



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра морские информационные системы**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

На тему Разработка блока управления привода подруливающего устройства  
подводного аппарата

Исполнитель Пушкин Даниил Александрович

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Старший преподаватель факультета информационных  
технологий и систем безопасности, к.т.н.

(ученая степень, ученое звание)

Копынцева Наталья Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

«с защитой допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

д-р техн. наук, доц

(ученая степень, ученое звание)

Забережний Владимир Николаевич

(фамилия, имя, отчество)

2018 г.

Санкт-Петербург 2018



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра морские информационные системы**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**На тему Разработка блока управления привода подруливающего устройства  
подводного аппарата**

**Исполнитель Пушкин Даниил Александрович**

(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель Старший преподаватель факультета информационных  
технологий и систем безопасности, к.т.н.**

(ученая степень, ученое звание)

**Яготинцева Наталья Владимировна**

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»**

**Заведующий кафедрой**

(подпись)

(ученая степень, ученое звание)

(фамилия, имя, отчество)

«  »            2018 г.

Санкт–Петербург 2018

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морских информационных систем

«УТВЕРЖДАЮ»

и.о. заведующего кафедрой

\_\_\_\_\_ Завгородний В.Н.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года

**Задание**

**на выпускную квалификационную работу**

студенту Пушкину Даниилу Александровичу

**1. Тема** «Разработка блока управления преобразователем частоты привода подруливающего устройства подводного аппарата».

закреплена приказом ректора Университета от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ года,  
№ \_\_\_\_.

**2. Срок сдачи законченной работы** «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года.

**3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе:** учебная литература по теме «Преобразователь частоты», научно-практическая литература по теме работы за последние 3 года, эксплуатационная документация.

**4. Перечень вопросов, подлежащих разработке** (краткое содержание работы (проекта):

Введение. Актуальность темы, цели и задачи выпускной квалификационной работы.

- Глава 1. Системы автоматическим управлением судном

1. Описание системы автоматического управления судном.



2. Подруливающие устройства

3. Принцип работы асинхронного электродвигателя

4. Принцип работы преобразователя частоты

- Глава 2. Составляющие электропривода подруливающего устройства

В данной главе необходимо рассмотреть следующие вопросы:

1. Схема управления подруливающими устройствами

2. Описание принципа работы асинхронного электродвигателя ДВА-700-40М4

3. Устройство и принцип работы преобразователя частоты АТ24 «Мультидрайв».

- Глава 3. Разработка блока управления преобразователем частоты привода подруливающего устройства

В данной главе необходимо рассмотреть следующие вопросы:

1. Силовая схема преобразователя частоты АТ24

2. Алгоритм работы с пультом управления преобразователем

3. Реализация алгоритмов управления и программирования преобразователем частоты АТ24

Заключение. Выводы по работе в целом. Оценка степени решения поставленных задач. Практические рекомендации.

**5. Перечень материалов, представляемых к защите:** диплом, презентация

**6. Консультанты по работе с указанием относящихся к ним разделов работы:** \_\_\_\_\_

**7. Дата выдачи задания:** «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года



# Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 Система автоматического управления судном .....	9
1.1 Описание системы автоматическим управлением судном.....	9
1.2 Подруливающие устройства .....	14
1.3 Асинхронный электродвигатель .....	18
1.4 Принцип работы преобразователя частоты.....	21
2 Составляющие электропривода подруливающего устройства .....	29
2.1 Схема управления подруливающими устройствами.....	29
2.2 Описание принципа работы асинхронного электродвигателя ДВА-700-40М4 .....	32
2.3 Устройство и принцип работы преобразователя частоты АТ24 «Мультидрайв».....	41
3 Разработка Блока управления электроприводом подруливающего устройства. ....	54
3.1 Силовая схема преобразователя частоты .....	54
3.2 Алгоритм работы с пультом управления.....	55
3.3 Реализация алгоритмов управления и программирования преобразователем частоты АТ24.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	72
Список использованных источников .....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	77
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	78
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	79
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	80



ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	81
Приложение Е .....	83



## **ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день управление множеством устройств вокруг нас автоматизировано. Развитие современных технологий подразумевает под собой частичную или полную автоматизацию систем управления. Все вокруг нас - начиная с бытовой техники и заканчивая системой управления судном, управляется с помощью заданного алгоритма управления.

Перед будущим поколением инженеров стоит множество сложных и актуальных задач. В частности такие задачи как: конструирование современных программируемых устройств управления, а также создания и актуализация современных блоков управления.

Российское судостроение на данный момент является одним из самых динамично развивающихся и передовых отраслей промышленности. Современное судно представляет собой целостный организм, связанный воедино бортовым компьютером, управляемым, программируемым и контролируемым экипажем судна. Морфлот Российской Федерации имеет в своем распоряжении самые передовые суда. Многие эти суда имеют достаточно сложное устройство и оснащены самыми современными приводами управления, в основе которых лежат технологичные и современные подруливающие устройства, на базе асинхронных электродвигателей.

Под управлением, как правило, принято считать процесс изменения одним объектом состояния другого объекта с помощью целенаправленных управляющих воздействий или команд. Командная система и объект управления взаимодействуют друг с другом, образуя систему управления.

Задача автоматизации систем управления состоит в том, чтобы частично или полностью освободить человека от непосредственного участия в процессе управления судном. Система выполняющая свои функции автоматически, без участия человека, называются системы автоматического управления (САУ).



Введение в эксплуатацию блока управления привода подруливающего устройства подводного аппарата, значительно упростит взаимодействие необитаемого подводного аппарата и человека. Разработка современного блока управления даст в развитии толчок не только обслуживающему персоналу, но и отечественной IT-сфере, сформирует вокруг себя компетентных специалистов-инженеров. Также это откроет возможность для российских конструкторов принимать участие в создании самых современных подводных аппаратов.

Под понятием автоматического управления судном скрывается множество возможностей не только для военной промышленности, но и для научной деятельности. С помощью современных обитаемых аппаратов появляется удивительно широкий спектр открытий в сферах: экологии, океанологии, физики моря.

При создании работы было изучено и использовано большое количество технической документации устройств, изучены принципы управления программируемого электропривода. В качестве составных устройств привода приняты современные разработки отечественных концернов.

**Целью** данного исследования является: анализ систем автоматического управления судном, анализ и выбор соответствующего электродвигателя и преобразователя частоты, разработка блока управления преобразователя частоты электропривода, а также разработка алгоритма управления преобразователем частоты. **Объектом** данного исследования является система автоматического управления судном и подруливающее устройство подводного аппарата. **Предметами** исследования являются: трехфазный асинхронный электродвигатель, преобразователь частоты, микроконтроллер управления электроприводом.

Данное исследование особенно актуально в наши дни. По причине все большего уклона при разработки систем управления в сторону автоматизации. Разработка блока управления современным автоматическим





оборудованием является одной из приоритетных задач. Успешная разработка не только способствует более эффективному управлению устройствами, но и позволит более эффективно справляться с задачей управления сложным оборудованием, например необитаемым подводным аппаратом. Открываются широкие возможности в исследовании океанического дна, изучения экологических проблем океана, а также в формировании рельефных карт дна.



# 1 Система автоматического управления судном

## 1.1 Описание системы автоматическим управлением судном

Российское судостроение на данный момент является одним из самых динамично развивающихся и передовых отраслей промышленности. Современное судно представляет собой целостный организм, связанный воедино бортовым компьютером, управляемым, программируемым и контролируемым экипажем судна. Морфлот Российской Федерации имеет в своем распоряжении самые передовые суда. Многие эти суда имеют достаточно сложное устройство и оснащены самыми современными приводами управления, в основе которых лежат технологичные и современные подруливающие устройства, на базе асинхронных электродвигателей.

Изучив принципы работы электродвигателей и подруливающих устройств, будет разработан блок управления на базе современной отечественной разработки – преобразователе частоты АТ24 «Мультидрайв».

Под управлением, как правило, принято считать процесс изменения одним объектом состояния другого объекта с помощью целенаправленных управляющих воздействий или команд. Командная система и объект управления взаимодействуют друг с другом, образуя систему управления.

Задача автоматизации систем управления состоит в том, чтобы частично или полностью освободить человека от непосредственного участия в процессе управления судном. Система выполняющая свои функции автоматически, без участия человека, называются системы автоматического управления (САУ).

Автоматизация систем управления судна состоит в применении современных технических и программных средств, которые частично или полностью освобождают человека от участия в управлении. В процессе непосредственной работы системы автоматического управления судном выполняют необходимые функции, программно заданные человеком,



образуют сигналы из одного вида в другой. В данной работе будут рассмотрены подобные системы управления, в частности принцип работы подруливающего устройства и синтезатора частоты привода электродвигателя, а также будут исследованы идеи актуализации и разработан прототип системы управления. Возникает необходимость рассмотреть актуализацию разработки блока управления, провести необходимые исследования и на их основе решить задачу разработки собственного блока управления привода подруливающего устройства

Для выполнения своих задач САУ снабжается внутренними датчиками информации, средствами связи для получения сведений от внешних источников, устройствами хранения данных, программными средствами, управляющими получением информации от этих источников, ее упорядочиванием и передачей для дальнейшей обработки. Постоянная и медленноменяющаяся информация в САУ записывается в долговременной памяти. К организации данных в ней предъявляются требования надежности хранения, обеспечения быстрого поиска, защиты от ошибок и несанкционированного доступа и др.

Сведения в памяти системы организуются в виде баз данных. Базой данных называют совокупность взаимосвязанных массивов, обеспечивающих хранение данных о СУ и ее ВС с такой минимальной избыточностью, которая обеспечивает их оптимальное использование во всех практических случаях, связанных с этой СУ. Выделяют две самостоятельные функции, выполняемые базами данных: образование информационных моделей СУ и ВС, справочная функция.

Первая функция заключается в аккумулировании всех необходимых при управлении относительно стабильных сведений об СУ и ВС, которые и составляют неформализованные информационные модели этих элементов. В САУ должна быть возможность дополнения этих моделей и приведения на уровень современности.



Справочная функция баз данных состоит в выдаче сведений, необходимых для принятия решений. Они представляются по запросу оператора либо в соответствии с реализуемой программой автоматически.

Выделение двух автономных функций позволяет формировать, накапливать и изменять по мере необходимости данные в базах независимо от использующих их программ. Для работы с информацией баз разрабатывается комплекс программных средств, называемый системой управления базами данных (СУБД). Основные функции СУБД: управление получением сведений, их сортировкой, распределением, хранением и защитой; поддержанием данных на уровне современности; выдача справок; объединение и разделение файлов, их копирование и восстановление; защита информации от несанкционированного доступа; устранение ошибок в работе ряд других функций. Обработка информации.

Цель обработки информации в САУ - контроль ее достоверности и нахождение концентрированных, сжатых характеристик, обеспечивающих минимальный и в то же время достаточный для принятия решений объем данных. Представление информации оператору. При выдаче данных человеку должна быть обеспечена их полнота и в то же время минимизация до необходимого и достаточного для выработки правильного решения объема. В отображении информации лицу, принимающему решение, основным является удобство восприятия, обеспечивающее простое, без напряжения, быстрое и безошибочное понимание сложившейся в процессе управления ситуации. Трудности при восприятии информации ведут, в конечном счете, к увеличению времени на принятие решения и снижению его эффективности. Комплекс технических и программных средств, выполняющих переработку информации для облегчения задачи управления, называется системой поддержки принятия решений либо просто информационной системой. В СУ информационная система замкнута на человека всегда, и иногда - на технические средства управления.



Системы автоматического управления судном, в частности подводным аппаратом можно условно разделить на две группы: основные и вспомогательные.

К основным относятся системы автоматического судна по курсу. Примером может служить универсальная авторулевая система производства компании «Навис». Гибкая архитектура позволяет устанавливать данное устройство на различные типы судов, они обеспечивают автоматическую настройку параметров при изменении внешнего воздействия на судно или изменения водоизмещения судна. Это обеспечивает оптимальный режим работы системы без участия оператора, а интуитивный графический интерфейс и небольшое количество кнопок обеспечивает быстрый доступ ко всем функциям системы. Данное устройство повышает безопасность судовождения и экономические расходы топлива в сравнении с ручным методом управления.

Примером же вспомогательного средства автоматического управления судном может служить подруливающее устройство.

Системы автоматического управления призваны облегчить выполнение задачи управлением судном человеку. Также, стоит отметить, что с помощью автоматизации управления открывается возможность запуска необитаемых подводных аппаратов. Задавая программу в микроконтроллер автоматической системы управления, открывается возможность исследования с помощью роботизированного подводного аппарата исследовать труднодоступные зоны мирового океана. Это положительно отразится не только на разведывательной деятельности, но и на изучении экосистемы океан, океанологии, климатологии и т.д.

Из САУ наибольшее применение имеют в настоящее время системы автоматического регулирования. Они классифицируются по назначению (для управления судном, станком и т.д.), по виду управляемых величин (курс, скорость и т.д.), по другим признакам, из которых отметим следующие. По виду задающего воздействия выделяют системы: стабилизации,



программного управления, следящие. Системы стабилизации характеризуются неизменностью задающего воздействия. Задача таких систем - поддержание с допустимой ошибкой постоянного значения выходной величины при наличии возмущающих воздействий. В системах программного управления задающее воздействие изменяется по заранее установленному закону. В соответствии с этим законом система изменяет выходную величину. В следящих системах задающее воздействие также величина переменная, но заранее закон его изменения неизвестен.

САР подразделяются на линейные и нелинейные. У первых САР зависимость между входом и выходом линейна, т.е. описывается линейными дифференциальными или разностными уравнениями. Работа вторых систем отражается нелинейными дифференциальными или разностными уравнениями. В них имеется один или больше элементов, связь между входом и выходом которых является нелинейной.

В зависимости от характера сигналов различают САР непрерывного и дискретного действия. Все сигналы в первых системах являются плавно изменяющимися. У дискретных систем хотя бы одна величина представляет собой дискретный по времени  $\delta$  (импульсный) или дискретный по уровню (скачкообразный, релейный) или дискретный по времени и уровню (цифровой) сигнал.

По виду управления качеством выделяют САР: без настройки, с ручной настройкой, с частичной адаптацией, адаптивные. У САР без настройки при работе во всем диапазоне условий структура и параметры АУУ неизменны. Система с ручной настройкой дает возможность вручную с помощью специальных органов изменить параметры регулятора для обеспечения требуемого качества управления при изменении влияющих на него условий работы. В САР с частичной адаптацией при изменении одних факторов, влияющих на качество работы системы, используется автоматическая настройка регулятора на оптимальный режим, а других – ручная.



## 1.2 Подруливающие устройства

При работе с задачами управления с судном, “Судно” принято обозначать как объект управления. Существует два вида средств управления судна: активные и пассивные.

Активные средства самостоятельно вырабатывают силы, прилагаемые к управлению судном, примером может служить подруливающее устройство, о нем пойдет речь далее.

Пассивные средства вырабатывают силы, возникающие как реакция на движение судна или руля.

Подруливающее устройство является частью рулевого привода, поворачивающий руль в заданное положение. Подруливающие устройства имеют широкое распространение. Они предназначены для управления судном в условиях, когда эффективность основных средств управления оказывается недостаточной. Например: при поворотах в условиях, маневрировании на низких скоростях либо при отсутствии хода и в условиях сильного течения. Существует несколько видов подруливающих устройств, которые устанавливаются в зависимости от типа судна, условия размещения, требуемой мощностью и стоимостью. На рисунке 1 представлен внешний вид подруливающего устройства:



Рисунок 1- Внешний вид подруливающего устройства

Рассмотрим все виды подруливающих устройств.

Виды подруливающих устройств:

- По месту расположения.
- По направлению упора
- По месту выработки струи
- По типу движителя
- По типу двигателя

По месту положения подруливающие устройства делятся на носовые и кормовые. Наиболее часто встречается только носовые подруливающие



устройства. Это объясняется, как правило, трудностью в размещении, поскольку в кормовой части располагаются кормовые винты. Помимо этого у одновинтового судна носовая часть менее управляемая, чем кормовая.

По месту расположения различают носовые и кормовые подруливающие устройства.

По направлению упора различают поперечные и азимутальные подруливающие устройства.

В зависимости от места выработки струи от движителей подруливающие устройства могут быть: туннельными и ствольными.

Туннельные устройства имеют широкое применение на гражданских судах. Они включают в себя пульт управления, сквозной поперечный канал (туннель), движитель, а так же двигатель который обеспечивает движитель энергией. Имеет цилиндрическую форму и находится ниже ватерлиния. Управление осуществляется дистанционно с пульта в рулевой рубке.

Азимутальные подруливающие устройства нашли широкое применение на паромах, баржах, пассажирских лайнерах. Они бывают носовыми и кормовыми.

Азимутальные Подруливающие устройства (поворотные винтовые колонки) вначале были применены в системах динамического позиционирования буровых судов, а по истечению определенного времени ими стали оснащаться и другие плавсредства: суда для прокладки трубопроводов и кабелей, землесосы и землечерпалки, буксиры-спасатели и т.д. Нашли азимутальные подруливающие устройства применение и на пассажирских лайнерах, паромах и на других судах, деятельность которых связана с частыми швартовками. Азимутальные устройства могут быть носовыми и кормовыми. Основной недостаток винтовых азимутальных подруливающих устройств состоит в том, что в рабочем состоянии они выступают за пределы корпуса судна. Ряд водопроточных азимутальных ПРУ не имеют этого недостатка, но они менее экономичны.



В зависимости от типа двигателя подруливающие устройства бывают дизельные, гидравлические, электрические. Первичным, как правило, служит дизель, он вращает генератор, снабжающий энергией электромотор. Электрические и гидравлические моторы являются вторичными.

Следует отметить, что эффективность работы подруливающего устройства резко уменьшается по мере роста скорости хода. Наибольшую эффективность имеют при работе в швартовом режиме, а так же на скорости до 3 узлов, при дальнейшем повышении скорости эффективность использования падает.

В современных условиях все большее распространение получает привод, работающий на базе электродвигателя. Поскольку управление выполняется с помощью синтезатора частоты, который работает на базе программируемого процессора, открывается возможность задать многие функции управления подруливающего устройства, написав программу. Приоритет в создании современного блока управления стоит высоко, так как подруливающие устройства приобретают все большее распространение, написание блока управления освободит человека от участия в управлении и сделает спектр обязанностей специалистов более узкопрофильным, контроле и отладке устройства. О реализации создания блока управления и принципах работы электродвигателей и пойдет речь далее.

Кроме органов управления на пульте подруливающего устройства расположены средства сигнализации о неполадках в работе устройства. Так в гидравлических устройствах имеется сигнализация о положении подруливающего устройства(поднято, опущено), низком уровне, малом давлении и высокой температуре масла в системе, большой температуре охлаждающей воды.



### 1.3 Асинхронный электродвигатель

В современной России множество концернов занимает лидирующие мировые позиции в производстве, соответствующих самым современным мировым стандартам, электродвигателей. Широкое использование асинхронных электродвигателей можно объяснить тем, что они достаточно экономичны, просты по исполнению и надежны в работе. Трехфазные асинхронные двигатели активно используются в устройствах автоматики, бытовых приборах, медицинском оборудовании, звукозаписывающих установках, а также в системах автоматизации управления объектами, в том числе и судном. Следуя статистическим данным, 75-90 % устанавливаемых на судне электродвигателей применяют для привода разнообразных механизмов и машин. На рисунке 2 представлено изображение асинхронного трехфазного электродвигателя:

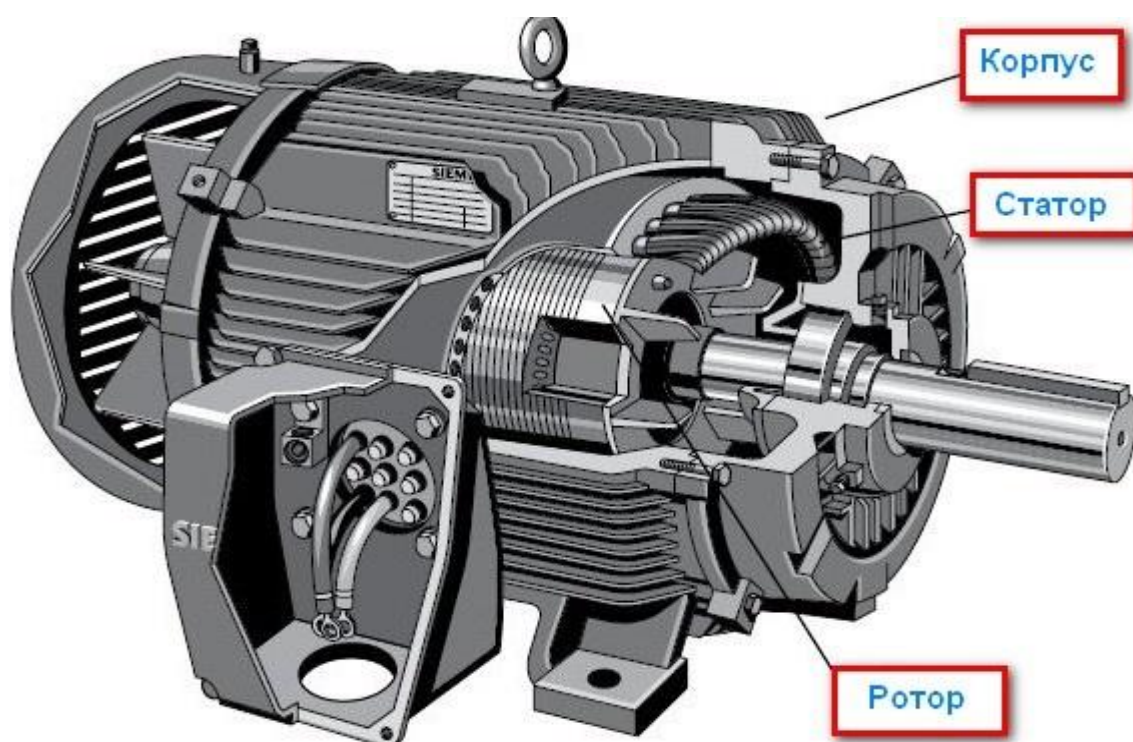


Рисунок 2- Изображение асинхронного трехфазного электродвигателя.

В состав асинхронного трехфазного двигателя входят:

- Статор;
- Ротор;

- Обмотка;
- Корпус.

Статор является неподвижной частью двигателя. Внутри статора происходит вращения подвижной части двигателя – ротора.

Ротор представляет собой подвижную часть электродвигателя. Ротор состоит из катушки с проволокой плотно обернутой вокруг металлического сердечника. При этом ротор использует только постоянный ток. Как следствие, его магнитной поле всегда протекает исключительно в одной направленности.

В пазах статора располагается обмотка. Когда через обмотку проходит трехфазный переменный ток, создается вращающийся магнитной поле. Ток, текущий по проводнику создает магнитное поле вокруг него. Таким образом, принцип действия работы двигателя основывается на создании в обмотке статора вращающегося магнитного поля.

Принцип работы судовых электродвигателей абсолютно идентичен другим видам. Однако, существует ряд требований и стандартов, которым судовые электродвигатели должны соответствовать. Прежде всего – это способность работать при периодическом крене до  $45^\circ$ , который возникает при качке судна. Ко всему прочему оборудование должно иметь соответствующую изоляцию, выполненную из влагостойких и теплостойких изоляционных материалов.

Существует несколько видов исполнения судовых электродвигателей:

- Открытое исполнение
- Брызгозащищенное
- Водозащищенное
- Герметические
- Взрывобезопасные

Установка происходит, как правило, в месте защищенным от попадания влаги, масла.



Работа электродвигателей может осуществляться в трех режимах:

- продолжительный;
- кратковременный;
- повторно-кратковременный.

Электродвигатель, работа которого рассчитана на продолжительную нагрузку, при условии, что нагрузка не превышает предусмотренную в паспорте, может работать фактически бесконечно. Совершенно противоположная ситуация складывается относительно электродвигателя с кратковременным режимом работы. Он может работать без отключения лишь до того момента, который будет указан на щитке электродвигателя. Электродвигатель с повторно-кратковременным режимом свою работу чередует остановками, по своей сути работает в течение любого интервала времени, но с относительной продолжительностью включения указанной в паспортном щитке.

Предусмотрено три режима управления: автоматический, ручной и полуавтоматический.

При автоматическом управлении импульсы пуска и остановки двигателя подаются автоматически специально настроенными подготовленными устройствами. Роль персонала сводится к настройке наладке устройств, написания алгоритма работы и последующего контроля за ними. Устройствами служат реле, сенсорно реагирующие на различные изменения давления, уровня воды, температуры и т.д.

Автоматическое управление в настоящее время получает все большее распространение. Автоматизируется управление насосами, подача воды, работа холодильных установок, собой целостный организм, связанный воедино бортовым компьютером, управляемым, программируемым и контролируемым экипажем судна. Помимо вышеперечисленного открывается возможность задавать с помощью синтезатора частоты на базе программируемого процессора, задавать программно необходимую частоту и такт работы двигателя. Написание блока управления позволит создать

эффективную конфигурацию для работы с необитаемыми подводными аппаратами. Решать самые высокие задачи как и научно-промышленные по исследованию глубин, так и военные с целью деятельности по обнаружению противника и разведки.

Ручное управление, напротив, требует от персонала высочайших навыков. В случае некорректных действий возможно обесточивание установки, перегрев пусковых соединений. В следствии этого снижается эффективность работы электродвигателей, поэтому на данный момент происходит тенденция на снижение применения ручного управления. В основном его используют для работы двигателей малой мощности с небольшим количеством пусков и остановок.

При помощи релейно-контакторного оборудования происходит полуавтоматическое управление электродвигателем. Персонал, с помощью кнопок управления (командоконтроллеров) размыкает и замыкает цепи питания катушек реле и контакторов. Преимущество полуавтоматического управления в том, что от персонала не требуется высоких навыков. От оператора не требуется больших усилий помимо этого, имеется возможность управлять двигателями дистанционно. В настоящее время именно этот вид управления электродвигателем имеет самое широкое распространение на судах по всему миру, в том числе и в Российской Федерации.

Изучив рынок, можно сделать вывод, что современные Российские электродвигатели на данный момент соответствуют самым высоким мировым стандартам и ни в чем не уступают иностранным аналогам, при значительно меньшей стоимости. Производится большое количество изделий. В числе лидеров по производству такие концерны как: корпорация РИФ, компания РУСЭЛТ, ОКТБ кристалл и т.д.

#### 1.4 Принцип работы преобразователя частоты.

Преобразователь частоты или инверторная система – это устройство электропривода, преобразующее сетевой однофазный или трехфазный



переменный ток частотой до 50(60) Гц в однофазный или трехфазный ток частотой от 1 Гц до 800 Гц. На рисунке 3 представлен внешний вид преобразователя частоты:



Рисунок 3 – Внешний вид преобразователя частоты

Основными функциями преобразователя частоты являются: автоматические и программируемые пуск, остановка и регулирование частоты вращения электродвигателя, разгон и торможение с заданными темпами, автоматическое переключение в режим заданной частоты вращения, сохранение конфигурации управления двигателем, обеспечение защит

электродвигателя, автоматический повторный запуск электродвигателя в случае кратковременных сбоев питающей сети.

Преобразователь частоты управляется микроконтроллером, на котором выполняется программа. Программа производит управление основными параметрами электродвигателя, который в свою очередь входит в состав привода устройства. Для решения задач регулирования скорости и момента, в основном применяют два метода управления преобразователем частоты :

- Скалярный метод
- Векторный метод

Скалярный или частотный метод управления заключается в том, чтобы поддерживать постоянным отношение напряжения к частоте (В/Гц) во всем рабочем диапазоне скоростей. Скорость асинхронного двигателя зависит от, установленных напряжения и частоты статора. В следствие этого магнитное поле в зазоре поддерживается нужной величине. Отношение В/Гц при этом не изменяется не зависимо от скорости. Напряжение питания статора при увеличении скорости должно также пропорционально увеличиваться. Однако частоты вращения двигателя не равна частоте вращения вала. Поэтому скалярная система управления не может точно контролировать скорость в случае увеличения нагрузки. Решается данная задача добавлением обратной связи по скорости, а следовательно и компенсации скольжения. Для работы не требуются датчики положения ротора, а скорость оценивается по частоте питающего напряжения. В отличие от векторного управления не требуются высокопроизводительные процессоры.

Гораздо более современным и актуальным является векторное управление электродвигателем мощностью преобразователя частоты. Данный вид управления позволяет безынерционно контролироваться скорость вращения и момент на валу. Векторное управление в сравнении со скалярным обладает наиболее высокой производительностью, позволяя быстро реагировать на изменение нагрузки, более точно и в увеличенном диапазоне регулировать конфигурации текущей работы двигателя, способствует снижению нагрева и





намагничивания, повышает КПД, плавные старт и вращение двигателя во всем диапазоне частот. Из недостатков стоит отметить большую вычислительную сложность и необходимость задания параметров электродвигателя.

Суть векторного управления заключается в том, что задается пространственный вектор, который вращается с частотой поля двигателя. На данный момент существует несколько методов векторного управления моментом. Чаще всего методы разделяют на:

- Линейные (ПИ, ПИД) регуляторы
- Нелинейные (гистерезисные) регуляторы

Линейные регуляторы момента работают в совокупности с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) напряжения. Усредненный необходимый вектор напряжения определяют регуляторы. Окончательно, вектор синтезируется методом ШИМ. По большей части генерируемая, используемая, пространственно-векторной модуляцией (ПВМ).

Нелинейные регуляторы предлагают заменить раздельное управление на непрерывное (гистерезисное) управление, которое соответствует идеологии работы (включено-выключено) полупроводниковых устройств инвертора.

Все настройки задаются пользователем, что обеспечивает гибкость, вариативность и возможность удобного регулирования в случае необходимости. Имеется возможность задавать программу работы с помощью таких программ как: AVR studio, assembler, c++.

Конструктивно, преобразователь частоты выполнен в шкафном исполнении наружного использования. Внутри состоит из схем в составе который тиристор и транзистор, силовой части – преобразователя электрической энергии, управляющий части с микроконтроллером. Современные преобразователи частоты имеют модульную архитектуру. Данная конструкция позволяет изменять и расширять возможности устройства. Дополнять и устанавливать различные интерфейсные модули,



расширять каналы ввода и вывода. На рисунке 4, представлена блок-схема преобразователя частоты:

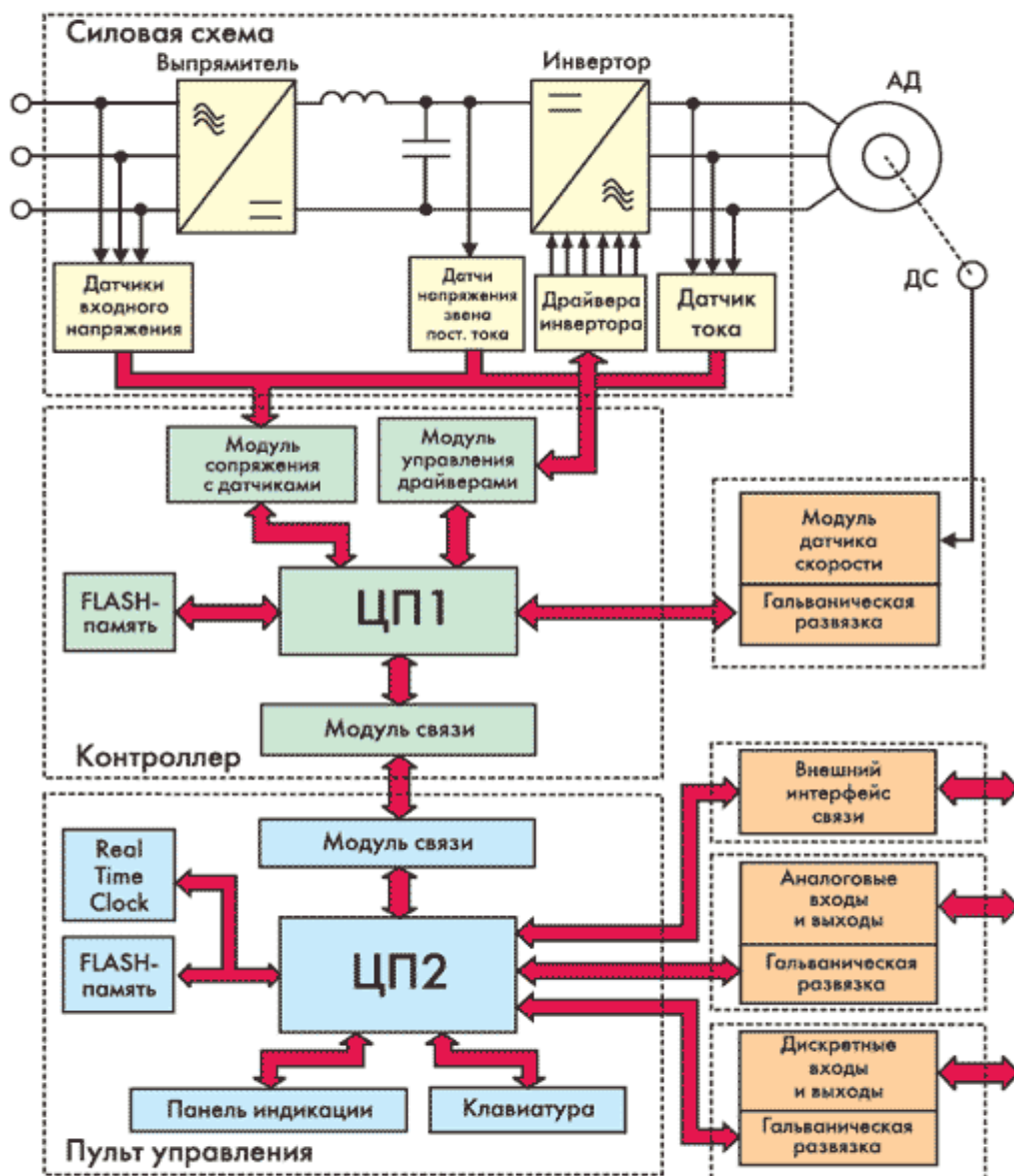


Рисунок 4- блок-схема преобразователя частоты

Как правило, преобразователи частоты управляются с помощью пульта управления. Пульт управления располагается на лицевой части преобразователя. Для хранения настроек системы используется flash-память. На рисунке 5 представлена типовая схема преобразователя частоты:

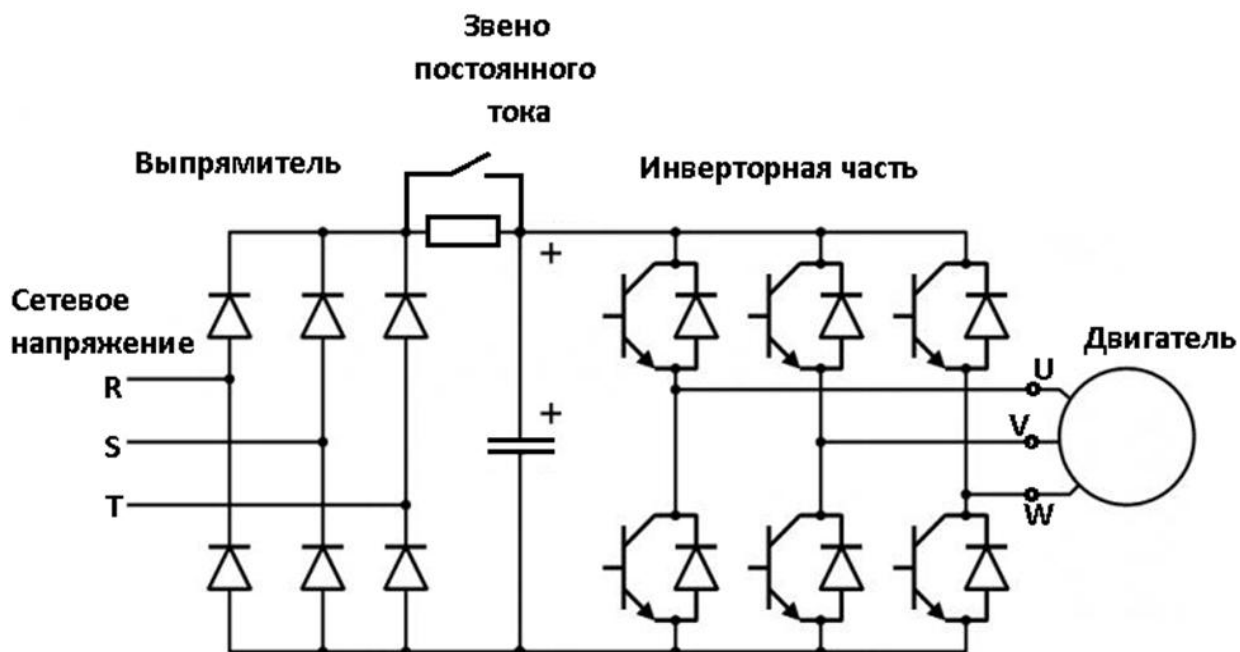


Рисунок 5 -Типовая схема преобразователя частоты

Из изображения следует, что основными элементами силовой схемы являются выпрямитель и инвертор.

Выпрямитель представляет собой механизм, который преобразует входной переменный ток, в ток постоянного направления.

Инвертор выполняет функцию обратную выпрямителю. Являет собой генератором периодического напряжения по форме приближенного к синусоиде. Преобразует переменный ток в постоянный. Драйвера инвертора управляются посредством создания шестиканальной широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Основными элементами пульта управления и контроллера являются центральные процессоры (ЦП). Данная конструкция обусловлена большим объемом сложных вычислений в режиме реального времени для реализации сложнейших алгоритмов управления. Они призваны исполнять код программ, работу с устройствами вывода, памятью, индикаторами, модулями связи, модулями управления, датчиками. Современные преобразователи стоятся на основе двух или нескольких процессоров. Первый процессор ЦП1 выполняет все функции преобразователя, задает частоты и исполняет программу блок

управления преобразователем. Второй процессор ЦП2 обеспечивает работу пульта управления, индикаторов и связи. Наличие двух процессоров в системе позволяет снизить нагрузку в работе на отдельно взятый процессор. Увеличивается быстродействие, снижается требование к объему памяти.

Работу современных преобразователей частоты трудно представить без, лежащих в основе микропроцессоров. В частности, данное устройство наиболее широко применяется в составе электродвигателей подруливающих устройств. Подруливающие устройства в свою очередь все более широко используются, как и в надводных судах, так и в подводных аппаратах. Перспектива развития, в частности необитаемых подводных аппаратов, для Российской Федерации крайне привлекательна и актуальна. Это откроет возможность более широко исследовать воды Арктики, Черного моря и Тихого Океана. В следствии развития данного рынка, имеет колоссальную ценность разработка новейшего автоматизированного блока управления, в том числе для подруливающего устройства.

На сегодняшний день рынок переполнен микроконтроллерами различных исполнений и архитектур. Создание блока управления позволит более точно настраивать конфигурации работы с преобразователем. Участие человека в операциях сложных маневров на низких скоростях может свестись к минимуму. Заметно в лучшую сторону может измениться и управление подводными аппаратами, с помощью подруливающего устройства улучшится плавность хода, что в свою очередь уменьшит вероятность возникновения потери контроля аппаратом. Также написание успешного блока управления может дать толчок к развитию не только строения современных отечественных подруливающих устройств и электродвигателей, но и одновременно повысит уровень технической подкованности персонала в написании программ автоматизации управления. Возможно, развитие подобных технологий приведет к промышленному производству отечественных микроконтроллеров.



Таким образом, именно поэтому, в качестве основы были выбраны именно отечественные разработки, соответствующие всем современным мировым стандартам качества, но при этом имеющие более низкую цену в сравнении с иностранными аналогами.

В данной главе было осуществлено ознакомление с общими принципами работы с автоматизацией управления подводного аппарата. Проведен анализ и рассмотрены общие принципы работы подруливающего устройства, асинхронного двигателя и преобразователя частоты, исследована специфика работы с устройствами, а также рассмотрены условия применения в современных реалиях.

Во 2 главе, в качестве составного устройства привода подруливающего устройства будет рассмотрен асинхронный трехфазный электродвигатель ДВА-700-4ОМ4, Российской разработки. Будут изучены его характеристики, чертежи, а также принцип и специфика работы с устройством в совокупности с преобразователем частоты АТ24 «мультидрайв» в составе привода подруливающего устройства.



## **2 Составляющие электропривода подруливающего устройства**

### **2.1 Схема управления подруливающими устройствами**

Управление подруливающим устройством осуществляется посредством подачи сигнала с преобразователя частоты на асинхронный электродвигатель. Фазовые выходы преобразователя подключают к контактам электродвигателя. Обмотки электродвигателя подсоединяются по принципу «треугольник» или «звезда». Тип выбирается исходя из напряжения, который вырабатывает источник. Далее преобразователь подключается к пульта управления. Пульт управления выполняет все рабочие функции управления заданные в микроконтроллер преобразователя.

Эми-фильтр устанавливается с целью предотвращения проблемы электромагнитной совместимости устройств.

Снижению нагрузки на сеть, кабель и предохранители будет способствовать установленный сетевой дроссель. Использование сетевого дросселя на входе преобразователя позволит снизить пиковые входные токи на преобразователь и повысит коэффициент мощности.

Соединение преобразователя с двигателем осуществляется посредством кабелей, сечение которых соответствует сечению кабелей указанных в паспорте устройства. Управление электродвигателя осуществляется за счет блока управления заданного в преобразователь частоты. С помощью алгоритма преобразователь задает частоту вращения стандартное значение которой составляет 50 Гц и вызывает соответственно 50 колебательных периодов за секунду. Задается бессенсорное управление, которое осуществляется за счет назначения зависимостей чередования между последовательностями широтно-импульсных модуляций инвертора для предварительно составленных алгоритмов. Регуляция размера амплитуды и выходной частоты, которую имеет напряжение, осуществляется в соответствии со скольжением и нагрузочным током, но обратная связь от роторной вращательной скорости не учитывается.



Таким образом управление подруливающим устройством осуществляется с помощью подачи тока на преобразователь частоты мощностью 380 В, который в свою очередь преобразует сигнал из постоянного тока в переменный и с помощью разработанного алгоритма управления подает необходимую частоту вращения на электродвигатель привода подруливающего устройства, который в свою очередь регулирует работу подруливающего устройства. Блок-схема управления представлена на рисунке 6:

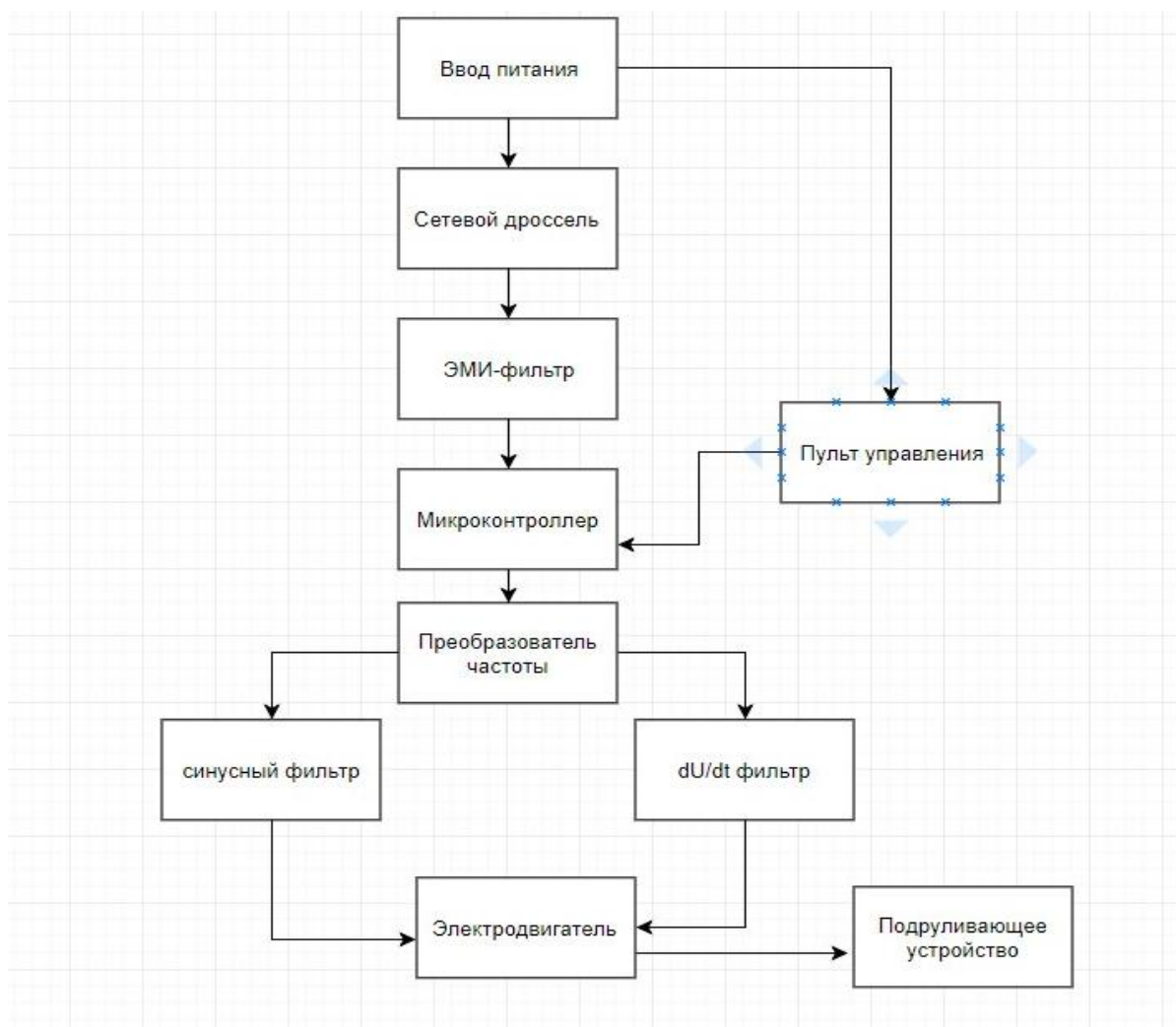


Рисунок 6 – Блок-схема управления подруливающим устройством.

Управление всеми рабочими процессами преобразователя частоты электропривода будет осуществляться с помощью микропроцессорного контроллера УМКА-27. Данный микроконтроллер является также как и

преобразователь частоты АТ24 мультидрайв разработкой компании Триол. Он хорошо себя зарекомендовал в работе на насосных станциях, буровых установках, судовых двигателях. Работа осуществляется на базе современного двухядерного микропроцессора. Данное устройство является актуальным и соответствует всем современным стандартам.

Установка асинхронного двигателя ДВА-700-4ОМ4 в совокупности с преобразователем частоты АТ24-М71-690-Р10000-LC в составе привода подруливающего устройства подводного аппарата полностью оправдана. Первопричиной является то, что оба устройства –производства Российской Федерации. Это означает, что у пользователя не возникнет проблем с освоением устройств и поиска запасных деталей.

Исполнение обоих устройств – вертикальное. Именно по этой причине не возникнет проблем с монтажом и совокупным использованием устройств. Если обратиться к характеристикам электродвигателя приведенным выше в таблице и к характеристика преобразователя приведенным в таблице, то можно заметить практически полную совместимость. Совместимость в диапазоне напряжения подаваемого тока, номинальной мощности электродвигателя, полной мощности электродвигателя, диапазоне выходной частоты, частоте тока при входе и что наиболее важно в максимальном показателе отклонений, Помимо этого соблюдено полное соответствие типа двигателя преобразователю- асинхронный, соответствие в количестве фаз - три .В совокупности это дает практически полную универсальность в использовании и при создании блока управления подруливающим устройством. Особенно, если учитывать, что в условиях нахождения под водой необитаемого аппарата, прибегать к использованию подруливающего устройства пользователю приходится достаточно часто.

Частотное регулирование скорости асинхронного двигателя позволяет изменять угловую **скорость** вращения в диапазоне - 20...30 к 1. Регулирование скорости асинхронного двигателя вниз от основной осуществляется





практически до нуля. Связь между угловой скоростью вращения и частотой питающего тока вытекает из уравнения:

$$\omega_0 = 2\pi f_1/p$$

При не изменяющемся напряжении источника питания и изменении частоты, изменяется магнитный поток асинхронного двигателя. При увеличении частоты питания стоит пропорционально увеличивать напряжение, с целью сохранения магнитного потока постоянным, в противном случае это может привести к перегрузке. Частотный способ является наиболее перспективным для регулирования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, которым является двигатель ДВА-700-4ОМ4 . Работа при таком методе не сопровождается увеличением скольжения, а потери мощности невелики.

## **2.2 Описание принципа работы асинхронного электродвигателя ДВА-700-4ОМ4**

Двигатель вертикальный асинхронный ДВА-700-4ОМ4 предназначен для работы в составе частотно-регулируемого привода электрооборудования. Используется на судах различного назначения в условиях неограниченного района плавания. Климатическое исполнение и категория размещения двигателя – ОМ4 по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89.

Основные параметры и характеристики двигателя:

- Диапазон частоты вращения 0-1500 об/мин.
- Режим работы двигателя – режим с неперiodическими изменениями нагрузки и частоты вращения с реверсами до 2 в минуту и электрическим торможением на резисторы преобразователя частоты

В диапазоне частот вращения 0-1500 об/мин момент сопротивления приводимого механизма  $M_{мех}$  должен соответствовать зависимости  $M_{мех} = M_{ном} (n/n_{ном})^2$ , где  $n$  – частота вращения,  $M_{ном}$ ,  $n_{ном}$  – номинальный момент и номинальная частота вращения двигателя



– Обмотка статора должна быть изготовлена из провода с напряжением не менее 2,5 кВ.

Габаритные и установочные размеры приведены в приложении А.

Устройство двигателя приведено в приложении Б.

Основные параметры двигателя при питании от сети общего назначения приведены в таблице 1:

Таблица 1 Основные параметры двигателя при питании от сети

Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Номинальное напряжение, В	Схема соединения обмотки статора	Номинальная частота вращения, (синхронная)	Номинальный ток статора, А	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент мощности, cosφ	Вращающий момент, кН·м	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$
ДВА-700-	700	690	Y	1500	683	95.3	0.9	4.46	2.1

Примечания

1  $\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$  – отношение максимального момента к номинальному;

2 Предельно допускаемые отклонения параметров:

- Коэффициент полезного действия  $\eta$ : минус 10% от (100- $\eta$ );
- Коэффициент мощности, cosφ: минус 1/6 (1-cosφ);
- Максимальный вращающий момент, минус 10%;
- Отклонения в противоположную сторону не регламентируются.

Схема внешних подключений приведена в таблице 2:



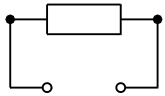
Таблица 2 Схема внешних подключений

Объект		Элемент		Куда поступает	Параметры цепи	Тип, схема соединений, градуировка датчика / ТЭН	
подключения	измерения	Обозначение	Контакт				
Коробка выводов статора							
Фазы статора	U	-	U	Сеть 3 ~ 50 Гц, 690 В	Согласно п.1.2 настоящего РЭ	-	
	V		V				
	W		W				
Коробка клеммная							
ТС №1	1	Сердечник статора фаза V	XT5	4	В цепь управления двигателя	I=5mA U=24V	ТСП-17.-01 ТУ4211-003- -31846771- -2014  Pt100
	2			5			
	3			6			
	экран			≐ (PE)			
ТС №2	1	Обмотка статора фаза V	XT1	4	В цепь управления двигателя	I=5mA U=24V	ТСП-17.-01 ТУ4211-003- -31846771- -2014  Pt100
	2			5			
	3			6			
	экран			≐ (PE)			
ТС №3	1	Сердечник статора фаза U	XT5	1	В цепь управления двигателя	I=5mA U=24V	ТСП-17.-01 ТУ4211-003- -31846771- -2014  Pt100
	2			2			
	3			3			
	экран			≐ (PE)			
ТС №4	1	Обмотка статора фаза U	XT1	1	В цепь управления двигателя	I=5mA U=24V	ТСП-17.-01 ТУ4211-003- -31846771- -2014  Pt100
	2			2			
	3			3			



	экран		≐ (PE)			
--	-------	--	--------	--	--	--

Продолжение Таблицы 2

Объект		Элемент		Куда поступает	Параметры цепи	Тип, схема соединений, градуировка датчика / ТЭН
подключения	измерения	Обозначение	Контакт			
Коробка выводов статора						
ТС №5	1	Сердечник статора фаза W	ХТ5	7		
	2			8		
	3			9		
	экран			≐ (PE)		
ТС №6	1	Обмотка статора фаза W	ХТ1	7		
	2			8		
	3			9		
	экран			≐ (PE)		
Коробка клеммная						
Х2	1	ТЭН со стороны коробки клеммной	Х2	1	В цепь управления ТЭН (включение ТЭН при отключении двигателя, отключение ТЭН при включении двигателя)	I=1.8A U=220B
	2			2		
	3	ТЭН со стороны коробки выводов статора		3		
	4			4		
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>635-52.5029- 21 ТЭН-78-3.5- 10/0.4Т220 ИАБЕ.680095. 002ТУ</p>  </div> </div>						



Двигатель надежно работает при длительном крене судна до 15°, при вибрациях с высокой частотой 80 Гц, а также при бортовой качке до 22.5° с периодом 7-9 с и килевой до 10° от вертикали.

Соединение двигателя с приводом осуществляется с помощью эластичных муфт, которые не дают осевых усилий действующих на вал. Надежность двигателя характеризуется в таблице 3:

Таблица 3 Характеристики надежности двигателя

Наименование показателя	Значение
Средний ресурс до капитального ремонта, час, не менее	15000
Средний ресурс до списания, час, не менее	30000
Средний срок службы до капитального ремонта, лет, не менее	10
Средний срок службы до списания, лет, не менее	20
Вероятность безотказной работы на 1000ч наработки	0.98

При определении показателей надежности данного двигателя не должны учитываться неполадки, возникшие в следствие некорректной эксплуатации, транспортировки или хранения.

Двигатель ДВА-700-4ОМ4 состоит из следующих составных частей:

- Ротор
- Статор
- Подшипниковые щиты
- Воздухоохладители
- Коробка вывода статора
- Коробка клеммная

Исполнение двигателя вертикальное, устройство двигателя представлено в приложении 2. На двух щитовых подшипниках качения, с одним цилиндрическим концом вала. С целью температурного контроля установлены термопреобразователи универсальные ТПУ 30,31, схема воздухоохладителей представлена в приложении 3. Охлаждение двигателя осуществляется воздушно-водяным путем. На двигателе непосредственно, закреплены два водяных воздухоохладителя. По одному на каждый воздухоохладителя установлены датчики уровня, монтаж совершен с целью

контроля протечек. Датчики уровня срабатывают в случае появления конденсата или воды в контрольных отсеках охладителей. Температура охлажденного воздуха в каждом воздухоохладителе не должна превышать 40°C. Габариты размеров воздухоохладителя представлены в приложении В. Температура воды на выходе в каждом воздухоохладителе не должна превышать 38°C. Параметры воздухоохладителей приведены в таблице 4.

Таблица 4 Параметры воздухоохладителей двигателя

Тепловой поток, кВт не менее	Расход воды, м <sup>3</sup> /с (м <sup>3</sup> /ч) среднее значение	Расчетная температура охлаждающей воды, °С не более	Расчетная температура охлажденного воздуха, °С не более	Гидродинамическое сопротивление, МПа (кГс/м <sup>2</sup> ) не более	Аэродинамическое сопротивление, Па (кГс/м <sup>2</sup> ) не более	Рабочее давление воды, МПа (кГс/м <sup>2</sup> ) не более
22	0,0028 (10,08)	38	40	0,011 (0,11)	15 (1,5)	0,30 (3,0)

Сердечник ротора состоит из штампованных, лакированных с двух сторон листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм в форме дисков, собранных в пакеты. Между пакетами для образования радиальных вентиляционных каналов установлены листы с дистанционными распорками. Пакеты насажены на вал и запрессованы между двумя нажимными шайбами.

Сердечник ротора закреплен:

- от осевого смещения кольцевой шпонкой с одной стороны и буртиком вала - с другой стороны; от проворачивания - шпонкой.

В листах сердечника и в нажимных шайбах предусмотрены круглые вентиляционные отверстия (аксиальные каналы) для подвода воздуха к радиальным каналам.

К обслуживанию данного двигателя допускается персонал изучивший руководство по эксплуатации устройства, а также имеющий должную квалификации и освоивший технику безопасности. Запрещается эксплуатация



двигателя в случае наличия постороннего механического шума, а также с поврежденными неисправными составляющим. Возможные неисправности двигателя приведены в таблице 5.

Таблица 5 Возможные неисправности двигателя

Наименование неисправности	Вероятная причина	Метод устранения
Перегрев двигателя	Перегрузка. Не соблюдение режима работы.  Нарушена вентиляция. Несоответствие параметров питающей сети	Снизить нагрузку. Установить номинальный режим работы. Исправить вентиляцию. Привести в соответствие параметры питающей сети
Часть обмотки статора перегрета. Сопротивления фаз неодинаковы	Межвитковое замыкание. Заземление в двух местах обмотки статора или обрыв одной фазы	Допускается выход из строя не более одной катушки в каждой фазе. В этом случае следует выключить катушку из схемы соединений и разрезать по лобовым частям с двух сторон. В случае пробоя большего числа катушек, следует заменить статор
Двигатель при пуске не проворачивается, гудит	Неисправность пусковой аппаратуры. Отсутствует напряжение в одной из фаз. Нарушение условий пуска	Наладить пусковую аппаратуру.  Устранить обрыв цепи.  Привести условия пуска в соответствие
Сильный шум и перегрев подшипника	Повреждение или загрязнение подшипника. Загрязнение смазки. Несоответствующий тип подшипника или смазки.  Плохая центровка двигателя. Велика нагрузка на подшипник от механизма	Заменить или промыть подшипник, заменить смазку, проверить установку подшипника. Проверить соответствие подшипника и смазки заводским данным. Проверить центровку двигателя. Привести в соответствие нагрузку от механизма

Продолжение Таблицы 5

Наименование неисправности	Вероятная причина	Метод устранения
Повышенная вибрация двигателя	<p>Не уравновешены вращающиеся части механизма.</p> <p>Некачественная центровка и (или) установка двигателя.</p> <p>Неисправна соединительная муфта.</p> <p>Эксплуатация двигателя в недопустимом диапазоне частот вращения</p> <p>Несоответствие параметров питающей сети</p>	<p>Отбалансировать вращающиеся части.</p> <p>Проверить центровку и установку двигателя.</p> <p>Проверить соединительную муфту.</p> <p>Исключить эксплуатацию в недопустимом диапазоне частот вращения</p> <p>Установить требуемую частоту коммутации преобразователя частоты</p>
Отсутствие сигналов с ТС и ТПУ	<p>Неисправность приборов (устройств) термоконтроля.</p> <p>Обрыв или замыкание цепей термоконтроля</p>	<p>Устранить неисправность приборов (устройств) термоконтроля.</p> <p>Устранить обрыв или замыкание цепей термоконтроля</p>
Отсутствие сигналов с датчиков уровня и датчиков реле-потока	<p>Неисправность датчиков</p> <p>Обрыв или замыкание сигнальных цепей датчиков</p>	<p>Устранить неисправность датчиков</p> <p>Устранить обрыв или замыкание сигнальных цепей датчиков</p>

Избежать неполадок можно следуя указаниям указанным в техническом паспорте. В случае возникновения неисправности одной из составляющей, имеется возможность исправления в соответствии с рекомендациями по устранению указанных в техническом паспорте устройства.

Прием двигателя в эксплуатацию после его монтажа, организация эксплуатации, техническое обслуживание, выполнение мероприятий по технике безопасности и ремонту должны производиться в соответствии с "Правилами классификации и постройки морских судов" и "Правилами





технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов".

Техническое обслуживание является обязательной процедурой при эксплуатации электродвигателя. В соответствии с государственным стандартом предусматривает выполнение следующих видов работ:

- внешний осмотр и очистка корпуса двигателя;
- замер сопротивления изоляции обмотки статора относительно корпуса;
- замер сопротивления изоляции ТС, ТПУ, датчиков уровня и датчиков-реле потока относительно корпуса;
- замер сопротивления изоляции ТЭН относительно корпуса;
- проверка сопротивления цепей ТС, ТПУ, датчиков уровня и датчиков-реле потока;
- ревизия;
- пополнение или замена смазки, замена подшипников;
- переконсервация при хранении.

Помимо вышеперечисленных видов работ, необходимо проводить ежемесячный осмотр внешней составляющей двигателя. Визуально проверяется внешний вид покрасочных покрытий, состояние и наличие крепежных деталей. Проверяется состояние заземления. Устраняется коррозия, а также покрытие консистентной смазкой.

Асинхронный трехфазный электродвигатель ДВА-700-40М4 на сегодняшний день является отличным выбором при работе в составе привода подруливающих устройств. Характеристики данного устройства соответствуют самым высоким мировым стандартам, а неприхотливость и простота в работе позволяет использовать двигатель в более широких назначениях. На основе изученных характеристик двигателя можно сделать вывод, что данный двигатель выдерживает конкуренцию с иностранными аналогами такими как: SIEMENS, ABB, WEG.



Универсальность применения открывает возможность работы с множеством внешних устройств, в частности с преобразователем частоты. Одним из представителей, который, безусловно, подходит данному двигателю является разработка компании «ТРИОЛ» преобразователь частоты АТ24 «Мультидрайв». На базе которого имеется возможность написать блок управления приводом, задавать такт работы двигателя и регулировать частоту.

### **2.3 Устройство и принцип работы преобразователя частоты АТ24 «Мультидрайв».**

Преобразователь частоты АТ24-М71-690-Р10000-LC серии мультидрайв предназначен для регулировки частоты вращения и момента асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором подруливающих устройств. Система управления преобразователем основана на работе современного двудерного микропроцессора. С помощью процессора реализуются все функциональные режимы работы устройства. В работе силовой схемы используются самые современные разработки с биполярным транзистором с изолированным затвором. Оригинальный способ ШИМ с возможностью выбора ширины коммутации открывает возможность обеспечивать бесшумную работу электродвигателя. Как следствие, всех вышеперечисленных характеристик преобразователь частоты АТ24 «мультидрайв» обладает высокой надежностью и широким разнообразием функций. Обширный спектр функций защиты обеспечивают надежную защиту всей системы преобразователя – электродвигателя. Устройство обеспечивает преобразование трехфазного тока напряжения питающей сети частотой 50 Гц в выпрямленное напряжение с последующим формированием выходного напряжения амплитуду и напряжение которого имеется возможность регулировать. Габаритные размеры преобразователя представлены в приложении Г.

Система управления работает от питания как от входной цепи, так и от внешнего источника, при наличии постоянного напряжения 24В. Данная



модель преобразователя частоты в базовой комплектации имеет встроенный выходной фильтр  $dU/dt$ . Фильтр обеспечивает возможность работы преобразователя частоты с экранированным кабелем двигателя длиной до 150 м и с неэкранированным кабелем длиной до 300 м без использования дополнительных устройств защиты изоляции двигателя. Выходной фильтр  $dU/dt$  ограничивает скорость нарастания выходного напряжения инвертора на фронтах импульсов ШИМ не более 500 В за мкс. Расположен фильтр в ячейках инвертора.

Преобразователь частоты АТ24 «Мультидрайв» способен автоматически задавать программируемый пуск и остановку двигателя, производить регулирование частоты вращения электродвигателя, автоматически переключать в режим заданной частоты вращения, разгонять двигатель и производить торможение, обеспечивает угловое ускорение на разгоне и торможении не более чем допустимо для электродвигателя, обеспечение частотного пуска двигателя как из неподвижного состояния, так и на подхвате, обеспечивает защиту электродвигателя, производит сохранение конфигурации управления электродвигателем.

Система охлаждения преобразователя двухконтурная. Первый контур преобразователя – автономный. Является замкнутым и с расширительным баком компенсации изменения объема теплоносителя при нагреве. Второй контур- пользователя. Все трубопроводы системы охлаждения преобразователя выполнены из нержавеющей стали. Передача тепла от первичного контура вторичному осуществляется с помощью пластинчатого теплообменника, который также изолирует контуры друг от друга. Управление и контроль за системой охлаждения выполняется автоматически отдельной микропроцессорной системой управления, располагается в шкафу теплообменника. Система получает сигналы от датчиков температуры, давления, протечек теплоносителя. Таким образом осуществляется автоматический контроль и регулирование системы охлаждения с помощью микропроцессора



По принципу действия преобразователь частоты АТ24 «Мультидрайв» представляет собой автономный инвертор напряжения (АИН), который формирует на выходы импульсное, модулированное по гармоническому закону напряжение, которое в свою очередь обеспечивает высокую степень синусоидальности тока во всем диапазоне регулирования частоты вращения. Сетевой или входной выпрямитель является диодно-тиристорным с цепями предварительного заряда звена постоянного тока и сетевым трехфазным дросселем. Способ управления- широтно-импульсная модуляция с несущей частотой 1,5-4 кГц.

На рисунке 7 представлена электрическая блок-схема силовых цепей преобразователя частоты АТ24-М71-690-Р10000-LC.

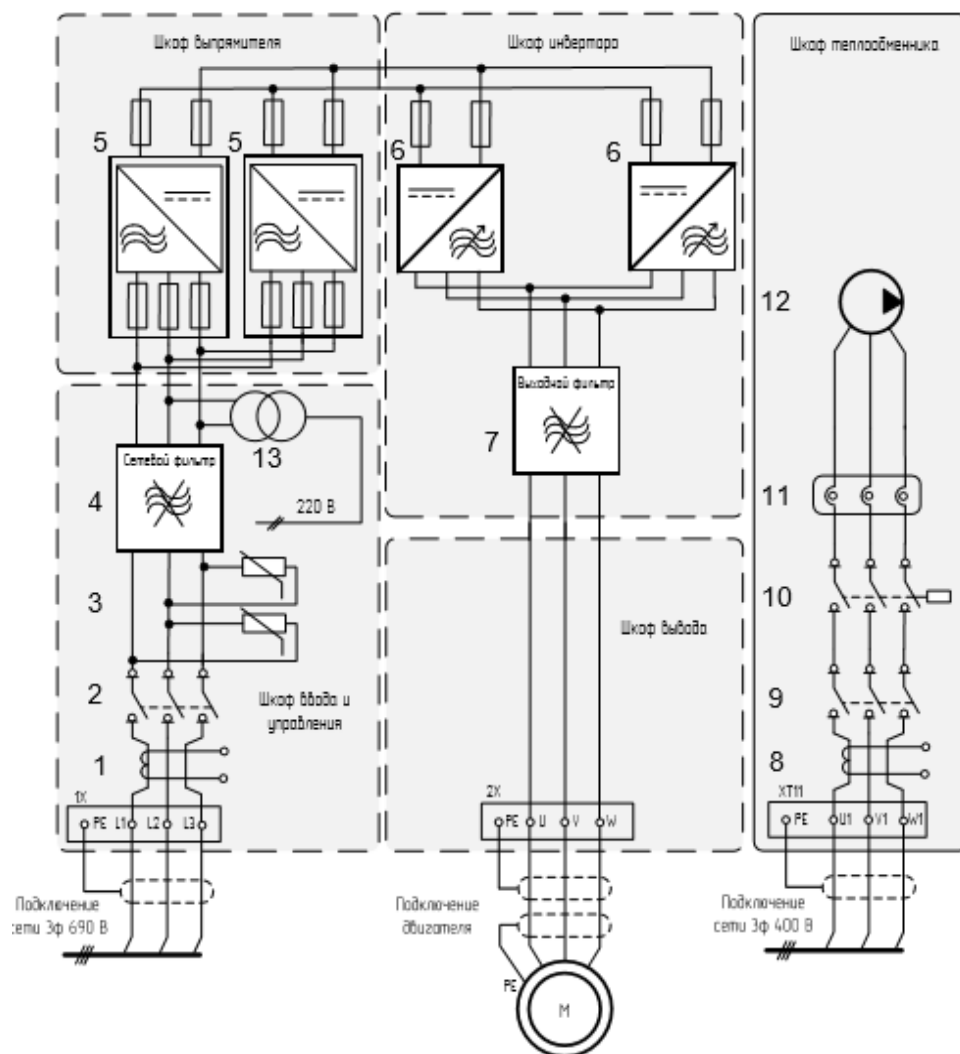


Рисунок 7- Электрическая блок-схема силовых цепей преобразователя частоты АТ24-М71-690-310000\_LC.

Цифрами на рисунке 7 представлены следующие элементы:

- 1) Устройство контроля изоляции преобразователя частоты и двигателя (контроль тока утечки);
- 2) Входной сетевой автомат с автоматическим разъединителем (срабатывает при превышении тока утечки);
- 3) Элементы защиты от перенапряжений сети (ограничители перенапряжений)
- 4) Сетевой фильтр электромагнитной совместимости;
- 5) Ячейки выпрямителя с встроенным сетевым дросселем;
- 6) Ячейки инвертора с встроенным выходным фильтром  $dU/dt$ ;
- 7) Выходной фильтр электромагнитной совместимости (синфазный дроссель);
- 8) Устройство контроля изоляции двигателя насоса (контроль тока утечки);
- 9) Сетевой автомат двигателя насоса;
- 10) Контактёр двигателя насоса;
- 11) Датчики контроля фазных токов двигателя насоса;
- 12) Двигатель насоса жидкостной системы охлаждения.
- 13) Трансформатор собственных нужд преобразователя частоты.

Основные технические характеристики преобразователя частоты АТ24-М71-690Р10000-LC приведены в таблице 6:

Таблица 6 Основные технические характеристики преобразователя частоты АТ24-М71-690Р10000-LC

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
Номинальный полный выходной ток, А	735
Полная выходная мощность преобразователя частоты, кВА	878
Номинальное входное напряжение (линейное), В	3~690 (-10 % ...+6 %) Без нейтрального проводника
Кратковременное отклонение входного напряжения	плюс/минус 20 % в течение 1,5 с
Номинальная частота входного напряжения, Гц	50 (-5 % ...+5 %)



Продолжение Таблицы 6

Параметр	Значение
Номинальное выходное напряжение, В	3~0...690 Допускается падение значения выходного напряжения относительно напряжения питающей сети до 30 В при номинальной нагрузке преобразователя частоты.
Диапазон выходной частоты, Гц	5...55 ( $\pm 0,1$ %)
КПД (без учета КПД двигателя и потерь в соединительных кабелях), не менее, %	97
Диапазон задания ШИМ, кГц	1,5...4
Частота ШИМ по умолчанию, кГц	2
Перегрузочная способность	- перегрузку 130 % в течение 20 сек, каждые 30 сек; - перегрузку по току на 110 % в течение 60 с каждые 10 мин.
Режим работы	S1 (Работа машины при неизменной нагрузке и потерях достаточно длительное время для достижения установившейся (неизменной)
Уровень электромагнитных радиопомех, создаваемых в сети питания, не более	в диапазоне частот 10... 150 кГц – 120... 69 дБмкВ/м соответственно, в диапазоне частот 150... 500 кГц – 79 дБмкВ/м, в диапазоне 500 кГц... 30 МГц – 73 дБмкВ/м
Номинальное напряжение цепей обогрева силовых шкафов и выхода цепей обогрева двигателя	220 В частотой 50 Гц
Потребляемая мощность цепей обогрева силовых шкафов	450 Вт
Максимально допустимая длительная мощность цепей обогрева двигателя	450 Вт
Постоянное напряжение внешнего источника питания системы управления преобразователя частоты, В	24 В
Диапазон отклонения внешнего источника питания системы управления преобразователя частоты, В	18... 29 В
Дискретные входы	10, из них: 9 – задействованы 1 – резервный



Продолжение Таблицы 6

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
Релейные выходы	13, из них: - 3 нормальнозамкнутых - 9 нормальноразомкнутых - 1 резервный Допускают длительное протекание переменного тока от 0,01 до 0,4 А при переменном напряжении 250 В частотой 50 Гц или постоянного тока 0,01 до 0,5 А при напряжении до 60 В
Релейный выход включения обогрева двигателя	1 нормальнозамкнутый (коммутируемое напряжение 220 В, 400 Вт)
Аналоговые входы	3 (настройка по умолчанию 4...20 мА)
Аналоговые входы подключения датчиков температуры РТ100	14
Аналоговые выходы	3(настройка по умолчанию 4...20 мА)
Интерфейс связи	2 канала RS-485, протокол Modbus RTU (1 из них – резервный)
Выход подключения внешней кнопки аварийного останова	1 Напряжение цепи – 220 В 50 Гц
Уровень шума, не более, дБА	75
Габаритные размеры на виброопорах с выступающими частями, ШхВхГ, не более, мм	2200х2260х740
Габаритные размеры без виброопор, ШхВхГ, не более, мм	2200х2100х650
Масса, не более, кг	1500 (без установленных силовых ячеек )
Климатическое исполнение	ОМ4
Категория размещения -	По ГОСТ 15150-69 - 4
Степень защиты корпуса от внешних воздействий	IP44 согласно ГОСТ14254-96
Рабочее положение	вертикальное
Способ механического монтажа	напольный
Рассеиваемая тепловая мощность, не более, кВт	21 (при номинальной нагрузке)



Продолжение Таблицы 6

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
Номинальная температура теплоносителя первичного контура (в установившемся тепловом режиме преобразователя частоты), °С	45
Номинальная температура теплоносителя вторичного контура, °С	от плюс 5 до плюс 40
Тип теплоносителя первичного контура	Дистиллированная вода Наличие твердых частиц не допускается
Тип теплоносителя вторичного контура	Пресная или дистиллированная вода Вода, используемая во вторичном контуре, не должна содержать химических остатков, таких как большое количество хлорида, хлорина, масла и т.п. Допускается наличие твердых частиц диаметром не более 1,5 мм.

Конструкция преобразователя частоты АТ24-М71-690-Р10000-ЛС выполнена в шкафном исполнении, Пять шкафов собраны в единый комплекс посредством установки на общей силовой раме, Рама имеет опору, гасящую вибрации, Данная конструкция позволяет использовать устройство в условия высокого уровня вибраций, в промышленных условиях, а также в условиях погружения подводным аппаратом.

Преобразователь частоты АТ24-М71-690-Р10000-ЛС состоит из пяти силовых шкафов, представленных на рисунке 8:

- 1) Шкаф ввода управления
- 2) Шкаф выпрямителя
- 3) Шкаф инвертора
- 4) Шкаф вывода
- 5) Шкаф системы охлаждения





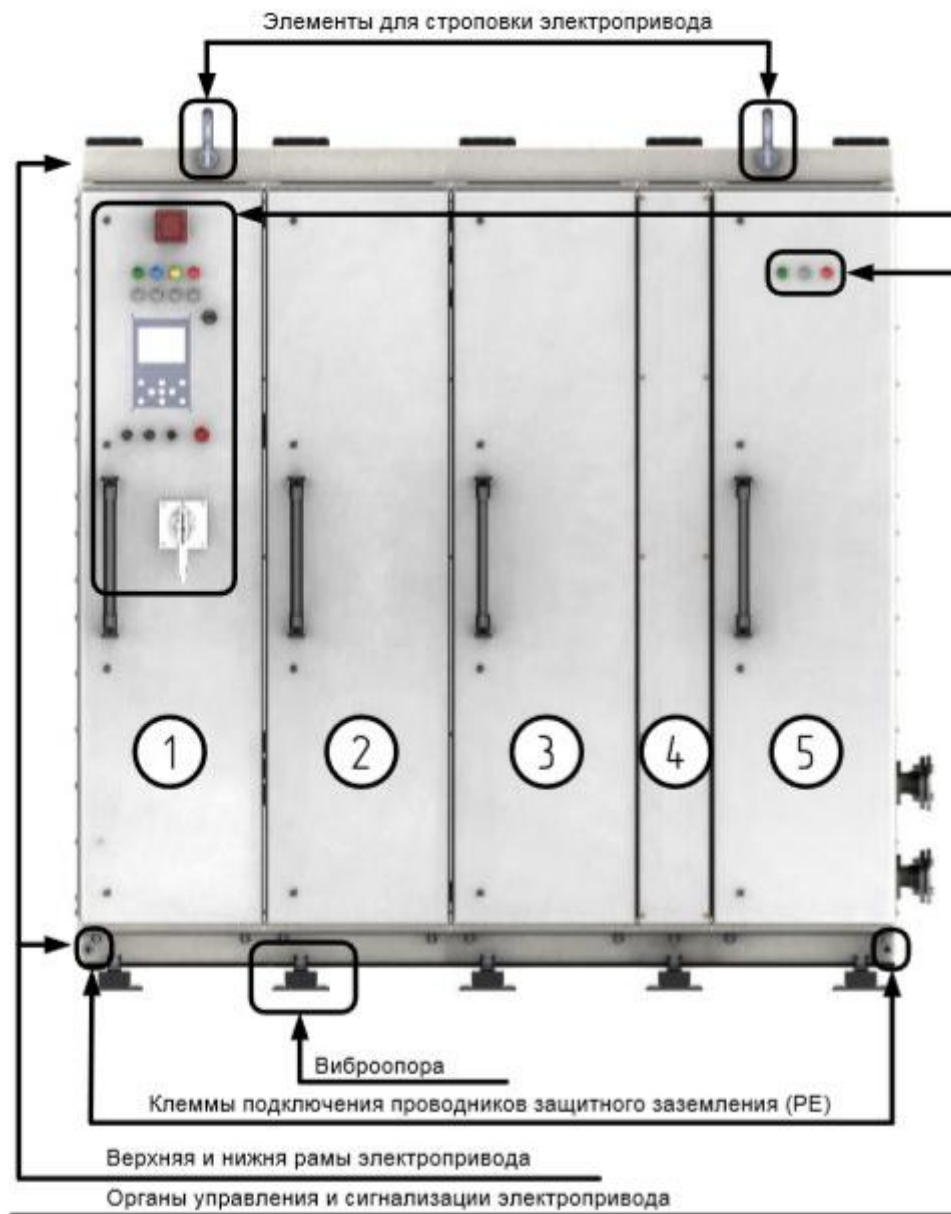


Рисунок 8 – Состав силовых шкафов

Шкаф ввода управления включает в себя: автоматический выключатель по цепи подключения обогрева двигателя, автоматический выключатель по входу цепи подключения внешнего источника питания 24 В системы управления электропривода, автоматические выключатели цепи 220 В питания вентиляторов шкафа выпрямителя и инвертора, выключатель цепи освещения шкафа ввода, выпрямителя и инвертора. Также шкаф содержит гермовводы для силовых цепей и цепей управления, клеммы и вводной

автомат, клеммники для подключения и разводки цепей управления. В отличие от остальных шкафов преобразователя частоты – шкаф ввода и управления не содержит в своем составе элементов жидкостной системы охлаждения. Контролер установлен на двери шкафа ввода и управления, Контроллер обеспечивает пользовательские конфигурации управления преобразователем частоты, настройку, контроль текущих рабочих параметров, контроль температуры двигателя, выполнение пуска и остановки.

Шкафы выпрямителя и инвертора содержат в себе ячейки соответствующих устройств. Они содержат в себе силовые шины, которые собирают ячейки в единую силовую схему устройства. Расположение основных элементов шкафов инвертора и выпрямителя указано на рисунке 9:

Ячейки выпрямителя выполняют преобразование сетевого трехфазного напряжения в выпрямленное напряжение звена постоянного тока. Ячейки содержат сетевые предохранители с контролем срабатывания, защищающие по входу силовую схему ячейки. Так же, по входу ячейки, установлен сетевой трехфазный дроссель для обеспечения входного тока преобразователя частоты, близкого к синусоидальному, обеспечения значения коэффициента несинусоидальной кривой сетевого напряжения не более 10 %, а также снижения влияния перекосов сетевого напряжения на работу преобразователя частоты и длительную эксплуатацию конденсаторов звена постоянного тока ячеек инвертора.

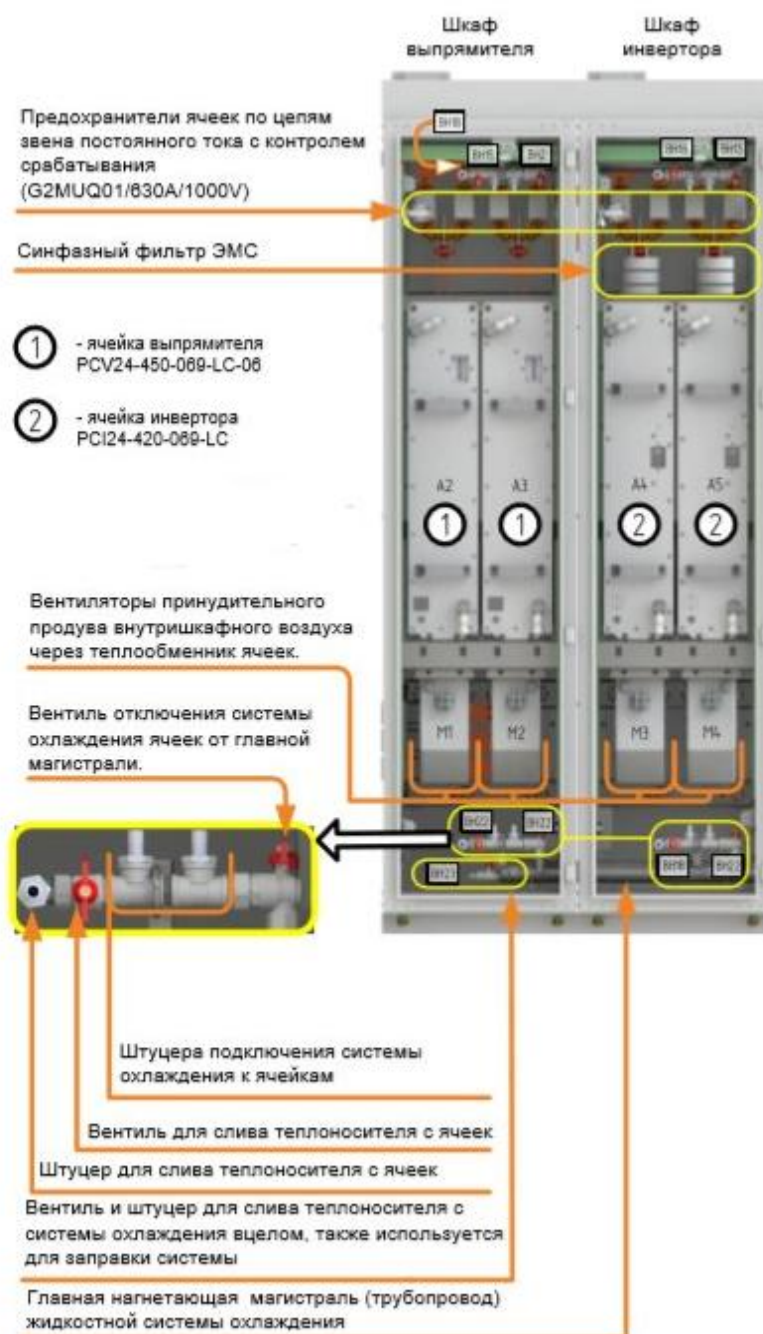


Рисунок 9 –Расположение основных элементов шкафов инвертора и выпрямителя.

Ячейки инвертора выполняют преобразование постоянного напряжения звена постоянного тока в трехфазное переменное напряжение с регулируемой частотой и амплитудой для питания управляемого электродвигателя. Ячейки инвертора управляются контроллером силовой части преобразователя частоты, который расположен в шкафу ввода и

управления . Соединение выполнено с помощью двухканальной волоконно-оптической линии связи, что исключает возникновение ложных сбоев связи их за помех. Подключение по оптоволоконной линии связи в ячейках инвертора, производится на передней панели ячеек, где установлены оптические разъемы. Соединение с общей шиной звена постоянного тока защищено плавкими быстродействующими предохранителями.. Ячейка инвертора имеет в своем составе емкостной фильтр (звено ЗПТ), выходной силовой инвертор, выходной фильтр  $dU/dt$ , датчики контроля выходного тока, СУ и блок питания собственных нужд. Соединение с общей шиной звена постоянного тока и входной цепью переменного напряжения защищено плавкими быстродействующими предохранителями.

Шкаф системы охлаждения содержит в своем составе систему управления жидкостной системы охлаждения, предупреждающую сигнализацию. Работоспособность всех систем охлаждения контролируется, отслеживается программой заданной микроконтроллеру. Принцип работы системы охлаждения состоит в передаче тепла теплоносителя от первичного контура охлаждения, вторичному через пластичный теплообменник.

Все элементы системы охлаждения представляют собой общую гидравлическую систему преобразователя частоты представленной на рисунке 10.

Принцип работы системы управления преобразователя частоты основан на современном высокопроизводительном двухядерном процессоре, который осуществляет и реализует все функциональные рабочие процессы изделия. С помощью команд управления задается регулирование скорости вращения электродвигателя, на основе алгоритмов векторного управления. Режимы пуска и остановки, индикация и отображение состояния системы и рабочих параметров, также задаются с помощью алгоритма управления.

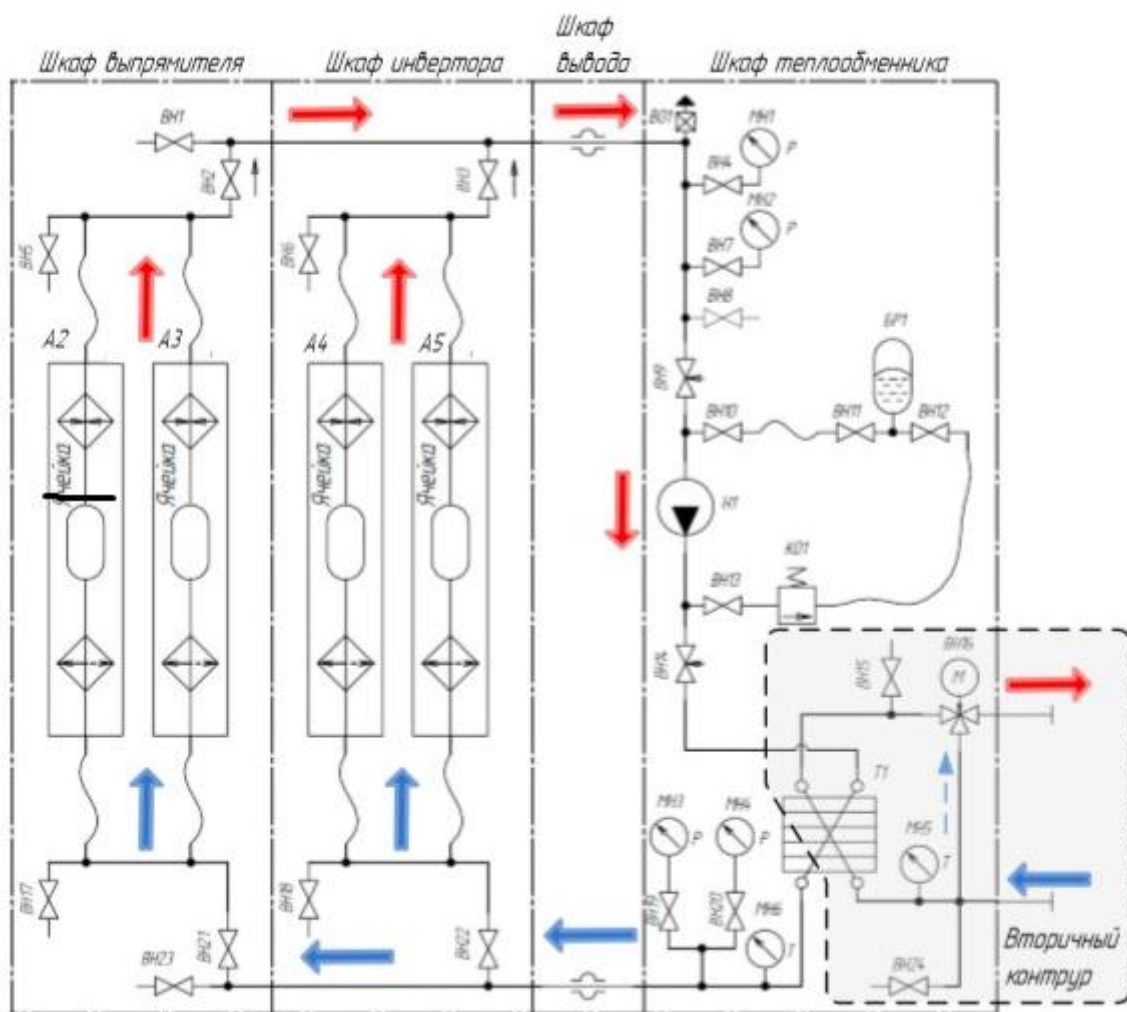


Рисунок 10 – Гидравлическая система преобразователя частоты

Устройство преобразователя частоты АТ24 «Мультидрайв» оптимально подходит для работы с двигателем ДВА-700-4ОМ4 в составе привода подруливающего устройства подводного аппарата. Надежность, простота в использовании, меньшая стоимость относительно иностранных аналогов – это те факторы, которые позволяют сделать выбор в пользу данного устройства.

При разработке блока управления для преобразователя частоты стоит учитывать специфику работы с подводными аппаратами. Прежде всего это не только выполнение поставленных задач, но и принимать решение во время возникновения труднопредсказуемых нештатных ситуаций. В частности совершения резкого поворота в случае появления препятствия, плавного хода в малопроходимых местах.

Подруливающее устройство подводного аппарата является одной из самых важных частей управления. Управление им достаточно сложно в плане своего устройства, так как практически полностью автоматизировано и если человеку приходится участвовать в нем то только дистанционно с помощью пульта управления. Именно поэтому надежность при создании блока управления стоит на первом месте.

В 2 главе были исследованы характеристики и устройство асинхронного трехфазного электродвигателя ДВА-700-4ОМ, а также преобразователя частоты АТ24 «Мультидрайв». Был проведен анализ совместимости данных устройств в составе электропривода. Помимо этого был сделан вывод о том, что данные устройства являются универсальным решением при создании блока управления электроприводом.



### 3 Разработка Блока управления электроприводом подруливающего устройства.

#### 3.1 Силовая схема преобразователя частоты

Для наибольшего представления устройства работы системы управления преобразователя частоты подруливающим устройством подводного аппарата, обратимся к разработанной силовой схеме устройства.

Силовая схема представлена на рисунке 11.

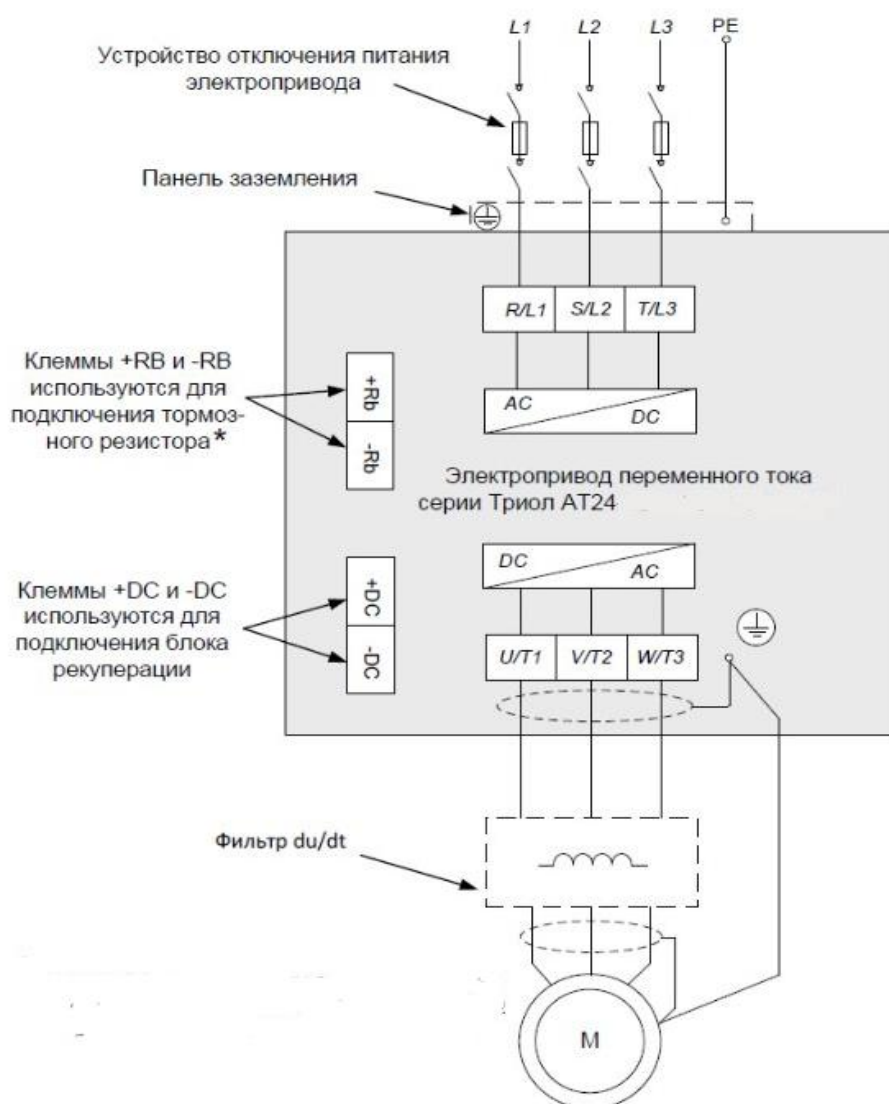


Рисунок 11 – Силовая схема устройства

Следуя силовой схеме, работа установки происходит следующим образом: на устройство питания электропривода поступает трехфазный ток напряжением 380 В. Ток проходит через фильтр и дроссель и попадает в шкаф выпрямителя, затем поступает на шкаф инвертора преобразователя частоты. Таким образом, ток преобразуется из постоянного в переменный. С помощью блока управления задаются все необходимые конфигурации управления заданные пользователем. Управляющий сигнал формируется ПИД-регулятором. Далее заданная частота уже подается на выходы и преобразованный сигнал поступает на асинхронный электродвигатель. С помощью блока управления мы регулируем частоту вращения ротора электродвигателя, номинальную скорость, а также работу системы охлаждения. В свою очередь частота вращения задает такт работы подруливающего устройства. Также реализуются различные дополнительные режимы работы двигателя.

Преимуществом данной силовой схемы является наглядное представление пользователю принципа работы всей установки, а также предоставление пользователю информации о входных сигналах на устройство.

При создании данной схемы использовалась техническая документация устройств.

### **3.2 Алгоритм работы с пультом управления**

Управление всеми рабочими процессами преобразователя будет осуществляться с помощью пульта управления контроллером. Пульт управления прилагается в комплекте с устройством. Пульт состоит из: графического дисплея, индикатора состояния и панели управления. Данное устройство будет являться основным устройством вывода в блоке управления. Внешний вид пульта управления представлен на рисунке 12:







Рисунок 12 – Внешний вид пульта управления

С помощью пульта будут выполняться все программируемые команды заданные микроконтроллеру, которые будут описаны в разделе 3.3. Пуск и стоп электропривода задаются пользователем.

Интуитивная структура меню призвана упростить пользователю задачу настройки параметров преобразователя частоты. Меню пульта содержит меню групп и меню параметров. Навигация в меню будет осуществляться с помощью кнопок «вверх вниз», а также «вправо влево». Для перехода в режим редактирования параметров переходим в меню списка параметра, производим нажатие на необходимом нам параметре и нажимаем кнопку «ввод». Таким образом, с помощью пульта можно задавать числовые и текстовые форматы параметров привода. Панель индикации представлена в приложении 4. Блок-схема меню представлена на рисунке 13:

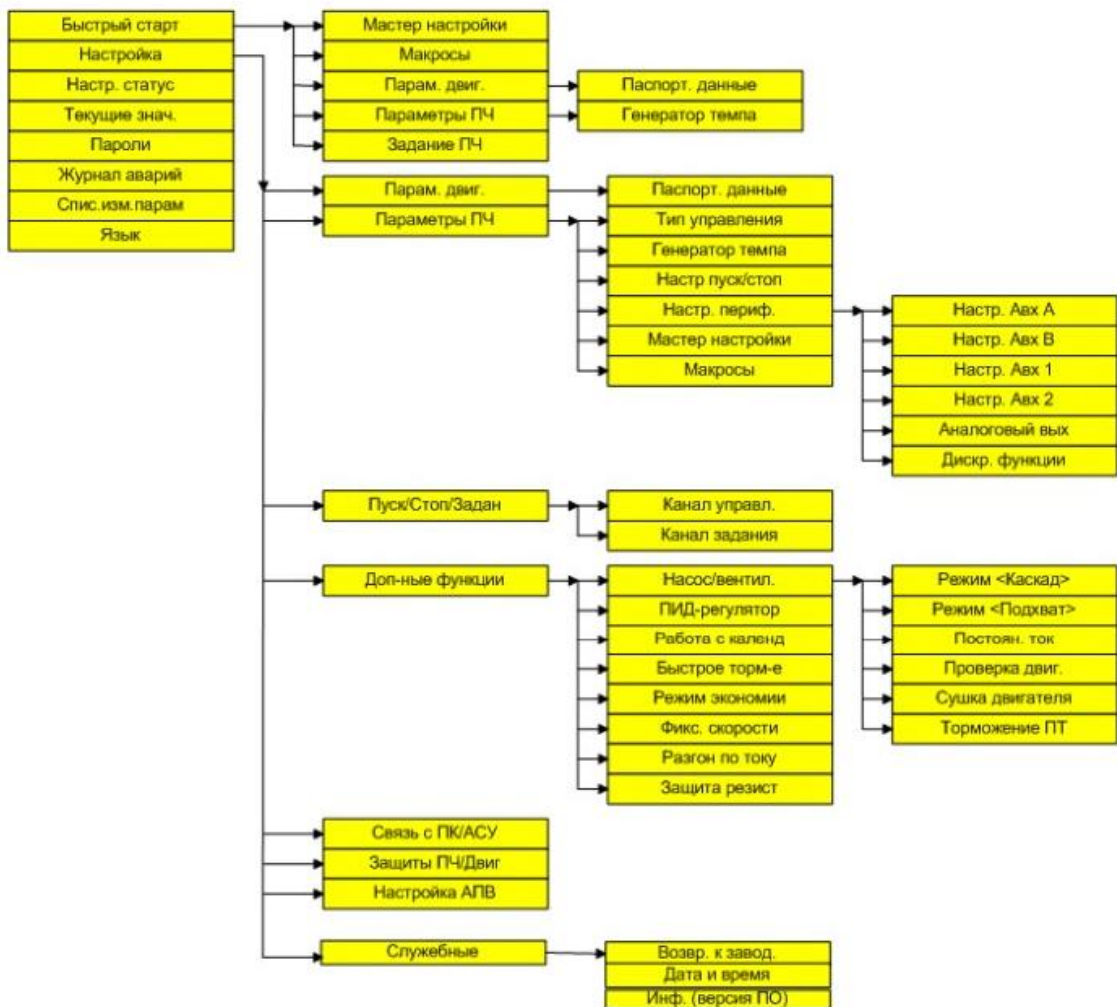


Рисунок 13 – Блок-схема меню управления

С помощью меню управления микроконтроллером системы можем регулировать параметры работы преобразователя и электродвигателя. Осуществлять пуск и остановку с помощью канала управления, задавать необходимые нам параметры управления устройством при помощи канала задания. Реализовывать параметры дополнительных функций таких как: режим «подхват», режим «каскад», выполнять проверку двигателя, осуществлять торможение.

Мастер настройки позволяет нам настроить параметры двигателя. Последовательно задавая значения. Реализуется настройка параметров номинального тока двигателя, частоты пуска, время разгона. Для настройки необходимо зайти с помощью панели управления микроконтроллером в

меню быстрый старт, мастер настройки. На экране появится значение и название первого параметра. Далее для редактирования предложенного параметра нажимаем клавишу «ввод» или «вправо». Для выхода из режима редактирования выбранного параметра нажимаем клавишу «ввод» или «отмена». Подробная разработанная структура для настройки параметра двигателя представлена на рисунке 14 :

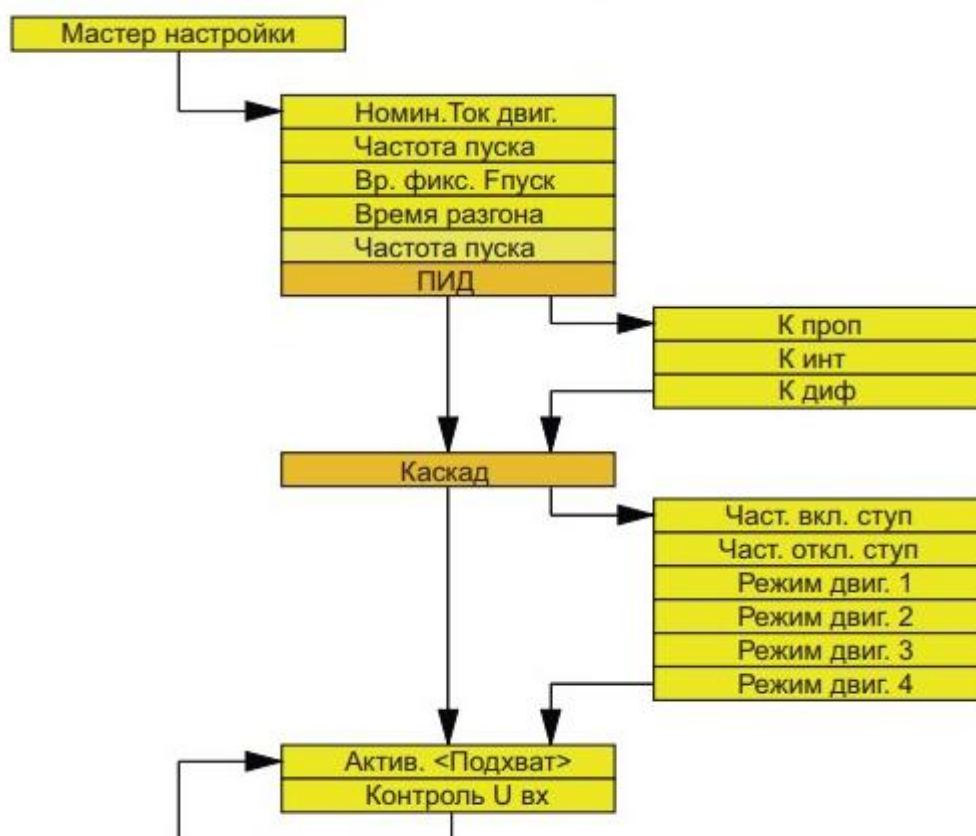


Рисунок 14 – Структура настройки параметров двигателя

Мастер настройки ПИД-регулятора позволяет настроить параметры регулятора, последовательно задавая значения необходимых параметров. Принцип работы с мастером настройки аналогичен мастеру настройки электродвигателя. Подробная структура меню для настройки параметров представлена на рисунке 15.

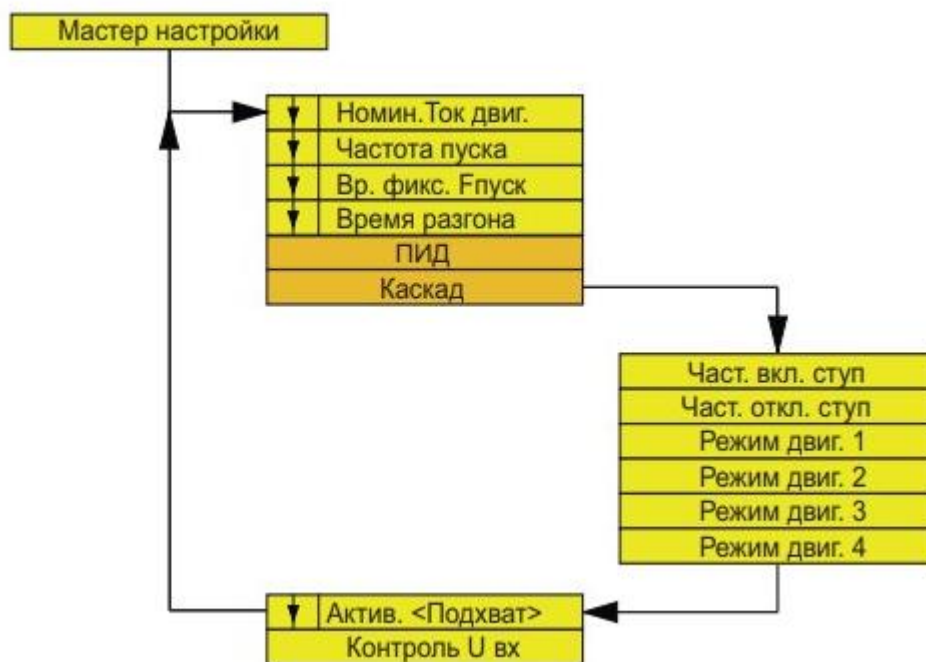


Рисунок 15 – Меню настройки параметров ПИД-регулятора

Таким образом, чтобы настроить электропривод подруливающего устройства необходимо сделать следующий алгоритм действий:

1. Зайти в меню «Быстрый старт»;
2. Установить наиболее подходящий для системы управления макрос настройки типа управления (параметр «Макрос тип упр.» в меню «Быстрый старт» -> «Макросы»). При необходимости изменить значения параметров установленных макросом, зайти в список последних изменённых параметров;
3. Установить в соответствии с системой управления макрос настройки задания (параметр «Макрос тип зад.» в меню «Быстрый старт» -> «Макросы»). При необходимости изменить значения параметров устанавливаемых макросом (например в списке изменённых параметров);
4. Задать темпы разгона и торможения в меню параметров «Быстрый старт» -> «Настройка электропривода» -> «Генератор темпа»;
5. При необходимости провести дополнительную (полную) настройку электропривода для этого зайти в меню «Настройки».

### 3.3 Реализация алгоритмов управления и программирования преобразователем частоты АТ24

Для подключения всех линий электропривода к внешней сети связи будет использован интерфейсный блок. За основу возьмем интерфейсный блок Triol ANET\_RS485, разработка концерна триол, которая будет отлично сочетаться в совокупности электроприводом серии АТ.

Интерфейсным блок позволит не только управлять электроприводом сигналами от внешнего контроллера, но и управлять электроприводом в смешанном режиме, при котором часть информации поступает по сети от внешнего контроллера, а часть от других возможных источников сигналов, например от датчиков на цифровые и аналоговые входы электропривода. При помощи интерфейсного блока преобразователь будет обмениваться данными с внешними устройствами по физическому интерфейсу RS485 и протоколу стандарта MODBUS. При разработке блока управления именно интерфейс RS485 является оптимальным по причине наиболее широкого использования промышленными устройствами, которые используют двунаправленную сбалансированную линию передачи. При работе с интерфейсом RS485 максимальная скорость передачи данных от внешних устройств к внутреннему микроконтроллеру преобразователя частоты будет равняться 10 мБит/с. Расстояние передачи будет равняться 1200 м. На рисунке 16 представлен внешний вид интерфейсного блока Triol ANET\_RS485:

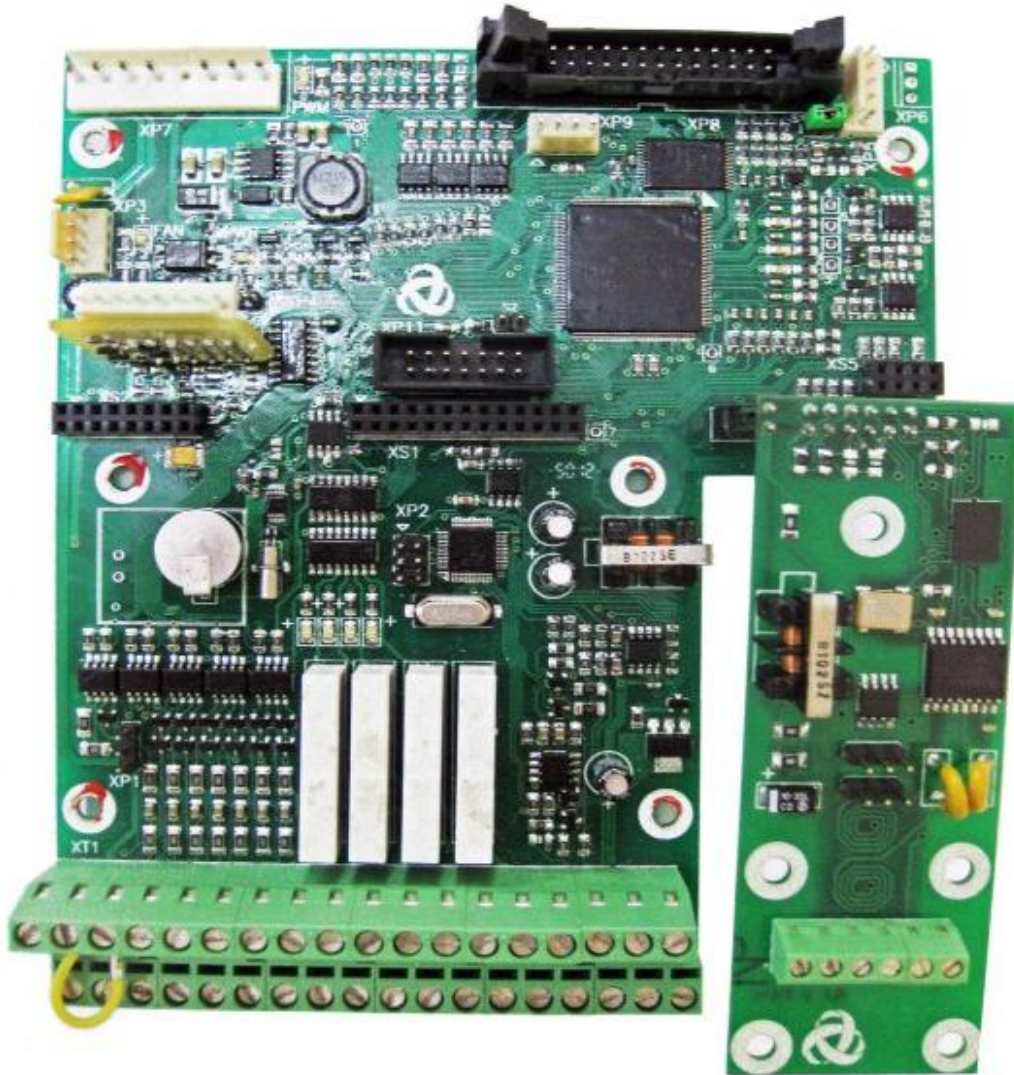


Рисунок 16 – Внешний вид интерфейсного блока Triol ANET\_RS485

Modbus – это протокол последовательной связи. Обмен данными будет осуществляться в конфигурации «одно ведущее устройство и несколько ведомых устройств». Для связи используется сеть RS485 исключительно с одним ведущим устройством. Протокол дистанционного управления Modbus RTU Mode будет определять структуру сообщений, которые будет поддерживать привод и внешние по отношению к нему устройства. Данный протокол определяет процедуру при помощи которой один контроллер может послать запрос другому, ответить на запрос, сформировать сообщение в случае ошибки при обмене.

Сетевой обмен инициируется ведущим или администратором сети в рамках протокола, ведомые устройства могут только отвечать на запросы ведущего или выполняют процедуру, которая предписана сообщением от ведущего. Устройство, выполняющее функции ведущего, должно иметь в своем составе пульт управления и средства отображения информации. Привод всегда выполняет функцию ведомого устройства. Список команд контролера представлен в приложении Д.

В протоколе RTU Mode размер передаваемого сообщения составляет 8 бит. В электроприводе при обмене данных по протоколу MODBUS используются следующие типы данных приведенные в таблице 7 и 8:

Таблица 7 Типы данных для 16-битовых значений

Байты в протоколе	n байт	n+1 байт
Байты в данных	Старший байт	Младший байт

Таблица 8 типы данных для 32-битовых значений

Байты в протоколе	n байт	n+1 байт	n+2 байт	n+3 байт
Байты в данных	Младшее слово Старший байт	Младшее слово Младший байт	Старшее слово Старший байт	Старшее слово младший байт

Формирование адреса регистра – числа в HEX будет формироваться по следующему правилу:

Адрес регистра =  $0NG * 128 + NP$ , где 0NG – номер группы, в номере группы возможны значения от 0 до 99.

NP – номер параметра в группе, в параметр также нумеруется значениями от 0 до 99.

Если необходимо сформировать расширенное значение параметра, то адрес регистра будет следующим:



$$\text{Адрес регистра} = 0x8000 + NG * 128 + NP$$

Сформированный список команд для электропривода АТ24 для поддержания обмена с использованием команд протокола MODBUS представлен в таблице 9:

Таблица 9 Список команд для поддержания обмена с использованием команд протокола Modbus

Код	Описание
0x03	чтение текущих значений
0x04	Чтение текущих значений параметров работы электропривода
0x05	Запись значений катушек для реализации команд «пуск», «стоп»
0x06	Запись одиночных регистров для реализации записи установок в контроллер электропривода
0x10	Запись регистров в указанном диапазоне адресов, для реализации групповой записи установок в контроллер электропривода
0x2B	Запрос идентификатора устройства
0x68	файловое чтение, для реализации чтения системы параметров контроллера электропривода
0x41	зарезервирована как функция производителя
0x67	получение информации о текущих единицах измерения и степени для параметра.
0x69	Зарезервировано производителем





В протоколе MODBUS предусмотрен CRC код. Этот код используется для защиты информации, защищающий все сообщение от посылающего устройства к передающему. Код формируется посылающим информацию устройством при подготовке сообщения к передаче. Принимающее устройство вычисляет в процессе приема информации значение CRC кода и в случае несовпадения кода с принятым сообщением, будет восприниматься устройством как ошибка при приеме сообщения. Ведомое устройство не будет отвечать на такие сообщения.

CRC код представляет собой 16-ти разрядный двоичный код (2 байта)

Сформируем вычисление кода по следующему алгоритму:

1. Загружаем 16-разрядный регистр (CRC код FFFF HEX (все «1»)).
2. Производим операцию «исключающее ИЛИ» между первым байтом сообщения (сетевой адрес) без стартовых, стоповых битов и бита контроля четности и младшим байтом регистра CRC. Помещаем результат в младший байт регистра CRC.
3. Производим сдвиг содержимого CRC регистра вправо (в сторону младшего бита) с заполнением освободившегося старшего бита значением «0». Извлекаем и проанализируем бит переноса.
4. В случае, если бит равен «0» — повторяем шаг № 3 (еще один сдвиг вправо). Если бит равен «1» — производим операцию «исключающее ИЛИ» между содержимым CRC регистра и полиномом A001 HEX (1010 0000 0000 0001). Результат помещаем в CRC регистр.
5. Повторяем шаги 3, 4, пока не будет выполнено 8 сдвигов. Этим завершается вычисление CRC кода для сообщения, состоящего из одного байта.
6. Повторяем шаги 2, 5 для следующего байта сообщения. Продолжаем процесс до вычисления CRC кода всего сообщения (содержимое регистра CRC после обработки всех байтов сообщения).



Таким образом выполнив алгоритм, CRC код, который вычислен ведущим устройством, отправляется линию связи после последнего байта данных.

В процессе обмена данными электропривод выступает как ведомое устройство. Адрес в сети определяется редактированием параметра электропривода – 35.00. Где 35 – номер группы параметров, а 00 – номер параметра в группе. Допустимый диапазон адресов от 1 до 255. В параметрах электропривода имеется возможность настроить скорость обмена между устройствами.

Для получения текущего значения параметров электропривода подруливающего устройства формируется запрос, в соответствии с протоколом MODBUS при помощи функций 0x03 или 0x04. От электропривода будет передано значение запрошенных параметров.

В таблице 10 приведен пример формирования запроса и ответа:

Таблица 10.1 Запрос

Адрес устройства	1 байт	От 1 до 255
Код функции	1 байт	0x03 или 0x04
Адрес регистра	2 байта	0x8000 + NG * 128 + NP
Количество регистров	2 байта	1 <= N < 125

Таблица 10.2 Ответ

Адрес устройства	1 байт	От 1 до 255
Код функции	1 байт	0x03 или 0x04
Количество байт	1 байт	
Значения регистров		

Для управления и индикации промежуточного или конечного состояния, а также для характеристики результата операций используются флаги. Для описания используем структуру основных флагов параметра, приведенных в таблице 11:

Таблица 11 основные флаги параметра

Наименование поля	Размер поля, бит	Описание
TypeVar	5	Тип переменной
MasterVis	1	0 – Не отображается при уровне доступа 1 – Отображается при уровне доступа производитель
MasterChange	1	0 – Параметр не редактируемый с уровнем доступа производитель 1–Параметр редактируемый с уровнем доступа производитель
TechnVis	1	0 – Не отображается при уровне доступа технолог 1 – Отображается при уровне доступа технолог
TechnChange	1	0 – Не отображается при уровне доступа технолог 1 – Отображается при уровне доступа пользователь
UserVis	1	0 – Не отображается при уровне доступа технолог 1 – Отображается при уровне доступа пользователь
UserChange	1	0 – Параметр не редактируемый с уровнем доступа технолог 1 –Параметр редактируемый с уровнем доступа пользователь
Power	3	0...7 - количество отображаемых символов после десятичной точки для числовых значений
EditType	3	Тип переменной 0- не редактируемая 1- редактируемая в останове 2- редактируемая всегда
nonVolatile	1	Энергонезависимый
LimChange	1	Переменные пределы
FormatChange	1	Переменные степени единицы измерения
NumBase	4	Номер базы
FieldType	1	Тип поля журнальной записи

Для изменения параметров электропривода можно использовать функции 0x06 или 0x10. Изменения параметров имеющих значение 16 бит можно с использованием обеих функций, однако для параметров имеющих значение 32 бит следует использовать только функцию 0x10.В

Для формирования команд и для управления логическими дискретными сигналами используется функция 0x05. Логические дискретные входы равносильны сигналам, поступающим от дискретных входов электропривода. Логические дискретные входы сохраняют свое состояние до подачи новой команды. Логические дискретные входы, после подачи питания на электропривод , всегда сброшены в состояние «выключено». Через данные входы организуется управление пуска и выключения привода, управление дискретными релейными выходами, переключается задание для электропривода. Блок-схемы управлением и инициализацией преобразователя представлены в приложении Е.

Для реализации установки значения группы параметров в соответствии подключаемых схема привода, будут установлены макросы. Макросы представляют собой запрограммированные наборы параметров. Они делятся на две группы:

- Макросы настройки управления двигателем. Управление командами «пуск/стоп», направление вращения двигателя.
- Макросы настройки задания. Под настройкой понимается тип параметра и соответствующие настройки групп параметров,

Макросы управления двигателем работают в режиме двухпроводным и трехпроводным управлением двигателем, а также макрос «управление местным пультом».

При выборе макроса двухпроводного управления электроприводом, формируется конфигурация для управления по двухпроводной схеме управления. При подаче высокого уровня на дискретный вход 1 происходит пуск двигателя в прямом направлении, при пропадании высокого уровня происходит останов двигателя, при подаче высокого уровня на дискретный



вход 2 происходит пуск двигателя в обратном направлении, при пропадании высокого уровня происходит остановка двигателя. На рисунке 17 представлено подключение цепей управления к плате управления электроприводом при использовании данного макроса:

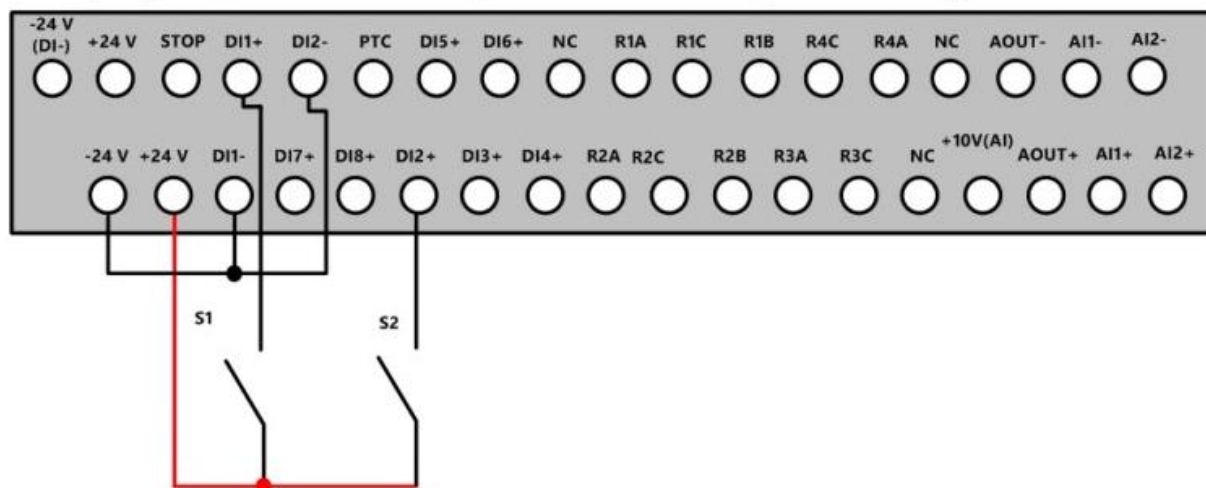


Рисунок 17 – Подключение цепей управления к плате управления при использовании макроса двухпроводного управления.

Таким образом, при включенном выключателе S1, будет происходить пуск двигателя в прямом направлении, при включенном выключателе S2 будет осуществлен пуск в обратном направлении вращения ротора, реверс. При включенных S1 и S2 в соответствии с алгоритмом управления будет производиться пуск в прямом направлении, если установлен параметр «вперед», и реверс, в случае, если установлен параметр «назад».

При выборе макроса трехпроводного управления электроприводом используется три выключателя S1, S2, S3. Алгоритм работы при использовании данного макроса происходит следующим образом: при выключенных всех трех выключателях – двигатель остановлен, при включенном S1 – двигатель запущен в прямом направлении, далее, отключив S1 работа продолжается в прямом направлении, при включении S2 происходит реверс, затем при выключении осуществляется работа в обратном направлении, при включении S3 происходит остановка двигателя.

На рисунке 18 представлено подключение цепей управления к плате управления электроприводом при использовании данного макроса:

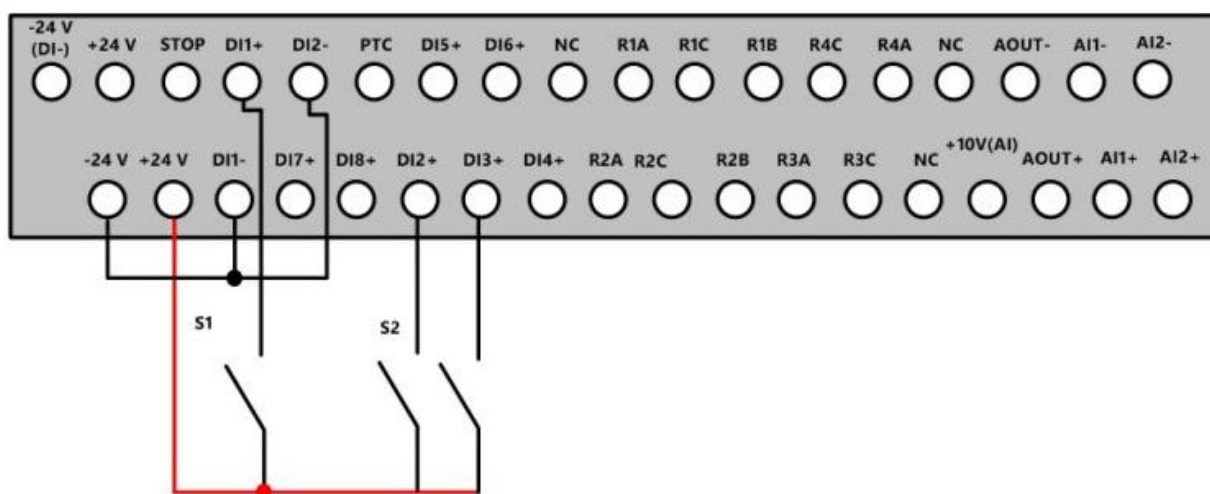


Рисунок 18 Подключение цепей управления к плате управления при использовании макроса трехпроводного управления

Макросы настройки задания делятся на: макрос ПИД-регулятора, и на макрос дискретного задания частоты двигателя.

При выборе макроса ПИД-регулятора электропривод конфигурируется от работы по заданию от ПИД-регулятора. На рисунке 19 представлено подключение к блоку управления электроприводом (NVSA) и блоку ANET разработки компании триол:

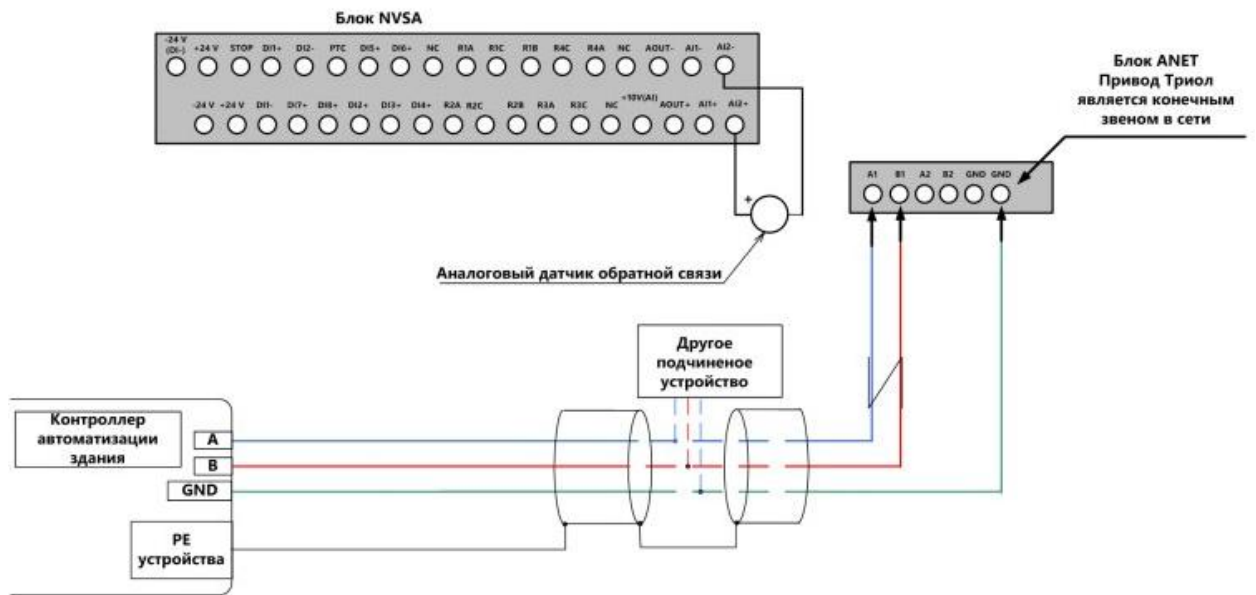


Рисунок 19 подключение к блоку управления электроприводом при выборе макроса ПИД-регулятором

При использовании макроса «дискретное задание частоты вращения двигателя», скорость вращения двигателя будет регулироваться от дискретных входов. На рисунке 20 показано подключение цепей управления к плате управления электроприводом при использовании данного макроса:

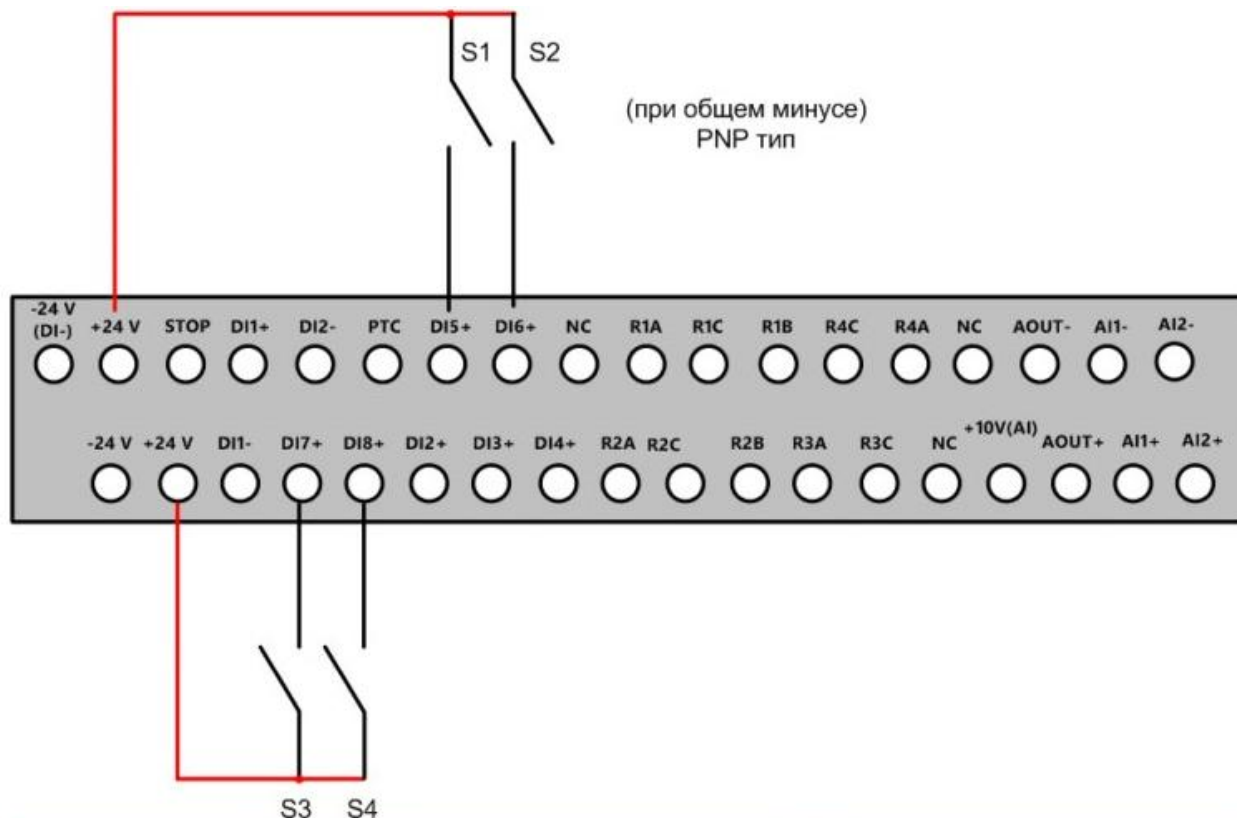


Рисунок 20 – подключение цепей управления к плате управления при использовании макрос «Дискретное задание частоты вращения двигателем».

Алгоритм работы данного макроса заключается в том, что при активации выключателей  $S1...S4$  происходит изменение частоты двигателя в диапазоне от 20 до 50 вращений в секунду.

Таким образом управление преобразователем частоты регулируется при помощи пульта управления, а блок управления будет создаваться на основе пользовательских решений по алгоритму работы. Данный блок управления позволит создать блок управления подруливающим устройством подводного аппарата, исходя из условий нахождения под водой.

Помощником при разработке алгоритма может стать прилегающий к устройствам демокейс. Он способствует ускоренному освоению конструкции устройств и принципов работы с ним при создании блока управления.

Возможность задания множества конфигураций управления и разнообразие функций открывает возможности для создания всевозможных алгоритмов управления. Это может дать огромный толчок при развитии автоматизации управления в Российском судостроении и позволит раскрыться всем потенциальным возможностям отечественных устройств, на базе которых сформируется управление.

В данной главе была представлена разработанная силовая схема устройства протекающих процессов, в электроприводе. Изучены принципы работы с пультом управлением контроллера, и на основе полученных знаний составлен алгоритм работы в задании команд на примере блок-схем. Разработан блок управления электроприводом подруливающего устройства на основе устройств изученных в главе 2, а также представлен алгоритм управления. За основу при изучении принципов управления был взят материал изученного демокейса устройства





## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На сегодняшний день актуальность решения задачи блока управления является одной из самых приоритетных. Для разработки блока управления электроприводом необходимо иметь в своем распоряжении самое современное оборудование. За основу можно брать отечественное оборудование технические характеристики и возможности которых не уступают иностранным аналогам, при этом имеют менее высокую стоимость. Актуализация блока управления откроет возможности для управления необитаемым подводным аппаратом, наиболее глубоко раскроет потенциал управляемых устройств, а также расширит навыки разработчиков, что позволит с помощью данных аппаратов более активно исследовать океаническое дно, совершив большое количество открытий в различных областях.

В ходе данной работы были исследованы и изучены характеристики и принцип работы таких устройств как: асинхронный трехфазный электродвигатель ДВА-700-4ОМ4, а также преобразователь частоты АТ24 серии «Мультидрайв».

В главе 1 проведено исследования принципа работ система автоматического управления, представлены всевозможные вариации исполнения. Исследован принцип работы подруливающего устройства, приведена классификация всевозможных вариаций исполнения и возможных видов осуществления работ. Приведен принцип работы асинхронного электродвигателя. Представлены все возможные принципы управления двигателем, а также рассмотрен состав двигателя. Исследована модель работы преобразователя частоты рассмотрены всевозможные функции устройства.

В главе 2 проведен анализ выбор необходимых составных устройств электропривода. Приведены характеристики устройств. Исследован принцип



совместимости асинхронного электродвигателя ДВА-700-4ОМ4 и преобразователя частоты АТ24 серии «Мультидрайв». Помимо этого была представлена схема управления электроприводом подруливающего устройства на основе использования данных устройств.

В главе 3 была представлена и проанализирована разработанная силовая схема устройства преобразователя частоты. Исследованы и разработан алгоритм задания команд пульту управления устройства электропривода. Разработан блок управления. Представлен алгоритм управления преобразователем частоты.

В процессе выполнения работы решены такие **задачи** как:

- Исследование систем автоматического управления судном
- Анализ характеристик и выбор составных устройств: электродвигателя и преобразователя частоты
- Исследование и анализ возможности совокупной работы устройств
- Разработка силовой схемы устройства
- Разработка блока управления
- Разработка алгоритма управления преобразователем частоты

## Список использованных источников

1. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. – 3-е изд., перераб. и доп.- Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
2. Клевцов А.В. Преобразователи частоты для электропривода переменного тока. – Москва: Гриф и ко, - 2008. – 224 с.
3. Ющенко Л.В. Асинхронные двигатели с фазным ротором и схемы управления. Учебно-методическое пособие., Хабаровск, 1999 – 88 с
4. А. С. Сандлер, Г. К. Аввакумова, А. В. Кудрявцев, А. А. Никольский. Преобразователи частоты на тиристорах для управления высокоскоростными двигателями. Москва, «Энергия», 1970. 377 с.
5. [http://www.power-e.ru/2004\\_01\\_50.php](http://www.power-e.ru/2004_01_50.php)
6. <http://www.dissercat.com/content/chastotnyi-elektroprivod-maloi-moshchnosti-s-bestransformatornymi-preobrazovatelyami-chastot>
7. Глазенко Т.А. Полупроводниковые преобразователи в электроприводах постоянного тока. Л.: Энергия, 1973.
8. Проектирование электрических машин./Под ред.И. П. Копылова. М., 1980. — 495 с
9. Кацман М. М. Руководство к лабораторным работам по электрическим машинам и электроприводу. М., 1983. — 215с.
10. Андреев В.П., Сабинин Ю.А. Основы электропривода. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 772 с.
11. Романенко В.Д. Методы автоматизации прогрессивных технологий. – М.: Высш. шк., 1995.
12. [http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/induction3ph/#squirrel\\_cage](http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/induction3ph/#squirrel_cage)



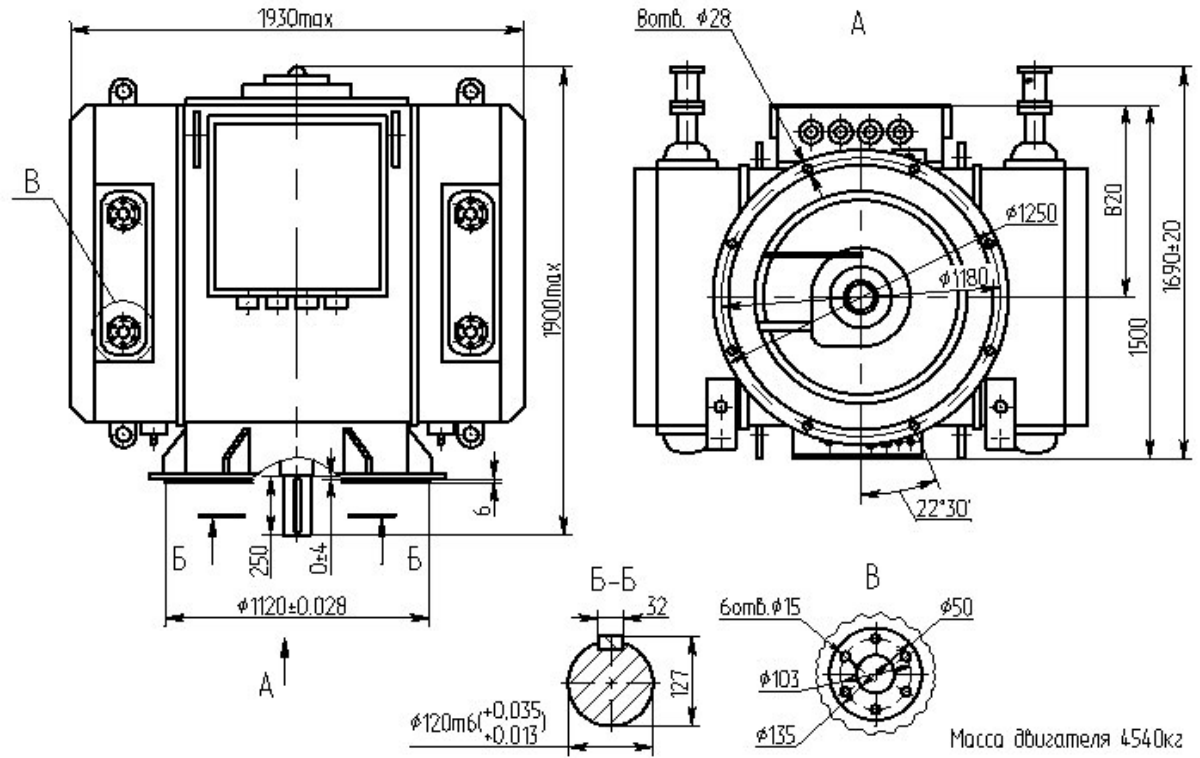
13. <http://www.electroengineer.ru/2015/03/design-and-operation-of-induction-motors>
14. Бриндли К. измерительные преобразователи: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1991.-144 с
15. Преобразователь частоты ТРИОЛ АТ24 «Мультидрайв». Руководство по эксплуатации АТ.654.226.921 РЭ - Москва 2016.- 193 с.
16. Двигатель вертикальный асинхронный ДВА-700- 4ОМ. Руководство по эксплуатации ГАЕИ.528222.023.РЭ. – Москва 2014 – 33 с.
17. <http://www.electroengineer.ru/2014/10/marine-motors.html>
18. <http://electricalschool.info/elprivod/1740-chastotnoe-regulirovanie-asinkhronnogo.html>
19. [http://triolcorp.ru/product/low-voltage\\_equipment/triol-at24/](http://triolcorp.ru/product/low-voltage_equipment/triol-at24/)
20. [http://triolcorp.ru/wp-content/themes/TriolCorp/files/tech-doc/AT24/at24\\_lineE.pdf](http://triolcorp.ru/wp-content/themes/TriolCorp/files/tech-doc/AT24/at24_lineE.pdf)
21. Белов А.В. Программирование микроконтроллеров для начинающих и не только. – М; Наука и техника. 2016 – 352 с.
22. [http://ecskat.ru/service/Programmirovaniye/Programmirovaniye\\_mikrokontrollerov/](http://ecskat.ru/service/Programmirovaniye/Programmirovaniye_mikrokontrollerov/)
23. <http://microkontroller.ru/programmirovaniye-mikrokontrollerov-avr/programmirovaniye-avr/>
24. Статья, анализ и актуализация синтезатора частоты привода подруливающего устройства, Пушкин Д.А., 2017 – 8 с.
25. Борцов, Ю. А. Автоматизированный электропривод с упругими связями / Ю.А. Борцов, Г.Г. Соколовский. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 288 с.
26. Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. - М.: Техноперспектива, 2006. - 363 с.



27. Основы микропроцессорной техники: учебное пособие: в 2 кн. / О. П. Новожилов. — 2-е изд.. — М.: РадиоСофт, 2011 Кн. 1. — 2011. — 432 с.: ил.. — Библиогр.: с. 430-431. — Аббревиатура: с. 427. — Предметный указатель: с. 428-429
28. Водовозов, А.М. Микроконтроллеры для систем автоматки: учебное пособие / А.М. Водовозов. - Вологда: ВоГТУ, 2002. - 123 с
29. Рюмик, С.М. 1000 и одна микроконтроллерная схема. Книга 1 / С.М. Рюмик. - М.: Додэка-XXI, 2012. - 356 с.
30. Бродин, В.Б. Микроконтроллеры. Архитектура, программирование, интерфейс / В.Б. Бродин, М.И. Шагурин. - М.: ЭКОМ, 1999. - 400 с

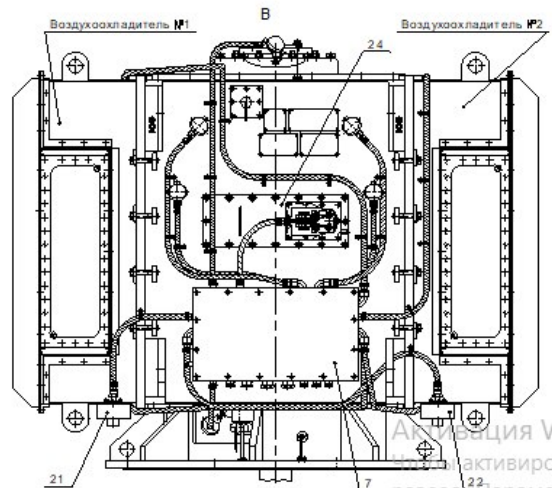
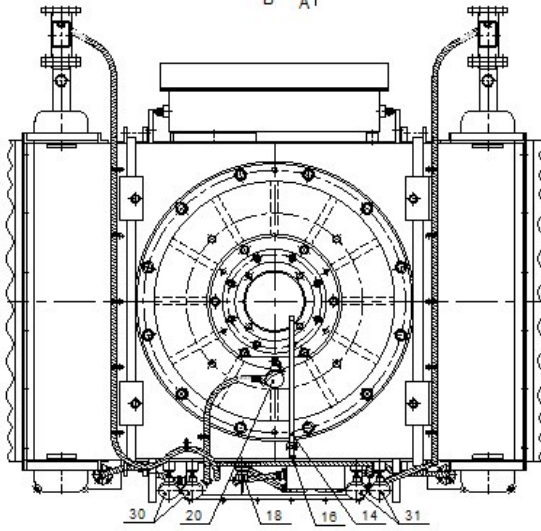
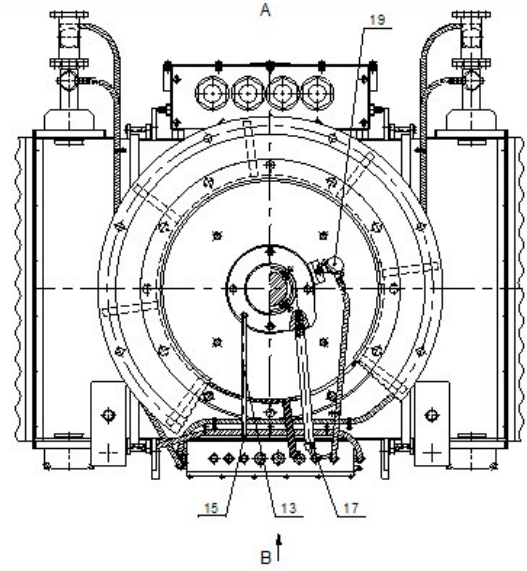
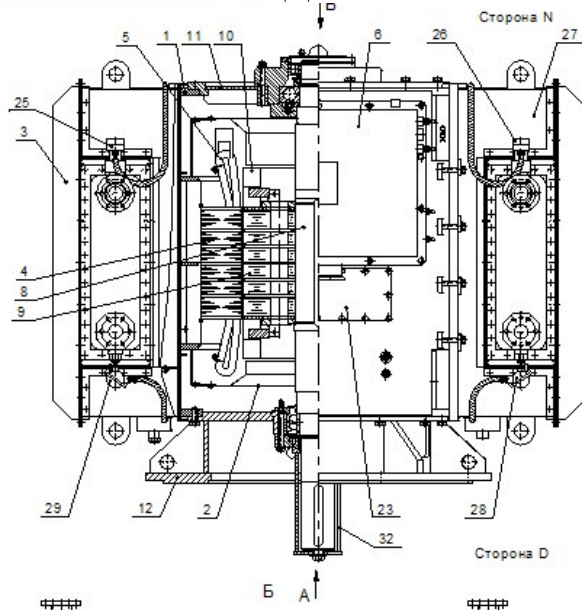
# ПРИЛОЖЕНИЕ А

Габаритные установочные размеры и масса двигателя ДВА-700-4ОМ4



# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## Устройство двигателя ДВА-700-40М1

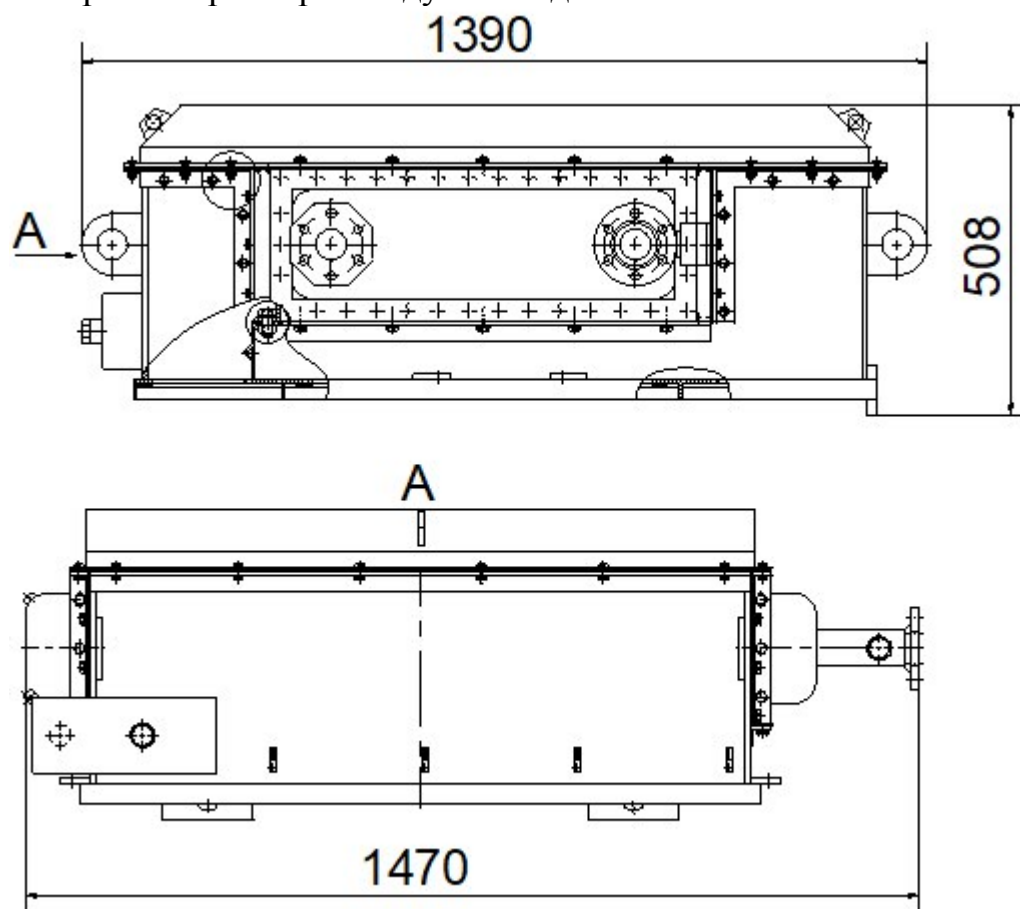


Активация Winc  
активировать  
раздел "параметры"



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

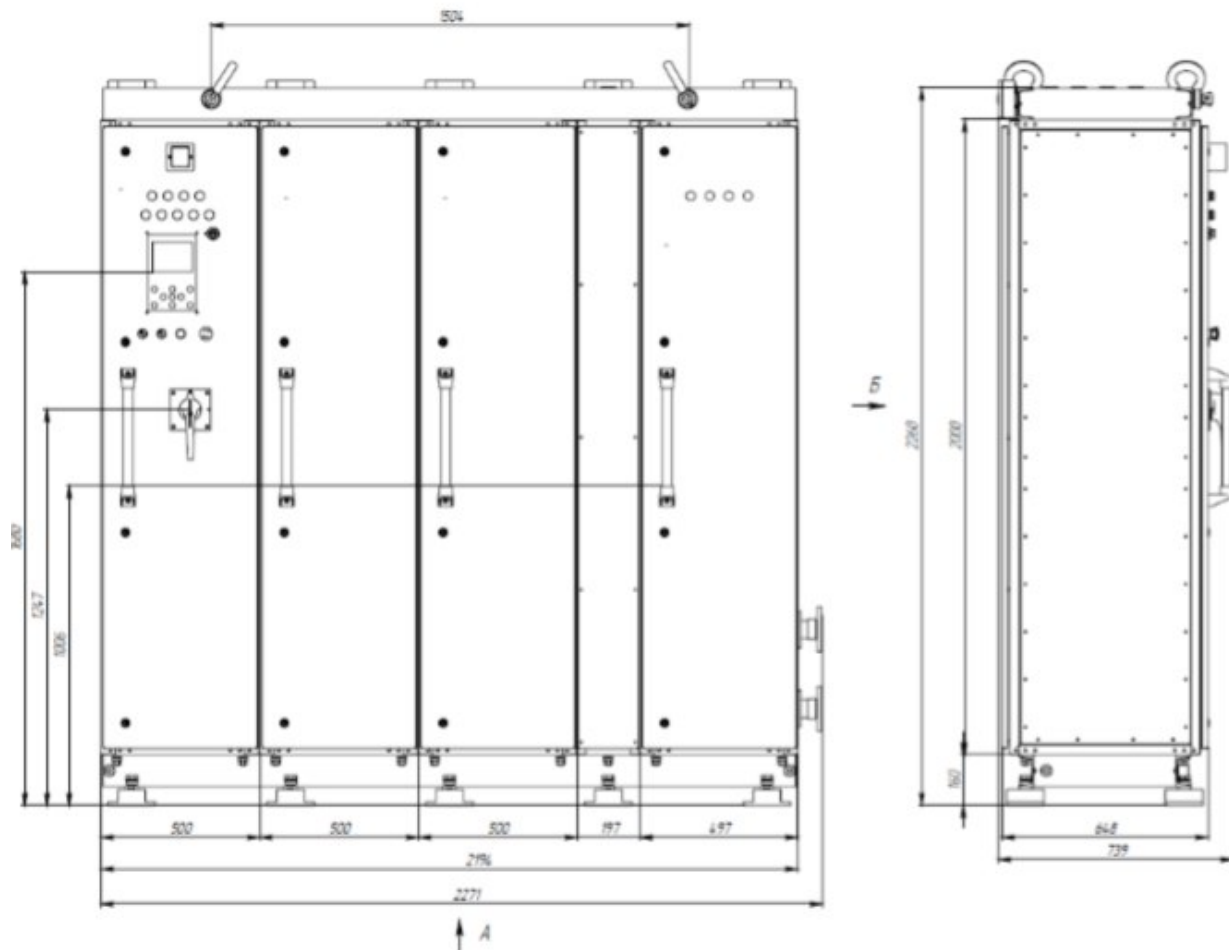
Габаритные размеры воздухоохладителя





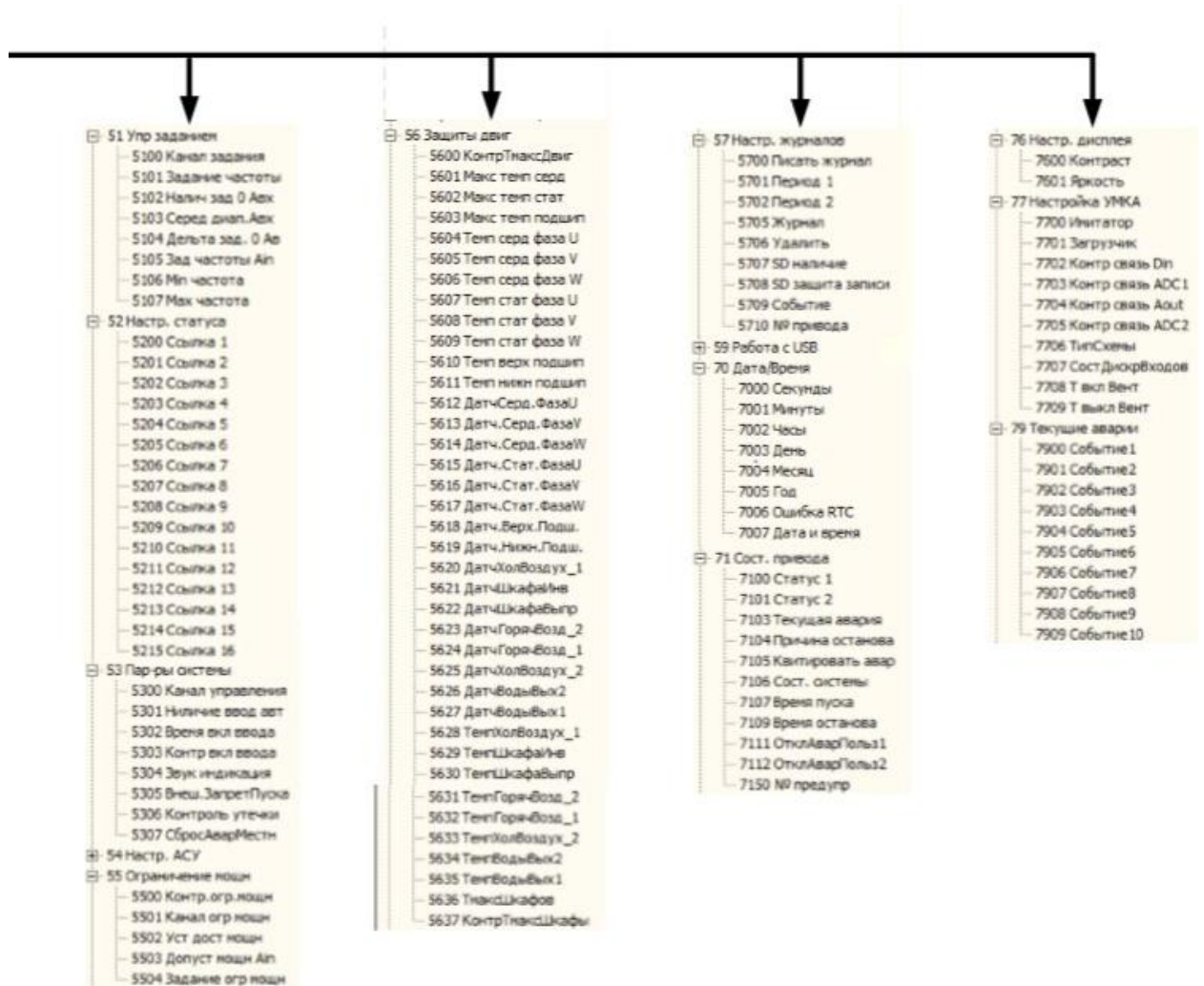
# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Габаритные размеры преобразователя частоты АТ24

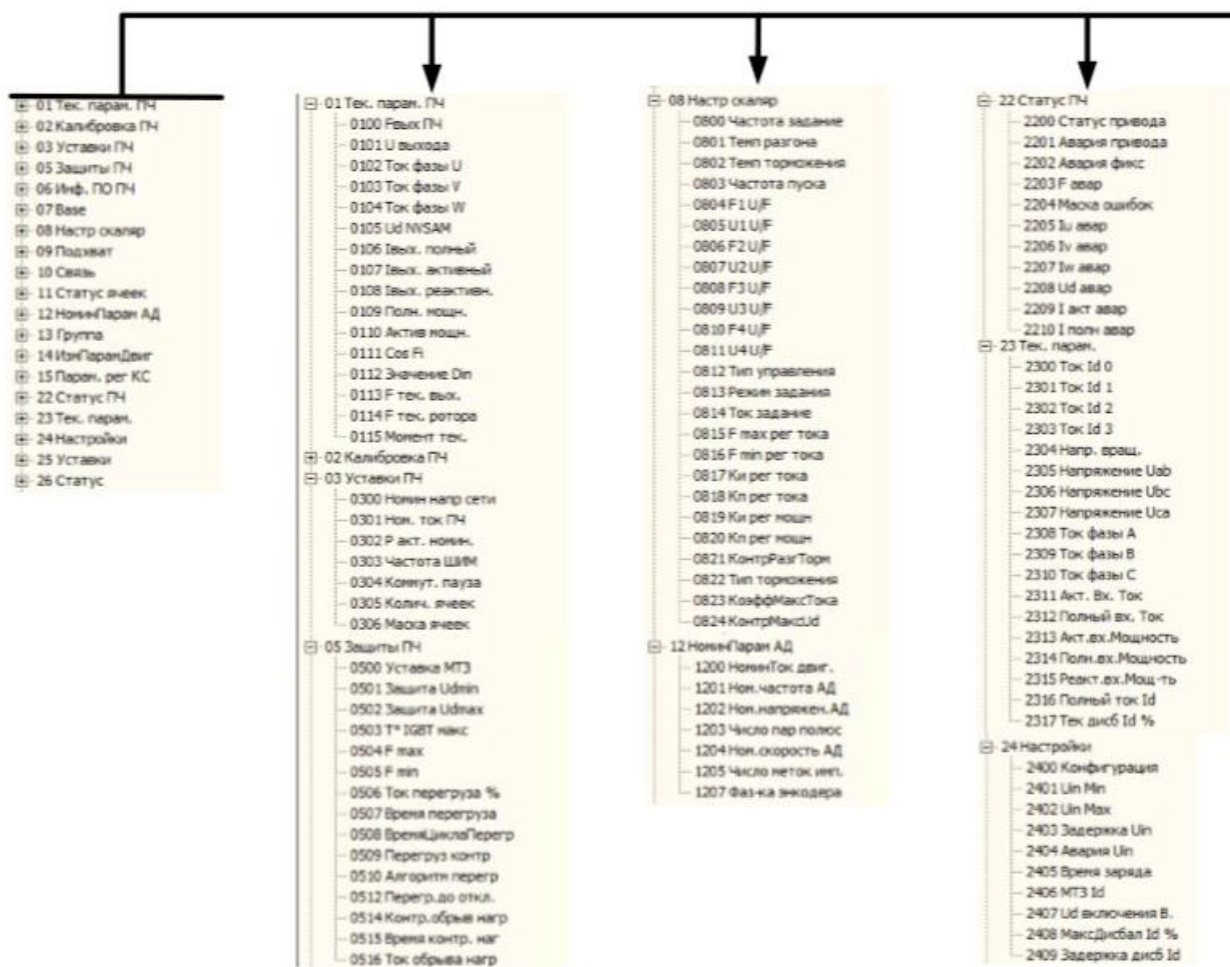


## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Список параметров контроллера преобразователя частоты

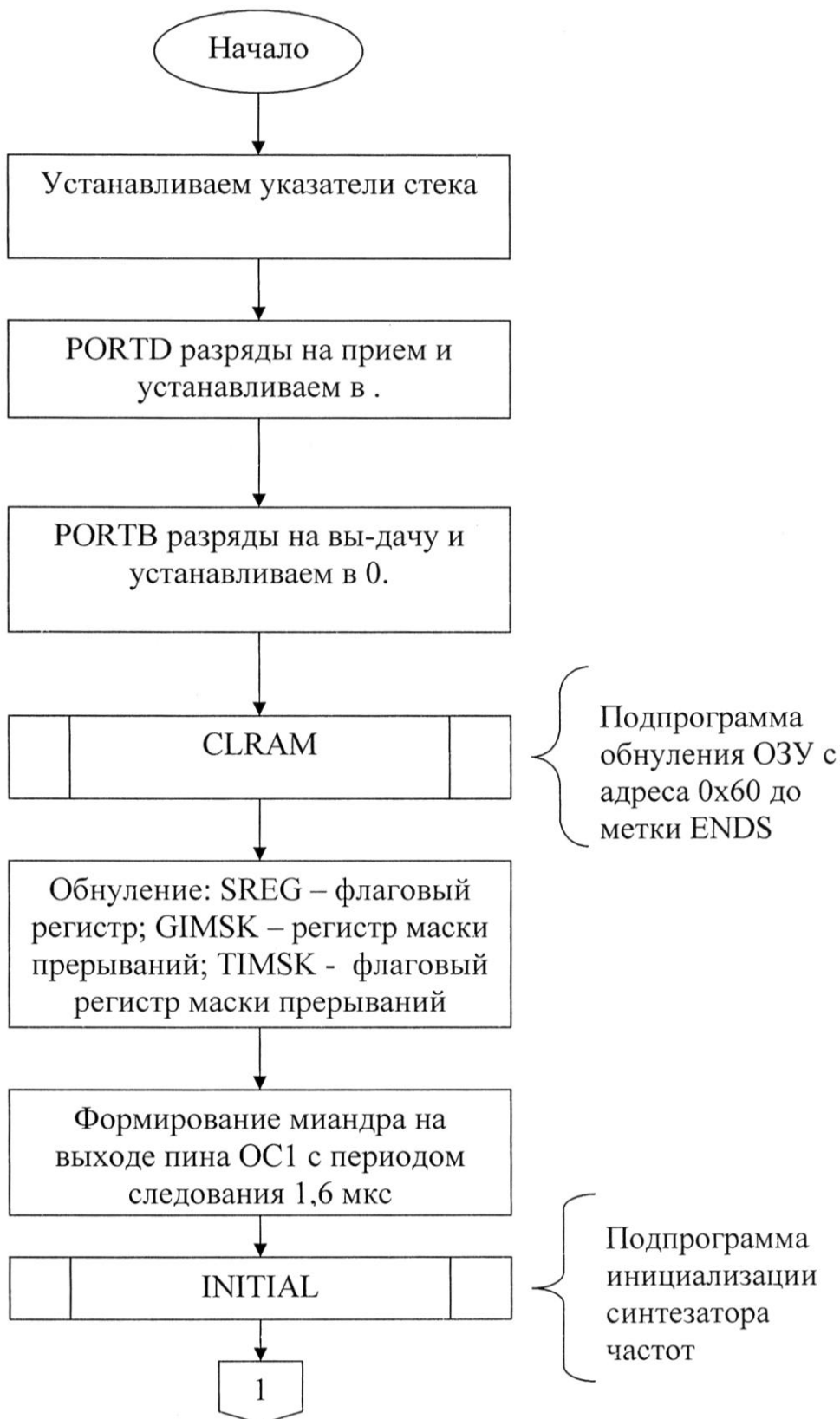


## Продолжение приложения Д



## Приложение Е

Блок схема алгоритма программы начального пуска (START)



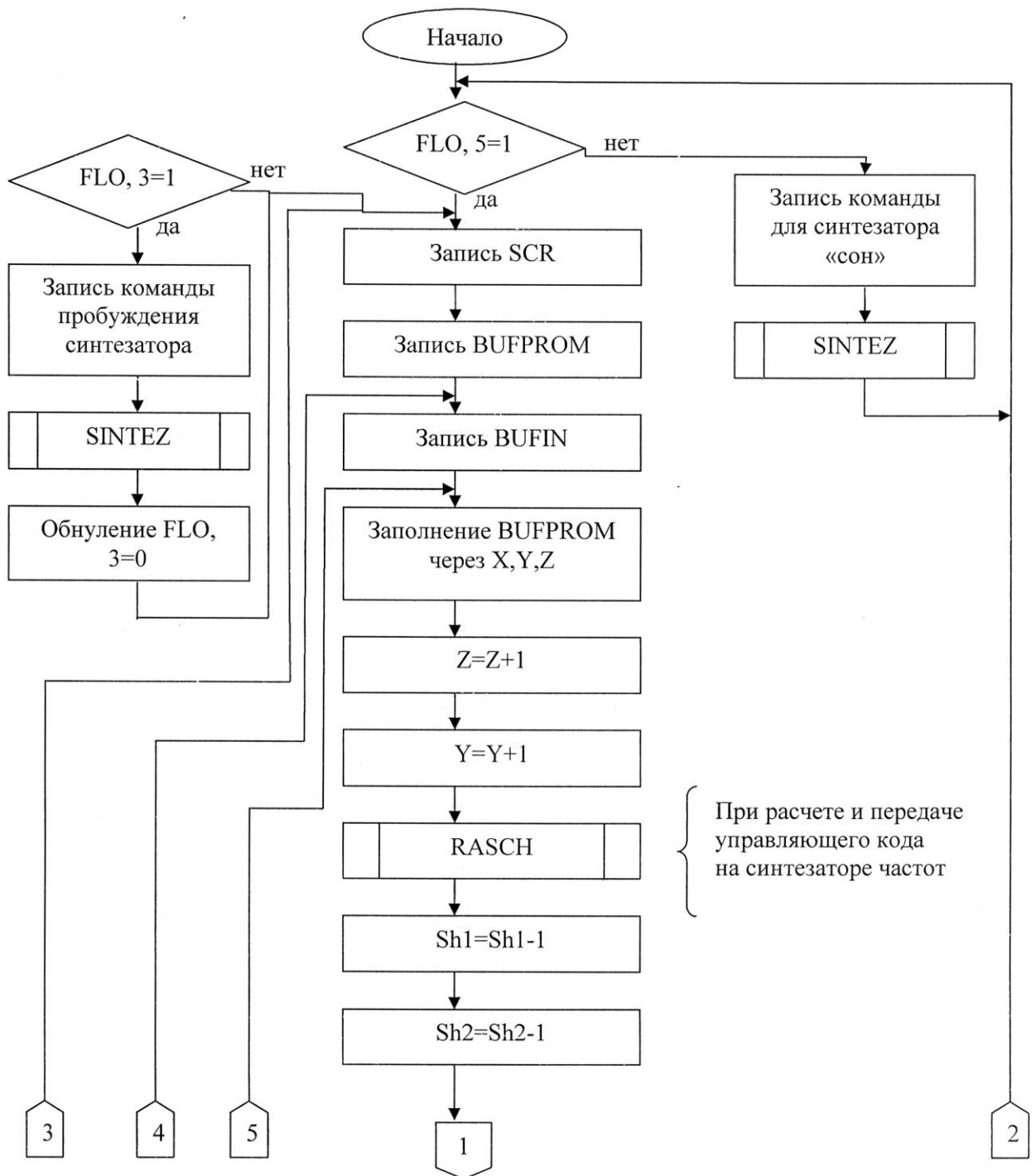
Продолжение приложения Е



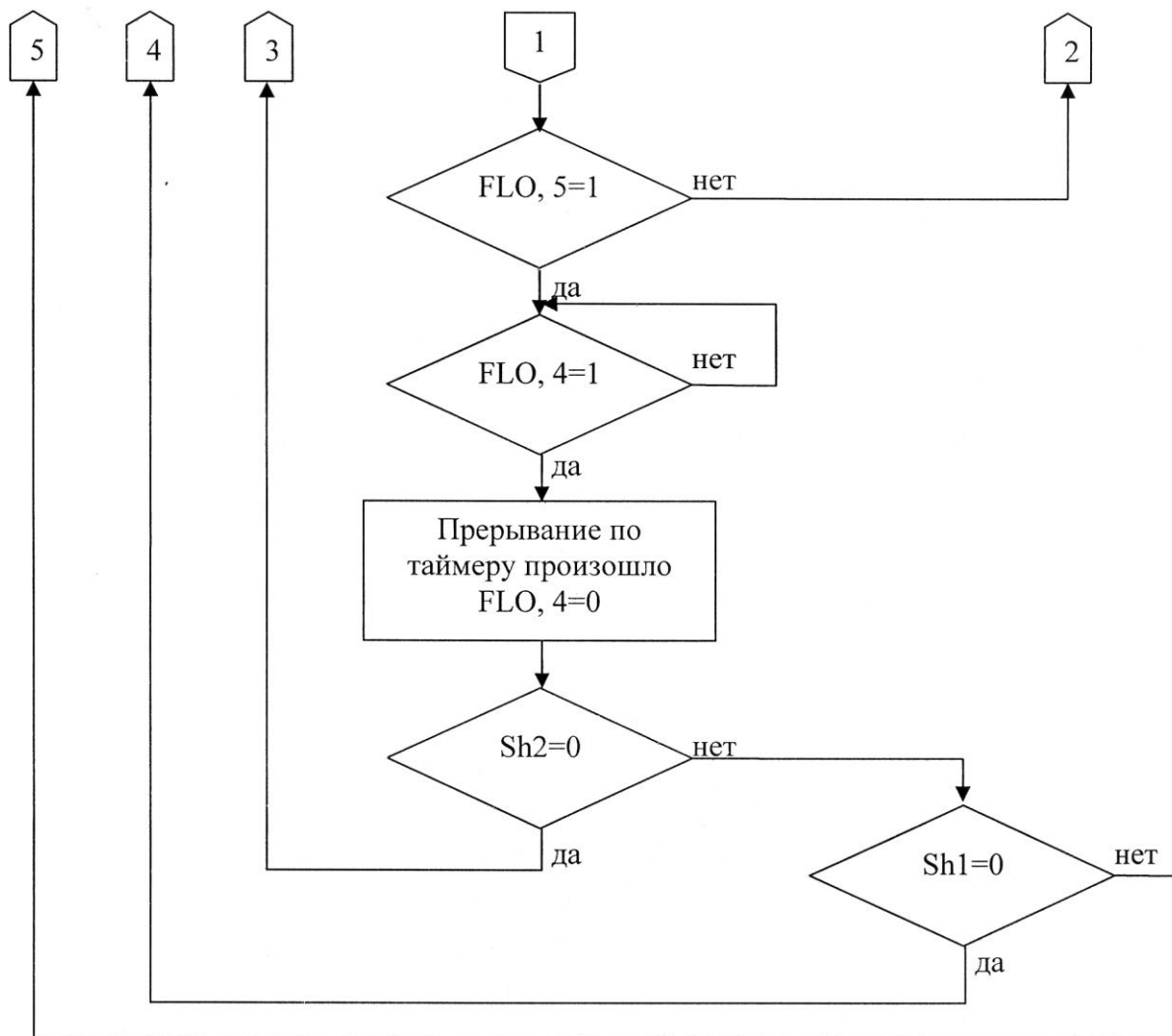
При кодировании сообщения и передачи управляющих кодов на синтезатор

Продолжение приложения Е

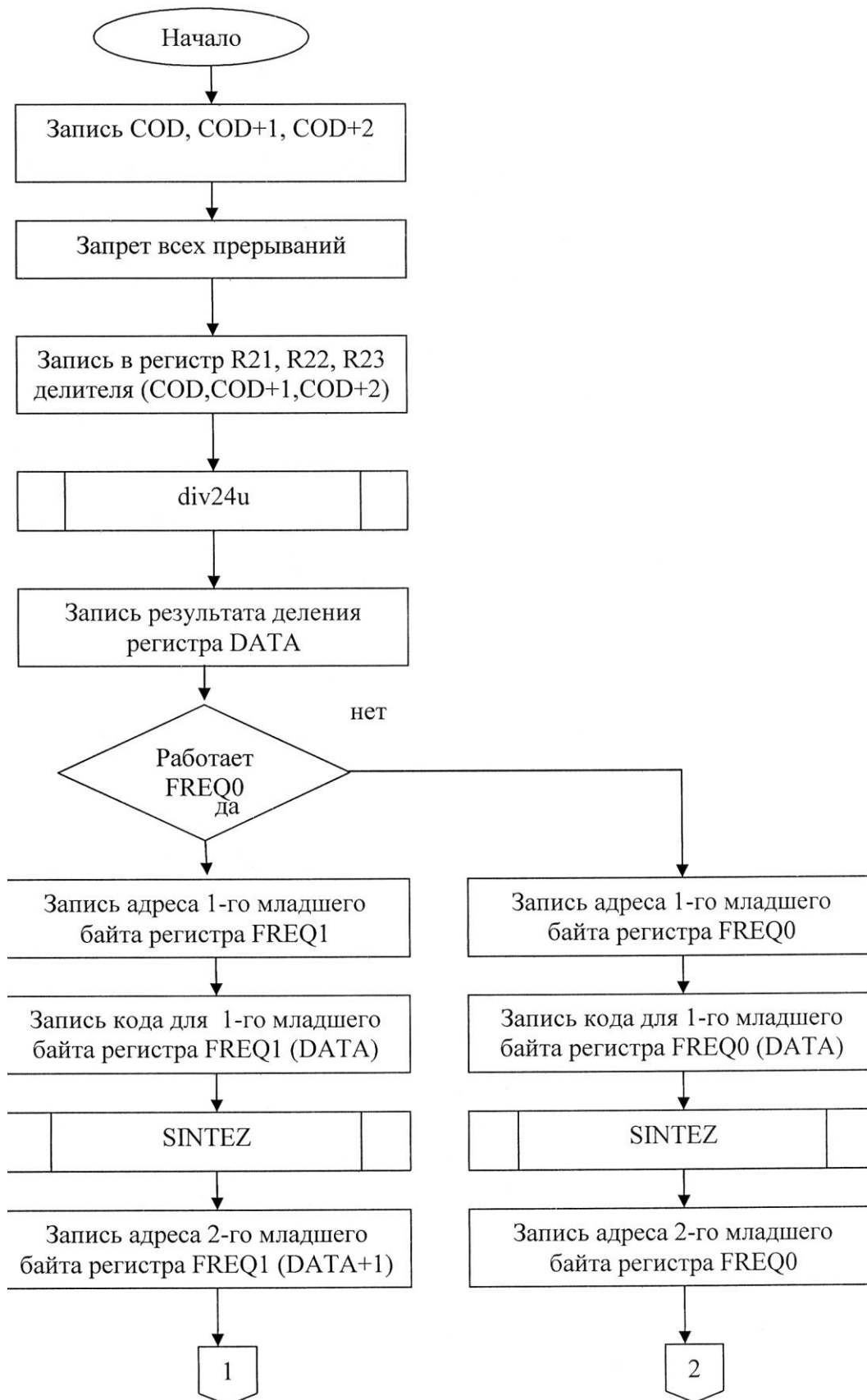
Блок-схема алгоритма подпрограммы кодирования сообщения и передачи данных на преобразователь (MAIN)



Продолжения приложения Е



# Блок-схема алгоритма расчета приема и передачи кода преобразователя





Продолжение приложения Е

