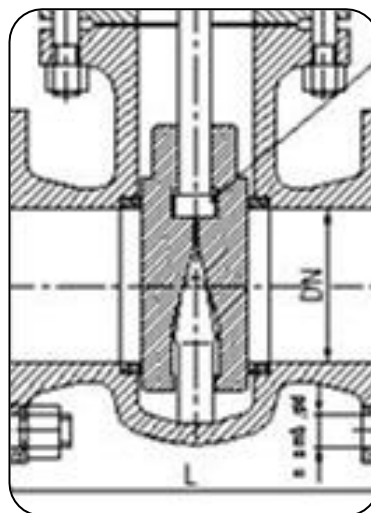


Рисунок 2 – Параллельная задвижка

### *3. Шиберные*

Запорный элемент у шиберной задвижки - металлическая пластина небольшой толщины, способная разрезать различные включения в рабочей среде. Поэтому такой тип задвижек хорошо подходит для перекрытия рабочего потока с различными включениями.

Шиберная задвижка имеет гораздо меньшую строительную высоту, чем другие виды задвижек. Это экономит место в техническом помещении.

Недостаток шиберных задвижек - меньший срок службы уплотнительных поверхностей [3].

Рисунок 3 отображает устройство шиберной задвижки.

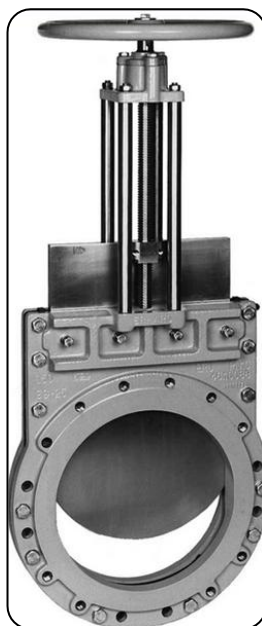


Рисунок 3 – Шиберная задвижка

#### *4. Шланговые*

В таком типе задвижек рабочая среда проходит по гибкому патрубку, который имеет возможность пережиматься шпинделем задвижки при необходимости.

Диаметр патрубка в такой системе имеет размер входной и выходной труб, то есть сечение является полнопроходным.

Материал, из которого изготовлен гибкий патрубок, постепенно изнашивается при эксплуатации. Так же максимальная температура среды, проходящей через задвижку, определяется значением, которое способен выдержать патрубок. Эти факты являются недостатками данной конструкции.

На рисунке 4 изображено устройство шланговой задвижки.

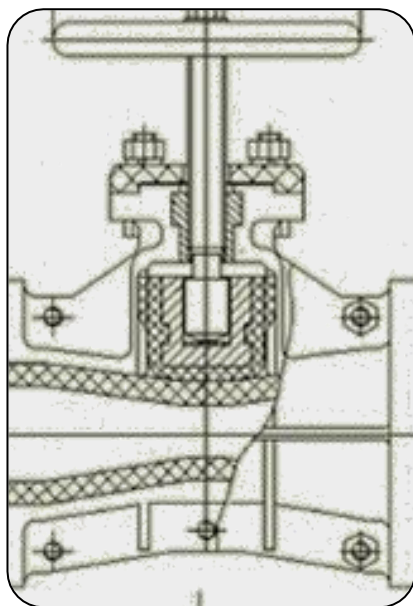


Рисунок 4 - Шланговая задвижка

### **1.3. Обзор электрических преобразователей для электроприводов задвижек**

Использование электропривода в конструкции задвижки позволит удаленно пользоваться возможностями запорной арматуры. Такое решение позволит значительно снизить трудовые затраты на обслуживание нефтепроводов. Это объясняется тем, что отпадает необходимость непосредственного участия человека в процессе управления запорной арматурой. Это является актуальной задачей в сфере транспортировки нефти.

Для обеспечения требуемых режимов работы переменные, характеризующие работу электропривода, должны регулироваться. Такими переменными (координатами) являются, например, скорость, ускорение, положение исполнительного механизма или другого элемента электропривода, токи в электрических цепях двигателя, моменты на валу и т. д. Преобразователь электрической энергии отвечает за изменение параметров электропривода.

Преобразователи могут быть изготовлены на основе различных элементов, а именно с использованием электрических машин, магнитных усилителей, ионных и полупроводниковых элементов. Современные преобразователи, как правило, являются полупроводниковыми, и они используют в основном силовые транзисторы, диоды, тиристоры и их разновидности. Электрические преобразователи бывают [4]:

## 1. Управляемые и неуправляемые выпрямители

Напряжение переменного тока преобразуют в постоянное. В этом случае неуправляемые выпрямители не обеспечивают контроля переменных электропривода, и выполняются на основе полупроводниковых неуправляемых элементах односторонней проводимости, то есть на диодах. Управляемые выпрямители выполняются на тиристорах, а напряжение на двигателе регулируется из-за определенного алгоритма управления тиристором.

Рисунок 5 отображает схему выпрямителя и кратко описывает принцип его работы.

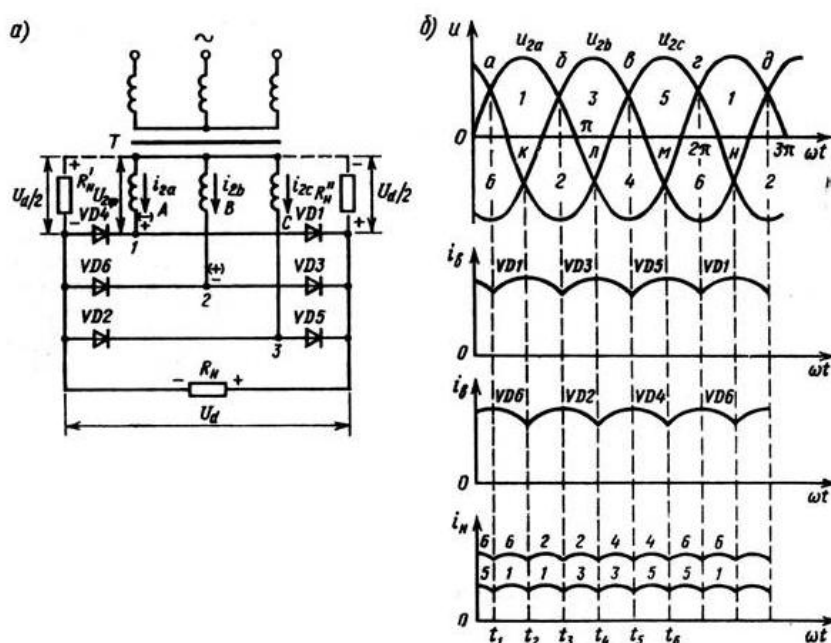


Рисунок 5 – Управляемый выпрямитель: а) схема, б) принцип работы

## 2. Инверторы

Напряжение постоянного тока преобразуется в переменное напряжение. Большой популярностью пользуются автономные инверторы напряжения (АИН) и автономные инверторы тока (АИТ).

Первый тип может обеспечить жесткую характеристику, которая представляет собой зависимость выходного напряжения от тока нагрузки. Поэтому при изменении тока нагрузки напряжение практически не изменяется. Это дает АИН свойства источника ЭДС.

АИТ в свою очередь не имеют жесткую внешнюю характеристику и обладают свойствами источника тока.

### 3. Преобразователи частоты переменного тока (ПЧ)

ПЧ – преобразователь электрической энергии, который напряжение переменного тока одной частоты преобразует в напряжение переменного тока другой частоты. Существует два типа ПЧ: с промежуточным звеном постоянного тока (позволяют менять частоту как вниз, так и вверх от номинального значения) и ПЧ с непосредственной связью (изменение частоты только вниз от номинала).

На рисунке 6 изображена схема включения ПЧ и механические характеристики двигателя при изменении частоты питания.

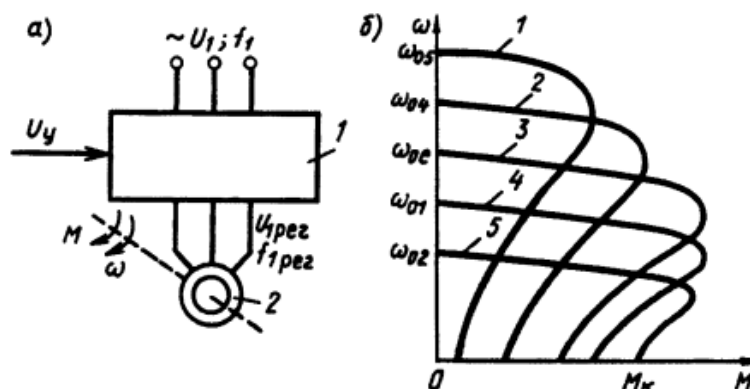


Рисунок 6 – Преобразователь частоты: а) схема включения, б) принцип работы

### 4. Преобразователи напряжения (ТРН)

Изменить величину напряжения переменного тока можно с помощью тиристорного регулятора напряжения (ТРН).

Изменяя напряжение на статорных обмотках АД, можно добиться хороших показателей регулирования координат электропривода как в статике, так и в динамике. Еще одним плюсом такого вида регулирования координат являются экономичные режимы работы.

Рисунок 7 показывает схему включения ТРН и электромеханические характеристики АД при различных напряжениях питания.

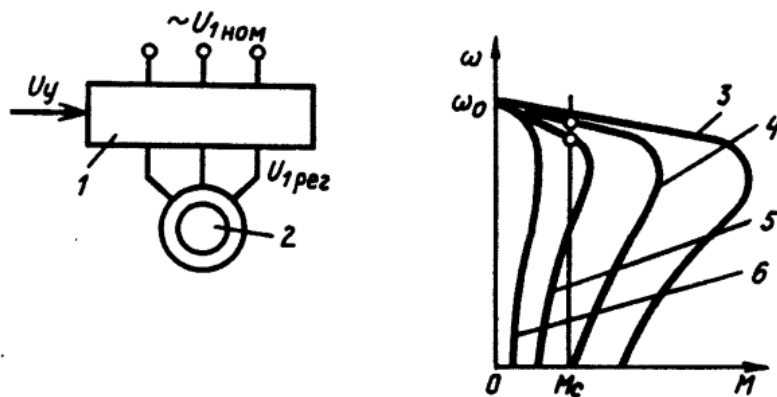


Рисунок 7 – Схема и принцип работы системы ТРН - АД

Для регулирования координат АД между сетью переменного тока со стандартным напряжением  $U_{1ном}$  и статором двигателя включен регулятор напряжения (рисунок 7), выходное напряжение которого  $U_{1рег}$  изменяется с помощью маломощного внешнего сигнала управления  $U_y$  в пределах от значения сетевого напряжения  $U_{1ном}$  практически до нуля. При этом частота напряжения не меняется и остается равной стандартной (50 Гц).

Система ТРН – АД будет принята в дипломной работе как объект исследования. Ниже будет приведено более подробное описание работы тиристорного преобразователя, и будут разобраны режимы его работы.

##### 5. Импульсные преобразователи напряжения постоянного тока с различными видами модуляции выходного напряжения постоянного тока

В подобных преобразователях используются силовые полупроводниковые управляемые ключи, работающие в импульсном режиме. Принцип работы импульсных преобразователей основан на модуляции напряжения источника питания. Например, широтно-импульсная модуляция (ШИМ) подразумевает изменение длительности импульсов напряжения при неизменной частоте их подачи.

На рисунке 8 изображен принцип действия импульсного преобразователя напряжения.

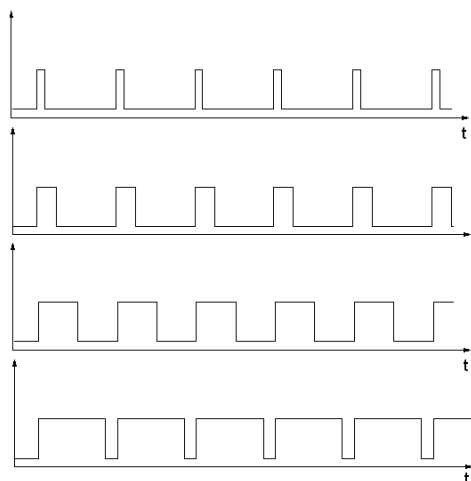


Рисунок 8 - Принцип работы импульсных преобразователей

Проведя анализ всех упомянутых преобразователей электрической энергии, можно сделать следующие выводы.

Переменный ток выгоднее, чем постоянный, при передаче электроэнергии на большие расстояния. Это связано с тем, что работая с переменным током можно значительно уменьшить потери. По этим причинам электропривод будет питаться от сети переменного тока, что позволит не преобразовывать постоянный ток в переменный. Поэтому выпрямители и инверторы не подходят для данной работы.

Импульсные преобразователи напряжения постоянного тока так же не подходят для электропривода задвижки, так как такие преобразователи работают с постоянным током.

ПЧ имеет следующие преимущества:

- возможность удаленного управления электроприводом;
- плавный пуск электродвигателя;
- экономия электроэнергии;
- высокий КПД (до 98%);

Так же у такого преобразователя есть и свои недостатки. Например, высокая стоимость такой системы, сложность устройства и высокие затраты на обслуживание.

ТРН же имеет следующие преимущества по сравнению с ПЧ:

- простота устройства;
- низкая стоимость;



- простота алгоритмов управления;
- стойкость к погодным условиям;
- простота обслуживания;

Минусы ТРН заключаются в следующем: небольшой диапазон регулирования скорости и малый КПД двигателя при малых значениях напряжения на выходе ТРН. В случае клиновой задвижки данные недостатки являются несущественными.

Основываясь на преимуществах системы ТРН-АД, примем такую систему для использования ее в качестве электропривода клиновой задвижки.

#### **1.4. Принцип действия тиристорного преобразователя**

ТРН изменяет величину напряжения на статоре АД от номинала до нуля.

Изменение статорного напряжения не изменяет значение скорости холостого хода  $\omega_0 = 2\pi f_1/p$  и критического скольжения  $s_k$ . Такой способ регулирования координат изменяет критический момент  $M_k$ .

Это можно увидеть из формулы

$$M_k = \frac{3U_\phi^2}{2\omega_0(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_k^2})}$$

Существует квадратичная зависимость критического момента от напряжения. Поэтому при изменении статорного напряжения искусственные характеристики 3-6 (рисунок 7), построенные при напряжениях  $(1; 0,8; 0,6; 0,4) \cdot U_{1ном}$ , являются непригодными для целей регулирования скорости АД. Этот факт объясняется тем, что во время уменьшения напряжения на статоре резко уменьшаются критический момент и перегрузочная способность АД. Диапазон регулирования скорости в таком случае является маленькой величиной.

Схема, изображенная на рисунке 7, может применяться преимущественно для реализации динамических режимов АД, с целью воздействия на момент АД. Это может пригодиться для реализации плавного пуска двигателя.

Такая система способна обеспечить заданную траекторию ускорения АД. Изменение напряжения позволяет также в соответствии с формулой



будут полностью открыты, а на нагрузке будет полное напряжение сети  $U_1 = U_{\text{рег}}$  (рисунок. 10, б). Если подавать импульсы с задержкой, то на нагрузке окажется лишь часть питающего напряжения. Изменяя угол управления  $\alpha$  от нуля до  $\pi$ , можно регулировать напряжение на нагрузке от полного напряжения сети до нуля.

На рисунке 11 изображена трехфазная схема для регулирования питающего напряжения на статорных обмотках АД.

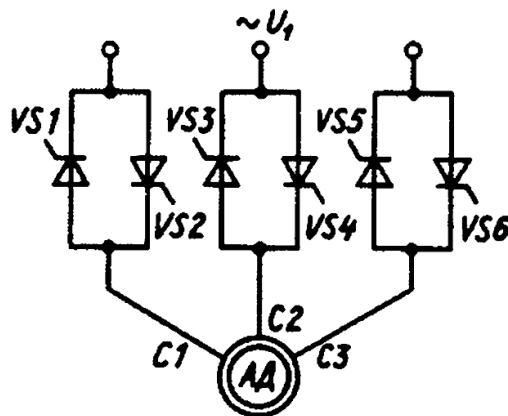


Рисунок 11 – Включение тиристоры в системе ТРН – АД

Так же вместо тиристоров могут применяться симисторы. Эти элементы обеспечивают протекание тока в как в одном, так и в другом направлении.

Напряжение на нагрузке не является синусоидальным, а состоит из совокупности нескольких синусоидальных гармоник. Каждая из даких гармоник меняется с определенной частотой. Частота напряжения сети зависит от частоты основной гармоники. Гармоники низших порядков имеют большую частоту, чем основная. Все расчеты ведутся по основной гармонике, так как она имеет большую амплитуду.

Еще одним плюсом, расширяющим возможности ТРН, является реверс АД. Схема системы ТРН-АД, которая позволяет реализовать реверс АД, приведена на рисунке 12. От предыдущей схемы она отличается наличием еще двух пар тиристоров. Принцип работы такой схемы заключается в том, что при прямом вращении АД в работе находятся тиристорные пары 1, 3, 5. А при обратном вращении АД в работе участвуют 2, 4, и 5 тиристорные пары. Другими словами, изменяя последовательность фаз, приходящих на обмотки АД, можно изменить направление вращения вала АД.

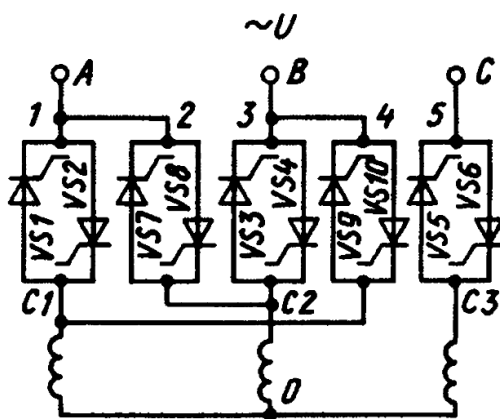


Рисунок 12 - Схема для реверса электродвигателя

Существуют и другие функции системы ТРН-АД. Например, торможение АД с помощью создания постоянного электромагнитного поля статора. Так же можно задать необходимые для технологического процесса динамические характеристики АД при работе его с переменной нагрузкой. Еще одним достоинством ТРН является реализация экономичных режимов работы электропривода. На основе вышеупомянутых схем системы ТРН-АД выпускаются тиристорные нереверсивные и реверсивные контакторы (пускатели) для пуска, реверса и торможения АД.

## 2. Выбор электропривода и расчет его оборудования

### 2.1. Исходные данные

Специфика работы с трубопроводной арматурой диктует условия для электропривода, который будет установлен на такую арматуру. Для этих целей существует отдельная группа приводов.

Параметрами, влияющими на выбор электропривода запорной арматуры, являются диаметр трубы и давление в трубопроводе. Определяющими они являются в силу того, что влияют на требуемое максимальное значение крутящего момента на выходном звене запорной арматуры. Отталкиваясь же от величины этого момента, делают выбор в пользу того или иного электропривода.

В данной работе, для работы с клиновой задвижкой магистрального нефтепровода был выбран электропривод ЭПЦ-15000. Эта модель электропривода может работать с арматурой, установленной на нефтепроводе, давление в котором достигает 15МПа [5]. Принимая во внимание тот факт, что нефтепроводы такого типа работают с максимальным

давлением 10 МПа, можно считать, что данный электропривод идеально подойдет для перекрытия рабочего потока в нефтепроводе.

Функциональные возможности данного привода включают:

- закрытие-открытие проходного сечения арматуры и остановку затвора арматуры в любом промежуточном положении по командам оператора с местного или дистанционного поста управления;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам датчика положения при достижении затвором арматуры крайних положений;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам муфты ограничения крутящего момента при превышении допустимых нагрузок на выходном звене в любом промежуточном положении затвора арматуры и при его достижении крайних положений;
- выдача дискретных сигналов при достижении затвором арматуры крайних положений и при срабатывании муфты ограничения крутящего момента;
- управление затвором арматуры с помощью привода ручного дублера;
- указание положения затвора арматуры в процессе работы на местном указателе положения;
- автоматическое выключение привода ручного дублера.

## **2.2 Характеристики электропривода**

### **2.2.1. Технические характеристики ЭПЦ-15000**

Режим работы электропривода: повторно-кратковременный S3 с коэффициентом циклической продолжительности включения (ПВ) 25 % по ГОСТ Р 52776. Продолжительность цикла - 60 мин. Время непрерывной работы - 15 мин.

Электропривод «ЭПЦ-15000» комплектуется трехфазным асинхронным взрывозащищенным электродвигателем ДАТЭК-350-03-УХЛ1 ТУ3324-414-20885897-2006 (15 кВт; 1500 об/мин):

- номинальный потребляемый ток нагрузки не более 29,4 А.
- максимальный потребляемый ток нагрузки не более 60 А.

Электропривод климатического исполнения УХЛ1, категории размещения 1 по ГОСТ 15150, сохраняет свою работоспособность при:

- диапазоне температуры окружающего воздуха от минус 60°C до плюс 50°C;
- верхнем значении относительной влажности 95% при 35 °С и более низких температурах без конденсации влаги;
- скорости изменения температуры до 5 °С/ч.

По устойчивости к воздействию атмосферного давления электропривод соответствуют группе Р1 по ГОСТ 12997-84: диапазон атмосферного давления, кПа - 84 ... 106,7 на высоте до 1000 м над уровнем моря.

Электропривод изготавливается в исполнении повышенной сейсмостойкости для районов с сейсмичностью свыше 9 и до 10 баллов включительно (по шкале MSK-64).

Рабочее положение электропривода в пространстве - любое выше горизонтальной плоскости, проходящей через ось запорной арматуры.

Основные технические характеристики электроприводов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные технические характеристики электропривода

Наименование параметра	Норма	Примечание
1 Максимальный крутящий момент на выходном звене, Нм	15 000	
2 Максимальная частота вращения выходного звена, об/мин, не менее	10	
3 Диапазон регулирования по положению, в оборотах выходного звена	0 ... 60	
4 Погрешность остановки выходного звена в заданном положении, угл. град, не более	10	
5 Диапазон ограничения крутящего момента на выходном звене, Нм, в пределах	3 000... 15 000	

6 Максимальная погрешность ограничения крутящего момента на выходном звене изделия, в % от заданного значения момента, не более: - в первой половине значений диапазона - во второй половине значений диапазона	±15 ±10	
7 Максимальное усилие на маховике ручного дублера при максимальном моменте на выходном звене, Н, не более	450	
8 Степень защиты изделия по ГОСТ 14254	IP 67	
9 Габаритные размеры (длина x ширина x высота), мм, не более	1000x950x133 0	
10 Масса, кг, не более	1000	

### 2.2.2. Состав электропривода

Электропривод «ЭПЦ-15000» состоит из следующих основных частей (см. Приложение А): редуктора (позиция 1), привода ручного дублера (позиция 2), блока управления (позиция 3), асинхронного электродвигателя (позиция 4) и электрических кабелей в защитной оболочке (позиции 5 и 6).

Габаритные размеры электропривода и схема строповки при погрузоразгрузочных работах во время монтажа на месте применения так же приведены в приложении А.

### 2.2.3. Порядок работы изделия в автоматическом режиме от электродвигателя

При запуске АД (позиция 1) (приложение Б) крутящий момент с шестерни (позиция 2), расположенной на валу асинхронного электродвигателя, передается на зубчатое колесо (позиция 3), расположенного и вращающегося на ограничителе (позиция 4), жестко закрепленном на входном валу (позиция 5) редуктора с промежуточными телами качения. С зубчатого колеса (позиция 3) вращение через его кулачковую полумуфту передается на кулачковую полумуфту толкателя (позиция 6), который через шлицевое соединение с ограничителем (позиция 5) передает вращение на редуктор с промежуточными телами качения и далее на выходное звено (позиция 7) электропривода.

Шестерня (позиция 8), расположенная на входном валу блока управления (позиция 9) и находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом (позиция 3), обеспечивает обратную передачу вращательного движения, созданного электродвигателем, на входной вал бесконтактного датчика положения блока управления, по сигналам которого обеспечивается

формирование и подача на электродвигатель 3-х фазного напряжения питания в соответствии с заданным алгоритмом и параметрами движения (скорость, положение, моменты трогания и движения). При достижении выходным звеном электропривода заданного конечного или промежуточного положения происходит отключение электродвигателя. Контроль текущего положения выходного звена электропривода в процессе работы ведется в блоке управления по сигналам датчика положения.

Также блок управления электродвигателем непрерывно контролирует величину нагрузки на выходном звене электропривода. При превышении величины нагрузки заданного значения происходит отключение электропривода.

Присутствует индикация «Муфта», «Закрыто» и «Открыто», которая информирует оператора об отключении электропривода, при достижении выходным звеном положения «Открыто», «Закрыто» или при превышении заданной величины моментограничения.

### 2.3. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Схема замещения асинхронного электродвигателя необходима для расчета механических и электромеханических характеристик. Обычно используют Т-образную схему замещения АД. Это связано с тем фактом, что она является наиболее простой и удобной для ведения расчетов.

Т-образная схема замещения АД представлена на рисунке 13.

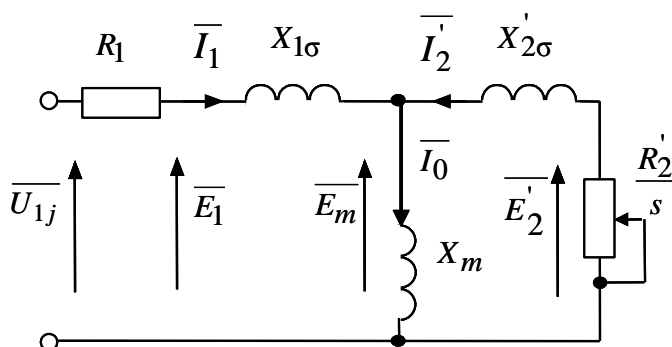


Рисунок 13 - Схема замещения асинхронного двигателя

На рисунке 13 приняты следующие обозначения:

$U_{1j}$  – фазное напряжение обмотки статора;

$R_1$  – активное сопротивление обмотки статора;

$X_{1\sigma}$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;



$I_1$  – ток обмотки статора;

$E_1$  – ЭДС обмотки статора;

$R'_2$  – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;

$X'_{2\sigma}$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;

$s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$  – скольжение асинхронного электродвигателя;

$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / z_p$  – синхронная угловая скорость асинхронного электродвигателя;

$\omega$  – скорость вращения ротора асинхронного электродвигателя;

$p$  – число пар полюсов асинхронного электродвигателя;

$f_1$  – частота переменного напряжения, питающего обмотку статора;

$E_m$  – ЭДС от главного магнитного потока машины;

$E'_2$  – ЭДС обмотки ротора, приведенная к обмотке статора.

Уравнения АД, соответствующие Т-образной схеме замещения:

$$\begin{aligned}\bar{U}_{1j} - \bar{E}_m - j \cdot X_{1\sigma} \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 &= 0; \\ \bar{E}_m + j \cdot X'_{2\sigma} \cdot \bar{I}'_2 + R'_2 \cdot \bar{I}'_2 / s &= 0; \\ \bar{I}_1 + \bar{I}'_2 - \bar{I}_0 &= 0.\end{aligned}$$

Ток ротора  $I'_2$ , приведенный к обмотке статора, определяется зависимостью:

$$I'_2 = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{\text{кн}}^2}},$$

где  $X_{\text{кн}} = X_{1\sigma} + X'_{2\sigma}$  – индуктивное сопротивление КЗ.

$I'_2 = f(s)$  – электромеханическая характеристика АД.

Большой интерес представляет зависимость тока статора от скольжения  $I_1 = f(s)$ . Ток в статорной обмотке можно представить в виде суммы вектора тока ротора  $\overline{I_2'}$  и вектора тока намагничивания  $\overline{I_0}$ :

$$\overline{I_1} = \overline{I_0} + \overline{I_2'}$$

Выражая ток статора  $I_1$  через ток ротора, приведенный к обмотке статора  $I_2'$  [8], получим следующее выражение:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2},$$

где

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

Наибольший интерес в асинхронном электродвигателе представляет электромагнитный момент, который можно найти из следующего выражения:

$$M_j = \frac{m_1 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[ \left( R_1 + R_2' \cdot s^{-1} \right)^2 + \left( X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' \right)^2 \right]},$$

где  $m_1$  – число фаз статора.

Из выражения электромагнитного момента видно, что механическая характеристика асинхронного электродвигателя имеет критические точки скольжения и момента. Их можно найти, если приравнять  $\frac{dM}{ds} = 0$ .

Критический момент в этом случае

$$M_k = \frac{m_1 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left( R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2} \right)},$$

критическое скольжение

$$s_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}}$$

Знак «+» ставят в том случае, если двигатель работает в двигательном режиме, знак «-» ставят при работе двигателя в генераторном режиме.

Паспортные данные электродвигателя типа ДАТЭК-350-03:

$P_H = 15$  кВт – номинальная мощность двигателя;

$U_{1H} = 380$  В – номинальное линейное напряжение;

$U_{1\phi} = 220$  В – фазное напряжение;

$n_0 = 1500$  об/мин – синхронная частота вращения;

$s_H = 2,7\%$  – номинальное скольжение;

$\eta_H = 89\%$  – КПД в режиме номинальной мощности (100 %-я нагрузка);

$\cos\varphi_H = 0,87$  – коэффициент мощности;

$k_i = \frac{I_{п}}{I_H} = 6,2$  о.е. – кратность пускового тока;

$k_{п} = \frac{M_{п}}{M_H} = 2,1$  о.е. – кратность пускового момента;

$k_{max} = \frac{M_K}{M_H} = 2,6$  о.е. – кратность максимального момента;

$J_{дв} = 0,06$  кг·м<sup>2</sup> – момент инерции.

По известным данным необходимо рассчитать параметры АД.

Синхронная угловая частота вращения:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08 \text{ рад/с.}$$

Номинальная угловая частота вращения:

$$\omega_H = \omega_0 \cdot (1 - s_H) = 157,08 \cdot (1 - 0,027) = 152,838 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{15000}{152,838} = 98,143 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальный ток статора:

$$I_H = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos\varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{15000}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,89} = 29,352 \text{ А}.$$

Коэффициент мощности при частичной нагрузке:

$$\cos\varphi = 0,98 \cdot \cos\varphi_H = 0,98 \cdot 0,87 = 0,853.$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке:

$$I_1 = \frac{0,75 \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos\varphi \cdot \eta_H} = \frac{0,75 \cdot 15000}{3 \cdot 220 \cdot 0,853 \cdot 0,89} = 22,463 \text{ А}.$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_1^2 - \left[\frac{0,75 \cdot I_H \cdot (1 - s_H)}{1 - 0,75 \cdot s_H}\right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - s_H)}{1 - 0,75 \cdot s_H}\right]^2}} = \sqrt{\frac{22,463^2 - \left[\frac{0,75 \cdot 29,352 \cdot (1 - 0,027)}{1 - 0,75 \cdot 0,027}\right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,027)}{1 - 0,75 \cdot 0,027}\right]^2}} = 7,735 \text{ А}$$

Соотношение для расчета критического скольжения (в первом приближении принимаем коэффициент  $\beta=1$ ):

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_{max} + \sqrt{k_{max}^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)} =$$

$$= 0,027 \cdot \frac{2,6 + \sqrt{2,6^2 - [1 - 2 \cdot 0,027 \cdot 1 \cdot (2,6 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,027 \cdot 1 \cdot (2,6 - 1)} = 0,148 \text{ о. е.}$$

Ряд промежуточных коэффициентов для определения внутренних параметров двигателя:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_H} = 1 + \frac{7,735}{2 \cdot 6,2 \cdot 29,352} = 1,021.$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,027)}{2 \cdot 1,021 \cdot 2,6 \cdot 15000} = 1,774.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_k}\right) \cdot C_1} = \frac{1,774}{\left(1 + \frac{1}{0,148}\right) \cdot 1,021} = 0,224 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2 \cdot \beta = 1,021 \cdot 0,224 \cdot 1 = 0,229 \text{ Ом.}$$

Параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,148^2} - 1^2} = 6,669.$$

Сопротивление короткого замыкания:

$$X_{kn} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2 = 6,669 \cdot 1,021 \cdot 0,224 = 1,527 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_2 = \frac{0,58 \cdot X_{kn}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 1,527}{1,021} = 0,867 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{kn} = 0,42 \cdot 1,527 = 0,642 \text{ Ом.}$$

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos\varphi_H - R_1 \cdot I_H)^2 + (U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2\varphi_H} - X_1 \cdot I_H)^2} \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,87 - 0,229 \cdot 29,352)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,87^2} - 0,642 \cdot 29,352)^2} \\ &= 205,283 \text{ В.} \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_m = \frac{E_m}{I_0} = \frac{205,283}{7,735} = 26,54 \text{ Ом.}$$

## 2.4. Расчет статических характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика  $M(s)$  асинхронного двигателя рассчитывается по выражению:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[ (X_{\text{кн}})^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}$$

После проведения всех расчетов можно построить механическую характеристику АД  $\omega(M)$ . При этом  $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$ .

По результатам расчета строится механическая характеристика  $\omega(M)$ , где  $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$ . Механические характеристики электродвигателя при изменении напряжения питания показаны на рисунке 14.

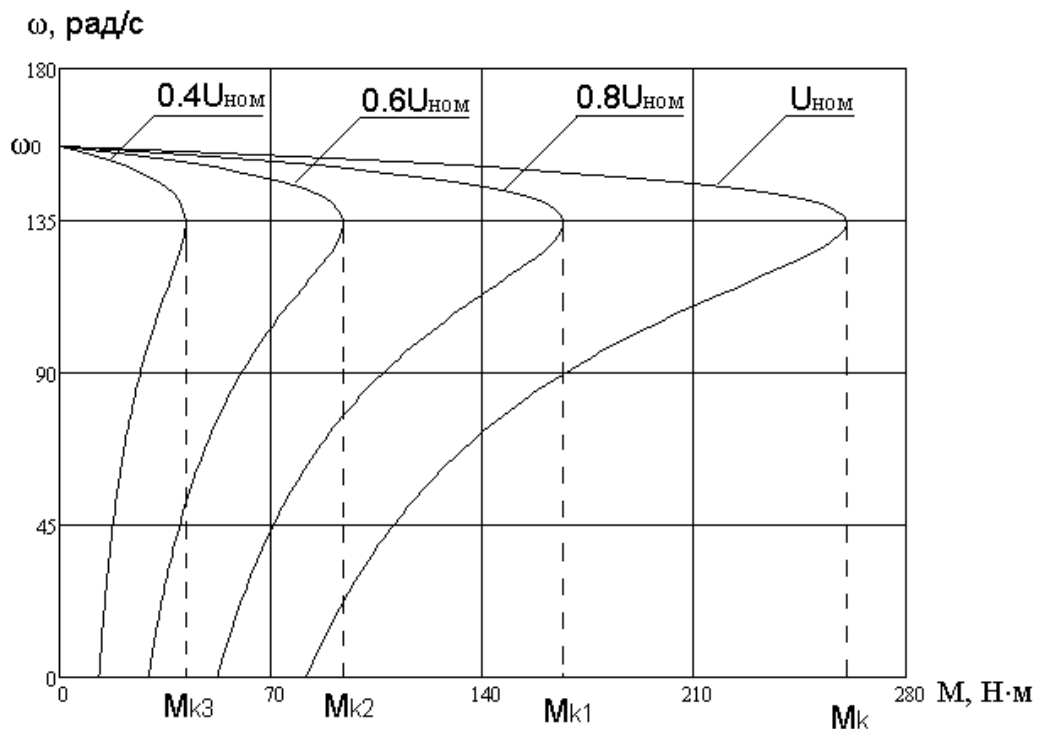


Рисунок 14 - Механические характеристики электродвигателя

Электромеханическую характеристику  $I_1(s)$  можно вычислить из выражения:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)},$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\text{фн}}}{\pm \sqrt{\left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_{\text{кн}})^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_\mu} \right)^2}};$$

$$I_0 = \frac{U_{1\text{фн}}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2}}; \quad \sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_{\text{кн}})^2}}.$$

Электромеханические характеристики тока ротора  $I_2$  и тока статора  $I_1$  АД изображены на рисунке 15.

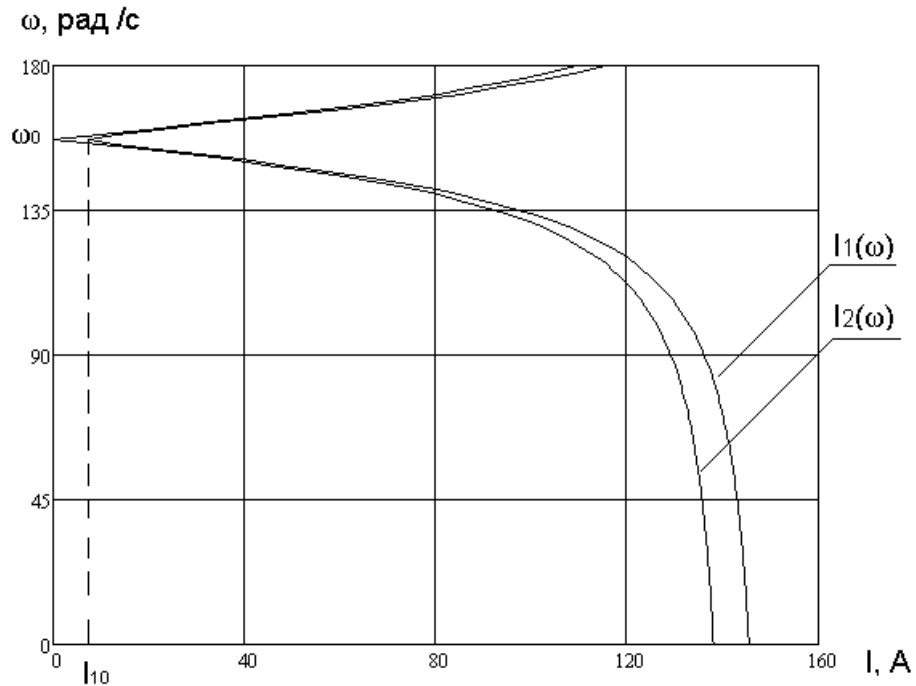


Рисунок 15 - Электромеханическая характеристика тока статора

### 3. Имитационная модель ТРН – АД

#### 3.1. Математическое описание асинхронного двигателя

Описать динамические режимы работы АД можно с помощью системы уравнений, которая должна содержать уравнения напряжений обмоток в дифференциальном виде и уравнения движения движущихся частей АД. При том условии, что промышленная частота сети составляет 50 Гц, обмотки АД можно рассмотреть как электрические цепи с сосредоточенными параметрами. Это объясняется тем, что линейные размеры АД много меньше длины электромагнитной волны [9].

Рассмотрим трехфазную двухполюсную идеализированную машину, имеющую гладкий воздушный зазор, все параметры которой линейны, а напряжения на выводах синусоидальны [9].

Такая модель приведена на рисунке 16. Подразумевается то, что модель содержит три обмотки статора, число витков в которых  $\omega_a$ ,  $\omega_b$  и  $\omega_c$ . Взаимные индуктивности статорной и роторной обмоток меняют значение при вращении ротора асинхронного двигателя со скоростью  $\omega$ . При этом  $\frac{d\theta}{dt} = \omega$ , где  $\theta$  – угол между обмотками статора и ротора.

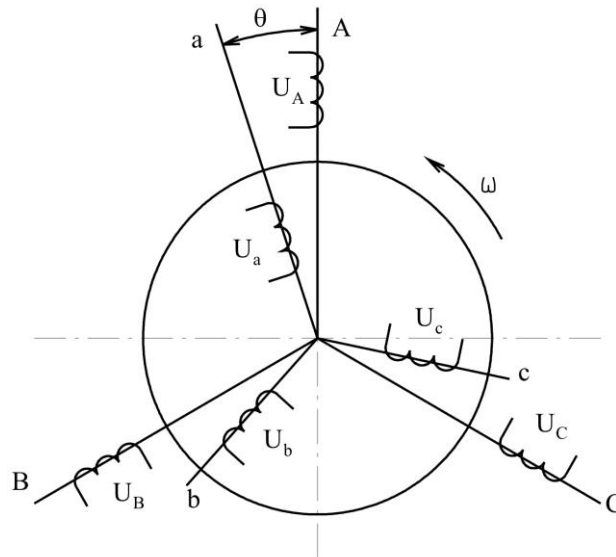


Рисунок 16 - Пространственная модель АД в естественных координатах

Для того, чтобы иметь возможность найти токи двигателя, нужно составить систему диф. уравнений по II закону Кирхгофа для фаз ротора и статора.

Уравнения для статорных обмоток [9]:

$$\begin{aligned}
 U_A &= R_s \cdot i_A + \frac{d\Psi_A}{dt} ; \\
 U_B &= R_s \cdot i_B + \frac{d\Psi_B}{dt} ; \\
 U_C &= R_s \cdot i_C + \frac{d\Psi_C}{dt} .
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Уравнения для роторных обмоток:

$$U_a = R_r \cdot i_a + \frac{d\Psi_a}{dt} ;$$



$$U_b = R_r \cdot i_b + \frac{d\Psi_b}{dt} ; \quad (3.2)$$

$$U_c = R_r \cdot i_c + \frac{d\Psi_c}{dt} .$$

Роторные величины приведены к статорной обмотке. Потокосцепления с фазами роторной и статорной обмотками можно найти с помощью фазных токов и соответствующих индуктивностей, для фазы «А» статора:

$$\Psi_A = L_{AA\Sigma} \cdot i_A + L_{AB\Sigma} \cdot i_B + L_{AC\Sigma} \cdot i_C + L_{Aa\Sigma} \cdot i_a + L_{Ab\Sigma} \cdot i_b + L_{Ac\Sigma} \cdot i_c ; \quad (3.3)$$

для фазы «а» ротора:

$$\Psi_a = L_{aA\Sigma} \cdot i_A + L_{aB\Sigma} \cdot i_B + L_{aC\Sigma} \cdot i_C + L_{aa\Sigma} \cdot i_a + L_{ab\Sigma} \cdot i_b + L_{ac\Sigma} \cdot i_c . \quad (3.4)$$

Потокосцепления с другими фазами записываются по тому же принципу. В уравнения для потокосцеплений (3.3), (3.4) входят индуктивности фаз (главные индуктивности и индуктивности рассеяния):

$$L_{AA\Sigma} = L_{AA\sigma} + L_{AA} ;$$

$$L_{BB\Sigma} = L_{BB\sigma} + L_{BB} ;$$

$$L_{CC\Sigma} = L_{CC\sigma} + L_{CC} ;$$

$$L_{aa\Sigma} = L_{aa\sigma} + L_{aa}$$

$$\dots\dots ;$$

взаимные индуктивности между фазами статора:

$$L_{AB\Sigma} = L_{AB\sigma} + L_{AB} ;$$

$$L_{AC\Sigma} = L_{AC\sigma} + L_{AC} ;$$

взаимные индуктивности между фазами ротора:

$$L_{ab\Sigma} = L_{ab\sigma} + L_{ab} ;$$

$$L_{ac\Sigma} = L_{ac\sigma} + L_{ac} ;$$

и взаимные индуктивности между фазами статора и ротора:  
 $L_{Aa}, L_{Ab}, L_{Ac}, L_{Ba}, L_{Bb}, L_{Bc}, L_{Ca}, L_{Cb}, L_{Cc} .$

Главные индуктивности всех фаз одинаковы и не зависят от углового положения ротора [9]:

$$L_{AA}, L_{AB}, L_{AC}, L_{aa}, L_{bb}, L_{cc} = L_m; \quad (3.5)$$

где  $L_m$  – максимальная приведенная взаимная индуктивность между фазами статора и ротора. Обозначим индуктивность фазы статора  $L_S$  как сумму взаимной индуктивности  $L_m$  и индуктивности рассеяния  $L_{AA\sigma}$ :

$$L_S = L_m + L_{AA\sigma};$$

таким же образом для ротора:

$$L_R = L_m + L_{aa\sigma}.$$

Главные взаимные индуктивности между фазами статора

$$L_{AB}, L_{AC}, L_{BC} = -L_m / 2; \quad (3.6)$$

и взаимные индуктивности между фазами ротора

$$L_{ab}, L_{ac}, L_{bc} = -L_m / 2; \quad (3.7)$$

так же одинаковы по величине и не зависят от углового положения ротора.

И лишь взаимные индуктивности между фазами статора и ротора зависят от углового положения ротора, характеризующегося углом  $\theta$  между осями фаз «А» и «а»:

$$\begin{aligned} L_{Aa} &= L_{Bb} = L_{Cc} = L_m \cdot \cos \alpha_{Aa}; \\ L_{Ab} &= L_{Bc} = L_{Ca} = L_m \cdot \cos \alpha_{Ab}; \\ L_{Ac} &= L_{Ba} = L_{Cb} = L_m \cdot \cos \alpha_{Ac}; \end{aligned} \quad (3.8)$$

тогда общая формула:

$$L_{kn} = L_m \cdot \cos \alpha_{kn}; \quad (3.9)$$

где  $\alpha_{kn}$  – электрические углы между осями фаз статора ( $k = A, B, C$ ) и осями фаз ротора ( $n = a, b, c$ ), которые имеют следующие значения:

$$\alpha_{Aa} = \alpha_{Bb} = \alpha_{Cc} = \alpha = p \cdot \theta;$$

$$\alpha_{Ab} = \alpha_{Bc} = \alpha_{Ca} = \alpha + 2\pi/3;$$

$$\alpha_{Ac} = \alpha_{Ba} = \alpha_{Cb} = \alpha + 4\pi/3;$$

где  $p$  – число периодов. Угол  $\theta$  можно в общем случае определить как:

$$\theta = \theta_0 + \int_0^t \omega \cdot dt$$

Взаимные индуктивности (3.8) являются периодическими коэффициентами, изменяющиеся по гармоническому закону при вращении ротора машины. Обозначим эти индуктивности как  $L_{m1}$ ,  $L_{m2}$ ,  $L_{m3}$ :

$$L_{m1} = L_{Aa} = L_{Bb} = L_{Cc} = L_m \cdot \cos(\alpha);$$

$$L_{m2} = L_{Ab} = L_{Bc} = L_{Ca} = L_m \cdot \cos(\alpha + 2\pi/3); \quad (3.10)$$

$$L_{m3} = L_{Ac} = L_{Ba} = L_{Cb} = L_m \cdot \cos(\alpha + 4\pi/3).$$

Подставляя обозначенные индуктивности (3.5), (3.6), (3.7) и (3.10) в уравнения потокосцеплений (3.3) и (3.4), а потокосцепления всех фаз, в свою очередь, в исходные уравнения электрического равновесия двигателя (3.1) и (3.2), получаем систему уравнений, описывающую электрическую часть асинхронного двигателя в естественной трехфазной системе координат (с учетом, что фазные напряжения на роторе равны нулю):

$$\begin{aligned} U_A &= R_s \cdot i_A + L_s \frac{di_A}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_B}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_C}{dt} + \frac{d}{dt}(L_{m1} \cdot i_a) + \frac{d}{dt}(L_{m2} \cdot i_b) + \frac{d}{dt}(L_{m3} \cdot i_c); \\ U_B &= R_s \cdot i_B - \frac{L_m}{2} \frac{di_A}{dt} + L_s \frac{di_B}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_C}{dt} + \frac{d}{dt}(L_{m3} \cdot i_a) + \frac{d}{dt}(L_{m1} \cdot i_b) + \frac{d}{dt}(L_{m2} \cdot i_c); \\ U_C &= R_s \cdot i_C - \frac{L_m}{2} \frac{di_A}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_B}{dt} + L_s \frac{di_C}{dt} + \frac{d}{dt}(L_{m2} \cdot i_a) + \frac{d}{dt}(L_{m3} \cdot i_b) + \frac{d}{dt}(L_{m1} \cdot i_c); \\ 0 &= R_r \cdot i_a + \frac{d}{dt}(L_{m1} \cdot i_A) + \frac{d}{dt}(L_{m2} \cdot i_B) + \frac{d}{dt}(L_{m3} \cdot i_C) + L_R \frac{di_a}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_b}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_c}{dt}; \\ 0 &= R_r \cdot i_b + \frac{d}{dt}(L_{m2} \cdot i_A) + \frac{d}{dt}(L_{m1} \cdot i_B) + \frac{d}{dt}(L_{m3} \cdot i_C) - \frac{L_m}{2} \frac{di_a}{dt} + L_R \frac{di_b}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_c}{dt}; \\ 0 &= R_r \cdot i_c + \frac{d}{dt}(L_{m3} \cdot i_A) + \frac{d}{dt}(L_{m2} \cdot i_B) + \frac{d}{dt}(L_{m1} \cdot i_C) - \frac{L_m}{2} \frac{di_a}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_b}{dt} + L_R \frac{di_c}{dt}. \end{aligned} \quad (3.11)$$

Уравнение движения электропривода:

$$\frac{J_{\Sigma}}{p_n} \cdot \frac{d\omega}{dt} = M - M_c \quad (3.12)$$

$M$  – электромагнитный момент двигателя;

$M_c$  – статический момент сопротивления;

$J_{\Sigma}$  – суммарный момент инерции вращающихся масс, приведенных к валу двигателя.

При принятых допущениях электромагнитный момент двигателя в (3.12) выражается через производные индуктивностей обмоток по углу  $\theta$  и фазные токи и может быть рассчитан:

$$M = \sum_{k=A,B,C} i_k \sum_{n=a,b,c} i_n \frac{dL_{kn}}{d\theta}$$

С учетом (3.9) момент можно выразить через токи и углы  $\alpha_{kn}$  между фазами:

$$M = -p_n L_m \sum_{k=A,B,C} i_k \sum_{n=a,b,c} i_n \sin \alpha_{kn} \quad (3.13)$$

В естественных координатах каждое уравнение системы (3.11) содержит производные статорных токов двигателя:  $i_A, i_B, i_C$ , роторных токов:  $i_a, i_b, i_c$ , а также 3 производных переменных индуктивностей:  $L_{m1}, L_{m2}, L_{m3}$ . Такую систему дифференциальных уравнений 9-го порядка проблематично решить как аналитически, так и численными методами.

Для того, чтобы упростить систему уравнений (3.11), необходимо перейти от вращающейся системы координат к неподвижной  $\alpha, \beta, \gamma$ . Это эквивалентно переводу асинхронного двигателя в двухфазную систему координат  $\alpha, \beta$ . Это необходимо для того, чтобы исключить из системы периодические коэффициенты  $L_{m1}, L_{m2}, L_{m3}$  и понизить порядок системы уравнений до 6-го порядка.

На рисунке 17 показана трехфазная модель АД в системе координат  $\alpha, \beta, \gamma$ .

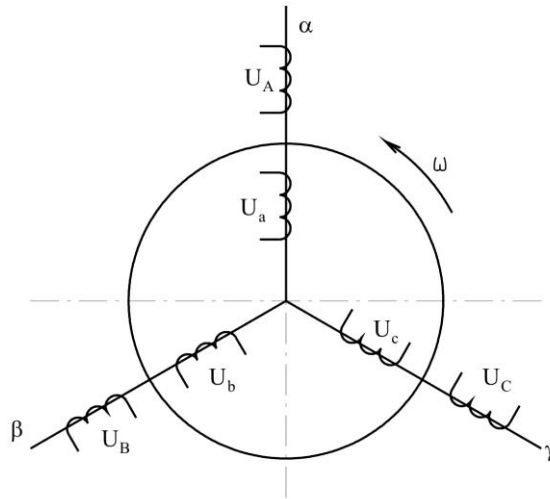


Рисунок 17 - Пространственная модель АД в трехфазной неподвижной системе координат

Круговое поле воздушного зазора машины в трехфазной системе координат можно представить результирующими векторами потокоцеплений, токов ротора и напряжений. Спроецировав их на оси статора  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  можно вывести выражения для преобразованных значений. Матрица преобразования для трехфазной системы [9]:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2/3 \cos \theta & 2/3 \cos(\theta + \rho) & 2/3 \cos(\theta - \rho) \\ 0 & 0 & 0 & 2/3 \cos(\theta - \rho) & 2/3 \cos \theta & 2/3 \cos(\theta + \rho) \\ 0 & 0 & 0 & 2/3 \cos(\theta + \rho) & 2/3 \cos(\theta - \rho) & 2/3 \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

где  $\rho = 2\pi/3$ .

Используя матрицу преобразования (3.14), и с учетом, что фазные напряжения на роторе равны нулю, запишем систему уравнений (3.1), (3.2) в преобразованной трехфазной системе координат:

$$U_A = R_s \cdot i_A + \frac{d\Psi_A}{dt} ;$$

$$U_B = R_s \cdot i_B + \frac{d\Psi_B}{dt} ;$$

$$U_C = R_s \cdot i_C + \frac{d\Psi_C}{dt} \quad ; \quad (3.15)$$

$$0 = R_r \cdot i_a + \frac{d\Psi_a}{dt} + (\Psi_b - \Psi_c) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} \quad ;$$

$$0 = R_r \cdot i_b + \frac{d\Psi_b}{dt} + (\Psi_c - \Psi_a) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} \quad ;$$

$$0 = R_r \cdot i_c + \frac{d\Psi_c}{dt} + (\Psi_a - \Psi_b) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} \quad .$$

Потокосцепления для всех фаз:

$$\Psi_A = L_{SA} \cdot i_A - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_B - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_C + L_m \cdot i_a - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_b - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_c \quad ;$$

$$\Psi_B = -\frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_A + L_{SB} \cdot i_B - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_C - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_a + L_m \cdot i_b - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_c \quad ;$$

$$\Psi_C = -\frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_A - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_B + L_{SC} \cdot i_C - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_a - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_b + L_m \cdot i_c \quad ;$$

$$\Psi_a = L_m \cdot i_A - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_B - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_C + L_{RA} \cdot i_a - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_b - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_c \quad ;$$

$$\Psi_b = -\frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_A + L_m \cdot i_B - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_C - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_a + L_{RB} \cdot i_b - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_c \quad ;$$

$$\Psi_c = -\frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_A - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_B + L_m \cdot i_C - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_a - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_b + L_{RC} \cdot i_c \quad .$$

(3.16)

Подставляя потокосцепления (3.16) в (3.15), получаем систему из 6 уравнений и 6 неизвестных:  $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$ ,  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$ . Теперь необходимо привести данную систему дифференциальных уравнений к нормальной форме Коши. Для этого требуется перейти к матричной форме записи уравнений. Перепишем систему (3.15), разрешенную относительно производных потокосцеплений:

$$\begin{aligned}
\frac{d\Psi_A}{dt} &= U_A - R_s \cdot i_A ; \\
\frac{d\Psi_B}{dt} &= U_B - R_s \cdot i_B ; \\
\frac{d\Psi_C}{dt} &= U_C - R_s \cdot i_C ; \\
\frac{d\Psi_a}{dt} &= -R_r \cdot i_a - (\Psi_b - \Psi_c) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} ; \\
\frac{d\Psi_b}{dt} &= -R_r \cdot i_b - (\Psi_c - \Psi_a) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} ; \\
\frac{d\Psi_c}{dt} &= -R_r \cdot i_c - (\Psi_a - \Psi_b) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} .
\end{aligned}
\tag{3.17}$$

Подставляя все потокосцепления (3.16) в (3.17) и используя матричную форму записи системы уравнений, получаем выражение (3.18).

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m \\ L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} di_A/dt \\ di_B/dt \\ di_C/dt \\ di_a/dt \\ di_b/dt \\ di_c/dt \end{bmatrix} = \\
& \begin{bmatrix} U_A - R_s \cdot i_A \\ U_B - R_s \cdot i_B \\ U_C - R_s \cdot i_C \\ -R_r \cdot i_a - \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}L_m i_A + L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a + L_R i_b - \frac{1}{2}L_m i_c \\ -\left(-\frac{1}{2}L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B + L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a - \frac{1}{2}L_m i_b + L_R i_c\right) \end{bmatrix} \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} \\ -R_r \cdot i_b - \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B + L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a - \frac{1}{2}L_m i_b + L_R i_c \\ -\left(L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C + L_R i_a - \frac{1}{2}L_m i_b - \frac{1}{2}L_m i_c\right) \end{bmatrix} \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} \\ -R_r \cdot i_c - \begin{bmatrix} L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C + L_R i_a - \frac{1}{2}L_m i_b - \frac{1}{2}L_m i_c \\ -\left(-\frac{1}{2}L_m i_A + L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a + L_R i_b - \frac{1}{2}L_m i_c\right) \end{bmatrix} \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} \end{bmatrix}. \\
& \tag{3.18}
\end{aligned}$$

Матричная форма записи (3.18) выглядит следующим образом:

$$[L_1] \cdot \frac{d[i]}{dt} = [U] - \left( [R] + [L_2] \cdot \frac{\omega}{\sqrt{3}} \right) \cdot [i]; \tag{3.19}$$

где  $[i]$ – матрица неизвестных (токи статора и ротора);  $[U]$  – матрица напряжений;  $[R]$  – матрица сопротивлений;  $[L_1]$ ,  $[L_2]$ – матрицы индуктивностей:



$$[i] = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \\ i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}; \quad [U] = \begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad [R] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_r \end{bmatrix};$$

$$[L_1] = \begin{bmatrix} L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m \\ L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R \end{bmatrix}; \quad (3.20)$$

$$[L_2] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3}{2}L_m & -\frac{3}{2}L_m & 0 & \left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & -\left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) \\ -\frac{3}{2}L_m & 0 & \frac{3}{2}L_m & -\left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & 0 & \left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) \\ \frac{3}{2}L_m & -\frac{3}{2}L_m & 0 & \left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & -\left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & 0 \end{bmatrix}$$

Для того, чтобы получить выражение, описывающее асинхронных двигатель в трехфазной системе координат, необходимо выразить из (3.19) матрицу токов.

$$\frac{d[i]}{dt} = [L_1]^{-1} \cdot \left\{ [U] - \left( [R] + [L_2] \cdot \frac{\omega}{\sqrt{3}} \right) \cdot [i] \right\}. \quad (3.21)$$

Расчет токов проводился в системе координат, приведенной к обмоткам статора, а значит мгновенные значения токов ротора  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  тоже приведены к обмоткам статора. Для нахождения токов ротора АД, приведенных к ротору, найдем результирующий ток ротора (амплитуда тока):

$$I_2' = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot (i_a^2 + i_b^2 + i_c^2)}$$

Магнитное поле обмотки статора наводит в роторе токи с частотой  $\omega_r$ , равной частоте вращения ротора относительно частоты вращения магнитного поля статора:

$$\omega_r = \omega_0 - \omega$$

Угол поворота  $\theta_r$  можно определить как:

$$\theta_r = \theta_{r0} + \int_0^t \omega_r dt$$

Тогда фазные токи ротора можно найти:

$$i_a = I_2' \cdot \sin(\theta_r);$$

$$i_b = I_2' \cdot \sin(\theta_r - 2\pi/3);$$

$$i_c = I_2' \cdot \sin(\theta_r + 2\pi/3).$$

Частота токов ротора:  $f_2 = \omega_r / 2\pi$  будет составлять  $0,5 \div 2$  Гц.

В трехфазной неподвижной системе координат четко определены углы между всеми фазами статора и ротора, поэтому можно преобразовать выражение (3.13) для электромагнитного момента:

$$M = -p_n \cdot L_m \cdot (i_A \cdot (i_a \cdot \sin \alpha_{Aa} + i_b \cdot \sin \alpha_{Ab} + i_c \cdot \sin \alpha_{Ac}) + i_B \cdot (i_a \cdot \sin \alpha_{Ba} + i_b \cdot \sin \alpha_{Bb} + i_c \cdot \sin \alpha_{Bc}) + i_C \cdot (i_a \cdot \sin \alpha_{Ca} + i_b \cdot \sin \alpha_{Cb} + i_c \cdot \sin \alpha_{Cc})) \quad (3.23)$$

где  $\sin \alpha_{Aa} = \sin \alpha_{Bb} = \sin \alpha_{Cc} = \sin 0^\circ = 0;$

$$\sin \alpha_{Ab} = \sin \alpha_{Bc} = \sin \alpha_{Ca} = \sin(120^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2};$$

$$\sin \alpha_{Ac} = \sin \alpha_{Ba} = \sin \alpha_{Cb} = \sin(-120^\circ) = -\frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Результирующее выражение для электромагнитного момента в трехфазной системе координат [9]:

$$M = p_n \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot L_m \cdot [(i_A \cdot i_c + i_B \cdot i_a + i_C \cdot i_b) - (i_A \cdot i_b + i_B \cdot i_c + i_C \cdot i_a)] \quad (3.22)$$

### 3.2. Создание модели системы ТРН-АД в программной среде MATLAB Simulink

Принципиальная схема системы «Тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» (ТРН-АД) представлена на рис. 18. Питание к преобразователю подводится трехфазное переменное 380 В 50 Гц (RST). Тиристорный преобразователь (VS1 – VS6) предназначен для плавного пуска асинхронного двигателя, путем изменения напряжения питания. Управление тиристорами происходит с помощью микроконтроллера (МК).

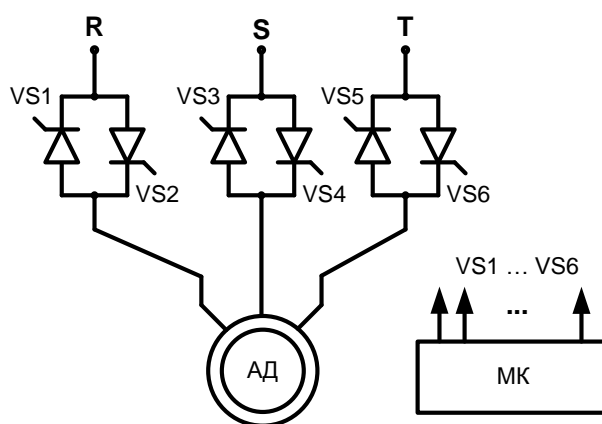


Рисунок 18 - Трехфазный тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель

Графики, поясняющие работу системы ТРН-АД для одной фазы, представлены на рис. 2.  $U_R$  – мгновенное напряжение фазы R. С помощью импульсов UVS1 и UVS2 управляем тиристорами в фазе R. Открытие тиристора произойдет в момент подачи импульса, а закрытие в момент изменения полярности напряжения на тиристоре: анод-катод, т.е. если не учитывать индуктивность нагрузки тиристор закроется в момент перехода  $U_R$  через ноль. Получим результирующее напряжение, которое представлено на рис. 19 заштрихованной областью. Изменяя момент времени подачи импульса, т.е. меняя угол  $\alpha$  можно изменять напряжение питания асинхронного двигателя.

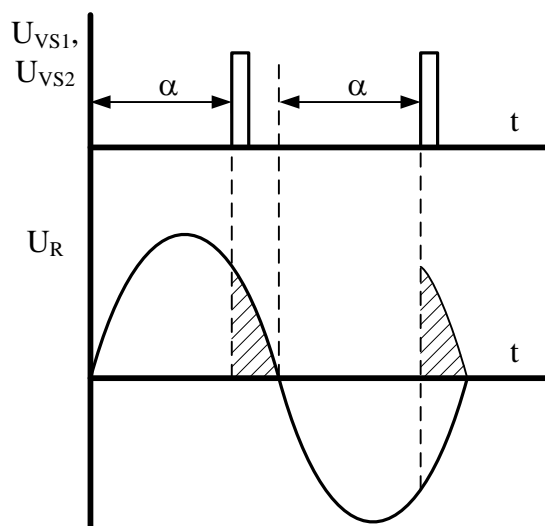


Рисунок 19 - Диаграмма работы ТРН-АД в фазе R

### 3.2.1. Однофазный ТРН с управлением от генератора импульсов

Соберем однофазную схему источника питания с нагрузкой. Для этого в программной среде MATLAB откроем приложение Simulink, в котором создадим новую модель, меню: File→New→Model. В появившееся окно необходимо перетащить блоки и соединить их между собой согласно схеме, изображенной на рис. 20.

Расположения блоков в библиотеке Simulink Library Browser:

источник питания: SimPowerSystems→Electrical Sources→AC Voltage Source

нагрузка: SimPowerSystems→Elements→Series RLC Branch

земля: SimPowerSystems→Elements→Ground

вольтметр: SimPowerSystems→Measurements→Voltage Measurement

осциллограф: Simulink →Sinks→Scope

Блоки можно поворачивать на 90 град с помощью сочетания клавиш «Ctrl+R». Название всех блоков можно редактировать. При нажатии правой кнопки мыши на блок появляется контекстное меню блока, которое дает дополнительные возможности.

Далее, необходимо настроить некоторые блоки. Для открытия настроек блока необходимо дважды кликнуть левой кнопкой мыши на соответствующий блок. В блоке AC Voltage Source необходимо выставить

амплитудное напряжение Peak amplitude (V) равно  $\sqrt{2} \cdot 220$  ( $\approx 311$  В), в строке Frequency (Hz) необходимо выставить 50, что соответствует частоте питающего напряжения.

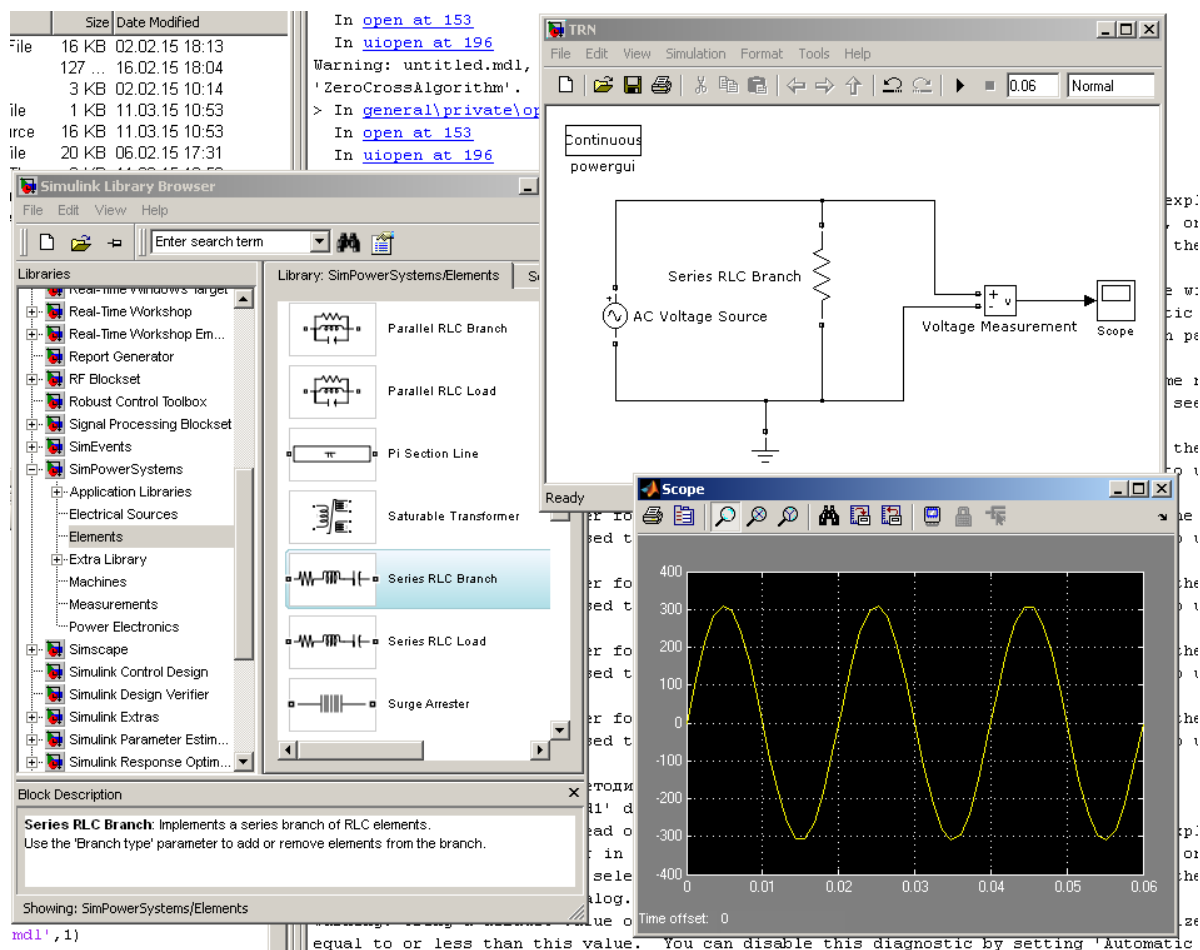


Рисунок 20 - Создание модели в Simulink

Блок Series RLC Branch является нагрузкой для источника напряжения, для начала проведем исследование для активной нагрузки, сопротивлением 50 Ом: Branch type – R, Resistance (Ohms) – 50.

При частоте напряжения питания 50 Гц один период синусоиды составляет 0,02 с, т.е. для моделирования, например, трех периодов необходимо выставить длительность моделирования 0,06 с. Это время нужно вписать в окно Simulation stop time (рис. 3). После запуска модели (кнопка Run ►) можно наблюдать мгновенное напряжение на нагрузке, для этого необходимо открыть осциллограф.

Для получения возможности регулировать напряжение, необходимо ввести еще два блока:

генератор импульсов: Simulink → Sources → Pulse Generator

блок mux: Simulink → Signal Routing → Mux

два тиристора: SimPowerSystems → Power Electronics → Detailed Thyristor

Блок mux необходим для отображения нескольких графиков в одних осях.

В тиристорах уберем измерительный выход, для этого необходимо убрать галочку Show measurement port в его настройках. Далее, необходимо их включить встречно-параллельно между источником и нагрузкой, используя выводы анод а и катод к. Схема представлена на рис. 21.

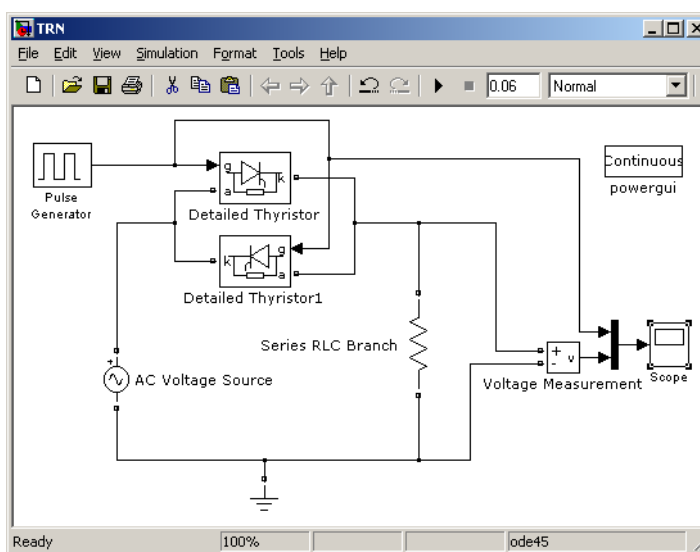


Рисунок 21 - Схема однофазного тиристорного регулятора напряжения с управлением от генератора импульсов

Далее, настраиваем генератор импульсов согласно рис. 22. Переменная Amplitude отвечает за амплитуду импульсов. По умолчанию в блоке стоит логическая единица. Для наглядного отображения графиков напряжения и импульсов в одних осях, поставим значение 100. Переменная Period отвечает за период подачи импульсов. Т.к. необходимо управлять и верхней и нижней полуволной напряжения, то период равен  $0,02/2 = 0,01$  с. Pulse Width определяет длительность импульса. Необходимо убрать с тиристорov импульс управления до того, как напряжение перейдет через ноль, ставим 40%. Phase delay отвечает за фазовый сдвиг первого импульса, т.е. это и есть угол управления  $\alpha$ , который может меняться в пределах от 0 до 180 град (0 ... 0,01 с). Для примера возьмем  $\alpha = 90$  град. Тогда Phase delay =  $0,01/2 = 0,005$  с. Данный генератор импульсов будет управлять обоими тиристорами. Его необходимо подсоединить к тиристорам, ко входу g.

Полученные графики представлены на рис. 6, где желтым представлены импульсы управления, а фиолетовым – напряжение на нагрузке. Можно проследить влияние угла управления на выходное напряжение, изменив Phase delay, например, 30, 140 град и т.д.

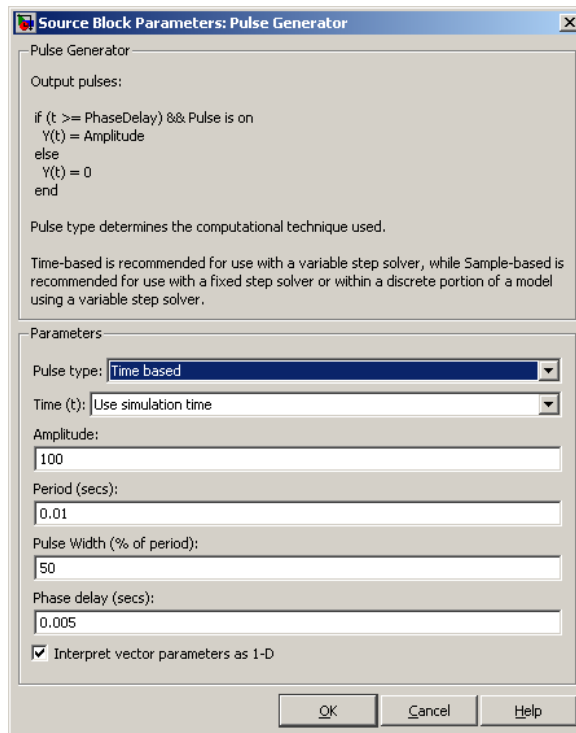


Рисунок 22 - Настройка генератора импульсов

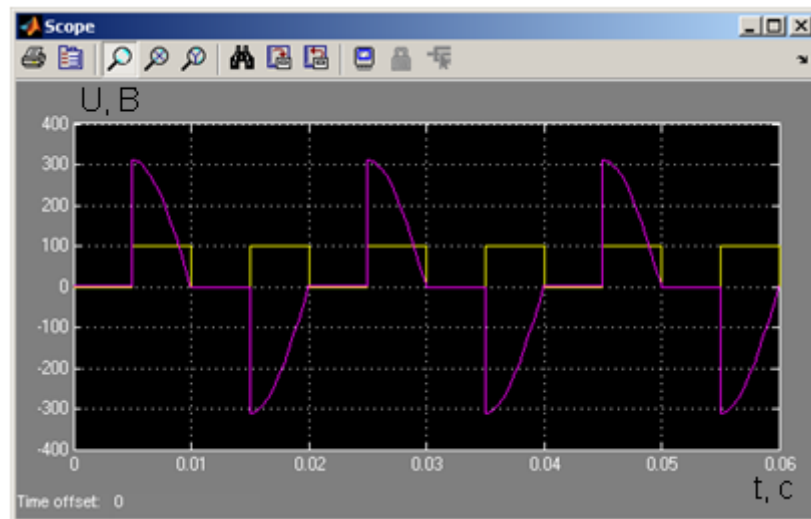


Рисунок 23 - Графики напряжения на нагрузке и управляющих импульсов

### 3.2.2. Однофазный ТРН с управлением от S-function Builder

Для возможности создания своего алгоритма управления тиристорным преобразователем необходимо воспользоваться блоком S-function Builder:

S-функция: Simulink → User-Defined Functions → S-function Builder

Текст программы в S-function Builder пишется на языке C.

Для проверки работоспособности данного блока соберем схему, представленную на рис.24.: измерим напряжение источника с помощью вольтметра и подадим на S-функцию, а выход S-функции и выход вольтметра выведем на осциллограф.

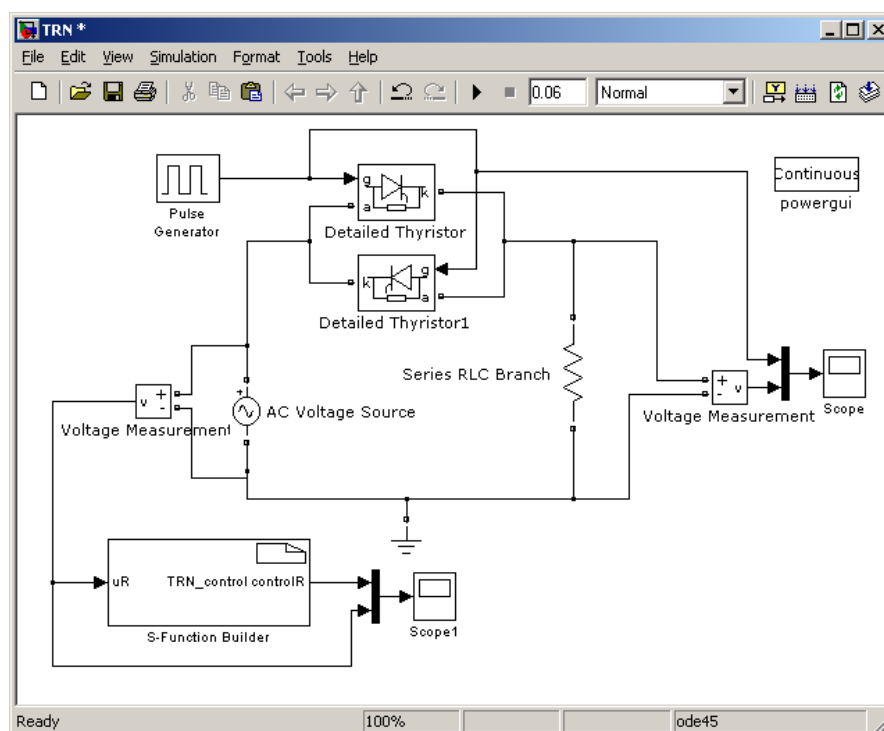


Рисунок 24 - Введение блока «S-function Builder»

Далее, необходимо настроить блок «S-function Builder». Для этого в настройках, в поле S-function name, необходимо латиницей ввести имя функции, несовпадающее с именем модели. В закладке Data Properties / Input Ports входные переменные, а Output Ports – выходные. Можно менять количество переменных, а также их имена. В нашем примере будем измерять входное напряжение фазы R (входная переменная uR) и управлять тиристорами в фазе R (выходная переменная controlR).

В закладке Initialization в поле Sample mode необходимо выбрать Discrete, т.к. микропроцессор – это дискретное устройство, которое работает с дискретным шагом времени, которое нужно ввести в поле Sample time



value. Период дискретизации работы процессора выбираем 18 кГц. Тогда  $\Delta t = 1/18000 = 0,00005555$  с. Такая дискретизация позволяет получить период питающего напряжения в 360 точек (360 эл. град), чтобы обеспечить точность управления в один градус:  $0,00005555 * 360 = 0,02$  с (период фазного напряжения).

В закладке Output содержится текст программы.

Запуск компиляции осуществляется кнопкой Build, которая находится в правом верхнем углу окна настроек S-функции. После запуска компилятора в закладке Build Info выводится сообщение об успешном завершении компиляции и создании необходимых файлов:

```
### 'TRN_control.c' created successfully  
### 'TRN_control_wrapper.c' created successfully  
### 'TRN_control.tlc' created successfully  
### S-function TRN_control.mexw32 created successfully
```

Далее, необходимо построить на основе напряжения пилообразный сигнал, который в дальнейшем поможет создать угол управления. Для построения пилы необходимо определить точки перехода напряжения через ноль. Для этого необходимо отслеживать входное напряжение  $U_R$ , и если  $U_R < 0$ , а на предыдущем шаге  $U_R > 0$ , то пилу необходимо обнулить. Аналогично нужно сделать и для обратного перехода через ноль. Графики, поясняющие суть работы, приведены на рис. 25. Пила должна достигнуть значения в 180 при следующем переходе напряжения через ноль.

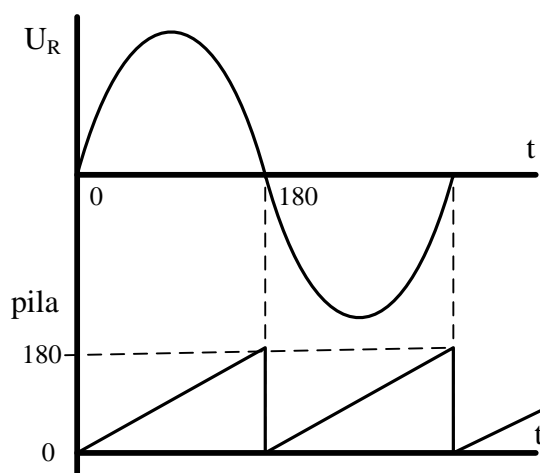


Рисунок 25 - Построение пилы в фазе R

Окно настройки S-функции с текстом программы представлено на рис. 26. Объявления всех переменных располагают в самой верхней части программы. Переменная prevUR необходима для запоминания напряжения на предыдущем этапе времени. pilaR – переменная, которая должна содержать пилообразный сигнал. Его формируем путем инкрементирования pilaR на единицу каждый шаг расчета. Затем расположен алгоритм обнуления переменной pilaR после перехода напряжения через ноль. Алгоритм основан на логическом И – || и логическом ИЛИ – &&.

Далее, запоминаем текущее значение напряжения для следующего шага расчета программы и отправляем полученный сигнал на выход S-функции. Полученный результат в виде графиков представлен на рис. 27.

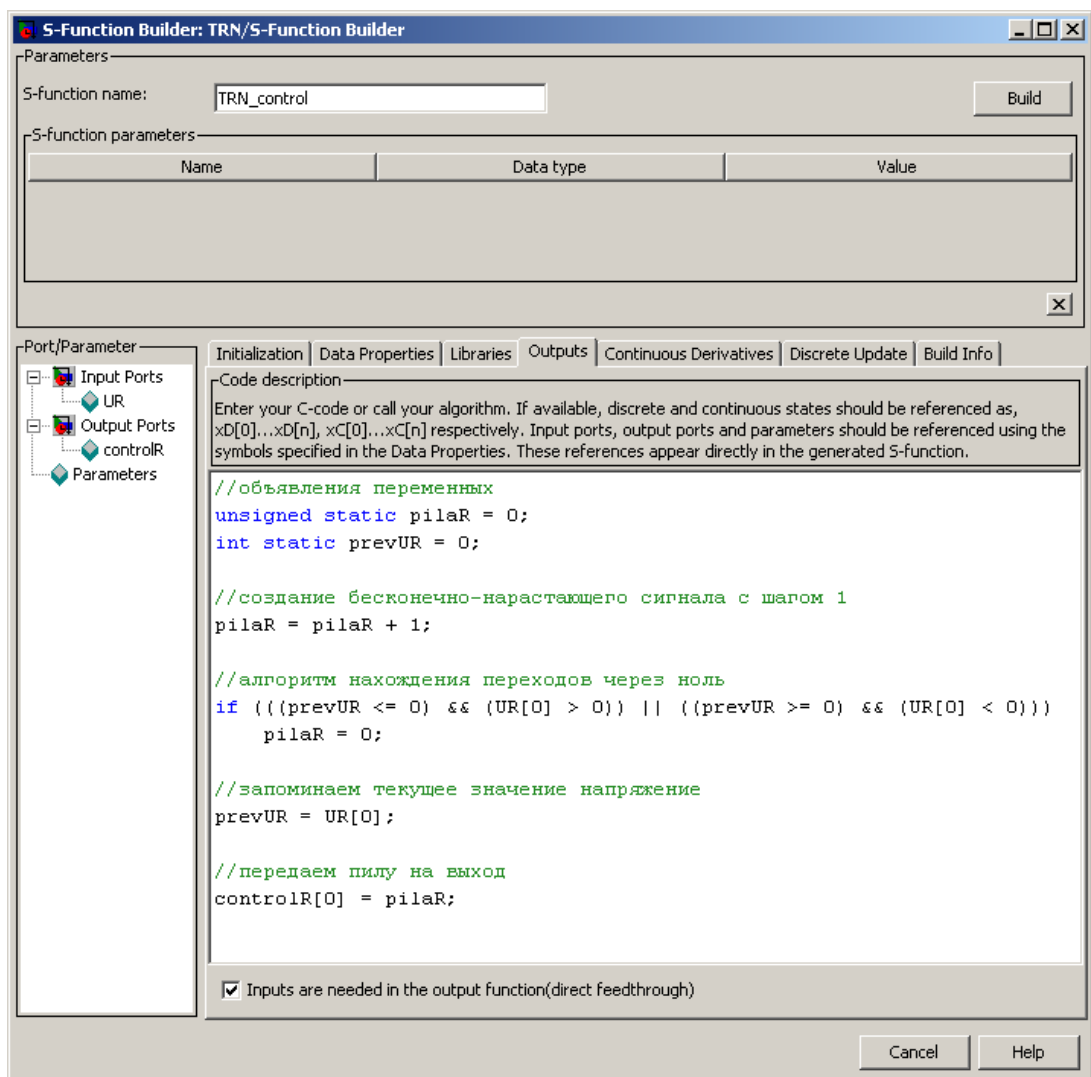


Рисунок 26 - Построение пилы в фазе R

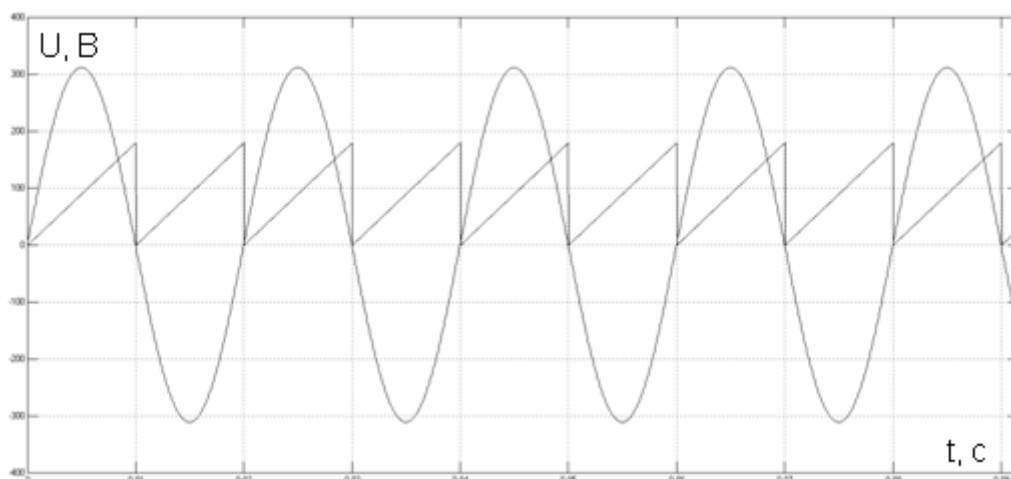


Рисунок 27 - Пилообразный сигнал для фазы R

Следующим этапом необходимо сформировать импульсы управления. Для примера зададим угол  $\alpha = 45$  град. Логика создания импульсов управления следующая: как только значение пилообразного сигнала достигнет 45, это означает что фаза напряжения находится на уровне 45 град. В этот момент времени необходимо подать импульс управления на тиристоры. Снимаем импульсы заблаговременно, на уровне 160 град. Текст программы представлен на рис. 28. Выходную переменную controlR[0] используем в качестве импульса управления, если пилообразный сигнал находится в диапазоне 45...160, иначе необходимо обнулить переменную. На рис. 29 представлены графики с осциллографа scope1.

После получения импульсов управления можно модернизировать схему: убрать генератор импульсов и на тиристоры подавать управляющие импульсы с S-функции. Схема имитационной модели представлена на рис. 30. На рис. 31 представлены полученные графики.

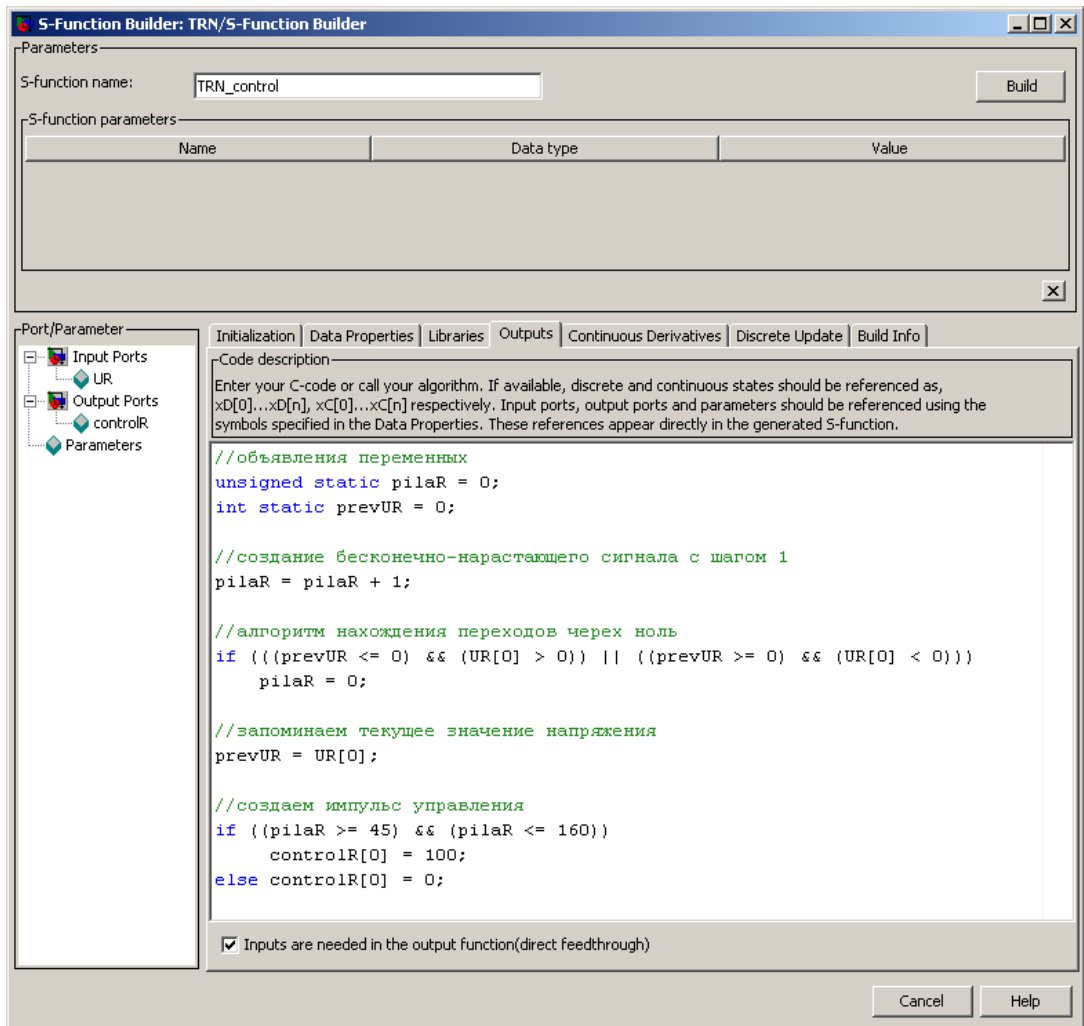


Рисунок 28 - Создание импульсов управления тиристорами в фазе R

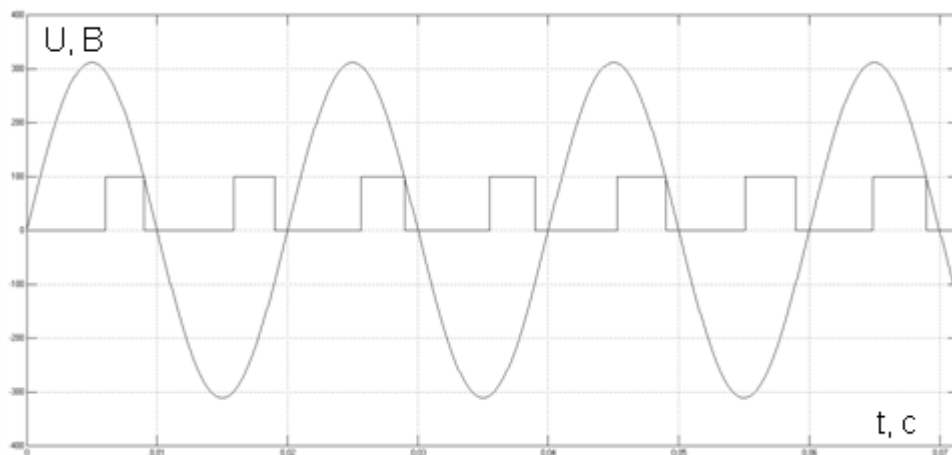


Рисунок 29 - Импульсы управления

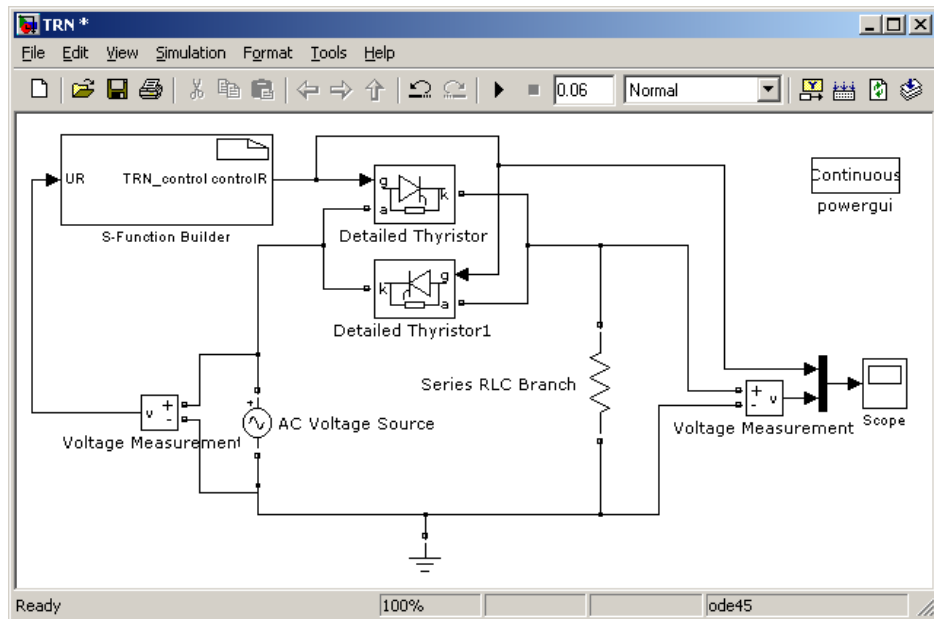


Рисунок 30 - Схема однофазного ТРН с управлением от «S-function Builder»

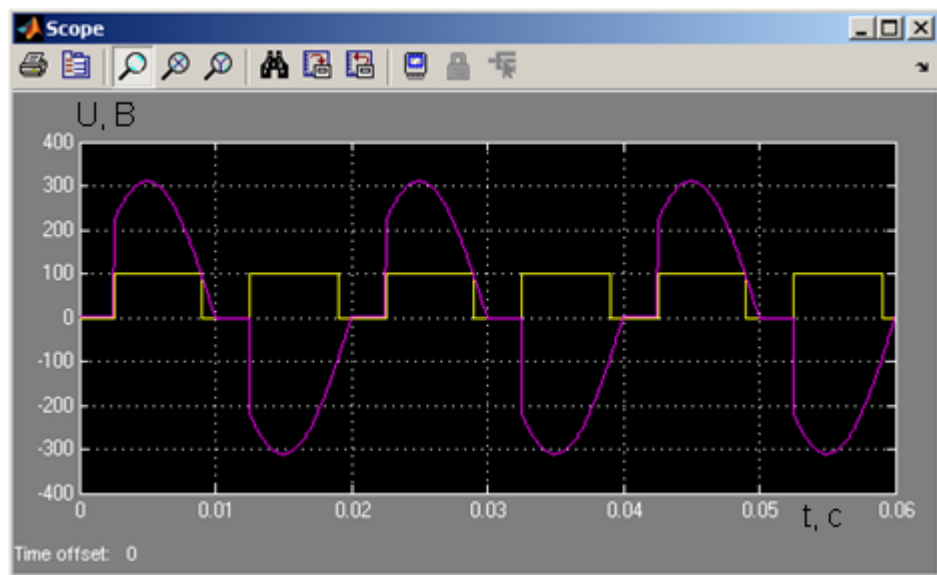


Рисунок 31 - Графики напряжения на нагрузке и управляющих импульсов

### 3.2.3. Создание трехфазного ТРН

Для создания трехфазного тиристорного регулятора напряжения соберем схему, изображенную на рис. 32. Схема трехфазного ТРН, построенного в программной среде MATLAB, изображена на рис. 32.

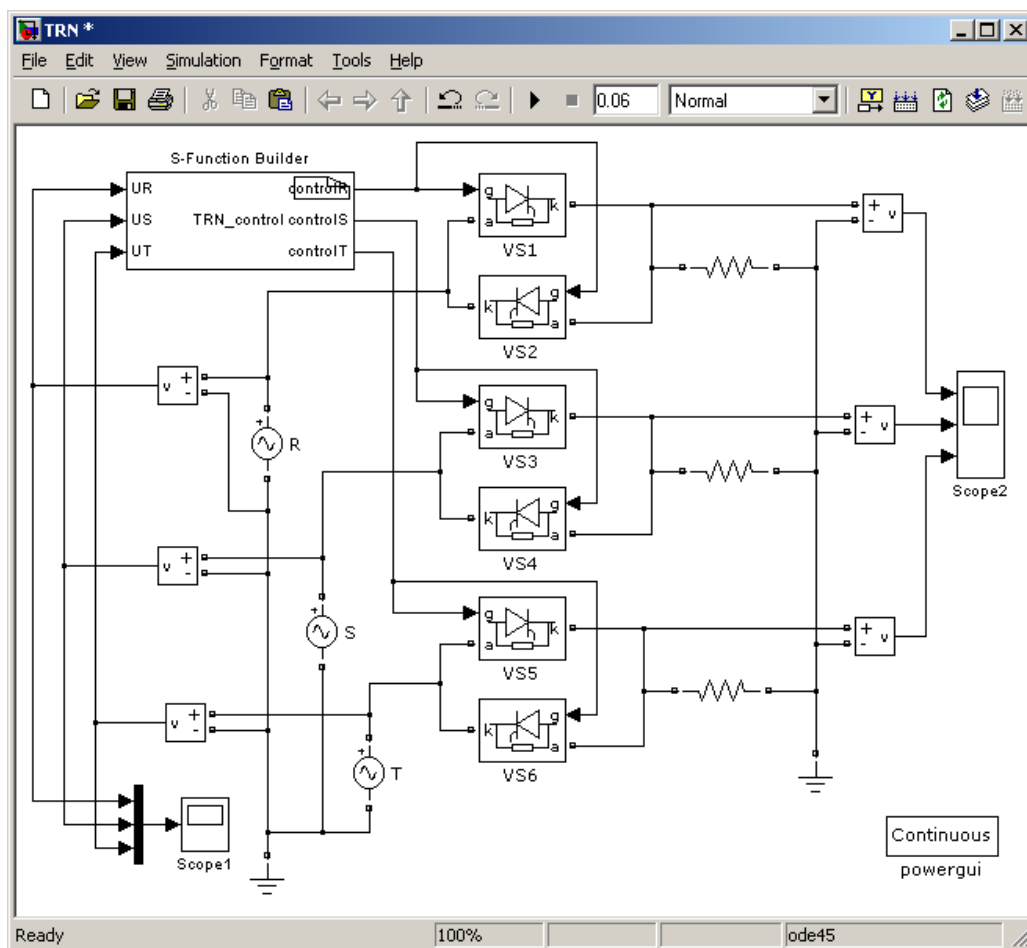


Рисунок 32 - Схема трехфазного ТРН

Фазы источника трехфазного напряжения должны быть сдвинуты на 120 град. друг относительно друга. Для этого в фазе S выставляем угол Phase – 240, а в фазе T – 120 град, тогда получим прямую последовательность фаз. Убедиться в правильности выставленных параметров можно, открыв осциллограф Scope1. Результаты представлены на рис. 33.

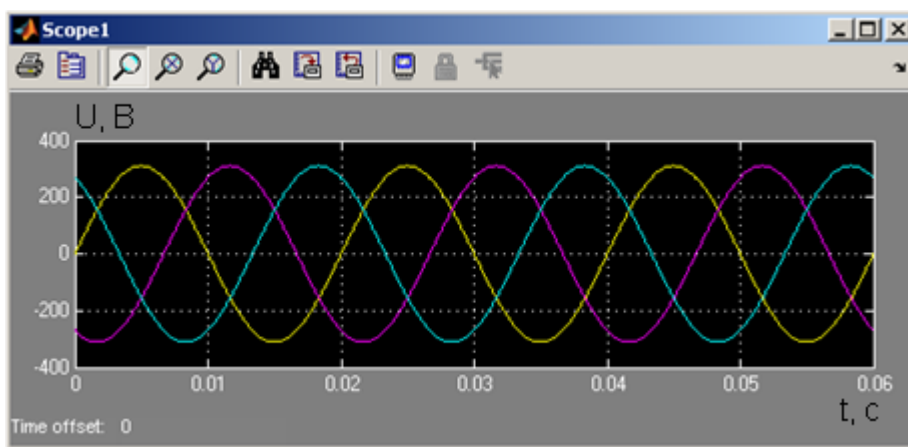


Рисунок 33 - Напряжение трехфазного источника RST

Далее, необходимо в S-функцию добавить входные и выходные переменные еще для двух фаз: US, UT и controlR, controlT соответственно. Добавлять переменные можно в закладке Data Properties окна настройки S-функции. После этого появятся дополнительные порты у блока S-function Builder, после чего можно соединить элементы.

Далее, программу нужно дополнить для оставшихся фаз. Управление каждой фазой напряжения должно быть независимое, поэтому сделаны три управляющих выхода, в то же время принцип управления всеми тремя фазами одинаков.

Полный текст программы для трехфазного тиристорного регулятора напряжения представлен ниже:

```
//объявления переменных

unsigned static pilaR = 0, pilaS = 0, pilaT = 0, alpha = 30;
int static prevUR = 0, prevUS = 0, prevUT = 0;

//создание бесконечно-нарастающего сигнала с шагом 1

pilaR++;

pilaS++;

pilaT++;

//алгоритм нахождения переходов через ноль

if (((prevUR <= 0) && (UR[0] > 0)) || ((prevUR >= 0) && (UR[0] < 0)))
    pilaR = 0;

if (((prevUS <= 0) && (US[0] > 0)) || ((prevUS >= 0) && (US[0] < 0)))
    pilaS = 0;

if (((prevUT <= 0) && (UT[0] > 0)) || ((prevUT >= 0) && (UT[0] < 0)))
    pilaT = 0;

//запоминаем текущее значение напряжения

prevUR = UR[0];


prevUS = US[0];
```

```

prevUT = UT[0];
//создаем импульс управления для R
if ((pilaR >= alpha) && (pilaR <= 160))
    controlR[0] = 100;
else controlR[0] = 0;
//создаем импульс управления для S
if ((pilaS >= alpha) && (pilaS <= 160))
    controlS[0] = 100;
else controlS[0] = 0;
//создаем импульс управления для T
if ((pilaT >= alpha) && (pilaT <= 160))
    controlT[0] = 100;
else controlT[0] = 0;

```

Оператор «++» означает инкрементирование переменной на «1». Запись `pilaR++`; аналогична записи `pilaR = pilaR + 1`; Дополнительно введена переменная `alpha`, которая будет отвечать за угол управления  $\alpha$ , который является одинаковым для всех фаз.

Настроим осциллограф Score2, для возможности вывода трех графиков в одном окне. Для этого необходимо открыть окно настроек осциллографа, нажав на кнопку Parameters . В поле Number of axes нужно вписать число осей, в данном случае «3».

На рис. 34 представлены напряжения на нагрузке для трехфазного ТРН.



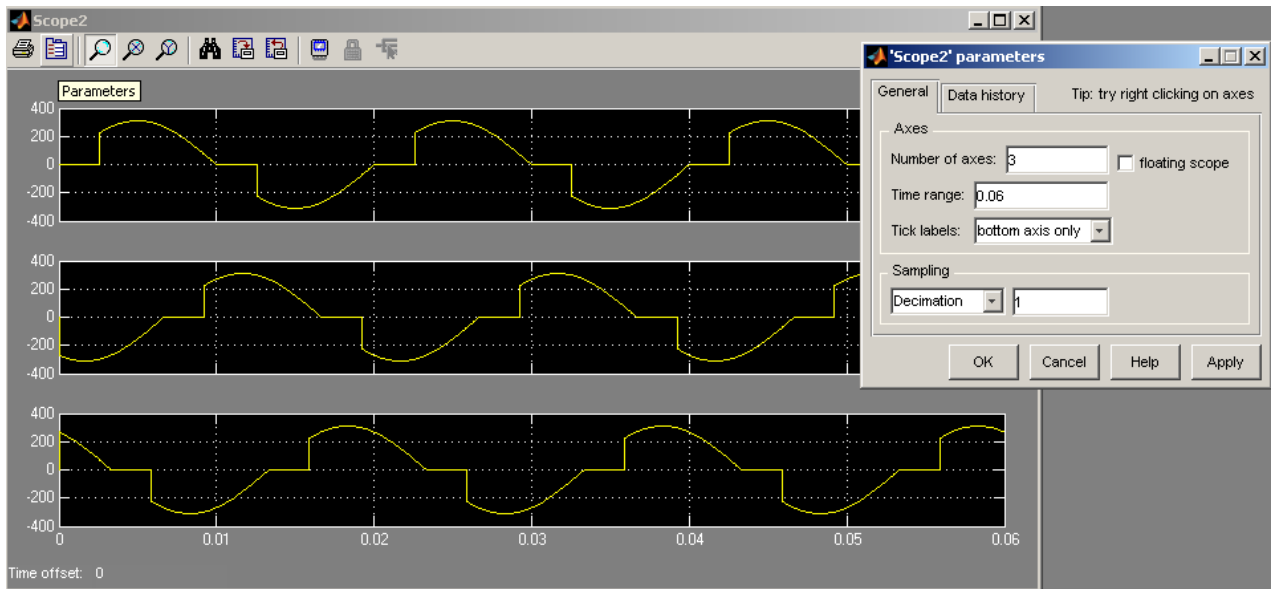


Рисунок 34 - Напряжение на нагрузке

### 3.2.4. Плавное изменение угла управления по заданному закону

Как правило, угол управления  $\alpha$  меняют при работе преобразователя, например, в соответствии с требованиями технологического процесса: регулирование скорости или момента электропривода. В данной работе будем менять угол управления для плавного нарастания напряжения на обмотках двигателя с целью получения плавного пуска асинхронного двигателя. Время пуска электродвигателя будет зависеть от его мощности и от нагрузки на валу. Создадим возможность изменения времени раскрытия угла управления. Для этого необходимо в S-функции создать входную переменную, например, `time_start`, на которую будем подавать время раскрытия угла управления с помощью блока константы, например 0,2 с:

константа: Simulink → Sources → Constant

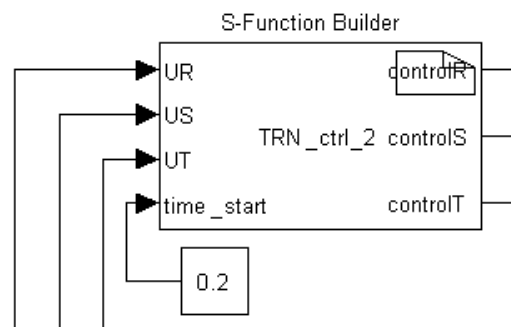


Рисунок 35 - Время раскрытия угла управления

Далее необходимо внести изменения в программу для обработки переменной `time_start`. Для плавного раскрытия угла управления будем изменять его в пределах от 160 град (на выходе малое напряжение) до 10 град (на выходе большое напряжение). Данные пределы угла `alpha` выбраны с небольшим запасом от точки перехода через ноль. Это сделано для исключения возможности подачи импульса за пределами текущей полволны напряжения.

Программа в S-функции обрабатывается 18000 раз в секунду, а угол `alpha` надо изменить от 160 до 10 град, т.е. 150 раз. При этом изменение угла надо сделать в течение заданного промежутка времени, в нашем случае 0,2 с. Для решения этой задачи вводим задерживающий таймер, чтобы угол открывать с задержкой. Необходимо объявить новую переменную следующим образом:

```
unsigned static timer_st = 0;
```

Далее, необходимо внести следующий текст программы. Его можно расположить вначале нашей программы:

```
if (timer_st++ > (18000*time_start[0]/150))
{
    alpha--;
    timer_st = 0;
}
if (alpha > 160) alpha = 160;
if (alpha < 10) alpha = 10;
```

Суть этой части программы в следующем: каждый такт программы мы увеличиваем таймер `timer_st` на «1». И если таймер достиг некоторого числа (таймаут), то мы уменьшаем угол на «1» и обнуляем таймер. Таймаут рассчитываем исходя из числа операций в секунду 18000, умножаем на количество секунд заданных блоком `Constant`, и делим на количество операций, которое надо будет сделать:  $160 - 10 = 150$ .

Последние две строчки предотвращают выход переменной `alpha` за обозначенные пределы: 10 и 160 град. После компиляции и запуска

процесса моделирования, получим переходный процесс. Графики для одной фазы представлены на рис. 36.

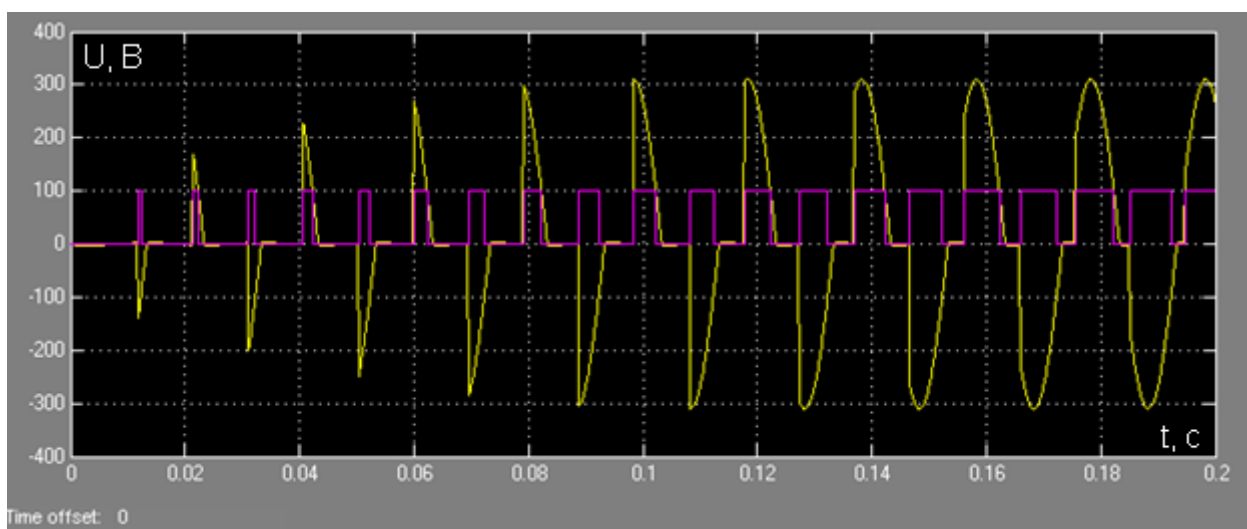


Рисунок 36 - Напряжение на нагрузке и импульсы управления при плавном изменении угла управления во времени

На рис. 36 прослеживается изменение длительности импульса во времени, а также изменение напряжения на нагрузке. За 0,2 с происходит полное раскрытие фазного напряжения.

При повторном запуске процесса моделирования, плавного раскрытия угла тиристоров не произойдет. Для повторного раскрытия угла тиристоров необходимо снова сбросить угол управления в начальное значение, а для этого нужно снова скомпилировать S-функцию.

### 3.2.5. Прямой пуск асинхронного двигателя

При плавном пуске асинхронного двигателя уменьшается бросок тока, колебания момента, что благоприятно сказывается на механизме, который находится на валу электродвигателя. Для подтверждения этих фактов произведем сначала прямой пуск асинхронного двигателя от сети. Для этого необходимо собрать схему, изображенную на рис. 21.

Для сбора схемы на рис. 37 нам понадобятся следующие блоки:

асинхронный двигатель: SimPowerSystems → Machines → Asynchronous Machine SI Units

Bus Selector: Simulink → Signal Routing → Bus Selector

Фазные обмотки статора необходимо подключить к сети переменного тока RST. Далее введем параметры асинхронного двигателя в окне настроек (рис.38):

Во вкладке Configuration выберем типа ротора (Rotor type) – короткозамкнутый (Squirrel cage). Во вкладке Parameters (рис. 38) вводим параметры схемы замещения асинхронного двигателя, марка которого выбрана ранее. Параметры схемы замещения можно рассчитать, используя известные методики, например: Чернышев А.Ю., Чернышев И.А., Дементьев Ю.Н. Электропривод переменного тока, Томск: Изд-во ТПУ, 2009. - 57 с.

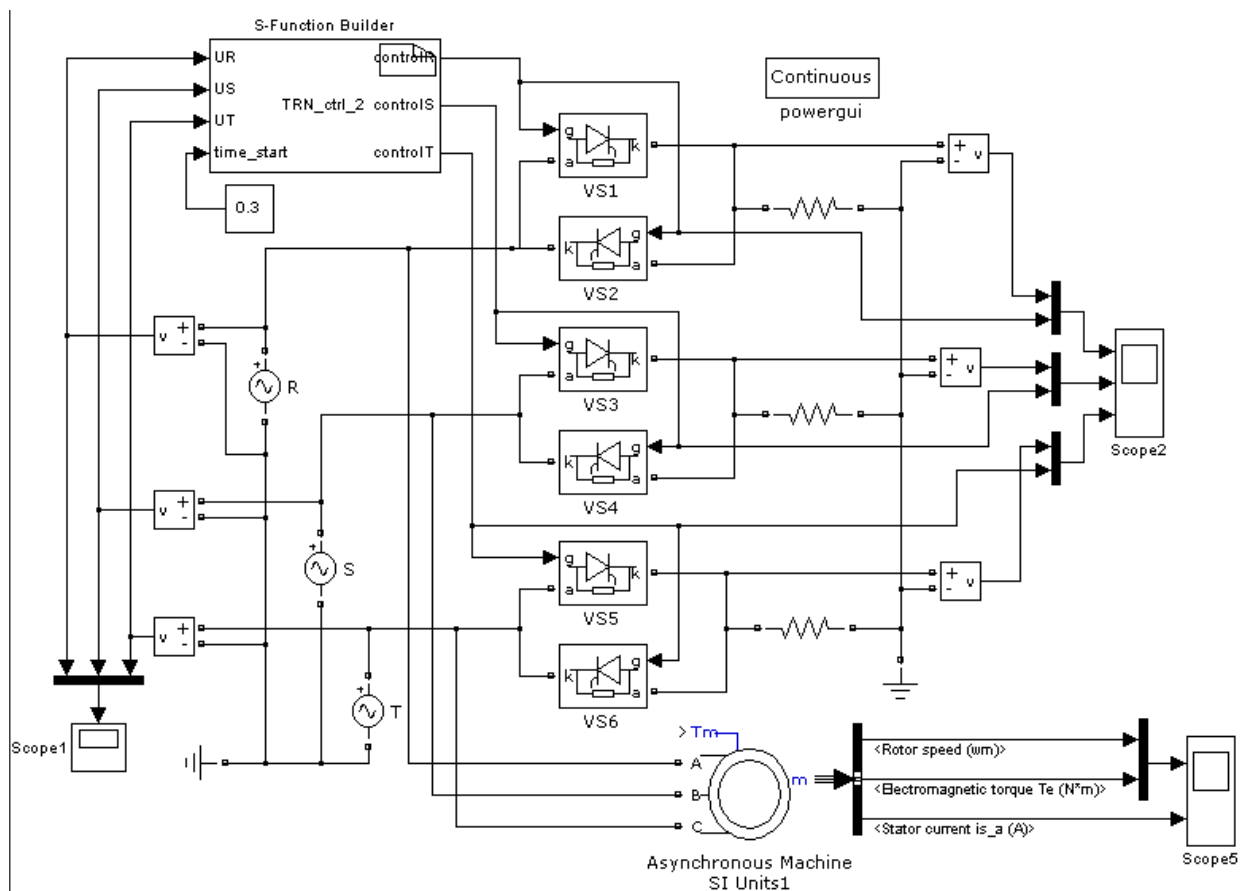


Рисунок 37 - Схема в Matlab для прямого пуска асинхронного двигателя

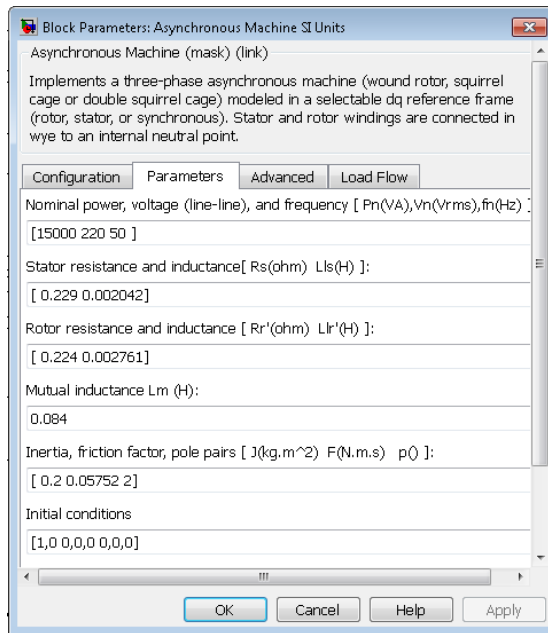


Рисунок 38 - Настройки блока Asynchronous Machine SI Units

Вводим следующие параметры:

$R_s$  – активное сопротивление статорной обмотки, Ом;

$L_{ls}$  – индуктивность рассеяния статорной обмотки, Гн;

$R_r'$  – активное сопротивление ротора, Ом;

$L_{lr}'$  – индуктивность рассеяния ротора, Гн;

$L_m$  – взаимная индуктивность, Гн;

$J$  – момент инерции, кг·м<sup>2</sup>;

$p$  – число пар полюсов.

Далее, настроим блок Bus Selector, который позволяет вывести требуемые параметры асинхронного двигателя. Выведем на графике следующие параметры: скорость вращения вала двигателя, электромагнитный момент и ток в фазе статора. Окно настройки блока Bus Selector представлено на рис. 39.

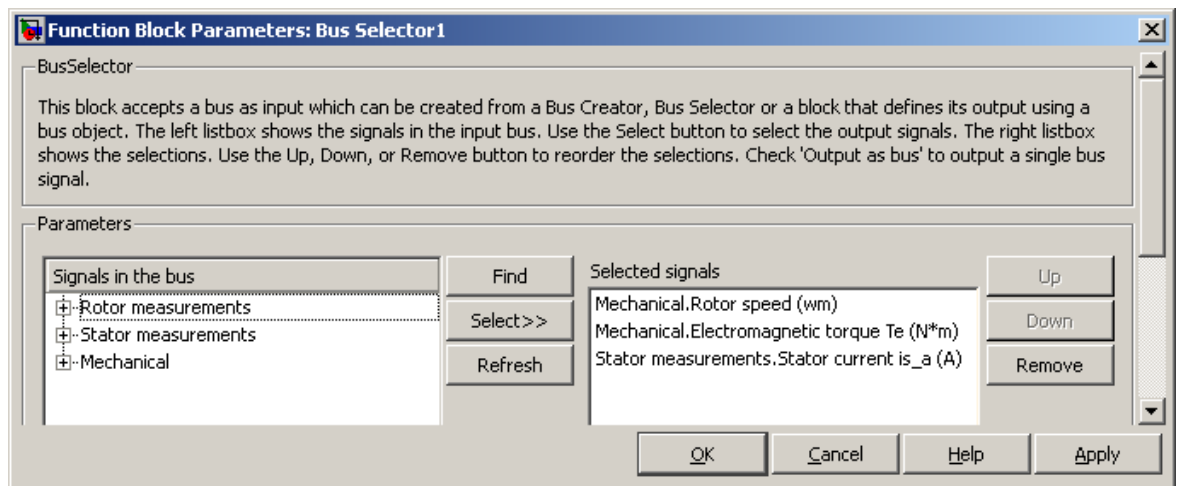


Рисунок 39 - Настройка блока Bus Selector

После настройки всех блоков можно запускать процесс моделирования. На осциллографе Score5 представлены момент и скорость двигателя на верхнем графике, и ток фазы статора на нижнем. Время пуска двигателя составило примерно 0,4 с, поэтому весь процесс моделирования был запущен на время 0,8 с, чтобы видеть всю картину переходного процесса. Необходимо подобрать время моделирования в вашем случае таким, чтобы весь переходный процесс уместился на графике, аналогично рис. 40. В зависимости от мощности двигателя, время пуска будет отличаться. Но в любом случае скорость должна выйти на установившееся значение, в данном случае скорость будет стремиться выйти на значение скорости идеального холостого хода:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3.14159 \cdot 50}{2} = 157.08$$

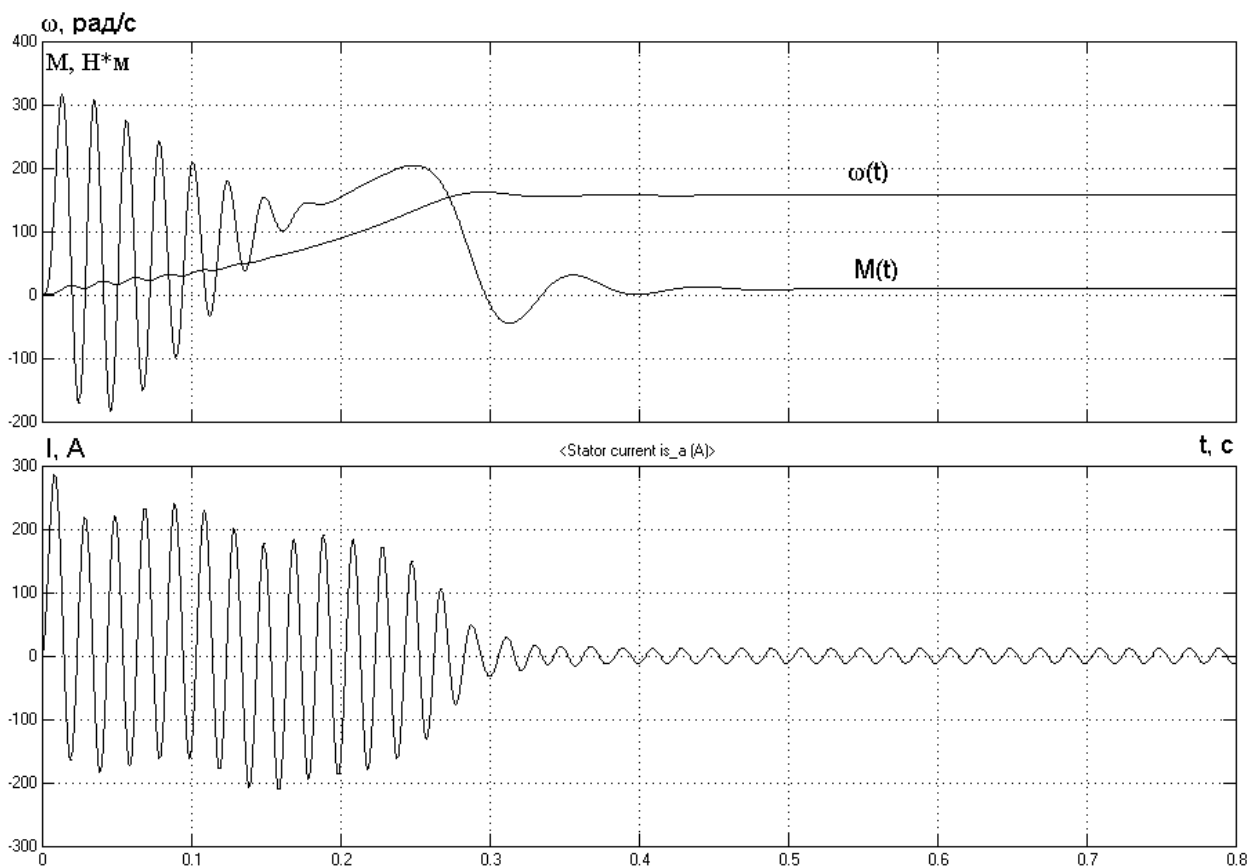


Рисунок 40 - Прямой пуск асинхронного двигателя от сети

Анализ полученных графиков показал, что пуск АД сопровождается броском тока примерно до 280 А и большими колебаниями момента.

### 3.2.6. Плавный пуск асинхронного двигателя

Соберем в программной среде MATLAB систему ТРН-АД для получения плавного пуска асинхронного двигателя. Для этого из предыдущей схемы рис. 21 удалим нагрузку, состоящую из трех активных сопротивлений, и подключим к выходу тиристорного преобразователя асинхронный двигатель с уже введенными данными.

Зная время пуска асинхронного двигателя от сети, полученное в предыдущем разделе, вставим его в блок Constant, тем самым заставим открываться тиристоры за время пуска двигателя, в данном случае 0,4 с.

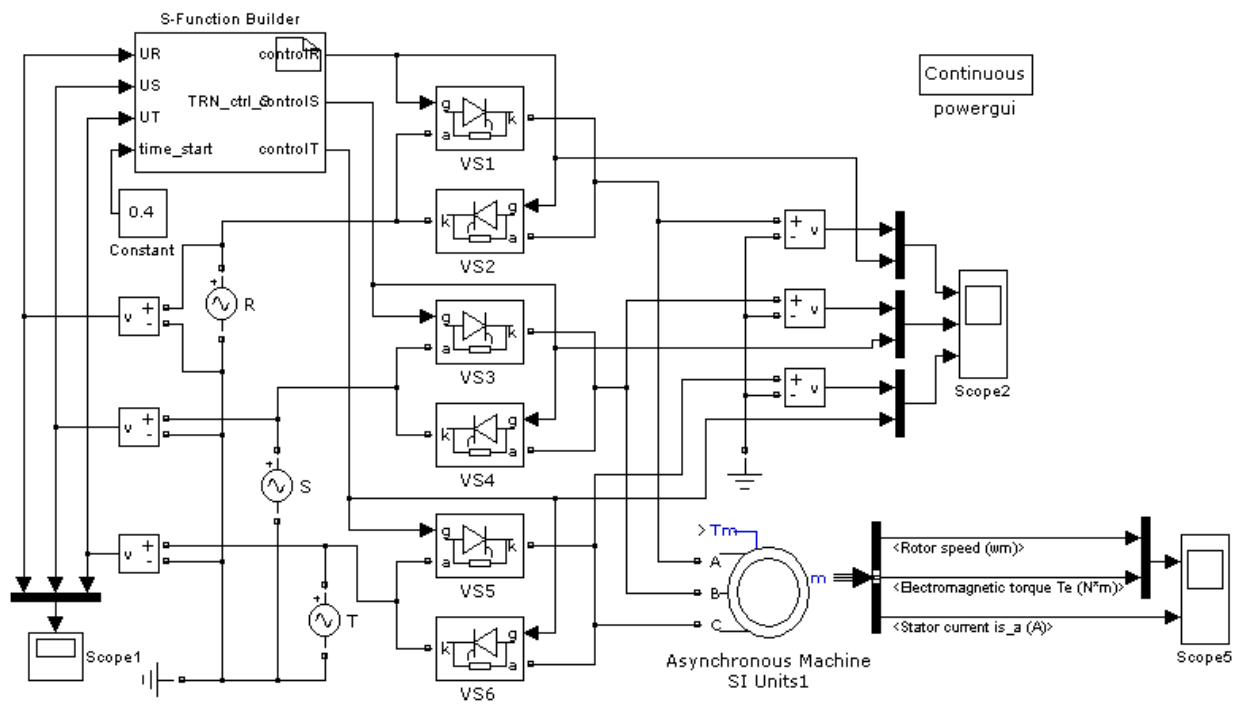


Рисунок 41 - Схема системы ТРН-АД в программной среде MATLAB

Графики скорости, момента и тока при наличии системы ТРН-АД представлены на рис. 42. Как видно из графиков пусковой ток держится примерно на уровне 200 А, что означает, что ток при пуске от ТРН упал примерно на 20 %, по сравнению с прямым пуском.

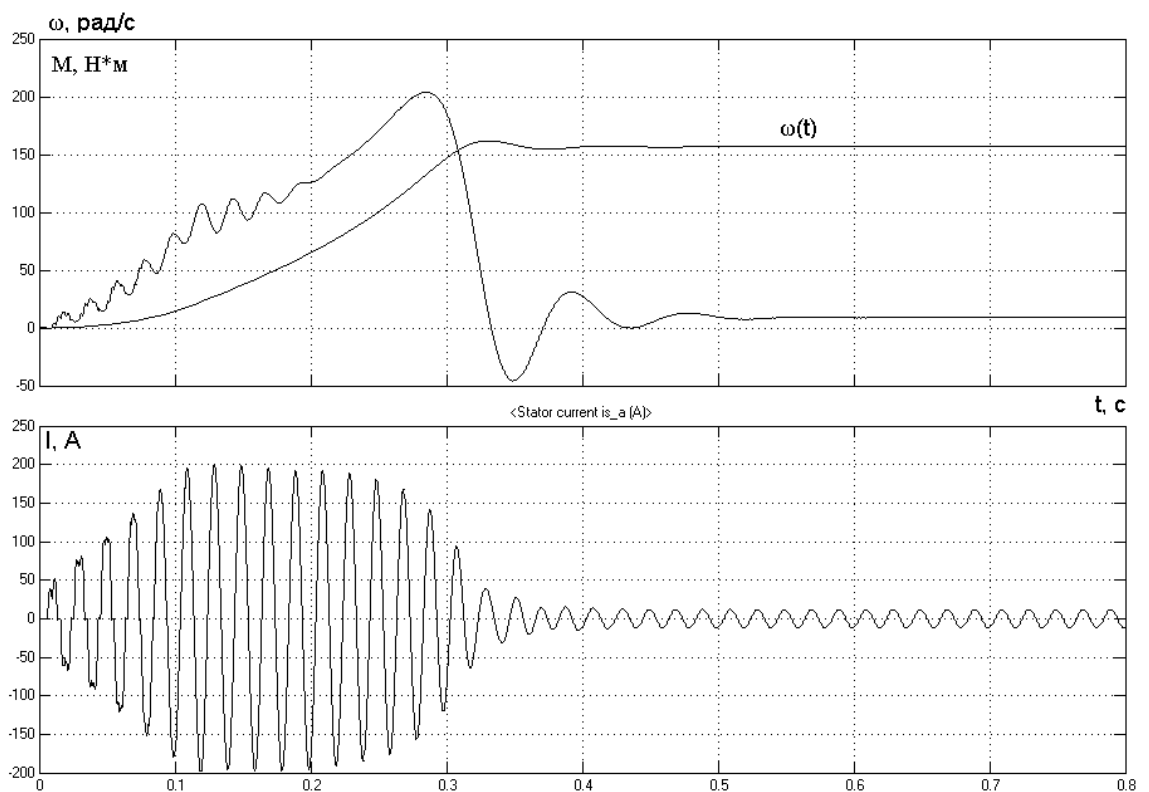


Рисунок 42 - Плавный пуск асинхронного двигателя от ТРН



### 3.3 Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя с помощью системы ТРН-АД

Зачастую, технологический процесс требует изменение частоты вращения исполнительного органа электропривода. Обычно для этих целей используют свойства самого электродвигателя. Скорость вращения асинхронного двигателя можно найти из выражения

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60f_1(1 - s)}{p},$$

где  $n$  – скорость вращения АД,

$s$  – скольжение АД,

$f_1$  - частота питающего напряжения,

$p$  – число пар полюсов АД.

Из этого равенства следует, что изменять угловую скорость можно тремя способами: изменением частоты  $f_1$ , числа пар полюсов  $p$  и скольжения  $s$ . Частоту вращения ротора в принципе можно регулировать изменением напряжения питания  $U_1$ . Однако с увеличением  $U_1$  появляется опасность превышения допустимой температуры нагрева двигателя, а с уменьшением  $U_1$  уменьшается перегрузочная способность двигателя. Так же при таком способе регулирования глубина регулирования скорости относительно небольшая.

Несмотря на это, можно с достаточным качеством регулировать частоту вращения асинхронного двигателя с помощью изменения величины питающего напряжения, имея соответствующий преобразователь электрической энергии (ТРН) и качественную систему управления для него.

В данной работе реализован именно такой способ регулирования скорости вращения АД.

Для получения возможности регулировать скорость вращения АД, была построена схема системы ТРН-АД с обратной связью по скорости. Данная схема изображена на рисунке 43.

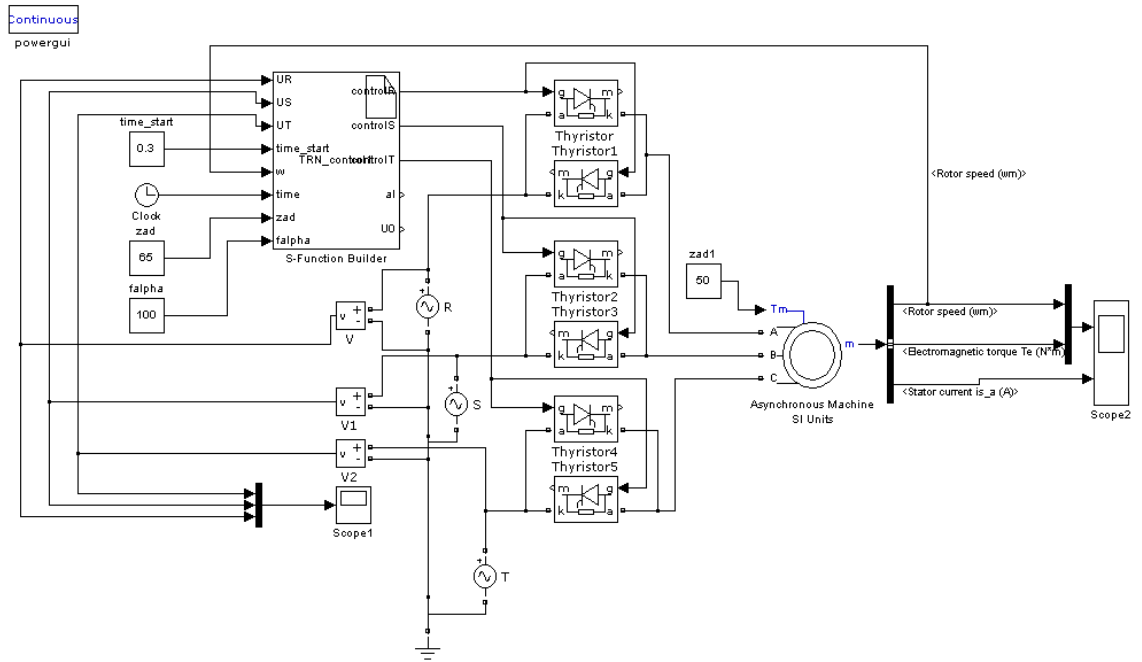


Рисунок 43 - Схема системы ТРН-АД с возможностью регулирования угловой скорости АД

Полный текст программы для системы управления ТРН с возможностью регулирования скорости приведен ниже:

```
//Задание переменных
unsigned static timer_st = 0;
unsigned static pilaR = 0, pilaS = 0, pilaT = 0, alpha = 110;
int static prevUR = 0, prevUS = 0, prevUT = 0, a;

if (time[0] < 0.42)
{
    if (timer_st++ > (18000*time_start[0]/150))
    {
        alpha--;
        timer_st = 0;
    }
    a=0;
}

if (time[0] > 0.42)
{
    if (timer_st++ > falpha[0])
    {
        timer_st = 0;
        if (w[0] > zad[0])
            alpha = 100;
        if (w[0] < zad[0])
            alpha = 10;
        a=1;
    }
}
}
```

```

if (alpha > 100) alpha = 100;
if (alpha < 10) alpha = 10;

//Создание бесконечно нарастающего сигнала с шагом 1
pilaR++;
pilaS++;
pilaT++;

//Нахождение переходов через 0
if (((prevUR <= 0) && (UR[0]> 0)) || ((prevUR >= 0) && (UR[0] < 0)))
    pilaR = 0, U0[0] = time[0];
if (((prevUS <= 0) && (US[0]> 0)) || ((prevUS >= 0) && (US[0] < 0)))
    pilaS = 0;
if (((prevUT <= 0) && (UT[0]> 0)) || ((prevUT >= 0) && (UT[0] < 0)))
    pilaT = 0;

//Запоминаем текущее значение напряжени
prevUR = UR[0];
prevUS = US[0];
prevUT = UT[0];

//создаем импульс управления для R
if ((pilaR >= alpha) && (pilaR <= 160))
    controlR[0]=100;
else controlR[0]=0;

//создаем импульс управления для S
if ((pilaS >= alpha) && (pilaS <= 160))
    controlS[0]=100;
else controlS[0]=0;

//создаем импульс управления для T
if ((pilaT >= alpha) && (pilaT <= 160))
    controlT[0]=100;
else controlT[0]=0;

al[0] = alpha;

```

Алгоритм работы данного блока делится на два этапа: плавный пуск АД и регулирование скорости АД. Суть работы алгоритма для первого этапа была описана выше. Второй этап же работает по следующей логике. На блок ТРН подается задание на скорость вращения электродвигателя. При превышении заданного значения скорости, система управления ТРН меняет текущее значения угла правления  $\alpha$  на 100, уменьшая тем самым напряжение на обмотках асинхронного электродвигателя. Скорость асинхронного электродвигателя начинает падать. В тот момент времени, когда скорость АД стала меньше заданной, система управления ТРН меняет значение угла управления  $\alpha$  на 10, подавая максимальное напряжение на обмотки АД. Скорость двигателя начинает возрастать.

Таким образом, происходят колебания скорости АД около заданного значения.

На рисунке 44 приведены графики зависимости скорости, тока и момента АД при задании на скорость 100 рад/с и на 3 рад/с.

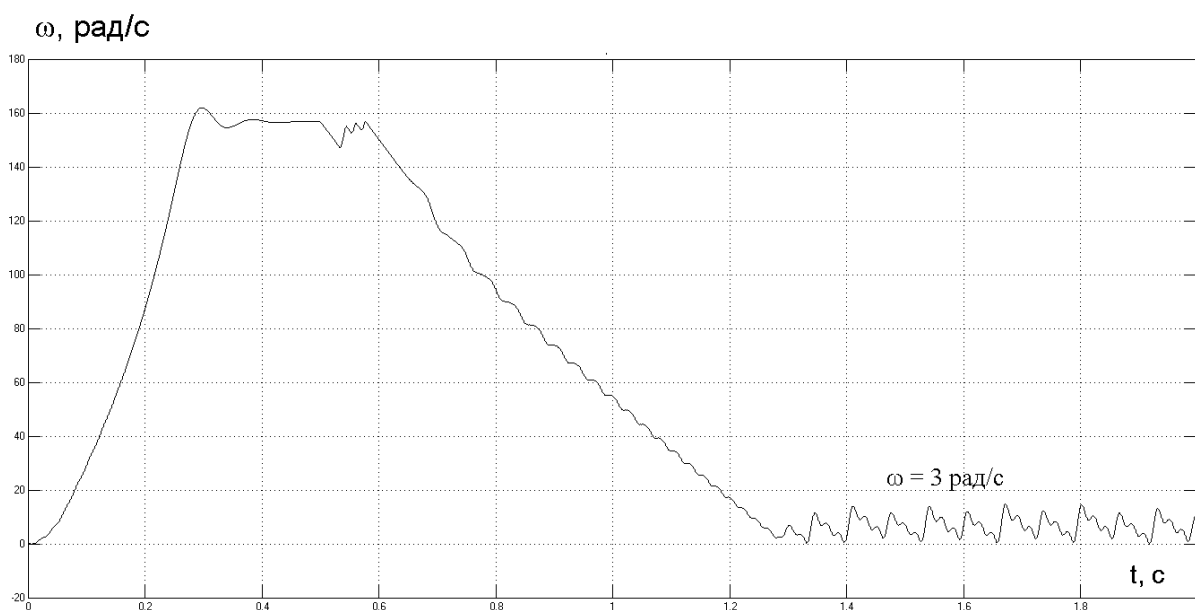
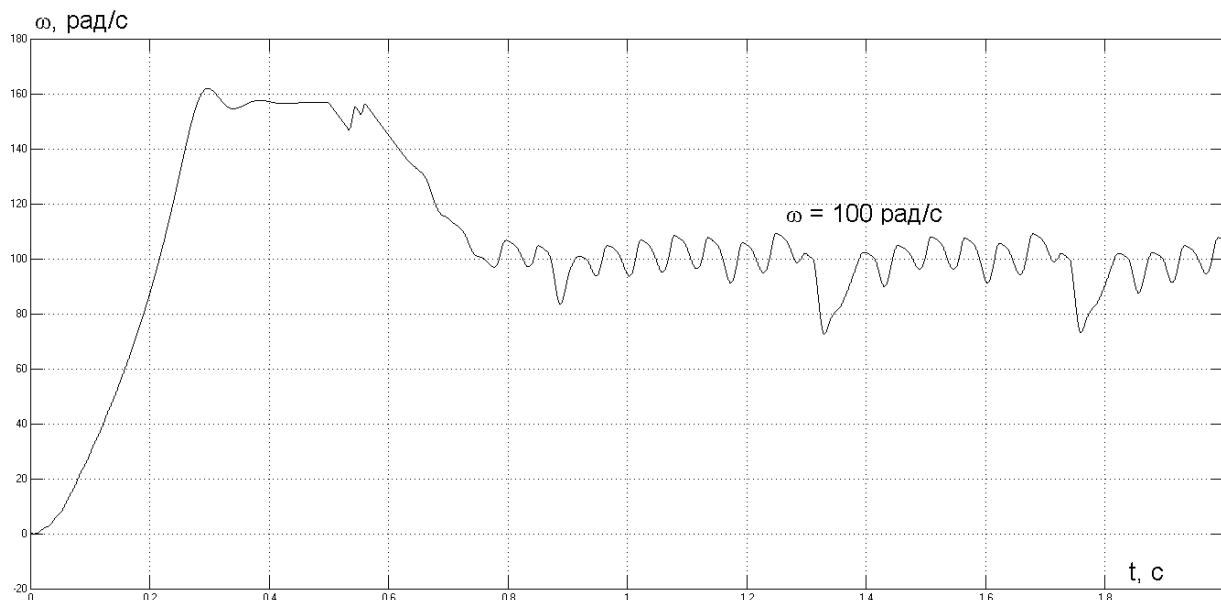


Рисунок 44 – Графики переходных процессов скорости АД при задании на скорость 100 рад/с и 3 рад/с

Из рисунка 44 можно сделать вывод о том, что диапазон регулирования скорости в построенной системе составляет 1:50.

Из переходного процесса скорости видно, что величина скорости вращения АД колеблется около заданного значения. Величина отклонения от заданной скорости зависит от нескольких факторов.

Например, от того, как часто программа обращается к фактическому значению скорости, чтобы подать управляющие сигналы на уменьшение или увеличение значения угла управления. За это отвечает переменная “ $\alpha$ ”. Чем эта переменная меньше, тем чаще программа обращается к текущему значению скорости и, соответственно, тем быстрее программа может отреагировать на отклонение фактического значения скорости от заданного. Эта переменная необходима для того, чтобы подобрать модель энкодера для построения реальной системы ТРН-АД с возможностью регулирования частоты вращения АД. В частности, по значению переменной “ $\alpha$ ” можно судить о количестве меток на оборот диска энкодера. Важно подобрать минимальное количество меток, чтобы частота обращения к фактическому значению скорости была достаточной для оптимального поддержания заданной скорости вращения АД.

Так же величина отклонения фактической скорости от заданной зависит от величины управляющего воздействия. В данном случае, управляющим воздействием будет служить угол управления  $\alpha$ . Как видно из кода программы, при превышении скоростью величины задания, система управления меняет значение угла управления на  $100^\circ$ . А в том случае, если скорость становится меньше заданного значения, система управления меняет значение угла управления на  $10^\circ$ . Углы управления в разных случаях могут быть разными, от этого будет зависеть величина напряжения, приложенного к обмоткам статора АД, а следовательно и быстрота отработки отклонения фактического значения скорости от заданной величины.

### **3.4 Вычисление момента на валу АД**

Для того, чтобы расширить функциональные возможности системы, рассматриваемой в данной работе, можно ввести возможность вычисления момента на валу АД. Необходима эта функция для того, чтобы иметь возможность ограничить момент АД в тех случаях, когда возникает необходимость.

Например, при возникновении на пути затвора задвижки какого-либо препятствия. Это поможет избежать поломки механизма задвижки.

Так же контроль момента необходим и для задания правильной траектории координат электропривода во время движения задвижки (реализация режима срыва и уплотнения задвижки).

Рекомендуемая диаграмма задания величин моментограничения и скорости в зависимости от положения представлена на рис. 45.

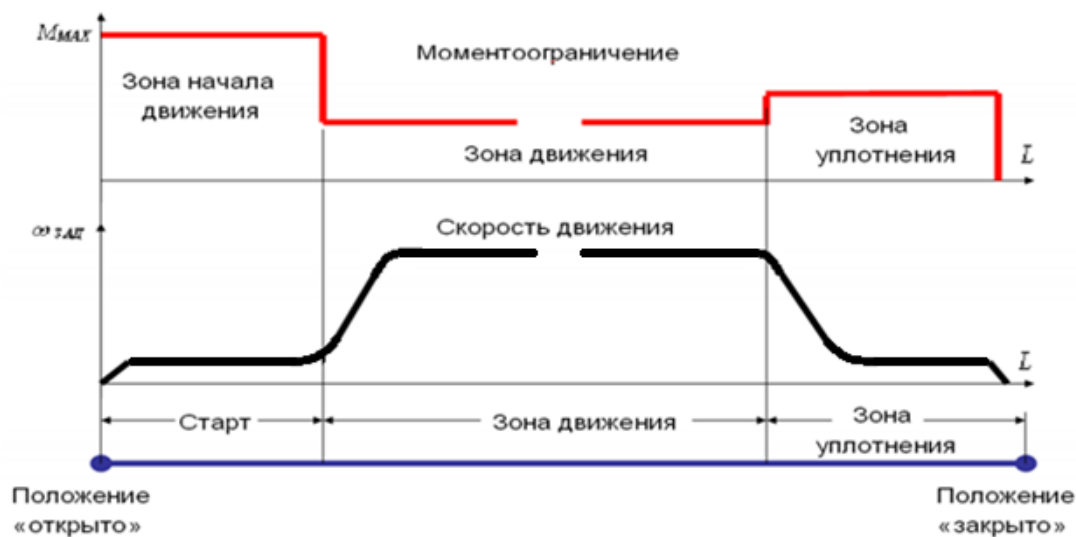


Рисунок 45 – Рекомендуемая траектория скорости и момента электропривода при движении штока задвижки

Задание величины максимально-допустимого момента привода должно выполняться в соответствии с нагрузочной диаграммой, характеризующей работу задвижки (рис. 45). При пуске после выбора зазора необходимо развитие момента, достаточного для преодоления сил сухого трения, а также сил заклинивания запорного органа в седле. После начала движения момент необходимо ограничить на уровне, препятствующем механической деформации корпуса задвижки. При подходе к крайнему положению необходимо сформировать момент, соответствующий паспортному значению уплотнения. В случае, если ограниченный момент электропривода не является достаточным для преодоления момента сопротивления нагрузки, необходимо отключить двигатель и выдать соответствующую сигнализацию.

Описанный алгоритм корректно работает при определенных крайних положениях, в которые можно переместить запорный орган, и является основным эксплуатационным режимом. Определение крайних положений является весьма важным фактором нормальной эксплуатации электропривода. Основное назначение фиксации крайних положений - корректное предоставление информации оператору о состоянии перекрытия задвижки при эксплуатации. Условие останова электропривода и

формирования заданий на момент и скорость движения определяется требованиями к технологическому процессу, и находятся в зависимости от текущего положения штока относительно крайних положений.

Для получения возможности оценивать значение момента, схему, изображенную на рисунке 43 необходимо дополнить двумя блоками. Один из них будет вычислять разность фаз между током и напряжением АД, второй – непосредственно вычислять момент на валу АД.

Принцип оценки момента электродвигателя построен на вычислении разности фаз между напряжением и током АД. Так же система должна отталкиваться от значения самого тока в одной из фаз АД. Таким образом, зная значение разности фаз между напряжением на обмотке статора и током в фазе статора, а так же значение самого тока в фазе статора, можно оценивать значение момента на валу АД.

На рисунке 46 приведена схема системы ТРН-АД с возможностью оценки момента АД.

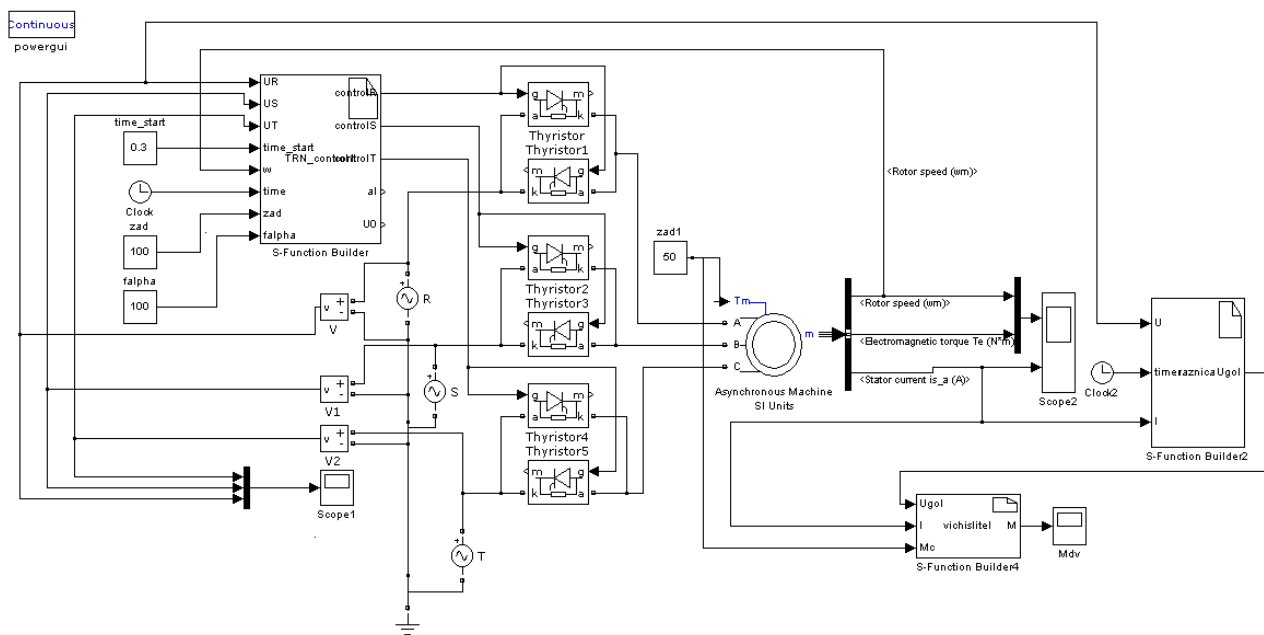


Рисунок 46 – Схема системы ТРН-АД с возможностью оценки момента АД

С помощью данной модели были проведены эксперименты, в ходе которых были выявлены зависимость момента нагрузки от разности фаз между напряжением на обмотке статора и током в фазе статора (рисунок 48), а так же зависимость момента нагрузки от тока в фазе статора (рисунок 47).

На рисунке 47 приведена зависимость момента АД от тока.

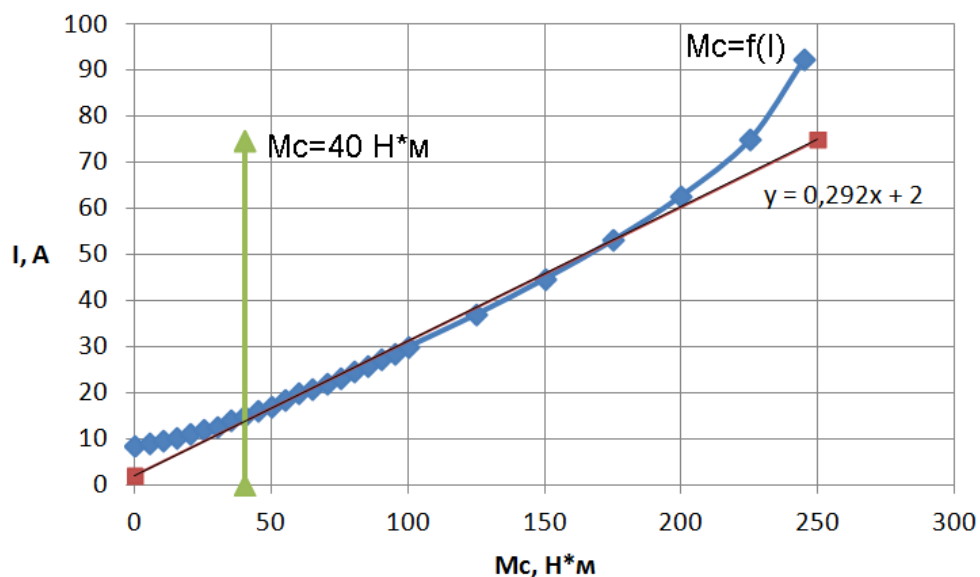


Рисунок 47 – Зависимость тока в фазе от нагрузки на АД

На рисунке 48 приведена зависимость момента АД от разности фаз между током и напряжением.

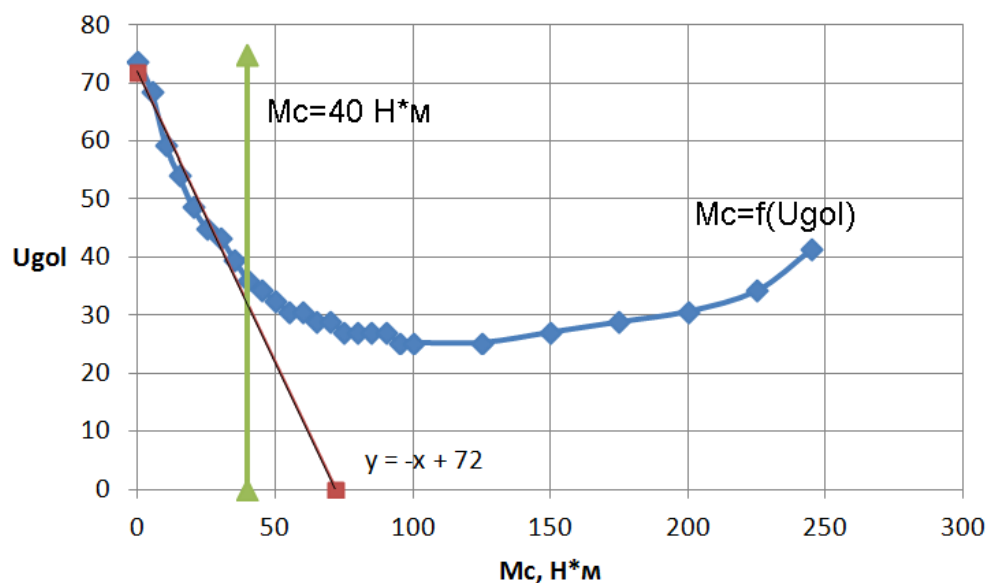


Рисунок 48 – Зависимость разности фаз между током и напряжением от нагрузки на АД

Как видно из рисунка 48, после момента нагрузки в 40 Н\*м разность фаз между током и напряжением меняется не значительно. Поэтому при нагрузке на АД момента больше, чем 40 Н\*м, будем оценивать значение момента на валу по току в фазе электродвигателя.



Для упрощения поставленной задачи линеаризуем зависимости момента АД от тока и разности фаз между током и напряжением. Полученные зависимости отображены на рисунках 47 и 48. Так же рядом подписаны математические выражения для данных зависимостей.

Разберем работу блока определения разности фаз между током и напряжением АД и блока определения момента на валу АД.

Блок определения разности фаз (“raznica” на рисунке ) построен на основе блока S-Function Builder и содержит в себе следующий код:

```
int static prI = 0, prU = 0;
int static U_t = 0, I_t = 0, delta, timerr = 0, I_t_temp = 0;

if ((prI <= 0) && (I[0] > 0))
{
    I_t_temp = timer[0]*360/0.02;
    timerr=0;
}
timerr++;
if (timerr > 18000*0.02/150)
    I_t = I_t_temp;

if ((prU <= 0) && (U[0] > 0))
{
    U_t = timer[0]*360/0.02;
}

prI = I[0];
prU = U[0];
delta = I_t - U_t;
if ((delta > 0) && (delta < 100))
    Ugol[0] = I_t - U_t;
```

Входными переменными данного блока являются ток АД, напряжение АД и часы. Алгоритм работы заключается в вычислении момента перехода через ноль графиков тока и напряжения. После этого необходимо вычислить лишь разность между полученными значениями и подать полученное значение на выход блока. Это и будет значение разности фаз между током и напряжением АД.

Полученная величина подается на вход блока вычисления момента (“vichislitel” на рисунке ). Так же для этого блока входными переменными будут являться ток АД и момент нагрузки, заданный для АД. Текст программы данного блока приведен ниже.

```
if (Mc[0] <=40)
    M[0] = 72 - Ugol[0];
if (Mc[0] > 40)
    M[0] = (I[0]-2)/0.292;
```

Как было сказано ранее, нагрузка АД до 40 Н·м определяется исходя из значения разности фаз между током и напряжением АД, а при нагрузке более 40 Н·м – по току в фазе АД.

На рисунке 49 приведен график момента на валу АД, полученный при помощи оценки момента.

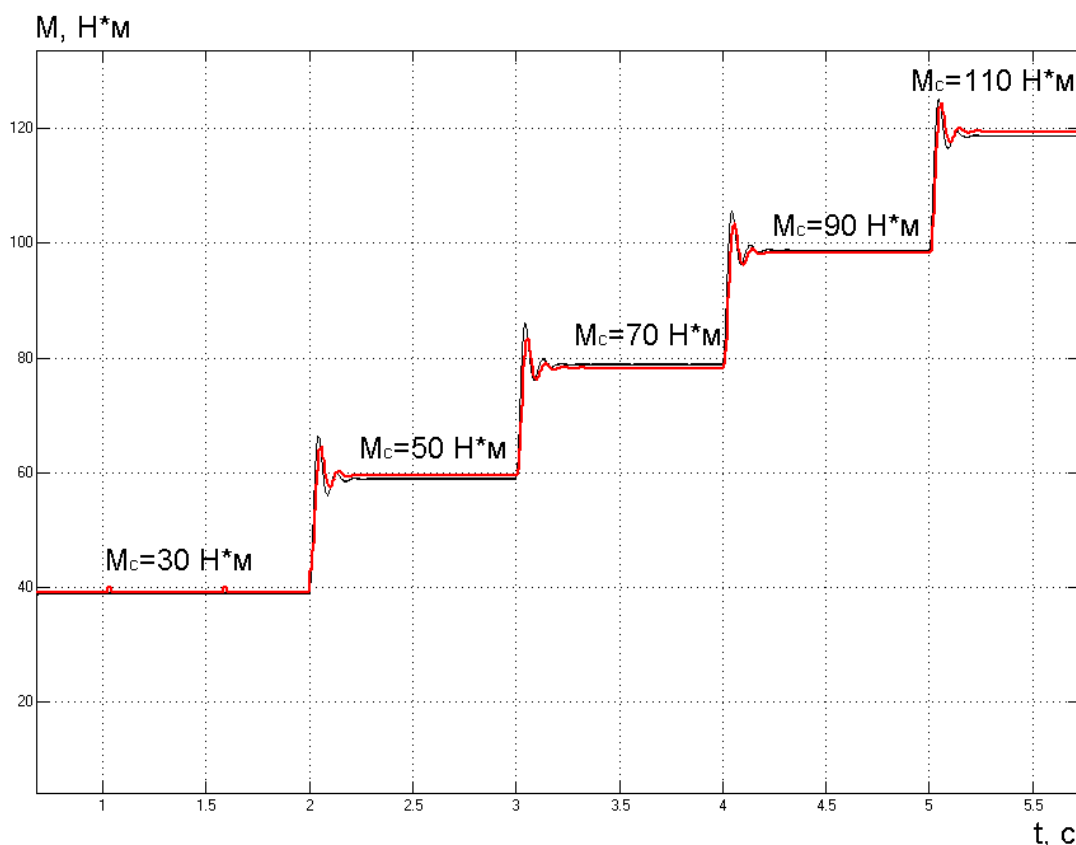


Рисунок 49 – Оценка момента на валу АД

В ходе данного эксперимента был произведен пуск АД под нагрузкой  $M_c = 30 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , с последующим набросом нагрузки  $M_c = 50 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ,  $M_c = 70 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ,  $M_c = 90 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ,  $M_c = 110 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Из рисунка 32 видно, что система вычисляет момент на валу АД с достаточной точностью (погрешность менее 1%).

### 3.5 Динамическое торможение АД

Режим динамического торможение АД осуществляется отключением двигателя от сети переменного тока и подключением его двух статорных обмоток к источнику постоянного тока. Величину постоянного тока можно регулировать при помощи сопротивления  $R_{\Pi}$ .

Схема, с помощью которой реализуется режим динамического торможения, изображена на рисунке 50.

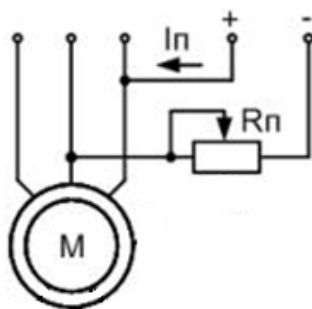


Рисунок 50 - Схема динамического торможения АД

При отключении АД от сети переменного тока, перестает существовать переменное магнитное поле. При подключении АД к источнику постоянного тока, появляется постоянное магнитное поле, которое наводит ЭДС в роторе. Таким образом, в роторе начинает протекать ток, который создает неподвижный относительно статора магнитный поток. Взаимодействие тока ротора и результирующего магнитного поля асинхронного двигателя создает тормозной момент.

Механическая характеристика динамического торможения приведена на рисунке 51.

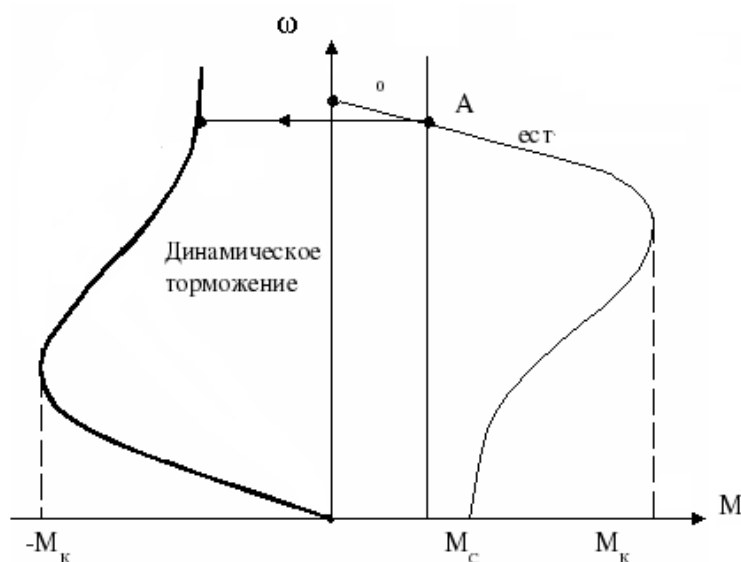


Рисунок 51 - Механические характеристики при динамическом торможении

На рисунке 52 стрелками показан путь протекания тока  $I$ , создающего постоянное магнитное поле, в системе ТРН – АД при динамическом торможении. Одну из фаз ТРН необходимо полностью отключить. То есть тиристоры VS5 и VS6 выводятся из работы. Тиристоры VS1 и VS4 так же

отключаются. Таким образом в фазе С1 проходит только положительная полуволна напряжения, а в фазе С2 – отрицательная.

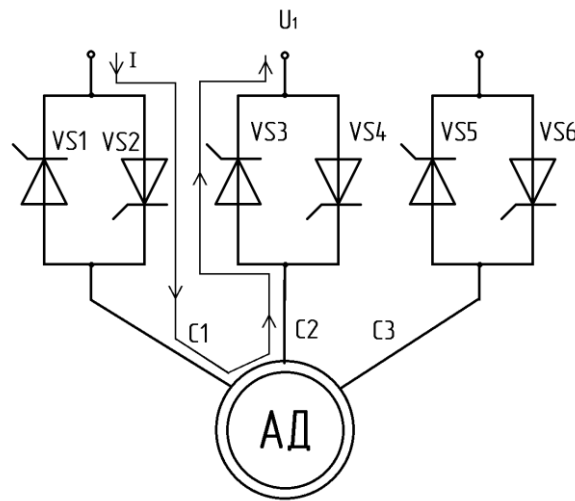


Рисунок 52 - Схема протекания тока при динамическом торможении

Для реализации режима динамического торможения в программной среде MATLAB Simulink необходимо внести определенные коррективы в алгоритм работы ТРН.

В блок, отвечающий за имитацию работы ТРН (S-Function Builder1 на рисунке 51), необходимо добавить следующий код.

Убираем в фазе R отрицательную полуволну напряжения, а в фазе S – положительную полуволну:

```

if (torm[0] > 0.8)
{
    if (UR[0] > 0)
        aR = UR[0];
    else aR = 0;

    if (US[0] < 0)
        aS = US[0];
    else aS = 0;
}

```

Для полученных сигналов aR и aS задается угол управления alpha1, и эти сигналы выводятся на выход блока ТРН. В фазу Т прекращается подаваться напряжение.

```

if (pilaR < alpha1[0])
    controlR[0] = 0;
else controlR[0] = aR;

if (pilaS < alpha1[0])
    controlS[0] = 0;
else controlS[0] = aS;

```

```
controlT[0] = 0;
```

Добавлены новые переменные:  $aR$  и  $aS$  – переменная, необходимая для формирования требуемой формы напряжения на выходе ТРН;  $torm[0]$  – вход блока ТРН, отвечающий за отсчет времени;  $alpha1[0]$  – угол управления, с которым будет осуществляться динамическое торможение ( $170^\circ$ ).

Переменная  $torm[0]$  является счетчиком. При достижении этим счетчиком определенного значения, начинает осуществляться алгоритм динамического торможения двигателя. То есть в фазы R и S начинают подаваться сигналы  $aR$  и  $aS$  соответственно, а на фазу T перестает подаваться напряжение.

На рисунке 53 показаны графики переходных процессов скорости вращения ротора и момента двигателя. При чем в момент времени  $t=0.5$  с происходит наброс нагрузки до значения  $0,46 \cdot M_H$ , а в момент времени  $t=0.8$  с начинается процесс динамического торможения. Угол управления, с которым происходит торможения двигателя, равен  $170^\circ$ .

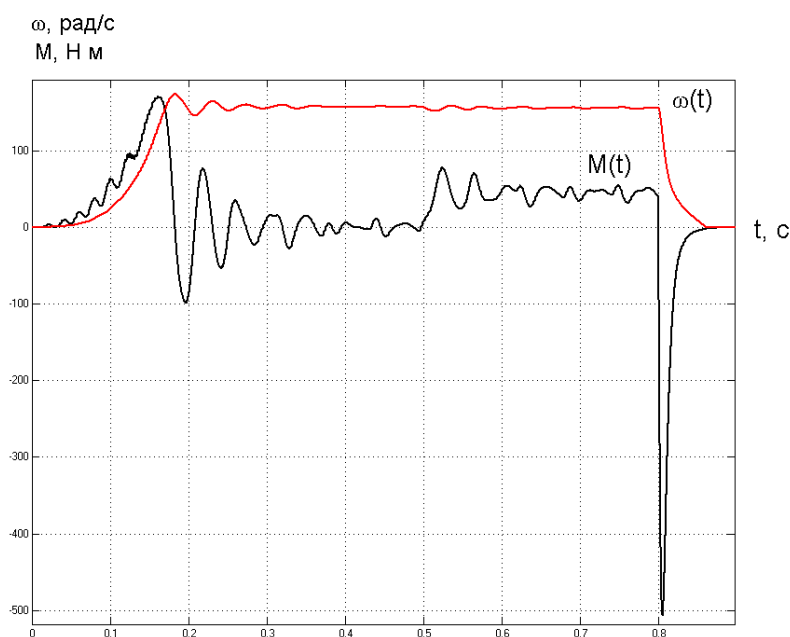


Рисунок 53 – Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя при динамическом торможении

График переходного процесса тока в фазе статора приведен на рисунке 54.

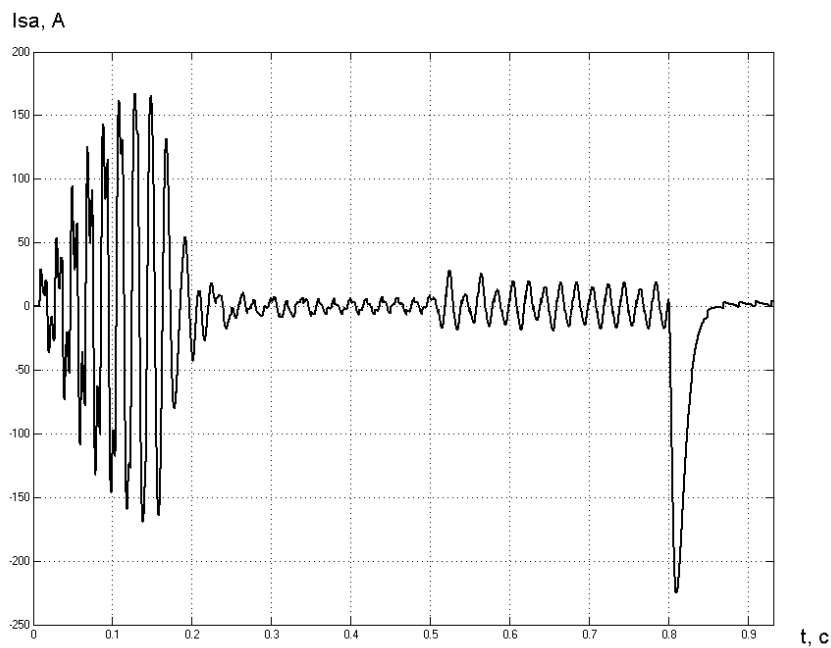


Рисунок 54 - Переходный процесс тока фазы статора

Как видно из полученных результатов, во время динамического торможения в фазах статора возникают большие токи ( $I_{sa} = -255 A$ ). Следствием этого является большой тормозной момент, который позволяет затормозить ротор АД наиболее эффективно.

#### **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

#### **4.1. Предпроектный анализ**

В данной работе объектом исследования является электропривод клиновой задвижки для нефтепровода. Задача нефтепровода - транспортировка нефти от места добычи, то есть нефтепромысла, к предприятию, где эта нефть будет переработана. Отсюда следует, что потенциальными потребителями результатов исследования будут нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие компании.

Преимущества использования задвижек на нефтепроводе очевидны. Задвижка позволит обслуживать отдельные участки нефтепровода, перекрывая поток нефти. Так же с помощью задвижки можно избежать серьезных последствий утечки нефти из нефтепровода.

Для получения возможности удаленно пользоваться задвижками, целесообразно использовать электрический привод в конструкции запорной арматуры. Такое техническое решение позволяет значительно снизить трудозатраты по обслуживанию магистральных трубопроводов. Это обусловлено тем, что отпадает необходимость непосредственного вмешательства человека для закрытия или открытия задвижки. При помощи электропривода можно использовать задвижку, находясь на значительном расстоянии от нее, что актуально в сфере транспортировки нефти и нефтепродуктов. Также применение электропривода в системах запорной арматуры позволяет в определенной мере автоматизировать процесс ремонта и эксплуатации участков нефтепровода.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что потенциальному потребителю выгодно использовать данный продукт.

#### **4.2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

##### **4.2.1. Технология QuaD**

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать



решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (табл. 2).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)x100
1	2	3	4	5	
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Энергоэффективность	0,07	95	100	0,95	6,65
2. Помехоустойчивость	0,12	87	100	0,87	10,44
3. Надежность	0,03	90	100	0,9	2,7
4. Унифицированность	0,11	90	100	0,9	9,9
5. Уровень материалоемкости разработки	0,06	97	100	0,97	5,82
6. Уровень шума	0,03	80	100	0,8	2,4
7. Безопасность	0,01	80	100	0,8	2,4
8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	75	100	0,75	1,5
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	85	100	0,85	3,4
10. Простота эксплуатации	0,04	98	100	0,98	3,92
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	96	100	0,96	4,8
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	100	100	1	6
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	90	100	0,9	3,6
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	70	100	0,7	2,8
3. Цена	0,1	65	100	0,65	6,5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	95	100	0,95	6,65

5. Послепродажное обслуживание	0,03	90	100	0,9	2,7
6. Финансирование научной разработки	0,05	78	100	0,78	3,9
7. Срок выхода на рынок	0,03	71	100	0,71	2,13
8. Наличие сертификации разработки	0,04	80	100	0,8	3,2
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>91,41</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

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

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

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя  $P_{cp}$  получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения.

Технология может использоваться при проведении различных маркетинговых исследований, существенно образом снижая их трудоемкость и повышая точность и достоверность результатов.

По итогам QuaD-анализа разработку можно признать эффективной, так как значение  $P_{cp}$  составило 91,41.

#### 4.2.2. SWOT-анализ

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

Он проводится в несколько этапов.

**Первый этап** заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

1. **Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?
- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?
- Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

2. **Слабые стороны.** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить в каких аспектах вас, возможно, превосходят конкуренты, следует спросить:

- Что можно улучшить?
- Что делается плохо?
- Чего следует избегать?

3. **Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию. Формулирование возможностей проекта можно упростить, ответив на следующие вопросы:

• Какие возможности вы видите на рынке? Проводите поиск свободных ниш, но помните, что свободными они остаются недолго. Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через три месяца. Благоприятные возможности могут возникать в силу действия следующих факторов:

- изменения в технологической сфере и на рынке – как мирового, так и регионального масштаба;
- изменения государственной политики в отношении отрасли, где проводится научное исследование;

- изменения социальных стандартов, профиля населения, стиля жизни и т.д.

- В чем состоят благоприятные рыночные возможности?
- Какие интересные тенденции отмечены?
- Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

4. *Угроза* представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту. Для выявления угроз проекта рекомендуется ответить на следующие вопросы:

- Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?
- Что делают конкуренты?
- Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, задержка финансирования проекта и т.п.)?
- Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?
- Угрожает ли изменение технологии положению вашего проекта?
- Имеются ли у руководства проекта проблемы с материально-техническим обеспечением?

Результаты первого этапа SWOT-анализа представим в табличной форме (табл. 3).

Таблица 3 - Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>          С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.          С2. Экологичность технологии.          С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.          С4. Повышение производительности труда.          С5. Квалифицированный персонал.          С6. Высокий срок эксплуатации.          С7. Надежность данной системы по сравнению с другими.          С8. Высокое качество продукции.          С9. Простота системы управления.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>          Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой          Сл2. Большой срок выхода на рынок          Сл3. Меньший диапазон регулирования электропривода</p>
<p><b>Возможности:</b>          В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ          В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт          В3. Снижение стоимости на электроэнергию          В4. Повышение стоимости конкурентных разработок          В5. Развитие технологий в данной отрасли</p>		
<p><b>Угрозы:</b>          У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.          У2. Развитая конкуренция технологий производства          У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции          У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос.          У5. Появление новых конкурентных разработок.</p>		

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

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

**Второй этап** состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Полученная интерактивная матрица проекта представлена в табл. 4.

Таблица 4 - Интерактивная матрица проекта

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

Результаты анализа таблицы:

B2B3B4C1C6C7C9

B1C2C5C7C8C9

B4C1C5C6C7C8C9

B5C1C3C4C5C6C7C8C9

Продолжение таблицы 4

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	-	-	-
	B3	-	-	-
	B4	-	-	0
	B5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

B5Сл1Сл3

Продолжение таблицы 4

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

У1С5 Результаты анализа таблицы:

У3С1С3С4С6

У2С9

У5С5

Окончание таблицы 4

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	0	0
	У2	-	0	+
	У3	+	+	+
	У4	+	-	+
	У5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

У1Сл1

У2Сл3

У3Сл1Сл2Сл3

У4У5Сл1Сл3

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (табл. 5).



Таблица 5 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.  С2. Экологичность технологии.  С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.  С4.Повышение производительности труда.  С5. Квалифицированный персонал.  ...</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>  Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой  Сл2. Большой срок выхода на рынок  Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ  В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт  В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследованиях  В4. Повышение стоимости конкурентных разработок  В5. Развитие технологий в данной отрасли</p>	<p>B2B3B4C1C6C7C9  B1C2C5C7C8C9  B4C1C5C6C7C8C9  B5C1C3C4C5C6C7C8C9</p>	<p>B5Сл1Сл3</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.  У2. Развитая конкуренция технологий производства  У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции  У4.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос.  У5. Появление новых конкурентных разработок.</p>	<p>У1С5  У3С1С3С4С6  У2С9  У5С5</p>	<p>У1Сл1  У2Сл3  У3Сл1Сл2Сл3  У4У5Сл1Сл3</p>

Таким образом, для более успешной реализации данного проекта необходимо принять следующие меры:

- упростить работу с оборудованием (более подробная инструкция по эксплуатации);
- грамотно спланировать рекламные кампании для более эффективного донесения до потенциальных потребителей преимуществ данного проекта;

- по возможности снизить расходы на изготовления продукта для уменьшения конечной стоимости;

### 4.3. Планирование научно-исследовательских работ

#### 4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в табл.6.

Таблица 6 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер
	6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер
	7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер
	8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь– электродвигатель»	Инженер

	9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Инженер
	10	Оптимизация САР электропривода	Инженер
	11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	13		Инженер
	14		Инженер
	15		Инженер

#### 4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

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

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

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

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 работу на данном этапе, чел.

### 4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

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

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

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сводим в таблицу (табл. 7).

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

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

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

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

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

Таблица 7 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожс}$ , чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		4	
Подбор и изучение материалов по теме		5		8		7		7		11
Описание объекта автоматизации (модернизации)		3		4		4		4		7
Календарное планирование работ по теме	3		5		4		4		7	
Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП		4		9		6		6		10
Расчет параметров двигателя и модели		4		6		5		5		8
Выбор способа регулирования скорости		2		4		8		8		12

Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»		2		4		3		3		5
Разработка математической модели системы АУ ЭП	3		6		5		5		8	
Оптимизация САР электропривода		4		8		6		6		10
Разработка программы имитационного моделирования		5		8		7		7		11
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		3		3		5	
Технико-экономические расчеты		3		7		5		5		8
Вопросы безопасности и экологичности проекта		3		7		5		5		8
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		4

На основе табл. 7 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 8 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				фев.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11														
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7														



#### 4.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- 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.

Все необходимое оборудование и материалы имеются в лаборатории, поэтому расчет материальных затрат проводить не будем.

##### 4.4.1. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 9.

Таблица 9 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	2351	9404
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11	1523	16753



Продолжение таблицы 9

3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7	1523	10661
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7	2351	16457
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер	10	1523	15230
6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер	8	1523	12184
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	12	1523	18276
8	Расчет предельных характ. системы «преобр.– электродвиг.»	Инженер	5	1523	7615
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководитель	3	2351	7053
10	Оптимизация САР электропривода	Инженер	10	1523	15230
11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер	11	1523	16753
12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2	2351	4702
13	Технико-экономические расчеты	Инженер	8	1523	12184
14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	8	1523	12184
15	Составление пояснительной записки	Инженер	4	1523	6092
Итого:					180778

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (8)$$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (9)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{53594 \cdot 10,4}{237} = 2351 \text{ руб.},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл.10).

Таблица 10 - Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 27484 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53594 \text{ руб}$$

где  $Z_{ТС}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{ТС}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер

обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{тс}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $Z_{тс}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{ci} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_t$  и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл.11.

Таблица 11 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	27484	0,3	0,2	1,3	53594	2351	16	37616
Инженер	17808	0,3	0,2	1,3	34725	1523	95	144685
Итого $Z_{осн}$								182301

#### 4.4.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

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

#### 4.4.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2015 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 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (табл.12).

Таблица 12 - Отчисления во внебюджетные фонды

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

#### 4.4.4. Накладные расходы

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

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

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

#### 4.4.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл.13.

Таблица 13 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	182301	Пункт
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21876	Пункт
3. Отчисления во внебюджетные фонды	55631	Пункт
4. Накладные расходы	41521	16 % от суммы ст.
5. Бюджет затрат НТИ	301329	Сумма ст.

#### 4.5. Определение ресурсоэффективности проекта

Финансовую эффективность проекта можно оценить при помощи интегрального финансового показателя:

$$I_{фин}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где:

$I_{фин}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя проводим в виде табличной формы.

Таблица 14 - Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	$\Phi_{max}$ , руб.	$\Phi_{pi}$ , руб.	$I_{фин}^{исп.i}$ , о.е.
1	43115,6	43115,6	1
2		32850	0,76
3		30600	0,709

Величина интегрального финансового показателя разработки схемы 3 (электропривод клиновой задвижки магистрального нефтепровода) отражает соответствующее численное удешевление стоимости электропривода при одинаковой мощности. Схема 3 имеет наименьший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, и, следовательно, вариант схемы является наиболее финансово эффективным, что является определяющим критерием.

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 3 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

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

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы.

Таблица 15 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Объект исследования	Весовой коэффициент	Система ПЧ - АД	Нерегулируемый электропривод	Система ТРН - АД
1. Безопасность	0,25	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	5	5
3. Помехоустойчивость	0,10	4	4	4
4. Энергосбережение	0,15	4	4	5
5. Надёжность	0,25	5	5	4
6. Материалоёмкость	0,15	4	4	5
Итого:	1,00	4,5	4,5	4,6

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности выбранной системы:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,6.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта по разработке системы ТРН – АД.

## **5. Социальная ответственность**

Объектом исследования данной работы является электропривод клиновой задвижки нефтепровода. Задача нефтепровода – транспортировка нефти от места добычи, то есть нефтепромысла, к предприятию, где эта нефть будет переработана. Возникает необходимость обслуживания нефтепровода. Эту задачу помогает выполнить клиновая задвижка, установленная на нефтепровод.

Перекрытие отдельного участка нефтепровода даст возможность провести плановые мероприятия по обслуживанию, а так же может предотвратить последствия аварии на нефтепроводе.

Отталкиваясь от назначения электропривода клиновой задвижки нефтепровода, можно выделить опасные и вредные производственные факторы при ремонте или обслуживании нефтепровода.

### **5.1. Характеристика объекта исследования**

В конструкцию задвижки входят такие элементы, как крышка и корпус.

Внутри корпуса находится рабочий орган – затвор. Он позволяет перекрыть поток жидкости.

Для создания максимальной герметичности при закрытии задвижки, внутри корпуса располагаются «седла», к уплотнениям которых прилегает уплотнитель затвора. Движение затвора обеспечивается штоком или шпинделем.

Седла расположены под углом относительно друг друга, а сам затвор имеет форму клина.

Хорошая герметичность обуславливается тем, что затвор входит в промежуток между седлами. Основные преимущества клиновых задвижек – простота конструкции и небольшое гидравлическое сопротивление.

С целью управления клиновой задвижкой, установленной на магистральном нефтепроводе, используется электропривод ЭПЦ-15000. Данный привод рассчитан на работу с арматурой, установленной на трубопроводах, давление которых достигает 15 МПа.

Данный электропривод позволяет осуществлять:

- закрытие-открытие проходного сечения арматуры и остановку затвора арматуры в любом промежуточном положении по командам оператора с местного или дистанционного поста управления;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам датчика положения при достижении затвором арматуры крайних положений;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам муфты ограничения крутящего момента при превышении допустимых нагрузок на выходном звене в любом промежуточном положении затвора арматуры и при его достижении крайних положений;
- выдача дискретных сигналов при достижении затвором арматуры крайних положений и при срабатывании муфты ограничения крутящего момента;
- управление затвором арматуры с помощью привода ручного дублера;
- указание положения затвора арматуры в процессе работы на местном указателе положения;
- автоматическое выключение привода ручного дублера.

## **5.2. Анализ опасных и вредных производственных факторов**

### *Опасные факторы*

1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования.

Механизм работы задвижки подразумевает совершение поступательных и вращательных движений некоторыми ее частями. Поэтому есть вероятность несчастного случая при несоблюдении техники безопасности при работе с данным механизмом. Работы должны выполняться в порядке, описанном в [7].

Задвижка спроектирована таким образом, что все подвижные составные части находятся внутри корпуса. Этим обеспечивается безопасность обслуживающего персонала.

На рисунке 55 изображено конструктивное исполнение электропривода «ЭПЦ-15000».



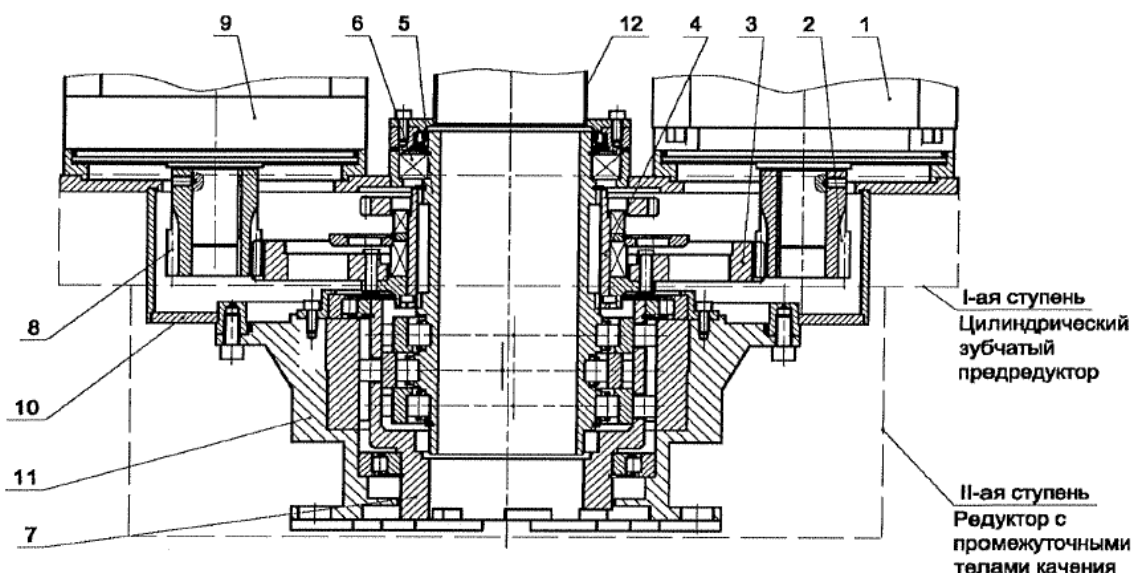


Рисунок 55 – Конструктивное исполнение электропривода «ЭПЦ-15000»  
 1 – электродвигатель; 2 – шестерня; 3 – зубчатое колесо; 4 – ограничитель; 5 – входной вал редуктора II ступени; 6 – толкатель; 7 – выходной вал; 8 – шестерня; 9 – блок управления регулируемый; 10 – корпус; 11 – редуктор; 12 – кожух;

Как видно из рисунка 1, все подвижные части конструкции электропривода (шестерни, зубчатые колеса, валы, редуктор) находятся внутри корпуса (10). К штоку – подвижной части самой задвижки, так же нет прямого доступа. Шток закрывается кожухом (12). Таким образом, воздействие данного опасного фактора на обслуживающий персонал сведено к минимуму.

2. Повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Существует опасность поражения электрическим током обслуживающего персонала. Это связано с тем, что питание электропривода данного механизма происходит от сети переменного тока.

При ремонте электропривода должны соблюдаться следующие правила:

- Ремонтные работы производить с соблюдением требований [11];
- Приступая к разборке привода, необходимо убедиться, что он отключен от сети, а в ЩСУ на автоматическом выключателе вывешена табличка с надписью «Не включать, работают люди»;
- Разборку и сборку электропривода производить только исправным штатным инструментом;
- Заземление электропривода должно соответствовать [11];

ПУЭ в разд. 1.1.13 определяют в отношении опасности поражения людей электрическим током следующие классы помещений:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2. Помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырости (влажность более 75 %) или токопроводящей пыли;
- токопроводящих полов (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);
- высокой температуры (выше 35 °С);
- возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3. Особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- особой сырости;
- химически активной или органической среды;
- одновременно двух или более условий повышенной опасности.

4. Территории размещения наружных электроустановок. В отношении опасности поражения людей электрическим током эти территории приравниваются к особо опасным помещениям.

В табл. 16 приведены граничные значения напряжений, при превышении которых требуется выполнение защиты от косвенного прикосновения в зависимости от категории помещения.

Таблица 16

Категория помещения	Граничные значения напряжений
Без повышенной опасности	>50 В перем. тока
	>120 В пост. тока
С повышенной опасностью, особо опасные и наружные электроустановки	>25 В перем. тока
	>60 В пост. тока

Таким образом, рассматриваемая электроустановка принадлежит к 4 группе опасности поражения людей электрическим током. Поэтому необходимо предусмотреть защиту от косвенного прикосновения к электроустановке.

### **Защитное заземление**

Предотвратить поражение обслуживающего персонала электрическим током при прикосновении к электроустановке можно с помощью защитного заземления электропривода.

Искусственное групповое защитное заземляющее устройство (УЗЗ) включает в свою конструкцию несколько вертикально расположенных электродов и горизонтальной полосы, соединяющей эти электроды. Так как верхние слои земли могут высыхать или промерзать, ухудшая проводимость тока в земле, то есть необходимость заглубить данную конструкцию на глубину 0.7 – 0.8 м.

### **Порядок расчета**

Электроды данной конструкции обычно выполняются из угловой стали толщиной не менее 4 мм и длиной 2.5 – 3 м (от 40x40 до 60x60 мм) или из труб диаметром 50 – 60 мм (толщина стенки более 3.5 мм).

В таблице 17 приведены данные измерений удельного сопротивления различных видов грунтов.

Таблица 17 - Удельные сопротивления грунта

<b>Грунт</b>	<b>Удельное сопротивление, (Ом·м)</b>	<b>Грунт</b>	<b>Удельное сопротивление, (Ом·м)</b>
Песок сухой	2500	Глина	60
Песок влажный	600	Торф	20
Супесок	300	Каменный	4000
Чернозем	200	Вода речная	100
Суглинок	100	Вода озерная	50

Определяем сопротивление стержневого электрода:

$$R_3 = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_B}{l_3} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot l_3}{d_3} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot h_3 + l_3}{4 \cdot h_3 - l_3} \right)$$

$$= \frac{0,366 \cdot 200 \cdot 1,9}{2,7} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,5} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 2,7 + 2,7}{4 \cdot 2,7 - 2,7} \right) = 58,947 \text{ Ом.}$$

$K_B$  - повышающий сезонный коэффициент (1,9);

$\rho$  – удельное сопротивление грунта (200 Ом· м);

$l_3$  - длина стержня (2,7 м);

$d_3$  – диаметр стержня (0,05 м);

$h_3$  – глубина заложения электрода (2,7 м);

Наибольшие допустимые значения  $R_3$ , установленные Правилами устройства электроустановок, составляют:

для установок до 1000 В

10 Ом - при суммарной мощности генераторов или трансформаторов, питающих данную сеть, не более 100 кВА;

4 Ом - во всех остальных случаях;

Примечание: при удельном сопротивлении  $\rho$  более 100 Ом·м допускается увеличивать указанные выше нормы в  $0,01 \cdot \rho$  раз, но не более десятикратного.

Определяем предварительно количество электродов  $n'$ :

$$n' = \frac{R_3}{R_3} = \frac{58,947}{8} = 7,37.$$

Зная расположение электродов (в ряд или по контуру), отношение расстояния между электродами к их длине  $\frac{a}{l} = 3$  и предварительное количество электродов, определяем коэффициент использования электродов (таблица 18).

Таблица 18 - Коэффициент использования электродов

Количество электродов	Электроды в ряд, при отношении $a/l_3$			Электроды по контуру, при отношении $a/l_3$		
	3	2	1	3	2	1
5	0,87	0,80	0,63	–	–	–
10	0,83	0,70	0,55	0,78	0,67	0,50
20	0,77	0,62	0,47	0,72	0,60	0,43
30	0,75	0,60	0,40	0,71	0,59	0,42
50	0,73	0,58	0,38	0,68	0,52	0,37
100	–	–	–	0,64	0,48	0,33
200	–	–	–	0,61	0,44	0,30
300	–	–	–	0,60	0,43	0,28

Определяем окончательно потребное количество электродов  $n$ :

$$n = \frac{R_3}{R_3 \cdot \eta_3} = \frac{58,947}{8 \cdot 0,83} = 8,88.$$

Определяем длину соединительной полосы  $l_n$ , если электроды расположены по контуру:

$$l_n = a \cdot n = 4,8 \cdot 9 = 43,2 \text{ м.}$$

Так как оборудование расположено на открытом воздухе, то согласовывать размеры заземляющего устройства с размерами помещения не требуется.

Определяем сопротивление соединительной полосы:

$$R_{\Pi} = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_B}{l_n} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_n^2}{h_n \cdot b} = \frac{0,366 \cdot 2000 \cdot 5}{43,2} \cdot \lg \frac{2 \cdot 43,2^2}{1 \cdot 0,1} = 38,735 \text{ Ом.}$$

7. Определяем общее сопротивление контура защитного заземления

$$R_{\Sigma} = \frac{R_3 \cdot R_{\Pi}}{R_3 \cdot \eta_{\Pi} + R_{\Pi} \cdot \eta_3 \cdot n} = \frac{58,947 \cdot 38,735}{58,947 \cdot 0,79 + 38,735 \cdot 0,83 \cdot 9} = 6,797 \text{ Ом.}$$

где  $\eta_{\text{п}}, \eta_{\text{э}}$  коэффициент использования полосы (таблица 19).

Таблица 19 - Коэффициент использования полосы

Количество электродов	Электроды в ряд, при отношении $a/l_3$			Электроды по контуру, при отношении $a/l_3$		
	3	2	1	3	2	1
5	0,90	0,85	0,72	0,71	0,50	0,41
10	0,79	0,70	0,59	0,55	0,39	0,33
20	0,65	0,55	0,40	0,44	0,32	0,27
30	0,57	0,45	0,30	0,40	0,30	0,23
50	0,49	0,35	0,21	0,37	0,27	0,21
70	0,46	0,33	0,19	0,35	0,25	0,20
100	–	–	–	0,33	0,24	0,19

Производим проверку выполнения условия

$$R_{\Sigma} \leq R_3$$

$$6,797 \text{ Ом} \leq 10 \text{ Ом}$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что расчет выполнен верно.

#### *Вредные факторы*

1. Температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения.

Нефтепровод может располагаться в различных климатических условиях.

Для обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала, необходимо следовать требованиям [15]. В этом документе приведена классификация вредности условий труда в зависимости от температуры окружающей среды.

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в табл.2 применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

При обеспечении допустимых величин микроклимата на рабочих местах:

- перепад температуры воздуха по высоте должен быть не более 3° С;

- перепад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать:

  - при категориях работ Ia и Ib - 4° С;

  - при категориях работ IIa и IIб - 5° С;

  - при категории работ III - 6° С.

При этом абсолютные значения температуры воздуха не должны выходить за пределы величин, указанных в табл.2 для отдельных категорий работ.

При температуре воздуха на рабочих местах 25° С и выше максимально допустимые величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы:

  - 70% - при температуре воздуха 25°С;

  - 65% - при температуре воздуха 26°С;

  - 60% - при температуре воздуха 27°С;

55% - при температуре воздуха 28°C.

При температуре воздуха 26-28°C скорость движения воздуха, указанная в табл.5 для теплого периода года, должна соответствовать диапазону:

0,1-0,2 м/с - при категории работ Ia;

0,1-0,3 м/с - при категории работ Ib;

0,2-0,4 м/с - при категории работ IIa;

0,2-0,5 м/с - при категориях работ IIб и III.

Таблица 20

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин	
Холодный	IIб (233-290)	15 – 16,9	19,1-22	14 – 23
Теплый	IIб (233-290)	16-18,9	21,1-27	15-28
Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Относительная влажность воздуха		Относительная влажность воздуха, %
		Диапазон температур ниже оптимальных величин	Диапазон температур выше оптимальных величин	
Холодный	IIб (233-290)	0,2	0,4	15-75
Теплый	IIб (233-290)	0,2	0,5	15-75

Работы по обслуживанию клиновой задвижки соответствуют категории II б, что подразумевает выполнение работы с интенсивностью энергозатрат 201-250 ккал/ч (233-290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнечных, термических, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий и т.п.).



## 2. Вибрация

Каждый электрический двигатель работает, создавая вибрации различного уровня. Возникать эта вибрация может по причине неправильной установки электропривода, неправильной регулировки или балансировки и т.п.

Вибрация опасна тем, что работник может заболеть профессиональной болезнью – вибрационной болезнью.

Вибрация действует так же на конструкции и сооружения, строения, другие машины, вызывая более быстрый износ, выход из строя или разрушение. Вибрация может повлиять на показания измерительных приборов, тем самым снижая качество выпускаемой продукции.

Для ограничения вибраций и сведения их до допустимых пределов разработаны специальные нормы. Эти нормы делятся на санитарно-гигиенические и инженерно-технические.

Санитарно-гигиенические нормы [15] задают порог вибрации, при котором работник может заболеть вибрационной болезнью. Данный стандарт регламентирует такие параметры, как амплитуда перемещения при работе оборудования, которая передается на рабочее место и величина колебательной скорости и ускорения.

Гигиеническая оценка воздействующей на работника постоянной вибрации (общей и локальной) проводится на основе [15] методом интегральной оценки по частоте нормируемого параметра.

Для того, чтобы понять, соответствуют ли условия труда нормам, необходимо рассчитать или измерить значение виброускорения или виброскорости. Для случая, если вибрация является непостоянным фактором на рабочем месте, необходимо провести интегральную оценку по эквивалентному уровню вибрации.

Допустимые значения параметров вибрации приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Допустимые значения параметров вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Допустимая колебательная скорость	
	Действующие значения, мм/с	Уровни действующих значений
2	11,2	107
4	5	100
8	2	92
16	2	92
31,5	2	92
63	2	92

### 3. Шум

Шум — это совокупность звуков, неблагоприятно воздействующих на организм человека и мешающих его работе и отдыху.

Звук появляется в результате упругих колебаний тел или частиц. Звук распространяется в твердых, жидких и газообразных средах.

Звуковое поле – пространство, где распространяется звук. Параметры звукового поля: звуковое давление, интенсивность звука, скорость распространения звука.

Звуковое давление — им называется разность между мгновенным значением полного давления, создаваемого звуковой волной и средним давлением, которое наблюдается в невозмущенной среде. Единица измерения — Па.

Интенсивность воздействия шума на человека оценивается уровнем звукового давления (L), который определяется как логарифм отношения эффективного значения звукового давления к пороговому. Единица измерения — децибел, дБ.

На пороге слышимости при среднегеометрической частоте 1 000 Гц уровень звукового давления равен нулю, а на пороге болевого ощущения — 120–130 дБ.

#### Воздействие шума на организм человека

На организм человека шум воздействует следующим образом. Возможны повреждения внутреннего уха, изменения активности мозга,

сердца, общей активности человека. Так же возможны расширение зрачков глаз, сужения кровеносных сосудов. Возможна раздражительность, ухудшение памяти, головокружение, головная боль, нарушение сна и снижение аппетита.

Длительное воздействие шума, уровень которого превышает допустимые значения, может привести к заболеванию человека шумовой болезнью — нейросенсорная тугоухость. На основании всего вышесказанного шум следует считать причиной потери слуха, некоторых нервных заболеваний, снижения продуктивности.

### Гигиеническое нормирование шума

Основная цель нормирования шума на рабочих местах — это установление предельно допустимого уровня шума (ПДУ), который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья.

Главные санитарные уровни шума на рабочих местах:

- Эквивалентный уровень звука за рабочую смену – 80 дБА;
- Максимальные уровни звука – 110 дБА (временная коррекция S), 125 дБА (временная коррекция I);
- Пиковый уровень звука 137 дБС;

Если хотя бы один параметр из вышеперечисленных превышает указанные значения, то ПДУ шума нарушен.

Защита от шума достигается разработкой шумобезопасной техники, применением средств и методов коллективной защиты, а также средств индивидуальной защиты.

Уменьшение шума в источнике достигается улучшением конструкции машин, применением малошумных материалов в этих конструкциях.

Средства и методы коллективной защиты подразделяются на акустические, архитектурно-планировочные, организационно-технические.

Защита от шума акустическими средствами предполагает звукоизоляцию (устройство звукоизолирующих кабин, кожухов, ограждений, установку акустических экранов); звукопоглощение (применение

звукопоглощающих облицовок, штучных поглотителей); глушители шума (абсорбционные, реактивные, комбинированные).

Архитектурно-планировочные методы — рациональная акустическая планировка зданий; размещение в зданиях технологического оборудования, машин и механизмов; рациональное размещение рабочих мест; планирование зон движения транспорта; создание шумозащищенных зон в местах нахождения человека.

Организационно-технические мероприятия — изменение технологических процессов; устройство дистанционного управления и автоматического контроля; своевременный планово-предупредительный ремонт оборудования; рациональный режим труда и отдыха.

Если невозможно уменьшить шум, действующий на работников, до допустимых уровней, то необходимо использовать средства индивидуальной защиты (СИЗ) — противозумные вкладыши из ультратонкого волокна “Беруши” одноразового использования, а также противозумные вкладыши многократного использования (эбонитовые, резиновые, из пенопласта) в форме конуса, грибка, лепестка. Они эффективны для снижения шума на средних и высоких частотах на 10–15 дБА. Наушники снижают уровень звукового давления на 7–38 дБ в диапазоне частот 125–8 000 Гц. Для предохранения от воздействия шума с общим уровнем 120 дБ и выше рекомендуется применять шлемофоны, оголовья, каски, которые снижают уровень звукового давления на 30–40 дБ в диапазоне частот 125–8 000 Гц.

#### 4. Освещение

Так как объект исследования находится не в помещении, а на открытом пространстве, и все работы проводятся в светлое время суток, то все освещение рабочего места является естественным.

#### **5.3. Экологическая безопасность**

Нефтепровод — самый дешевый, надежный и выгодный способ транспортировки нефти и нефтепродуктов. Также этот способ является наиболее экологически безопасным.

Возможность утечки нефти в окружающую среду (гидросферу, литосферу) появляется при повреждении определенного участка нефтепровода. Система задвижек, установленная по всей длине нефтепровода на определенном расстоянии друг от друга, помогает минимизировать утечку нефти в окружающую среду. Происходит это путем

перекрытия поврежденного участка нефтепровода. Электропривод, установленный на задвижках, имеет возможность дистанционного управления, что позволяет перекрыть нефтепровод при минимальных затратах времени.

Таким образом, электропривод задвижки позволяет сделать транспортировку нефти максимально безопасной для окружающей среды.

Электропривод задвижки имеет свой срок службы, при полной отработке которого он подлежит списанию или дальнейшей утилизации.

При его выходе из строя асинхронного, или при истечении срока службы изоляции, он отправляется на перемотку или ремонт. Отремонтированный двигатель транспортируется либо на новый объект, либо остается на складе для хранения. Если двигатель неремонтопригоден, или он отработал свой ресурс, то производится его утилизация. Сам двигатель не представляет опасности для окружающей среды или человека, так как он изготавливается из безопасных материалов, которые не являются токсичными: медь, электротехническая сталь, алюминий и чугун. Данные материалы перерабатываются для повторного использования. Изоляционные, пластмассовые материалы (лак, резина) подлежат утилизации.

Корпус задвижки работает до тех пор, пока не достигнет своего полного ресурса или предельного состояния. Под полным ресурсом понимается срок службы изделия, при котором оно подлежит списанию независимо от технического состояния. Предельное состояние – состояние, при котором восстановление нецелесообразно, а эксплуатация недопустима. Так как корпус задвижки состоит из углеродистой стали, чугуна или алюминия, то он транспортируется на место утилизации, где происходит его переплавка для повторного использования. Аналогично утилизируют механические элементы запорной арматуры: запирающий элемент, редуктор, шток, шестерни и так далее.

#### **5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

##### *1. Ликвидация аварий и повреждений магистрального нефтепровода*

Утечку нефти из нефтепровода можно обнаружить с помощью различных методов:

- визуальное обнаружение;
- контроль давления;
- графоаналитический метод;

- метод балансного учета нефти;
- анализ изменения нагрузки двигателей;
- приборная диагностика (ультразвуковой и акустической);
- параметрического контроля расхода и давления;

Действия персонала, обслуживающего нефтепровод должны соответствовать [9].

При получении сообщения об аварии на нефтепроводе или падении давления на выкиде НПС или трассе нефтепровода, увеличении нагрузки на электродвигатели, оператор (НПС) должен сообщить об этом диспетчеру РДП, РНУ (УМН) и начальнику ЛПДС, НПС.

Аварийно-восстановительные службы, обходчики нефтепроводов при осмотре трассы нефтепровода и обнаружении выхода нефти на поверхность земли, водоема, водотока должны:

- сообщить о выходе нефти оператору НПС и диспетчеру РДП;
- продублировать сообщение по телефону или радиации с ближайшей ЛПДС (НПС);
- приступить к ликвидации аварии, действуя согласно ПЛА.

При облете трассы и обнаружении выхода нефти летный наблюдатель или бортовой оператор должны:

- сообщить через диспетчера аэропорта диспетчеру РНУ (УМН) об обнаруженном месте выхода нефти;
- сделать круг над ближайшей ЛПДС (НПС) и сбросить вымпел с сообщением об обнаружении выхода нефти;
- продублировать свое сообщение диспетчеру РДП с ближайшего аэропорта;
- находиться на связи в ожидании указаний диспетчера РДП.

Руководитель ЛПДС, на участке которого произошла авария, после получения сообщения об аварии, обязан доложить руководству РНУ (УМН), принять на себя руководство по ликвидации аварии до прибытия на место аварии руководителя работ от РНУ (УМН) или ответственного руководителя по ликвидации аварии, назначенного приказом по ОАО МН.

Диспетчер РДП, получив сообщение об аварии, обязан:

- остановить перекачку нефти по аварийному участку нефтепровода и отключить аварийный участок в режиме телеуправления в соответствии с Регламентом действия оперативного персонала при аварийных ситуациях;
- немедленно известить об аварии руководство РНУ (УМН), начальника ЦРС (СУПЛАВ), диспетчера ОАО МН, диспетчера связи ПТУС;
- организовать контроль за выездом аварийно-восстановительной бригады, патрульной группы.

Диспетчер ОАО МН, получив известие об аварии, обязан:

- немедленно сообщить о возникновении аварии генеральному директору ОАО МН, его заместителям, руководству ПТУС, диспетчеру ОАО "АК "Транснефть" по форме указанной в Регламенте представления срочных донесений об авариях и отказах на магистральных нефтепроводах, НПС и РП и их учет;
- уточнить с диспетчером РДП схему и порядок отключения аварийного участка;
- контролировать ход выполнения мероприятий по ликвидации аварии.

Нефть, разлившаяся по поверхности земли покрытой снегом, и снежной массой, должна быть собрана в сборные котлованы для откачки или вывезены в очистные сооружения ближайшей НПС. Остатки нефти с землей должны быть собраны и вывезены на пункты утилизации, а участок земли подвергнут рекультивации согласно [10].

## *2. Пожаро- взрывобезопасность*

Вероятной чрезвычайной ситуацией при работе электропривода задвижки может стать пожар или взрыв. Опасность возникновения пожара или взрыва связана с наличием нефти и ее паров на месте работы электропривода задвижки. Потенциальное короткое замыкание в электроприводе может спровоцировать пожар или взрыв. Для тушения пожаров на объекте должны быть огнетушители. Так как электропривод работает от электричества, то для тушения будут использоваться углекислотные огнетушители.

Предотвратить подобные ситуации помогает конструктивное исполнение составных частей электропривода (электродвигатель ДАТЭК-

350-03 и блок управления «БУР-15,0»). Пожаро- и взрывобезопасность обеспечивается заключением электрических частей во взрывонепроницаемую оболочку, выдерживающую давление взрыва внутри нее и исключающую передачу взрыва в окружающую взрывоопасную среду. Также в данном электроприводе используется искробезопасная электрическая цепь, что существенно снижает риск возникновения пожара или взрыва при эксплуатации данного электропривода.

Действия обслуживающего персонала при возникновении подобных ситуаций должны соответствовать требованиям [11].

### **5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и условий труда**

Проводится специальная оценка условий труда, в ходе которых условия труда проверяются на соответствие нормативным требованиям.

Нормативные требования дифференцируются в зависимости от условий труда: вредности и тяжести, в зависимости от климатических условий, например, в условиях Крайнего Севера, от особенностей труда.

Виды специальных норм трудового права:

1. Нормы-льготы, которые предоставляют дополнительные гарантии трудовых прав;

2. Нормы-приспособления, которые подстраивают общие нормы к данным условиям труда;

3. Нормы-изъятия.

Для обеспечения безопасности эксплуатации объекта исследования данной работы были использованы несколько документов, регламентирующих требования по охране труда.

Так как объект исследования является электроустановкой, основным документом, регламентирующим правила работы с ним, является ПУЭ. Исходя из требований этого документа, была рассчитана система заземления электропривода клиновой задвижки.

Нормы опасных и вредных производственных факторов, оказывающих влияния на работника, работающего с объектом исследования, регламентируют «Санитарные нормы». Например, уровень шума на рабочем месте должен соответствовать документу «СН 2.2.4/2.1.8.562-96».



Условия работы с объектом исследования должны соответствовать Санитарным правилам и нормам (СанПиН). Так микроклимат на рабочем месте должен соответствовать СанПиН 2.2.4.548-96.

Так как объект исследования установлен на магистральном нефтепроводе, существует вероятность возникновения аварийных ситуаций. Например, порыв нефтепровода или возникновение пожара на нем. В таких ситуациях необходимо действовать согласно РД 153-39.4-114-01 «Правила ликвидации аварий и повреждений на магистральных нефтепроводах».

Так как работы с объектом исследования ведутся в условиях Крайнего Севера, работникам по ТК РФ полагаются определенные льготы. Например, районный коэффициент и надбавка к заработной плате. В соответствии с ч. 1 ст. 316 ТК РФ размер районного коэффициента устанавливается Правительством РФ.

Так же могут осуществляться компенсационные выплаты, связанные с режимом работы и условиями труда. Например, за классность, звание по профессии, стаж работы по специальности.

Для обеспечения безопасности работников на предприятиях создаются инструкции по охране труда, в которых описываются безопасные приемы работы с различными установкам, меры по оказанию первой помощи, действия персонала в аварийных ситуациях.

Так как объект исследования является электроустановкой, то для работы с ним необходимо оформить наряд-допуск. Основная функция документа – точно зафиксировать то, к каким именно работам получают допуск те или иные сотрудники. Здесь же прописываются:

- меры безопасности, которые должны применять работники при выполнении своих трудовых обязанностей (отключение напряжения и питания, обесточивание, заземление и т.п.),
- целевые инструктажи по технике безопасности, проведенные с ними и прочие условия,
- ответственные за безопасность лица.
- все сведения о сотрудниках, получающих доступ к работе в электроустановках, и о руководителе работ.

Если электроустановка является частью сложной электроцепи (к примеру, линии электропередач), то это тоже указывается в наряде-допуске.

Так же работникам необходимо выдать СИЗ для обеспечения безопасности при выполнении работ с объектом исследования. Это могут быть диэлектрические перчатки, боты, штанги, коврики, каски. Так же все инструменты должны быть с рукоятками, выполненными из диэлектрических материалов.

## **Заключение**

Целью данной работы являлось построение системы ТРН-АД с возможностью регулирования частоты вращения и определения момента на валу асинхронного электродвигателя.

Для достижения поставленных целей была создана модель системы ТРН - АД в программной среде MATLAB Simulink. Основой модели является блок «S-Function Builder», который позволяет пользователю интегрировать внешний код С в модель Simulink, что позволяет значительно расширить возможности стандартной библиотеки MATLAB.

В качестве блока, имитирующего работу АД был выбран блок Asynchronous Machine SI Units из стандартной библиотеки MATLAB.

В данной работе был выбран электропривод «ЭПЦ – 15000», который предназначен для дистанционного и местного управления запорной арматурой магистральных нефтепроводов. Данный электропривод комплектуется асинхронным двигателем «ДАТЭК – 350.03», параметры которого были внесены в блок Asynchronous Machine SI Units, имитирующий работу АД.

Смоделированный процесс пуска АД вхолостую показал преимущества использования системы ТРН – АД. А именно значительное снижение пусковых токов и моментов двигателя, что значительно экономит ресурс электрической и механической частей электропривода.

В модель была добавлена возможность регулирования скорости вращения ротора АД, что значительно расширяет возможности применения системы ТРН-АД. Был выявлен максимальный диапазон регулирования, который составил 1:50.

Так же модель была дополнена возможность определения момента на валу АД, что позволит соблюдать рекомендуемый режим работы электропривода, учитывая специфику такого механизма, как задвижка.

В ходе выполнения данной работы был смоделирован режим динамического торможения и проанализированы графики переходных процессов АД при таком режиме работы.

## **Список используемой литературы**

1. Строительные нормы и правила: СНиП 2.05.06-85\*. Магистральные трубопроводы. – введен 01.07.2013. - М.: Госстрой, ФАУ "ФЦС", 2013.

2. ГОСТ Р 55020-2012. Арматура трубопроводная. – введен 01.03.2012. - М.: Стандартиформ, 2013.
3. ЭкспертТруб [Электронный ресурс]: все про сантехнику и трубы. – Режим доступа: <http://experttrub.ru>
4. Москаленко В.В.. Электрический привод: Учеб. пособие для сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
5. Руководство по эксплуатации «ЭПЦ-15000». – Томск.: Томский завод электроприводов, 2013. – 25 с.
6. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1988.. – 368 с.
7. Руководство по эксплуатации «Блок управления регулируемый БУР». – Томск.: ЭлеСи, 2013. – 25 с.
8. Копылов И.П.. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.
9. Однокопылов И.Г., Асинхронный электропривод механизма подъема крана мостового типа с повышенной безопасностью и живучестью: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : спец. 05.09.03 / И. Г. Однокопылов; Томский политехнический университет (ТПУ), Электротехнический институт (ЭЛТИ), Кафедра электропривода и электрооборудования ; науч. рук. Ю. Н. Дементьев. — Электронные текстовые данные (1 файл : 950 Kb). — Томск, 2008.
10. РД-75.000.00-КТН-085-12 «Руководство по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций»;
11. «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭЭП);
12. ГОСТ Р 51330.18 «Ремонт и проверка электрооборудования используемого во взрывоопасных газовых средах ( кроме подземных выработок или применений, связанных с переработкой и производством взрывчатых веществ)»;
13. ГОСТ Р 52350.19 «Ремонт, проверка и восстановление электрооборудования»;

14. Правила устройства электроустановок (ПУЭ);
15. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»;
16. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»;
17. СН 2.2.4/2.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»;
18. РД 153-39.4-114-01 «Правила ликвидации аварий и повреждений на магистральных нефтепроводах»;
19. РД 39-00147105-006-97 «Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов»;
20. РД 153-39.4-056-00 «Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов»;

## Приложение А

### The development of an electric drive control system for a wedge plug

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Карпов М.С.		

Консультант отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Образцов К.В.			

Консультант – лингвист отделения ИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Соколова Э.Я.			

## **Introduction**

Oil transportation is an important problem nowadays because of the distance between oil refining and oilfield. There are several ways to deliver oil from the oilfield to oil refining: automobile, railway, sea transport and pipeline. Each type of transport has own advantages and disadvantages.

The most reliable, ecological and economical way of oil transportation is a pipeline. The oil can be delivered constantly to the oil refining by the pipeline thus there is no need of oil storages.

If it is necessary to stop the pipeline work because of the accident or pipeline service, the valve mechanism allows to close a separate section of the pipeline.

There is a demand for remote control of the pipeline valve due the distance between the pipeline and locality, but the electric drive installed on the pipe can solve this problem. This solution permits to simplify the pipeline exploitation and minimize the possibility of an oil pipeline accident.

The aim of the final thesis is to develop the electric drive valve control system for a wedge gate by simulation of transient processes in the MATLAB Simulink software.

### **1. The technological process of oil pumping**

#### **1.1. The description of the technological process of oil pumping**

The oil flows through the pipeline due to the pressure difference between the beginning and the end of the pipeline. Pump stations that develop a pressure difference are located on the pipeline at a distance of 70-150 km from each other. The speed of oil through the pipeline is 3 meter per second. Internal diameter of the pipeline can range from 100 mm to 1400 mm. The pipeline throughput with a diameter of 1200 mm is 80-90 million tons per year [1].

The high plastic steel that could withstand chemical, mechanical and thermal impacts is used for pipelines manufacture. The reinforced plastic is more technological material nowadays. Such material does not rust, so has almost unlimited lifetime.

The pipeline can be ground and underground. The advantage of ground pipeline is that it can be assembled and exploit easily. The underground pipeline is more protected from external effects, so it is more durable.

The valve is placed on the pipeline at a distance of 10-30 km in order to repair or operate with any section of the pipeline. A part of pipeline can be shut off by valve in case of an accident. Thus, it can prevent serious consequences and eliminate accidents.

## 1.2. The overview of valve types

A valve consists of a body and lid, which form the cavity of the working environment [2]. There is an element called latch mechanism inside the cavity that provides closing of fluid flow. The lid can be fixed to the body in one of three ways: flanged, coupling and welding.

A "saddle" is placed in the body to create maximum sealing during the closing of the valve. The shutter sealant adjoins to the body sealant. Shutter movement is provided by a rod or spindle.

There are different construction types of valves.

### 1. *Wedge gate valve*

The saddles of wedge gate valves are placed at an angle. The shutter is crafted in the shape of a wedge.

The shutter enters tightly the gap between the saddles while closing that provides good sealing. Simple design of the wedge gate valve allows to use it in different conditions. Besides the wedge gate valve has a small hydraulic resistance which is especially appreciated in main pipelines. The high construction depth can be attributed to disadvantages of the construction. Figure 1 shows the structure of wedge gate valves.

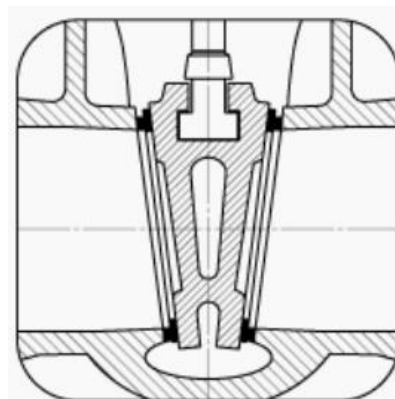


Figure1-Wedge gate valve



## 2. Parallel valves

Saddle surfaces in the parallel valve are perpendicular to the axis of flow. The parallel gate valve is based on the principle of wedging just like the wedge gate valve. The wedge is located between the shutter plates only in the case of parallel valve. Figure 2 shows the structure of the parallel gate valves.

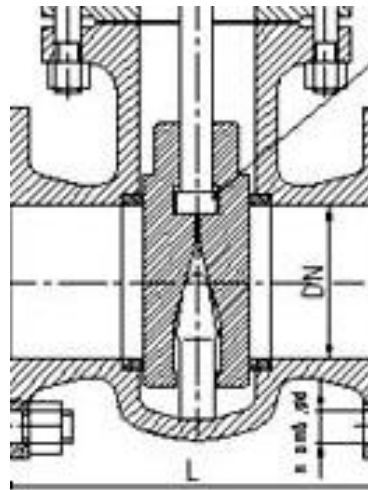


Figure2-Parallel gate valve

## 3. Gate valve

The metal plate of small thickness which can cut various inclusion in working environment is used as a shut-off element in the gate valve. This gate valve property permits to use it for closing the working environment which has high viscosity or any inclusion.

The depth of gate valve is smaller than all other types of valves, which considerably saves space in the utility rooms. The disadvantages of gate valves are short lifetime of sealing surfaces [3]. Figure 3 shows the construction of gate valve.

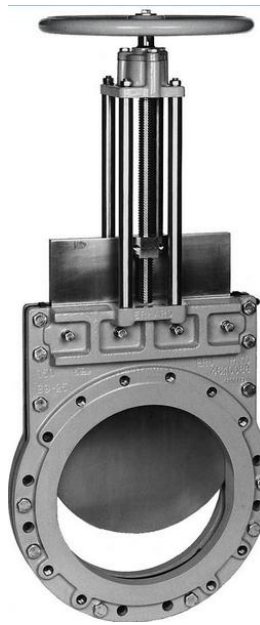


Figure3 - Gate valve

#### *4. Pinch valves*

The working medium goes through a flexible pipe in pinch valve, which is pinched by a valve spindle if needed. This design has a full cross section. It means the pipe diameter corresponds to the diameter of inlet and outlet pipes. The working area is completely isolated from the environment.

The disadvantage of the design is that the flexible tube gradually becomes worse. Moreover, the working area temperature is determined when the pipe can hold out it. Thus, it limits the use of such design valves. Figure 4 shows the pinch valve construction.

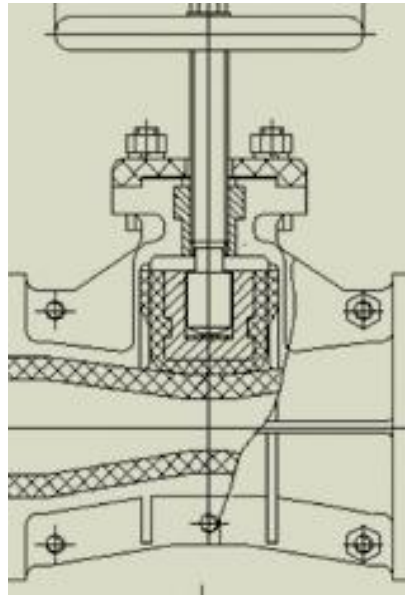


Figure4 - Pinch valve

### 1.3. Overview of electric converters

The electric drive is advisable to use in the valves construction for the valve remote control. This technical solution permits to reduce the pipeline maintenance work significantly. It causes the fact that there is no need of direct human participation for closing or opening valves. The shutter can be used by the electric valve at a considerable distance from it so it is very helpful in oil and oil products transportation. Also the application of electric drive systems of valves allows you to automate the repair processes and exploitation of pipeline sections.

Some variables that characterize the work of the electric drive should be regulated to provide the required modes of the electric drive operation. Such variables (coordinates) are, for example, speed, acceleration, the position of the executive body or other variables, electric currents in electric circuits of the electric drive, torque on the shaft, etc. The power energy converter responds changing the parameters of electric drive.

The power converters can be performed on various electric components, namely using electrical machines, magnetic amplifiers, ionic and semiconducting elements. Modern converters are generally solid, and they use mostly power transistors, diodes, thyristors and their varieties. There are several types of converters [4]. Now we need to consider them.

#### *1. Controlled and uncontrolled rectifiers*

They convert alternating current (AC) voltage into direct current (DC) voltage. The uncontrolled rectifier does not provide power voltage regulation of

the electric drive and carried out on the one-way conduction uncontrolled semiconductor devices (diodes). The controlled rectifiers are performed on thyristors and allow to control the voltage on the electric drive due to a certain thyristor control algorithm.

The controlled rectifiers circuit and operation principle of the circuit is shown in Figure 5.

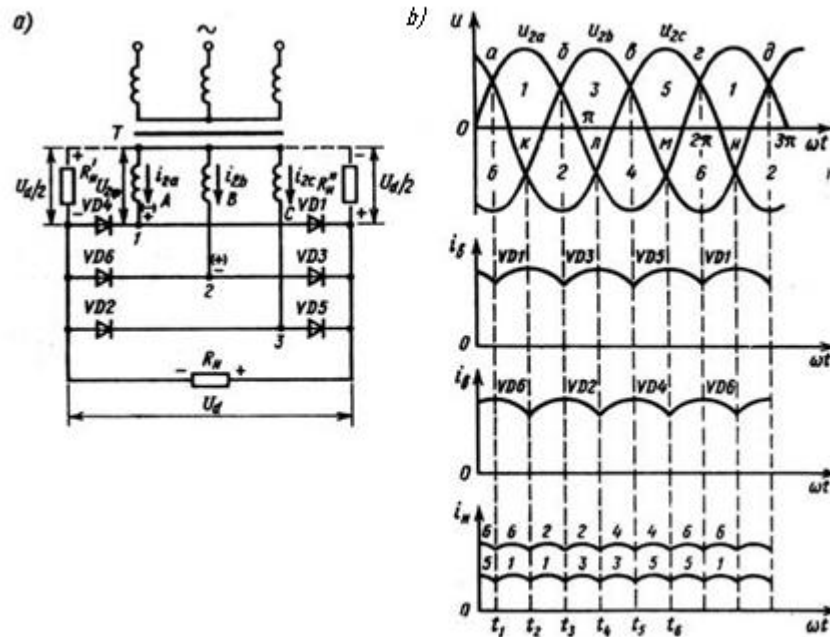


Figure5 - Uncontrolled rectifier: a) circuit, b) principle of operation

## 2. Inverters

Inverters convert DC to AC voltage. The autonomous voltage inverters and autonomous current inverters are the most widespread. Autonomous voltage inverters have a rigid characteristic. Output voltage does not change almost after changing the load current. Therefore the autonomous voltage inverters have the electromotive force (EMF) source properties.

Also the autonomous current inverters have a soft output characteristic and have current source properties.

## 3. AC frequency converters

Frequency converter (FC) is an electronic or electromechanical device that converts alternating current (AC) of one frequency to alternating current of another frequency. There are two types of frequency converters: cycloconverter, which allows changing the frequency down only from the standard value; frequency

converter with an intermediate DC link, which permits to change the frequency from the default value down and up. Naturally, second type is more widespread in the electric drive.

Figure 6 shows the FC circuit and the mechanical characteristics of the motor when the frequency is changed.

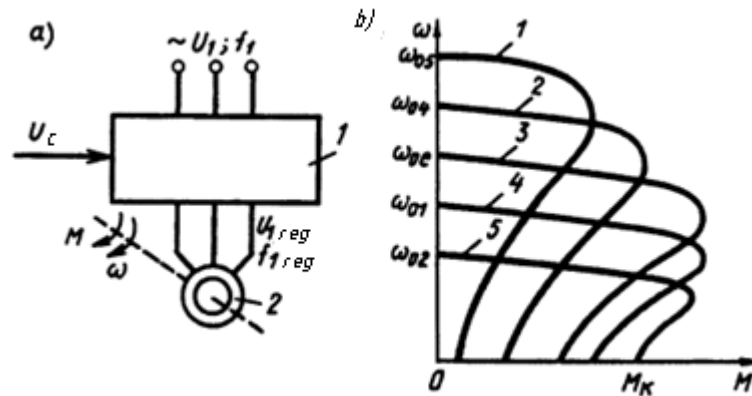


Figure6 - Frequency converter: a) electrical circuit, b) principle of operation

#### 4. Voltage converters

AC voltage conversion can be realized by using a thyristor voltage regulator (TVR).

The control of coordinates in the in static and dynamic modes with good performance is performed by the variation of voltage supplied to the induction motor stator. This method of control provides economical motor operation modes.

The TVR circuit and mechanical characteristics of the electric drive for changing the supply voltage are shown on Figure 7.

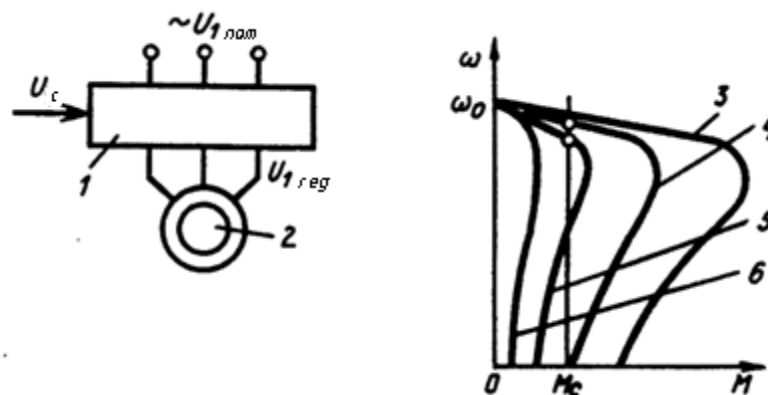


Figure7 - TVR circuit and TVR-AM characteristics

There is a voltage regulator for AM coordinate regulation between the line of AC with a nominal voltage  $U_{1nom}$  and motor stator (Figure 7). Its output voltage  $U_{1reg}$  is changed by applying small control signal  $U_u$  within the range of the supply voltage  $U_{1nom}$  down to zero. Wherein the frequency of voltage does not change.

### 5. DC pulse voltage converters with various DC output voltage modulation

The power semiconductor switches are used in this converters. They work in pulse mode.

The operation principle of pulse converters based on modulation of power source voltage. The pulse width modulation (PWM) involves changing the duration of voltage pulses at a constant PWM frequency.

The pulse voltage converter operating principle is shown in Figure 8.

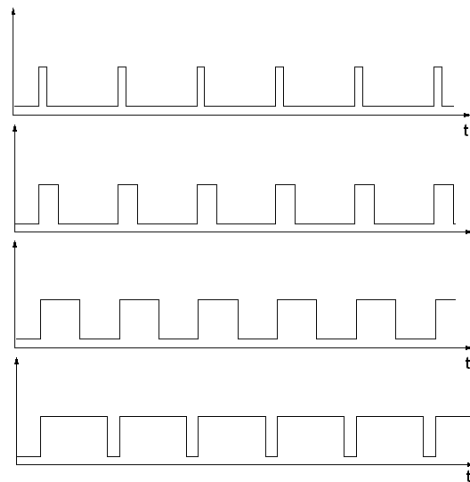


Figure8. The operating principle of pulse converters

In case of electricity transmission over long distances AC is more profitable than DC. This helps to avoid losses. So alternating current will feed this electric drive. Thus, there is no need to convert alternating current electric power into direct current electric power. That's why the rectifiers and inverters are not suitable for the electric power conversion for electric valves.

Pulsed DC voltage converters are not suitable for electric drive used in wedge-action valve, because such converters work with DC:

- high efficiency (up to 98%);
- energy saving;
- remote control;

- electric drive soft start;

The disadvantage of this converter is:

- high cost, complexity, high maintenance costs.

Thyristor voltage regulator has some advantages over the frequency converter:

- simplicity;
- low cost;
- relatively simple control algorithms;
- ability to work in severe weather conditions;
- ease in maintenance.

The disadvantage of TVR is small range of speed control and small efficiency at low speeds. These disadvantages are inessential for electric drive of valves.

It is more logical to use the TVR converter of electric energy in the valve electric drive based on the advantages of TVR.

#### **1.4. The operating principle of thyristor voltage regulator**

It should be noted that TVRs allow to variate the voltage from the nominal value to zero.

Stator voltage variation does not change the value of the no-load speed  $\omega_0 = 2\pi f_1/p$  and critical slip  $s_c$ . This coordinates regulation method changes the critical torque  $M_c$ .

It can be seen from the formula

$$M_c = \frac{3U_f^2}{2\omega_0(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_k^2})}$$

The critical torque is directly proportional to the square of the voltage. The variation of stator voltage makes the artificial characteristics 3-6 (Figure 7) unsuitable for speed control. This is due to the facts that after the voltage decrease the critical torque decreases sharply and the asynchronous induction motor overload capacity decreases. The speed range is very small.

The open loop (Figure 7) is used only during transitional processes for the impact at the asynchronous induction motor torque.

It may be necessary to provide the given acceleration of the electric drive or voltage value regulation at working element of AM.

Changing the voltage in accordance with the formula (1) permits the stator current limitation in transient modes.

$$I'_2 = \frac{U_f}{\sqrt{(R_1 + R'_2/s)^2 + x'_k^2}} \quad (1)$$

Figure 9 shows the electromechanical characteristics at stator voltage change.

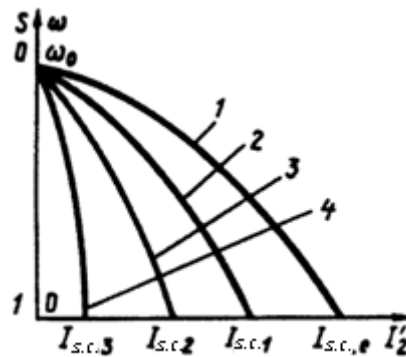


Figure9 - Electromechanical characteristics

Figure 10 shows the voltage regulation circuit on single-phase AC load  $z_n$ . Single-phase power part of TVR consists of two thyristors VS1 and VS2, which are switch according to a counter-parallel circuit that provided current flow in the load in both half period of voltage  $U_1$ . Thyristors receive control pulses  $U_\alpha$  from pulse-phase control system which provides the shift of pulses at an angle of  $\alpha$  in the function of control signals  $U_c$ .

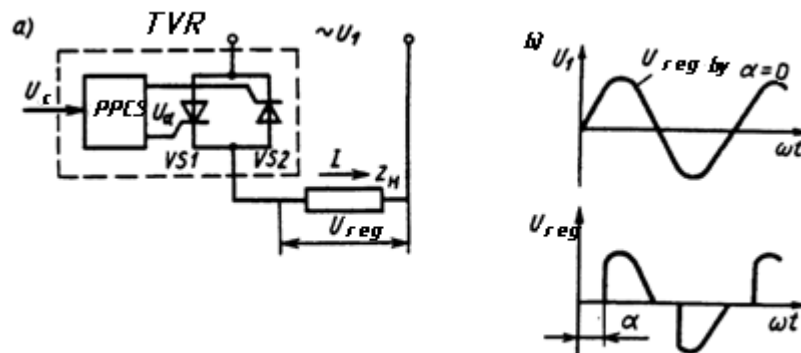


Figure10 - Single-phase TRN-AM



The thyristors VS1 and VS2 are switched off without control pulses. The voltage at the load  $U_{reg}$  is equal to zero. If the control pulses are given for thyristors with an angle  $\alpha = 0$  they would be fully switched on and the full supply voltage would be transferred to load  $U_1 = U_{reg}$  (picture 10, b). The part of supply voltage feeds the load after the control pulses are applied with a certain delay. The load voltage can be regulated the maximum value of the full supply voltage down to zero by changing the control angle  $\alpha$  from 0 to  $\pi$ .

A three-phase TVR circuit is shown in Figure 11.

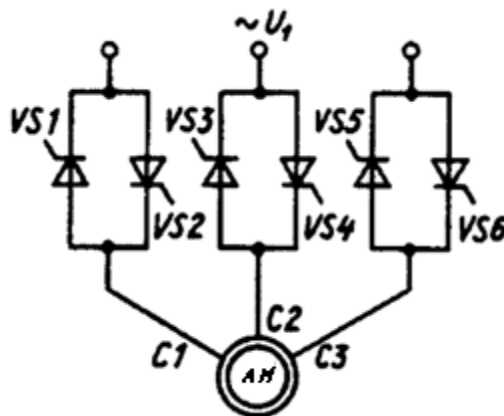


Figure 11—The thyristors switches on in the system of TVR-AM

The semiconductor device called a triac can be used in such circuits instead of counter-parallel switched thyristors. This device provides the flow of current in the electric machine phase in both directions and has the same operation principles as thyristor. The number of electronic devices can be reduced by using the triac which leads to simplifying the scheme of pulse-phase control system.

It should be noted that the voltage applied to the load is not sinusoidal. It can be represented as a combination of several sinusoidal harmonics, each one changes with certain frequency. The frequency of main harmonic is equal to the supply voltage frequency, and frequencies of other harmonics are more than the first. Usually the first harmonic has the largest amplitude and all basic calculations are carried out for it.

The motor reverse can be carried out by using a TVR. This circuit consists of five counter-parallel pairs of thyristors VS1-VS10. If pulse-phase control system control signals are output to 1, 3 and 5 thyristor pairs, then the AM stator power supply will have the supply voltage phase sequence ABC and the motor will rotate in the forward direction. If control signals are output to 2, 4 and 5 thyristor pairs,

then on AM stator terminals C1, C2, C3 will be another sequence of voltage phases - BAC. In this case the rotation direction of rotor will be change to backward.

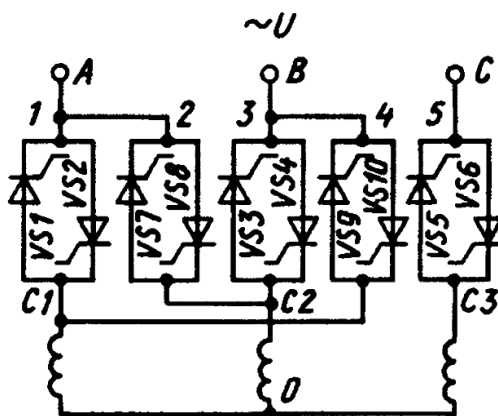


Figure12 - Reverse motor circuit

The TVR functionality for control AM includes even more. The AM forced braking, the formation of AM required dynamic characteristics in transient modes, the provision of economical modes of AM while his working with variable load can be provided by the TVR. The TVR thyristor reversing and non-reversing contactors (starters) for starting, reverse and braking of AM can be implemented on the base of the considered circuits.

## 2. Selection of electric drive and equipment calculation

### 2.1. Initial data

There is a separate types of electric drives which control the valves. Such electric drive is designed to work with specific loads.

These settings determine the maximum torque on the electric drive output. The electric drive of valves is chosen in case of the value of the maximum torque.

The electric drive «ЭПИЦ-15000» is chosen to control valve installed on the main pipeline. This drive is designed to work with fittings installed on pipelines, which pressure is up to 15 MPa [5]. This drive installed on valve is ideal for closing workflows in case of the mains pipelines are designed for pressures to 10 MPa [6].

The electric drive allows us:

- to close and open the valves throat and stop the gate valve in any intermediate position by operator's commands sent from local or remote control post;

- to switch off the motor by position sensor signals after reaching extreme positions by gate valves;
- to switch off the motor by torque limit clutch signal in case of exceeding the permissible loads on the output in any shutter valves intermediate position and after reaching the extreme positions;
- to delivery the discrete signals after the gate valves reaches extreme positions and torque limiting clutches switch on;
- to control gate valves by using hand wheel drive;
- to determine the position of the gate valve;
- to switch off the handwheel drive.

## **2.2 The electric drive characteristics**

### **2.2.1. Technical characteristics of the «ЭПИЦ-15000»**

Electric drive operating mode is as follows: short-term S3 with cyclic duration factor 25% according to STATE STANDARD P 52776. The cycle time is 60 min. The work duration is 15 min.

The electric drive "ЭПИЦ-15000" is equipped with three-phase flame proof asynchronous electric motor of «ДАТЭК-350-03-УХЛ1» ТУ 3324-414-20885897-2006 (15 kW; 1500 rpm):

- nominal current load no more 29.4 A.
- maximum current load no more 60 A.

Electric drive with climatic performance «УХЛ1», category 1 by STATE STANDARD 15150, retains its efficiency in case of:

- ambient temperature range from -60° C up to + 50° c;
- top relative humidity 95% at 35° c and lower temperatures without moisture condensation;
- rate of temperature change to 5° C/h.

The electric drive corresponds to P1 group according to STATE STANDARD 12997-84 by the resistance to atmospheric pressure: atmospheric pressure range, KPA - 84 ... 106.7 at an altitude of 1000 m above sea level.

The electric drive is manufactured in high performance seismic resistance for areas with seismic activity over 9 and up to 10 points (on a scale of MSK-64).

The electric drive work position is any above the horizontal plane passing through the shutoff valves axis.

The main technical characteristics of electric drive are shown in table 1.

Table 1 -The electric drive main technical characteristics

Parameter	Norm
Maximum torque at the output, N·m	15000
Maximum speed of output, rps, not less than	10
Regulation range by position, number of output	0 ... 60
The output stopping deviation in the given position, degrees, no more	10
Torque limit on the output, N·m	3000 .. 15000
The maximum deviation of the torque limitation on the output, the percentage of the set value	±15
-in the first half range values	±10
-in the second half range values	
Maximum force on the flywheel at the output maximum torque, N·m	450
Device protection degree according to State standard 14254	IP 67
Overall dimensions (length x width x height), mm, under	1000 x 950 x 1330
Weight, kg, no more	1000

### 2.2.2. The electric drive construction

The electric drive «ЭПЦ-15000» consists of the following main parts (see annex A): gearbox (position 1), handwheel wire (position 2), control unit (position 3), asynchronous electric motor (position 4) and electrical cables in a protective shell (position 5 and 6).

The dimensions of the electric drive and the strapping scheme at loading operations during mounting at the application place are given in annex A.

### 2.2.3. The electric drive operating procedure in automatic mode

When the motor is switched on (position 1) (see annex B) the rotation of the pinion (POS. 2) installed on the motor shaft is transmitted to the cog wheel (position 3). The cog wheel is mounted on the limiter (POS. 4) and rotates on it. The limiter is rigidly fixed to the reducer input shaft (POS. 5) with intermediate rolling elements. The rotation is transmitted through its cam halfclamp from the cog wheel (position 3) to the pusher cam halfclamp (position 6). The pusher transmits the rotation to reducer with intermediate rolling elements through splined connection with limiter (position 5) and to output further (position 7).

The gear (position 8) is installed on the control unit input shaft (position 9) and located in clutch with a cog-wheel (position 3). The gear provides a reverse transmission of rotary motion generated by the electric motor to the input shaft of the control unit proximity sensor. The signals from input shaft provide the shaping and feeding 3-phase supply voltage in accordance with the specified algorithm and motion parameters (speed, position, starting points and movement torques). When the electric drive output link reaches the specified final or intermediate position the motor shuts down. The electric drive output link current position is controlled in progress in the control unit by position sensor signals.

Also constant control of the load value is provided in control unit in progress of electric drive on output link (by AM current) and electric drive is switches-off if the load exceeds torque limit set point.

Information about the motor turning off is displayed on the control unit indicators "open", "closed" or "clutch "when the electric drive output link reaches the specified time limit or switches off at the specified time limit. Information is transmitted by digital signal outputs or by serial interface to telemechanics system.

## **Conclusion**

The aim of this work was the development of the TRN-AD system with the possibility of changing the rotation speed and determining the torque on the shaft of AM.

In the MATLAB Simulink software environment has been developed a model of the TRN-AD system. The "S-Function Builder" block, which allows the user to integrate external C code in the Simulink model are basis of the model. It allows to significantly expand the library capabilities of the MATLAB library.

The «Asynchronous machine SI Units» was selected from the standard MATLAB library. It's a block simulating the operation of the AM.

The electric drive "EPC-15000", which is designed for remote and local control of the valve, was chosen in this work. This electric drive is equipped with an asynchronous induction motor "ДАТЭК - 350.03". The parameters of AM were added to the «Asynchronous machine SI Units» block.

The start mode of AM was modeled in this work. It showed the advantages of using the TRN-AD system. This system reduces the starting currents and torque. It extends service life of the electrical and mechanical parts of the electric drive.

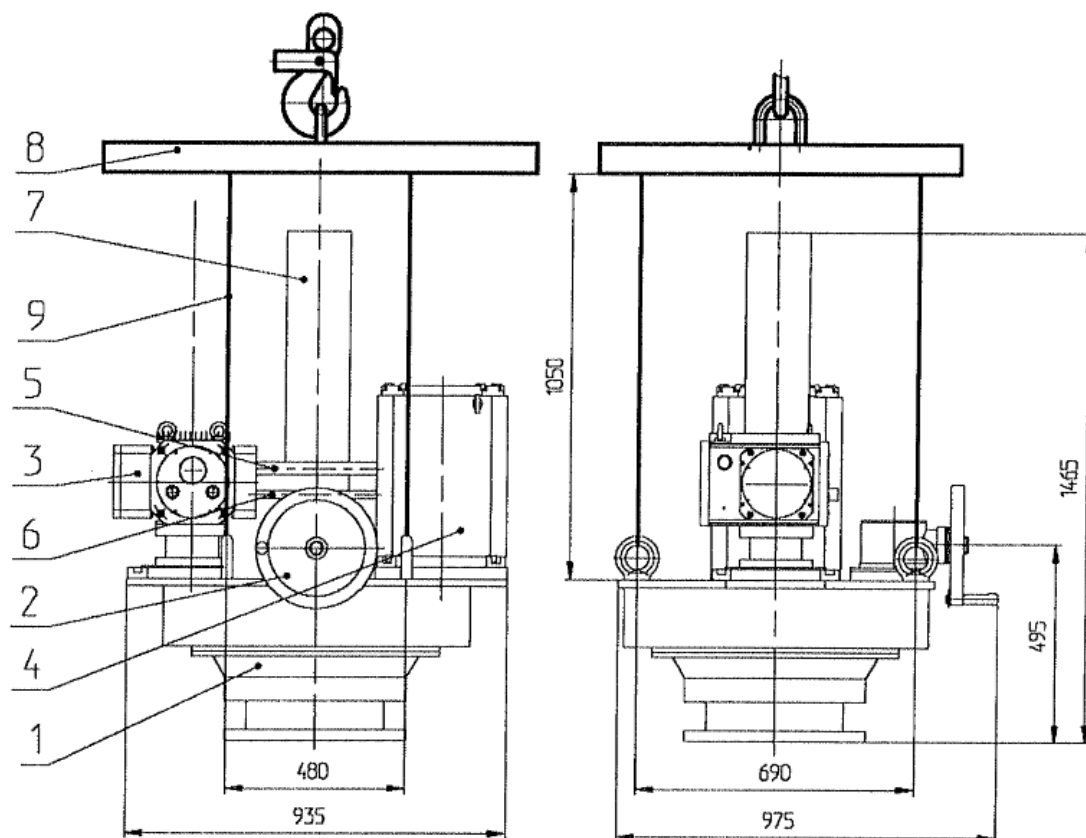
The model was supplemented by the possibility of control the rotor speed of the rotor. This extends the capabilities of the electric drive. The maximum control range was 1:50.

Also, the model was supplemented by the possibility of determining the torque on the AM shaft, which allows to observe the recommended operating mode of the electric drive. It considers the operation specific of the mechanism.

In this work, the dynamic braking mode has been modeled and the graphs of AM transient processes have been analyzed.

## Приложение Б

Общий вид электропривода «ЭПЦ-15000» со схемой строповки



1 – редуктор; 2 – привод ручного дублера; 3 – блок управления регулируемый «БУР»; 4 – асинхронный электродвигатель; 5, 6 – электрические кабели в защитной оболочке; 7 – колпак защитный; 8 – траверса для монтажа/демонтажа (грузоподъемностью до 3 т); 9 – стропы монтажные в составе траверсы

