

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт открытого и дистанционного образования
Кафедра техники, технологий и строительства

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ К.М. Виноградов
_____ 2021 г.

Модернизация электропривода главного движения станка модели ГФ2171

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы,
доцент
_____ В.Д. Константинов
_____ 2021 г.

Автор работы
студент группы ДО-514
_____ Д.Р. Галаутдинов
_____ 2021 г.

Нормоконтролер,
преподаватель
_____ О.С. Микерина
_____ 2021 г.

АННОТАЦИЯ

Галаутдинов Д.Р. Модернизация электропривода главного движения станка модели ГФ2171. – Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ИОДО; 2021, 71 с., 37 ил., библиографический список – 13 наименований, 6 листов чертежей ф.А3.

В данной работе в качестве направления модернизации электропривода исследуемого станка предлагается рассмотреть вопрос автоматизированного регулирования и применения частотно-регулируемого электропривода, что значительно повышает эффективность технологических процессов, увеличивает долговечность механического оборудования, а также позволяет снизить расход электроэнергии на 40-60%. Включение в систему частотного преобразователя для управления электропривода станка улучшает качество работы и заметно экономит денежные средства на обслуживание и ремонт.

Проведение модернизации может исправить все перечисленные выше недостатки. Использование современного частотно регулируемого привода позволит устранить ряд недостатков привода подачи. Асинхронный двигатель значительно долговечнее двигателя постоянного тока, а отсутствие коллекторно-щеточного механизма снижает расходы на регулярное техническое обслуживание двигателя. Современные преобразователи имеют высокий КПД и значительное быстродействие.

Произведен выбор и расчет электропривода главного движения станка модели ГФ2171. Произведен расчет мощности электродвигателя. Выбран трехфазный асинхронный электродвигатель главного привода станка – 4АМ112М2. Окончательно принят трансформатор тока типа ТВЛМ – 10 – р/р – 1000/5.

В ходе сравнительного анализа для дальнейшего применения был выбран преобразователь частоты Delta Electronics VDF-C. Основными преимуществами такого решения являются: ценовое преимущество, простота установки и обслуживания хорошо известной модели, практическое отсутствие высокочастотных токов утечки.

В качестве датчика частоты вращения решено использовать бесконтактный индуктивный датчик ВБИ-Б10-60К-1113-3.

Для исследуемого объекта произведено построение математической модели электропривода. В качестве закона регулирования выбирается ПИ-закон регулирования.

Так же произведен синтез регуляторов системы автоматического управления.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Галаутдинов				Модернизация электропривода главного движения станка модели ГФ2171		
Провер.	Константинов						
						4	72
Н. контр.	Микерина				ЮУрГУ (НИУ). Кафедра ТТС		
Утверд.	Виноградов						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОПИСАНИЕ КОНСОЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА	
ГФ2171.....	9
6.3 Краткая техническая характеристика консольно-фрезерного станка ГФ2171.....	9
1.2 Кинематическая схема консольно-фрезерного станка ГФ2171.....	11
1.3 Описание действующей системы управления электроприводом главного движения станка модели ГФ2171.....	13
Выводы по разделу один.....	14
2 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА МОДЕРНИЗАЦИЮ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СТАНКА	
МОДЕЛИ ГФ2171.....	15
Выводы по разделу два.....	17
3 ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СТАНКА МОДЕЛИ ГФ2171.....	18
3.1 Расчет мощности электродвигателя.....	18
3.2 Выбор двигателя.....	24
3.3 Расчет статических характеристик электропривода и проверка двигателя по нагреву и перегрузочной способности.....	25
3.4 Расчет и выбор аппаратов защиты.....	32
Выводы по разделу три.....	35
4 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	36
4.1 Выбор преобразователя частоты.....	36
4.2 Выбор датчиков автоматизированной системы.....	46
Выводы по разделу четыре.....	50
5 СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СТАНКА	
МОДЕЛИ ГФ2171.....	51
5.1 Построение математической модели электропривода.....	51
5.2 Синтез регуляторов и анализ переходных процессов контуров структурной схемы асинхронного привода с векторным управлением.....	54
5.3 Моделирование системы для исследования динамики системы векторного управления асинхронным приводом.....	60
Выводы по разделу пять.....	66
6 АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	67
Выводы по разделу шесть.....	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	69
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	70
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	71

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день, вопросы, связанные с автоматизацией и энергосбережением, стали главными направлениями технической мировой политики. Главным образом то связано с острой нехваткой главных энергетических ресурсов, а также с возросшей стоимостью на их добычу. Кроме того, влияние оказывают глобальные проблемы в экологии, которые в последнее время стали явными. Экономия энергоресурсов практически в любой области направлена в основном на снижение потерь электрической энергии [1].

Постоянное совершенствование и внедрение новой техники и технологии в производство является основным фактором повышения эффективности производства. Ускорение научно-технического прогресса является главным рычагом улучшения всех показателей эффективности, таких как:

- производительность труда;
- материалоемкость;
- фондоотдача;
- уменьшение затрат на производство.

Главным направлением, по которому всемирное производство движется в настоящее время, является автоматизация производственных процессов. Таким образом, все выполняемое ранее самим человеком, его функции, как физические, так и интеллектуальные, начинает переходить к технике, выполняющей самостоятельно технологические циклы и осуществляющей контроль над проведением этих работ. Человеку во многих отраслях отмерена роль контролера за автоматическим контролером.

Модернизация электротехнических систем за счет применения комплексных систем автоматизации позволяет достичь увеличения уровня КПД всей электротехнической системы. Помимо увеличения производительности наблюдается и значительное сокращение количества возникающих нештатных и аварийных ситуаций в процессе эксплуатации электротехнических систем [3].

Интеграция автоматических систем управления в современные электротехнические системы, в основе которых лежит вычислительная техника, способствует значительному увеличению уровня эффективности использования трудового потенциала персонала, а также минимизации возникновения различных нештатных и аварийных ситуаций.

Также в случае применения автоматизированных комплексов и систем рабочий персонал освобожден от выполнения монотонных, однообразных и трудоемких операций, что также положительно сказывается на общей эффективности функционирования электротехнических систем [3].

В настоящее время проблема автоматизации подавляющего большинства технологических процессов и производственных циклов является актуальной во всем мире.

На современном этапе развития вычислительной техники имеется возможность автоматизировать большинство операций и циклов, которые еще совсем недавно мог выполнять исключительно рабочий персонал предприятий.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Причем автоматизации подлежат не только физические процессы, но и некоторая часть интеллектуальных операций. Таким образом наметилась четкая тенденция к переходу рабочего персонала к выполнению исключительно наблюдательных и контрольных функций, в то время как все производственные процессы выполняются системами автоматизации.

За последние десятилетия произошел стремительный рывок развития электронной компонентной базы, а также появилось большое количество новых технологий ее изготовления. Эти факторы способствуют тому, что современная вычислительная техника и микроэлектронные устройства имеют широкое распространение в сфере автоматизации технологических процессов.

Наличие большого количества высокоточных и производительных исполнительных механизмов способствует оптимизации производственных процессов, что положительно сказывается на издержках производства и как следствие на себестоимости конечной продукции.

Автоматизация производственного процесса – это комплекс мероприятий, основная цель которых состоит в замене ручного труда рабочего персонала на машинный автоматизированный труд. С этой целью все технологические операции, которые могут выполняться без участия человека, подлежат автоматизации за счет применения различных исполнительных механизмов, управление которыми осуществляется с помощью микропроцессоров в соответствии с заложенными в них алгоритмами.

Совсем недавно процесс автоматизации начал свое зарождение и развитие. На сегодняшний день большое количество технологических операций и производственных процессов автоматизированы. Таким образом в ближайшем будущем прогнозируется сведение к минимуму необходимости использования ручного труда.

Автоматизация производства – один из важнейших факторов роста производительности труда и повышения качества продукции. Непременным условием ускорения темпов роста автоматизации является подготовка специалистов, владеющих знаниями современных технических устройств автоматизации и способных обеспечить реализацию современных автоматизированных систем управления технологическими процессами любой сложности, их квалифицированную наладку и эффективную эксплуатацию в процессе функционирования.

Автоматизации подлежат как отдельные операции и технологические процессы, так и полные производственные циклы. Для автоматизации производственных процессов применяются различные исполнительные механизмы, которые могут представлять собой как относительно простые и примитивные датчики, так и сложные автоматизированные комплексы, способные выполнять множество различных операций.

подавляющее большинство современных производственных организаций стремятся к максимально возможному уровню автоматизации своих производственных процессов. Это объясняется тем, что в современных условиях высокой конкурентоспособностью обладают именно те предприятия, которые

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

характеризуются высоким уровнем автоматизации. Существуют и другие факторы, способствующие развитию автоматизации производственных процессов. К ним относятся: вредные и опасные условия труда, а также высокая стоимость ручного труда.

При автоматизации технологических процессов наблюдается сокращение продолжительности производственного цикла, уменьшается себестоимость конечной продукции, сокращаются производственные расходы, сведение к минимуму ошибок персонала и человеческого фактора. Как правило, при внедрении в технологические процессы автоматизированных систем управления происходит комплексное решение вышеуказанных задач.

Основная цель, которая преследуется в процессе автоматизации производственных процессов, заключается в замене ручного труда рабочего персонала на машинный автоматизированный труд. Помимо этого существует и ряд второстепенных целей, которые преследуются процессом автоматизации:

- 1) минимизация человеческого труда и количества необходимого рабочего персонала;
- 2) оптимизация производственных процессов и издержек производства;
- 3) увеличение номенклатуры выпускаемой продукции;
- 4) наращивание производственных мощностей;
- 5) увеличение уровня безопасности производственных процессов и технологических операций.

Тема данной выпускной квалификационной работы – «Модернизация электропривода главного движения станка модели ГФ2171».

Цель выпускной квалификационной работы – проектирование решений по модернизации электропривода главного движения консольно-фрезерного станка ГФ2171.

Исходя из темы и цели выпускной квалификационной работы, в процессе ее выполнения необходимо решить следующие задачи:

- дать краткую техническую характеристику консольно-фрезерного станка ГФ2171, исследовать назначение и принцип действия;
- исследовать кинематическую схему консольно-фрезерного станка ГФ2171;
- определить особенности автоматизированного управления электропривода проектируемого оборудования;
- произвести расчеты мощности электродвигателя проектируемого оборудования, аппаратов защиты и управления, кабелей и проводов;
- произвести выбор оборудования системы управления;
- разработать математическую модель электропривода;
- определить закон регулирования;
- произвести синтез регуляторов системы автоматического управления.

Объект исследования выпускной квалификационной работы – электропривод консольно-фрезерного станка модели ГФ2171.

Предмет исследования – поиск оптимальных подходов в процессе модернизации электропривода консольно-фрезерного станка модели ГФ2171.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

В процессе выполнения работы будут применены такие методы, как изучение научной литературы по теме исследования, нормативно-правовой базы, аналитический и сравнительный методы. Среди теоретических методов, используемых при разработке, отмечу анализ и метод классификации. Практические методы, используемые в работе – наблюдение, сравнение.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

1 ОПИСАНИЕ КОНСОЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА ГФ2171

1.1 Краткая техническая характеристика консольно-фрезерного станка ГФ2171

В данной работе исследуются консольно-фрезерные станки с ЧПУ ГФ2171.

Станок ГФ2171 – агрегат консольного типа, позволяющий производить технологические операции по фрезерованию с нормальным уровнем точности. Вертикальный станок снабжен стационарной консолью, а также числовым программным управлением. Подходит для многооперационной обработки заготовок, снабжен механизмом для замены инструментов с использованием автоматического режима. Подходит для работы с чугуном, сталью, сплавами из цветных металлов. Внешний вид станка приведен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид станка ГФ2171

ЧПУ фрезерные станки ГФ2171 производятся на Горьковском заводе фрезерных станков, который был основан в 1931 году.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

В течение долгого времени Горьковский завод фрезерных станков является отечественным лидером в производстве большого числа различных фрезерных станков. Продукция завода – это фрезерные станки с УЦИ и ЧПУ.

Фрезерный станок ГФ2171С5 представляет собой универсальное фрезерное оборудование, оснащенное системой ЧПУ. Данный станок имеет неподвижную консоль, которая расположена вертикально. Также станок ГФ2171С5 оборудован устройством, обеспечивающим возможность смены инструмента в автоматическом режиме. При разработке и проектировании данного станка в качестве основы был взят станок 6Т13МФ4.

За счет высокой мощности исполнительных механизмов, широкого диапазона частоты вращения и прочих конструктивных особенностей, данный станок может быть использован для обработки деталей из твердых сталей, для работы с которыми требуются большие обороты вращения обрабатываемых заготовок.

Рассматриваемая модель фрезерного станка имеет возможность обработки детали в трех координатных направлениях. Таким образом, этот станок может быть применен для изготовления деталей, характеризующихся сложной формой с большим количеством обрабатываемых плоскостей.

В настоящее время заводом – изготовителем разработано несколько модификаций станков, которые отличаются по напряжению питания и диапазону частоты вращения исполнительного механизма.

Рассматриваемое оборудование является универсальным и подходит как для больших партий изделий, так и для штучного производства.

Станок ГФ2171С5 имеет неподвижную консоль, которая расположена вертикально. Также станок ГФ2171С5 оборудован устройством, обеспечивающим возможность смены инструмента в автоматическом режиме.

Асинхронный двигатель приводит в движение исполнительный механизм станка. Между двигателем и исполнительным механизмом расположена коробка скоростей, имеющая 18 различных режимов работы. Для работы приводов подач предназначены двигатели М2 – М4, характеризующиеся высоким крутящим моментом. С помощью двигателя М5 приводится в движение вертикальная консоль станка.

Основной электродвигатель рассматриваемого станка имеет мощность 7,5 кВт.

Также станок ГФ2171С5 имеет следующие отличительные возможности:

- наличие выносного маховика, с помощью которого осуществляется ручное управление;
- конструкция станка предусматривает возможность использования различных контрольных и измерительных инструментов и оборудования;
- наличие устройств, обеспечивающих изменение программных кодов в памяти ЧПУ;
- наличие внутренней памяти, на которой можно хранить коды различных алгоритмов обработки заготовок деталей.

Конструктивными особенностями рассматриваемого оборудования являются:

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

– использование чугуна, предварительно прошедшего термическую стабилизацию, для изготовления станины станка. За счет этого достигается высокая жесткость конструкции, а также высокий уровень точности установки исполнительных органов в рабочих положениях;

– за счет высокой мощности исполнительных механизмов, широкого диапазона частоты вращения и прочих конструктивных особенностей, данный станок может быть использован для обработки деталей из твердых сталей, для работы с которыми требуются большие обороты вращения обрабатываемых заготовок.

– за счет наличия функции реверса движения исполнительного механизма достигается возможность выполнения большого количества технологических операций без переустановки заготовки;

– неподвижная консоль характеризуется высокой грузоподъемностью, что дает возможность обработки заготовок, имеющих большую массу.

Рассматриваемое оборудование представляет собой единый блок, в котором объединены исполнительные механизмы и системы управления. Таким образом, станок ГФ2171С5 характеризуется компактностью и отсутствием необходимости наличия большого пространства для его установки.

Рабочий стол станка ГФ2171С5 имеет следующие размеры: 40х160 см.

Основные технические характеристики консольно-фрезерного станка с ЧПУ ГФ 2171:

- возможность управления тремя координатами;
- наибольшая разрешенная нагрузка на центр оборудования составляет 400 кг;
- наличие Т-образных пазов в количестве трех штук;
- максимальное продольное перемещение стола – 101 см;
- передвижение рабочего стола по вертикали – максимум 25 см;
- перемещение стола поперек по максимуму – 40 см;
- перемещение ползуна – до 26 см;
- диапазон расстояния от торца шпинделя до стола – 25–50 см;
- точность позиционирования – 0.015 мм;
- диапазон частот вращения шпиндельного механизма – 50–2500 об/мин;
- шпиндель имеет 18 скоростей; наибольшей диаметр торцевой фрезы для агрегата – 125 мм;
- концевая фреза – до 40 мм;
- максимальный размер сверлящего инструмента – 30 мм; наибольший вес используемого инструмента 15 кг.

1.2 Кинематическая схема консольно-фрезерного станка ГФ2171

Кинематическая схема консольно-фрезерного станка ГФ2171 приведена на рисунке 1.2.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

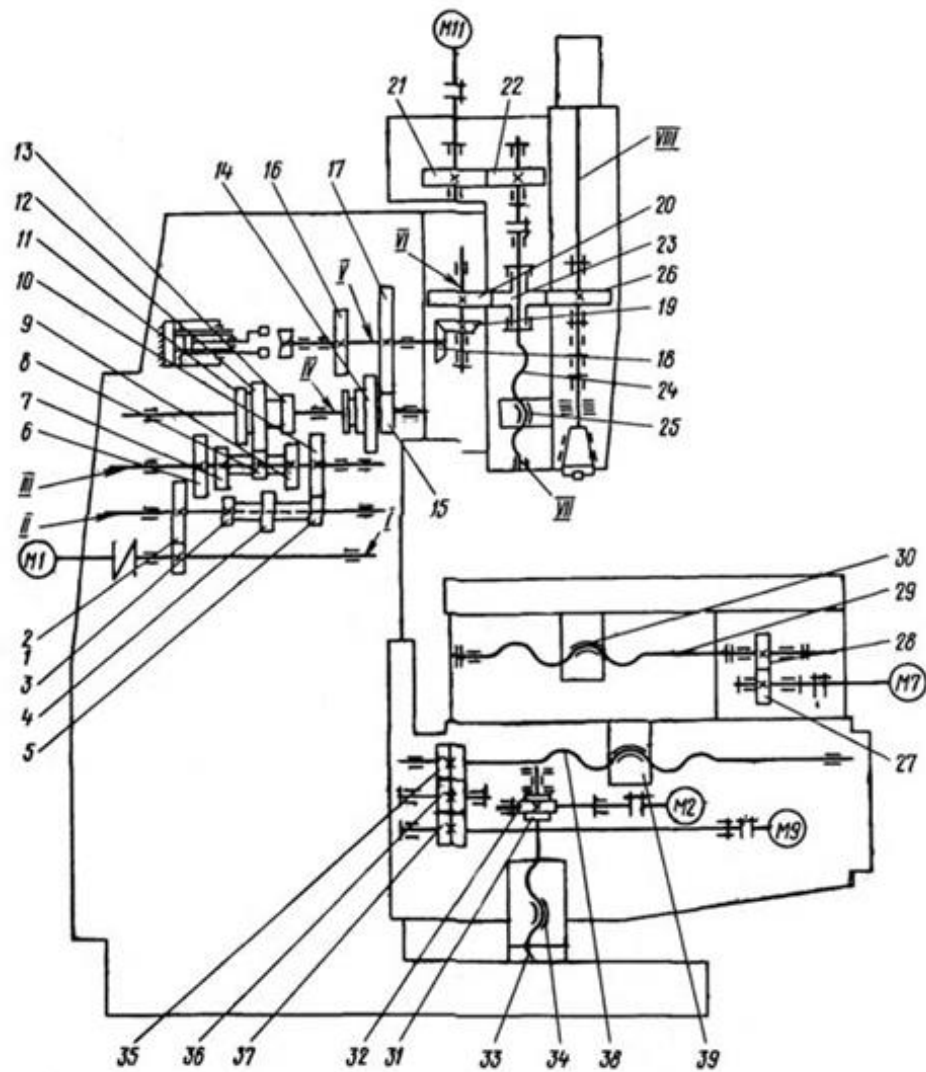


Рисунок 1.2 – Кинематическая схема консольно-фрезерного станка ГФ2171

Кинематическая схема привода главного движения станка приведена на рисунке 1.3.

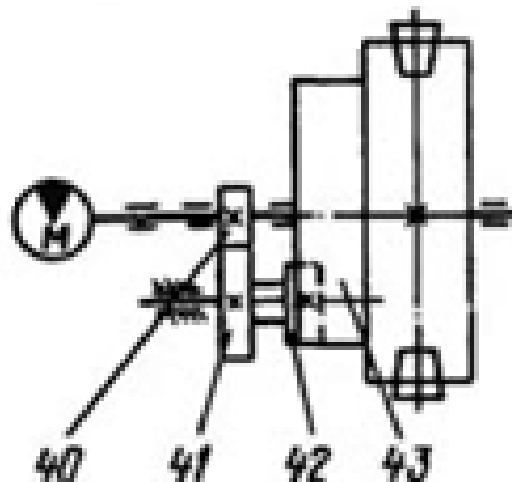


Рисунок 1.3 – Кинематическая схема привода главного движения станка: М – электродвигатель, 41 – муфта соединительная, 43 – коробка

Гидравлический мотор 1М отвечает за перемещение двухзахватной каретки. Также в этом процессе задействована шестерня 6. Перемещение рейки осуществляется по криволинейной рейке 7. Между рейкой и направляющей имеется жесткая связь.

1.3 Описание действующей системы управления электроприводом главного движения станка модели ГФ2171

Станок работает от трехфазной сети, которая имеет глухо заземленную нейтраль.

Принципиальная схема станка приведена на рисунке 1.4.

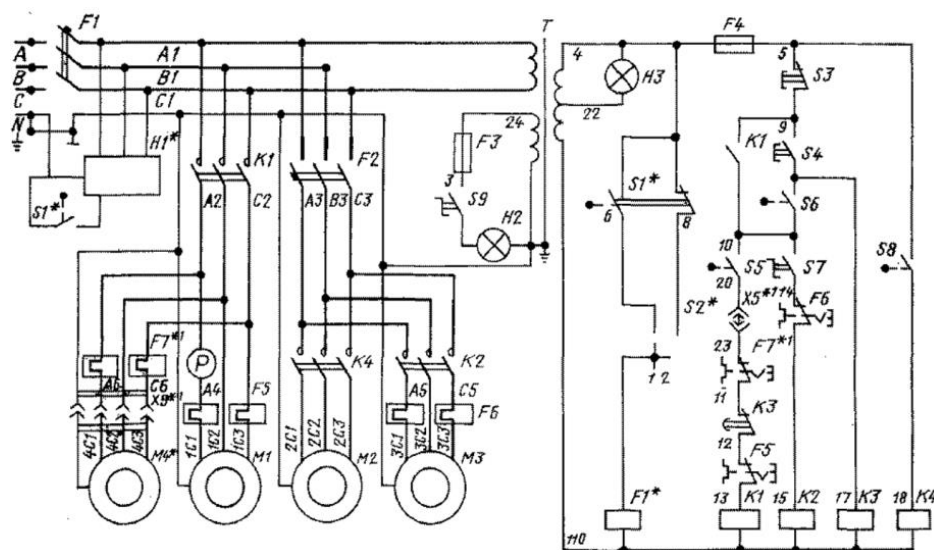


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема станка

Для того, чтобы запустить двигатель станка необходимо нажать на кнопку S4. При этом происходит замыкание обмоток дросселя и контактора K1. Таким образом происходит переключение контактора в режим самопитания. Для того, чтобы остановить двигатель станка, необходимо нажать на кнопку S3. Временное реле K3 в схеме станка выполняет функцию управления холостым ходом электродвигателя. При нахождении рукоятки станка в нейтральном положении происходит замыкание контактов выключателя S6, которые изначально находятся в разомкнутом состоянии. При этом происходит включение реле времени K3. При этом реле осуществляет отключение главного привода станка с определенной временной задержкой. Устройство временного реле K3 не предусматривает его настройку и изменение параметров в рабочем состоянии.

Предохранители, а также автоматические выключатели обеспечивают защиту электрических цепей следующих элементов: главный привод исполнительного механизма, привод, обеспечивающий быстрое перемещение каретки и суппорта, электрический насос, обеспечивающий работу систем охлаждения.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Тепловые реле предназначены для обеспечения защиты электрических двигателей станка в случае длительной работы в условиях повышенных температур. Магнитные катушки пускателей предназначены для того, чтобы исключения вероятности самопроизвольного запуска электродвигателей станка при отключении с последующей подачей питающего напряжения.

В настоящее время к системам регулируемого электропривода предъявляется множество различных требований. Однако основными являются: высокий уровень точности позиционирования исполнительных механизмов, а также плавность изменения оборотов вращения. Предъявляемым требованиям соответствует большинство двигателей, которые работают от постоянного тока. Однако они имеют ряд недостатков, которые связаны с необходимостью постоянного технического обслуживания. Один из способов регулирования скорости асинхронных двигателей, который в настоящее время имеет широкое применение – преобразование частоты. Под устройством, осуществляющим частотное преобразование, подразумевается устройство, характеризующиеся высокой степенью технологичности, а также имеющее микропроцессорное управление [3]. Основное назначение частотных преобразователей заключается в обеспечении управления режимами работы электродвигателей исполнительных механизмов. Управление осуществляется путем изменения таких параметров, как величина питающего напряжения и его частота. Таким образом, частотные преобразователи способны изменять частоту питающего напряжения в широких диапазонах. С помощью интегрированного инвертора осуществляется управление параметрами питающего напряжения на обмотках электродвигателя исполнительного механизма. За счет использования частотных преобразователей обеспечивается высокая плавность изменения частоты вращения электродвигателей.

В станочных системах функцию привода выполняет электродвигатель. Поэтому для управления частотный преобразователь подходит наиболее оптимально. Помимо опций и функционала, преобразователь частоты должен соответствовать мощностным характеристикам управляемого привода. В классической станочной системе электродвигатель работает на максимальных оборотах, управление осуществляется с помощью реле или же вручную.

Выводы по разделу один

В данной работе в качестве направления модернизации электропривода исследуемого станка предлагается рассмотреть вопрос автоматизированного регулирования и применения частотно-регулируемого электропривода, что значительно повышает эффективность технологических процессов, увеличивает долговечность механического оборудования, а также позволяет снизить расход электроэнергии на 40-60%. При использовании систем с частотными преобразователями наблюдается увеличение эффективности работы электродвигателей, что в свою очередь положительно сказывается на уровне оптимизации технологических процессов.

						13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			15

2 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА МОДЕРНИЗАЦИЮ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СТАНКА МОДЕЛИ ГФ2171

подавляющее большинство современных производственных организаций стремятся к максимально возможному уровню автоматизации своих производственных процессов. Это объясняется тем, что в современных условиях высокой конкурентоспособностью обладают именно те предприятия, которые характеризуются высоким уровнем автоматизации.

В данной работе в качестве направления модернизации электропривода исследуемого станка предлагается рассмотреть вопрос автоматизированного регулирования и применения частотно-регулируемого электропривода, что значительно повышает эффективность технологических процессов, увеличивает долговечность механического оборудования, а также позволяет снизить расход электроэнергии на 40-60%. При использовании систем с частотными преобразователями наблюдается увеличение эффективности работы электродвигателей, что в свою очередь положительно сказывается на уровне оптимизации технологических процессов [7].

В настоящее время к системам регулируемого электропривода предъявляется множество различных требований. Однако основными являются: высокий уровень точности позиционирования исполнительных механизмов, а также плавность изменения оборотов вращения. Предъявляемым требованиям соответствует большинство двигателей, которые работают от постоянного тока. Однако они имеют ряд недостатков, которые связаны с необходимостью постоянного технического обслуживания.

Один из способов регулирования скорости асинхронных двигателей, который в настоящее время имеет широкое применение – преобразование частоты.

Частотный преобразователь – современное высокотехнологичное устройство с микропроцессорным управлением, множеством функций и гибкими настройками [8].

Помимо опций и функционала, преобразователь частоты должен соответствовать мощностным характеристикам управляемого привода.

В классической станочной системе без ПЧ электродвигатель работает на максимальных оборотах, управление осуществляется с помощью реле или же вручную.

В состав систем частотного преобразования входят микропроцессоры с обратной связью. За счет применения таких микропроцессоров обеспечивается плавная управление режимами работы оборудования.

Преимущества управления с преобразователем частоты:

- экономия электроэнергии (до 30–40%);
- продлен ресурс электродвигателя;
- снижен уровень шума.

Схемы, имеющие в своем составе частотные преобразователи, характеризуются следующими недостатками:

						13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			16

- относительно высокая себестоимость;
- необходимость привлечение квалифицированного персонала для установки, запуска и отладки такого оборудования.

Данные затраты быстро окупаются в процессе эксплуатации оборудования с частотными преобразователями, так как они не нуждаются в постоянном трудоемком обслуживании. Таким образом происходит сокращение затрат, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом оборудования.

Необходимость проведения комплекса мероприятий по модернизации существующей системы объясняется следующим [9]:

- наличие большого простоя оборудования вследствие его физического и морального износа, что является причиной систематического выхода из строя;
- низкая скорость и эффективность управления технологическим оборудованием, что негативно сказывается на общем уровне эффективности производственных процессов;
- высокая степень зависимости качества выполняемой работы от уровня квалификации и опыта исполнителя;
- оптимизация процессов выявления и устранения возникающих поломок и неисправностей технологического оборудования;
- увеличение номенклатуры выпускаемой продукции;
- наращивание производственных мощностей;
- увеличение уровня безопасности производственных процессов и технологических операций.

В эксплуатационный период выявлены следующие недостатки привода подачи исследуемого станка:

- устаревшая элементная база;
- невысокий КПД преобразователя;
- потребность в постоянном техническом обслуживании;
- высокий уровень инерционности преобразователя;
- сниженная надёжность автоматики, которая реализована посредством реле.

Коме того, следует отметить, что в настоящий момент привод практически не пригоден для ремонта, т.к. оборудование привода сильно морально и физически устарело. Всё выше сказанное свидетельствует о необходимости модернизации привода.

Для того, чтобы выбрать привод, нужно определиться с требованиями, которые предъявляются к приводу:

- мощностные характеристики преобразователя;
- напряжение для питающей сети;
- напряжение, измеренное на выходе преобразователя;
- наличие встроенной логики, либо применение устройств автоматики дополнительно;
- диапазон регулирования скорости;
- наличие возможностей для заведения обратных связей.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Есть данные, что питание станка осуществляется от промышленной трёхфазной сети напряжением 380 В. При этом номинальное напряжение двигателя 380 В, это значит, что преобразователем должно быть обеспечено выходное номинальное напряжение 380 В. Промежуток для регулирования скорости должен быть лучше, чем 1:50. Кроме того, привод должен позволить заведение обратной связи по технологическому параметру. Также есть необходимость в том, чтобы привод позволял обеспечить реализацию автоматики, либо же соединяться с микропроцессорными устройствами.

Выводы по разделу два

Проанализировав вышеуказанные данные, можно сделать вывод о том, что проведение модернизации позволит устранить все вышеперечисленные недостатки. Применение новейшего частотно регулируемого привода позволит обеспечить устранение ряда недостатков привода подачи. Асинхронный двигатель в значительной степени более долговечен, чем двигатель постоянного тока, а отсутствие коллекторно-щеточного механизма позволяет снизить расходы на постоянные ТО, проводимые для двигателя. Современные преобразователи показывают высокие КПД и существенное быстроедействие.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

3 ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СТАНКА МОДЕЛИ ГФ2171

3.1 Расчет мощности электродвигателя

Скорость резания в режиме черного резания V_{Z1} , м/мин, определяется по формуле [10]:

$$V_{Z1} = \frac{C_v}{T^m \cdot t_1^{X_v} \cdot S_1^{Y_v}}, \quad (1)$$

где C_v – коэффициент, характеризующий свойства обрабатываемого материала, резца, а также вид токарной обработки (наружное точение, обрезка, нарезание резьбы и др.);

t – глубина резания, мм;

S – подача, мм;

m , X_v , Y_v – показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала, резца и вида обработки;

T – стойкость резца (продолжительность работы резца до затупления), мин;

V_z – скорость резания, м/мин.

Для расчета берем следующие значения:

C_v – 96,2

t – 8

S – 0,8

m , X_v , Y_v – 0,125; 0,25; 0,33

T – 50.

Расчитываем скорость резания в режиме черного резания по формуле (м/мин):

$$v_{Z1} = \frac{96,2}{50^{0,125} \cdot 8^{0,25} \cdot 0,8^{0,33}} = 37,762$$

Расчет усилия резания F_{Z1} , Н, определяется по формуле:

$$F_{Z1} = 9,81 \cdot C_{Fz} \cdot t^{X_{Fz}} \cdot S^{Y_{Fz}} \cdot v_z^n, \quad (2)$$

где C_{Fz} – коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал резца и вид токарной обработки;

X_{Fz} , Y_{Fz} , n – показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала, резца и вида обработки.

Для расчета берем следующие значения (Н):

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

$C_{Fz} - 27,9;$
 $X_{Fz} - 0,75$
 $Y_{Fz, n} - 0,75$
Получим:

$$F_{Z1} = 9,81 \cdot 27,9 \cdot 8^{0,75} \cdot 0,8^{0,75} \cdot 37,762^{0,35} = 3924,917$$

Мощность резания, в режиме черновой обработки P_{Z1} , кВт, рассчитывается по формуле (кВт) [11]:

$$P_{Z1} = \frac{F_{Z1} \cdot v_{Z1}}{60 \cdot 10^3}, \quad (3)$$

где F_{Z1} – усилия резания, Н;

V_{Z1} – скорость резания, м/мин;

P_{Z1} – мощность резания, кВт.

Для расчета берем следующие значения:

$F_{Z1} - 3924,917;$

$V_{Z1} - 37,762.$

Расчет усилия резания производим по формуле (кВт):

$$P_{Z1} = \frac{3924,917 \cdot 37,762}{60 \cdot 10^3} = 2,47$$

Мощность резания на валу главного двигателя РДВ1, кВт, в установившемся режиме с учетом потерь в передачах станка рассчитывается по формуле:

$$P_{ДВ1} = \frac{P_{Z1}}{\eta_{СТ}}, \quad (4)$$

где P_{Z1} – мощность резания в режиме черновой обработки, кВт;

$\eta_{СТ}$ – КПД станка при данной мощности резания, %;

$P_{ДВ1}$ – мощность на валу, кВт.

Для расчета берем следующие значения:

$P_{Z1} - 2,47;$

$\eta_{СТ} - 0,74.$

Расчет мощности резания на валу главного двигателя в установившемся режиме с учетом потерь в передачах станка рассчитывается по формуле (кВт):

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

$$P_{дв1} = \frac{2,47}{0,74} = 3,338$$

Расчет частоты вращения шпинделя $n_{шп1}$, об/мин, производим по формуле:

$$n_{шп1} = \frac{v_{z1} \cdot 10^3}{\pi \cdot D_1}, \quad (5)$$

где V_{z1} – скорость резания, мм/мин;

D – диаметр обрабатываемых деталей, мм;

$\pi = 3.14$;

$n_{шп1}$ – частота вращения шпинделя, об/мин.

Для расчета берем следующие значения:

$V_{z1} = 37,762$;

$D = 60$;

Расчет частоты вращения шпинделя производим по формуле (об/мин):

$$n_{шп1} = \frac{37,762 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 60} = 200,435.$$

Расчет машинного или технологического времени в режиме чернового резания производим по формуле (мин):

$$t_{м1} = \frac{380}{200,435 \cdot 0,8} = 2,369$$

Скорость резания в режиме чистового резания V_{z2} , м/мин, определяется по формуле:

$$V_{z2} = \frac{c_v}{T^m \cdot t_1^{X_v} \cdot S_1^{Y_v}}, \quad (6)$$

где C_v – коэффициент, характеризующий свойства обрабатываемого материала, резца, а также вид токарной обработки (наружное точение, обрезка, нарезание резьбы и др.);

t – глубина резания, мм;

S – подача, мм/об;

m , X_v , Y_v – показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала, резца и вида обработки;

T – стойкость резца (продолжительность работы резца до затупления), мин.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Для расчета берем следующие значения:

$C_v - 96,2$;

$t - 0,9$;

$S - 0,1$;

$m - 0,125$;

$X_v - 0,25$;

$Y_v - 0,33$;

$T - 50$;

Рассчитываем скорость резания в режиме чистового резания по формуле (м/мин):

$$v_{Z2} = \frac{96,2}{50^{0,125} \cdot 0,9^{0,25} \cdot 0,1^{0,33}} = 129,492$$

Расчет усилия резания F_{Z2} , Н, определяется по формуле:

$$F_{Z2} = 9,81 \cdot C_{Fz} \cdot t^{X_{Fz}} \cdot S^{Y_{Fz}} \cdot v_{Z2}^n, \quad (7)$$

где C_{Fz} – коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал резца и вид токарной обработки;

X_{Fz}, Y_{Fz}, n – показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала, резца и вида обработки.

Для расчета берем следующие значения:

$C_{Fz} - 27,9$;

$X_{Fz} - 0,75$

$Y_{Fz}, n - 0,75$

Расчет усилия резания производим по формуле (Н):

$$F_{Z2} = 9,81 \cdot 27,9 \cdot 0,9^{0,75} \cdot 0,1^{0,75} \cdot 129,49^{0,35} = 246,74$$

Мощность резания, в режиме чистовой обработки PZ2, кВт, рассчитывается по формуле (кВт):

$$P_{Z2} = \frac{F_{Z2} \cdot v_{Z2}}{60 \cdot 10^3}, \quad (8)$$

где F_{Z2} – усилия резания, Н;

V_{Z2} – скорость резания, м/мин;

P_{Z2} – мощность резания.

Для расчета берем следующие значения:

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

$F_{Z2} - 246,74;$
 $V_{Z2} - 129,492.$

Расчет усилия резания производим по формуле (кВт):

$$P_{Z2} = \frac{246,74 \cdot 129,492}{60 \cdot 10^3} = 0,532$$

Мощность резания на валу главного двигателя $P_{ДВ2}$, кВт, в установившемся режиме с учетом потерь в передачах станка рассчитывается по формуле:

$$P_{ДВ2} = \frac{P_{Z2}}{\eta_{СТ}}, \quad (9)$$

где P_{Z2} – мощность резания в режиме чистовой обработки, кВт;

$\eta_{СТ}$ – КПД станка при данной мощности резания, %;

$P_{ДВ2}$ – мощность на валу, кВт.

Для расчета берем следующие значения:

$P_{Z2} - 0,532;$

$\eta_{СТ} - 0,74.$

Расчет мощности резания на валу главного двигателя в установившемся режиме с учетом потерь в передачах станка рассчитывается по формуле (кВт):

$$P_{ДВ2} = \frac{0,532}{0,74} = 0,719$$

Расчет машинного или технологического времени t_{M2} , мин, в режиме чистового резания производим по формуле:

$$t_{M2} = \frac{l}{n_{ШП2} \cdot S}, \quad (10)$$

где l – длина обработки (прохода резца), мм;

$n_{ШП2}$ – частота вращения шпинделя, об/мин;

S – подача, мм/об.

Для расчета берем следующие значения:

$l - 380;$

$n_{ШП2} - 937,261.$

Расчет частоты вращения шпинделя $n_{ШП2}$, об/мин, производим по формуле:

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

$$n_{\text{шп2}} = \frac{v_{z2} \cdot 10^3}{\pi \cdot D_2}, \quad (11)$$

где V_{Z2} – скорость резания, мм/мин;

D – Диаметр обрабатываемых деталей, мм;

$n_{\text{шп2}}$ – частота вращения шпинделя, об/мин.

Для расчета берем следующие значения:

$V_{Z2} - 129,492$;

$D - 44$;

$n_{\text{шп2}} - 937,261$.

Расчет частоты вращения шпинделя производим по формуле (об/мин):

$$n_{\text{шп2}} = \frac{129,492 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 44} = 937,261$$

Расчет машинного или технологического времени в режиме чистового резания производим по формуле (мин):

$$t_{M2} = \frac{380}{937,261 \cdot 0,1} = 4,054$$

Принимаем электропривод станка и его электродвигатель в наладочном режиме (от сети отключается).

Нагрузочная диаграмма режимов работы электродвигателя главного привода станка показана на рисунке 3.1.

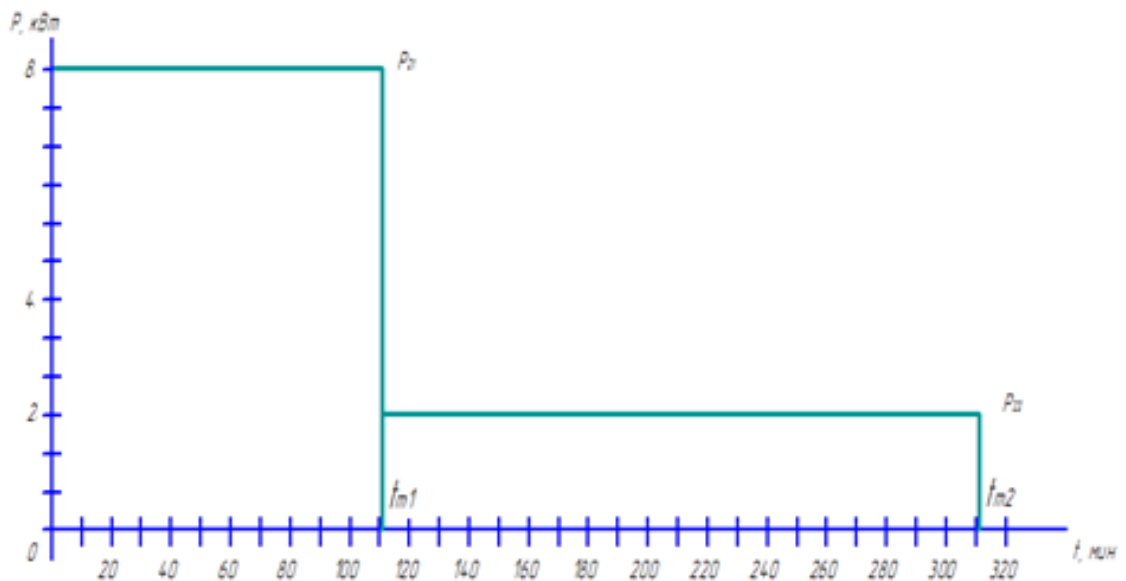


Рисунок 3.1 – Нагрузочная диаграмма режимов работы электродвигателя

3.2 Выбор двигателя

Расчет эквивалентной мощности ЭД $P_{ЭКВ}$, кВт, производим по формуле:

$$P_{ЭКВ} = \sqrt{\frac{P_{ДВ1}^2 \cdot t_{М1} + P_{ДВ2}^2 \cdot t_{М2}}{t_{М1} + t_{М2}}}, \quad (12)$$

Расчет (кВт):

$$P_{ЭКВ} = \sqrt{\frac{3,338 \cdot 2,369 + 0,719 \cdot 4,054}{2,369 + 4,05}} = 5,67.$$

Выбор электродвигателя стандартной мощности, удовлетворяющий условия (по справочнику электродвигателей):

$$P_{НОМ} \geq P_{ЭКВ}.$$

Технические данные трехфазного асинхронного электродвигателя главного привода станка приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические данных трехфазного асинхронного электродвигателя главного привода станка

Тип электродвигателя	Мощность электродвигателя, кВт	Ток, А	Напряжение линейное электродвигателя, В	При номинальной нагрузке			Скольжение, %
				Синхронная частота вращения, мин ⁻¹	КПД η, %	Коэффициент мощности и cosφ	
4АМ112М2	7,5	14	380	3000	82	0,875	2,6

Привод стола в продольном и поперечном направлениях и вертикальное перемещение шпиндельной бабки производится за счет коробки подач, которая смонтирована на задней стенке станины. Вращательные движения шпинделя производятся за счет электродвигателя переменного тока благодаря коробке скоростей. Кнопочное управление станком производится с центрального подвесного пульта.

Система блокировок, предусмотренная в станке, позволяет исключить возможность разового включения исключаящих друг друга движений и, вместе с иными предохранительными устройствами, в состоянии защитить механизмы станка от поломок.

3.3 Электрооборудование станка

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ				

Расчет рабочих характеристик производится по схеме замещения асинхронного двигателя, представленной на рисунке 3.2.

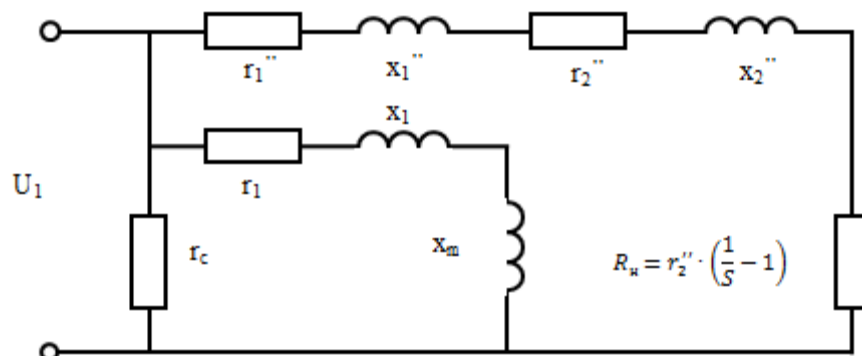


Рисунок 3.2 – Схема замещения асинхронного двигателя

Коэффициент рассеяния статора:

$$\tau_1 = \frac{x_1}{x_m}; \quad (13)$$

$$\tau_1 = \frac{0,147}{8,65} = 0,017.$$

Коэффициент сопротивления статора:

$$\rho_1 = \frac{r_1}{x_1 + x_m}; \quad (14)$$

$$\rho_1 = \frac{0,034}{0,147 + 8,65} = 0,0039.$$

Расчетные значения параметров схемы замещения:

$$r_1'' = r_1; \quad r_2'' = r_2' \cdot (1 + \tau_1)^2 \cdot (1 + \rho_1^2), \quad (15)$$

$$x_1'' = x_1 \cdot (1 + \tau_1) \cdot \left(1 + \rho_1 \cdot \frac{r_1}{x_1}\right); \quad x_2'' = x_2' \cdot (1 + \tau_1)^2 \cdot (1 + \rho_1^2), \quad (16)$$

$$r_1'' = 0,034 \text{ Ом}; \quad r_2'' = 0,026 \cdot (1 + 0,017)^2 \cdot (1 + 0,0039^2) = 0,027 \text{ Ом};$$

$$x_1'' = 0,147 \cdot (1 + 0,017) \cdot \left(1 + 0,0039 \cdot \frac{0,034}{0,147}\right) = 0,15 \text{ Ом};$$

$$x_2'' = 0,15 \cdot (1 + 0,017)^2 \cdot (1 + 0,0039^2) = 0,16 \text{ Ом}.$$

Сопротивления короткого замыкания равны:

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

$$r_k = r_1'' + r_2''; x_k = x_1'' + x_2''; z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2}, \quad (17)$$

$$r_k = 0,034 + 0,027 = 0,061 \text{ Ом}; x_k = 0,15 + 0,16 = 0,31 \text{ Ом};$$

$$z_k = \sqrt{0,061^2 + 0,31^2} = 0,316 \text{ Ом}.$$

Добавочные потери при номинальной нагрузке:

$$P_{\text{доб}} = 0,005 \cdot \frac{P_2}{\eta}, \quad (18)$$

$$P_{\text{доб}} = 0,005 \cdot \frac{70 \cdot 10^3}{0,91} = 384,62 \text{ Вт}.$$

Механическая мощность на валу:

$$P_2' = P_2 + P_{\text{мех}} + P_{\text{доб}}, \quad (19)$$

$$P_2' = 70 \cdot 10^3 + 2396 + 384,62 = 72,78 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Сопротивление схемы замещения R_H , эквивалентное механической мощности:

$$R_H = \left(\frac{m \cdot U_{1H}^2}{2 \cdot P_2'} \right) - r_k + \sqrt{\left(\frac{m \cdot U_{1H}^2}{2 \cdot P_2'} - r_k \right)^2 - z_k^2}, \quad (20)$$

$$R_H = \left(\frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 72,78 \cdot 10^3} \right) - 0,061 + \sqrt{\left(\frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 72,78 \cdot 10^3} - 0,061 \right)^2 - 0,316^2} = 1,82 \text{ Ом}.$$

Полное сопротивление рабочего контура схемы замещения:

$$Z_H = \sqrt{(R_H + r_k)^2 + x_k^2}, \quad (21)$$

$$Z_H = \sqrt{(1,82 + 0,061)^2 + 0,31^2} = 1,91 \text{ Ом}.$$

Номинальное скольжение:

$$s_H = \frac{1}{\left(1 + \frac{R_H}{r_2''} \right)}, \quad (22)$$

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$s_H = \frac{1}{\left(1 + \frac{1,82}{0,027}\right)} = 0,015.$$

Номинальная частота вращения ротора:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s_H), \quad (23)$$

$$n = \frac{60 \cdot 50}{p} \cdot (1 - 0,015) = 2955 \text{ об/мин.}$$

Реактивная составляющая тока статора при синхронном вращении ротора:

$$I_{cp} = \frac{U_{1H}}{x_m \cdot (1 + \tau_1) \cdot (1 + \rho_1^2)}, \quad (24)$$

$$I_{cp} = \frac{220}{8,65 \cdot (1 + 0,017) \cdot (1 + 0,0039^2)} = 2,5 \text{ A.}$$

Активная составляющая тока статора при синхронном вращении ротора:

$$I_{ca} = \frac{P_{M10} + P_{cm}}{m \cdot U_{1H}}, \quad (25)$$

$$I_{ca} = \frac{147,66 + 1099}{3 \cdot 220} = 1,89 \text{ A.}$$

Расчетный ток ротора:

$$I_2'' = \frac{U_{1H}}{Z_H}, \quad (26)$$

$$I_2'' = \frac{220}{1,91} = 115,2 \text{ A.}$$

Активная составляющая тока статора:

$$I_{1a} = I_{ca} + I_2'' \cdot \left(\left(\frac{R_H + r_K}{Z_H} \right) \cdot \frac{1 - p_1^2}{1 + p_1^2} + \frac{x_K}{Z_H} \cdot \frac{2 \cdot \rho_1}{1 + p_1^2} \right), \quad (27)$$

$$I_{1a} = 1,89 + 115,2 \cdot \left(\frac{1,82 + 0,061}{1,91} \cdot \frac{1 - 0,0039^2}{1 + 0,0039^2} + \frac{0,31}{1,91} \cdot \frac{2 \cdot 0,0039}{1 + 0,0039^2} \right) = 1,5 \text{ A.}$$

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Реактивная составляющая тока статора:

$$I_{1p} = I_{cp} + I_2'' \cdot \left(\frac{x_k}{Z_H} \cdot \frac{1-p_1^2}{1+p_1^2} - \frac{R_H+r_k}{Z_H} \cdot \frac{2 \cdot p_1}{1+p_1^2} \right), \quad (28)$$

$$I_{1p} = 25 + 115,2 \cdot \left(\frac{0,31}{1,91} \cdot \frac{1 - 0,0039^2}{1 + 0,0039^2} - \frac{1,82 + 0,061}{1,91} \cdot \frac{2 \cdot 0,0039}{1 + 0,0039^2} \right) = 4,2 \text{ A.}$$

Фазный ток статора:

$$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}, \quad (29)$$

$$I_1 = \sqrt{1,5^2 + 1,8^2} = 2,3 \text{ A.}$$

Коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{I_{1a}}{I_1}, \quad (30)$$

$$\cos \varphi = \frac{115,5}{131} = 0,89.$$

Потери мощности в обмотке статора:

$$P_{M1} = m \cdot I_1^2 \cdot r_1, \quad (31)$$

$$P_{M1} = 3 \cdot 131^2 \cdot 0,034 = 1,75 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Потери мощности в обмотке ротора:

$$P_{M2} = m \cdot I_2''^2 \cdot r_2'', \quad (32)$$

$$P_{M2} = 3 \cdot 115,2^2 \cdot 0,027 = 1,075 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Суммарные потери мощности в двигателе:

$$p_{\text{сум}} = p_{M1} + p_{M2} + p_{\text{ст}} + p_{\text{мех}} + p_{\text{доб}}, \quad (33)$$

$$p_{\text{сум}} = 1,75 \cdot 10^3 + 1,075 \cdot 10^3 + 1099 + 2396 + 384,62 = 6,7 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Потребляемая мощность:

$$P_1 = P_2 + p_{\text{сум}}, \quad (34)$$

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

$$P_1 = 70 \cdot 10^3 + 6,7 \cdot 10^3 = 76,7 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Коэффициент полезного действия:

$$\eta = 1 - \frac{P_{\text{сум}}}{P_1}, \quad (35)$$

$$\eta = 1 - \frac{6,7 \cdot 10^3}{76,7 \cdot 10^3} = 0,91.$$

Рассчитываем рабочие характеристики для скольжения 0,005; 0,01; 0,015; 0,02, 0,03. Результаты расчета сведены в таблицу 3.2.

Рабочие характеристики двигателя приведены на рисунке 3.3.

Таблица 3.2 – Рабочие характеристики двигателя

Расчетная формула	Раз-мер-ность	Скольжение s						
		0,003	0,007	0,011	0,015	0,019	0,023	$s_{\text{ном}} = 0,021$
$\frac{a'r'_2}{s'}$	Ом	18,5	7,9	5,04	3,7	2,9	2,4	2,64
$X = b + \frac{b'r'_2}{s}$	Ом	0,789	0,789	0,789	0,789	0,789	0,789	0,789
$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	Ом	18,73	8,18	5,32	3,99	3,23	2,74	2,96

Окончание таблицы 3.2

Расчетная формула	Размерность	Скольжение s						
		0,003	0,007	0,011	0,015	0,019	0,023	$s_{\text{НОМ}} = 0,021$
$I_2'' = U_1 / Z$	А	1,75	2,9	4,4	5,1	6,1	7,3	7,4
$\cos \varphi_2' = R / Z$	–	0,999	0,995	0,989	0,98	0,97	0,958	0,964
$\sin \varphi_2' = X / Z$	–	0,042	0,096	0,148	0,198	0,244	0,288	0,266
$I_{1a}'' = I_{0a}'' + I_2'' \cos \varphi_2'$	А	1,969	2,8	4,2	5,3	6,3	7,02	7,2
$I_{1p}'' = I_{0p}'' + I_2'' \sin \varphi_2'$	А	2,6	2,7	2,3	3,1	3,6	4,4	3,9
$P_1 = 3U_{\text{НОМ}} I_{1a}'' \cdot 10^{-3}$	кВт	8,6	18,5	27,8	36,5	44,4	51,6	48,1
$P_{\varphi 1} = 3I_1'^2 r_1 \cdot 10^{-3}$	кВт	0,36	0,79	1,5	2,4	3,6	4,9	4,21
$P_{\varphi 2} = 3I_2'^2 r_2 \cdot 10^{-3}$	кВт	0,023	0,12	0,29	0,51	0,77	1,07	0,92
$P_{\text{доб}} = 0,005P_1$	кВт	0,043	0,092	0,139	0,182	0,222	0,258	0,24
$\sum P = P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} + P_{\varphi 1} + P_{\varphi 2} + P_{\text{доб}}$	кВт	2,63	3,21	4,13	5,34	6,77	8,38	7,56
$P_2 = P_1 - \sum P$	кВт	0,6	1,6	2,7	4,1	5,2	8	7,5
$\eta = 1 - \sum P / P_1$	–	0,693	0,827	0,852	0,854	0,847	0,837	0,843
$\cos \varphi = \frac{I_{1a}''}{I_1}$	–	0,532	0,777	0,849	0,872	0,877	0,875	0,871

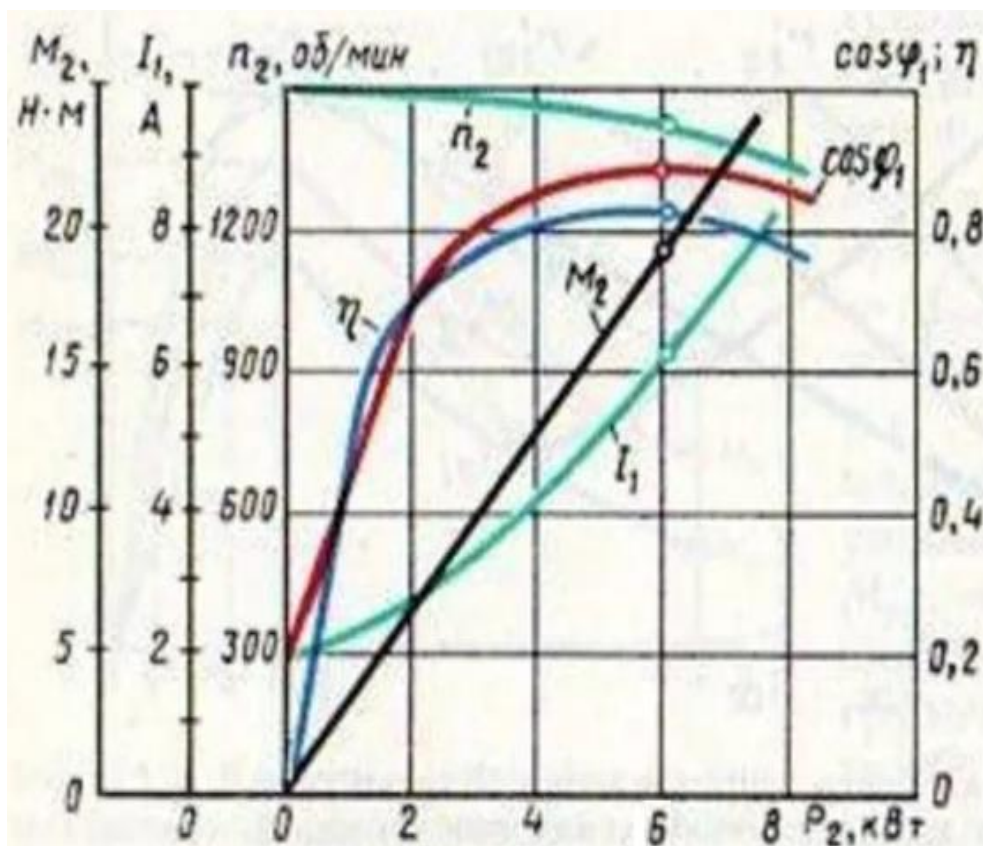


Рисунок 3.3 – Рабочие характеристики спроектированного двигателя

Номинальный момент двигателя рассчитывается по формуле:

$$M_{ном} = 9570 \frac{P_n}{n \cdot (1 - s_n)}, \quad (36)$$

где P_n – номинальная мощность двигателя, кВт;

n – частота вращения, об/мин;

s_n – номинальное скольжение.

Подставив численные значения, получим (Н·м):

$$M_{ном} = 9570 \frac{7,5}{1500 \cdot (1 - 0,058)} = 50,79 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

По полученным данным можно рассчитать критический момент двигателя согласно формуле:

$$M_{кр} = M_{ном} \cdot m_{кр}, \quad (37)$$

Подставив численные значения, получим (Н·м):

$$M_{кр} = 50,79 \cdot 2,2 = 111,75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Для оценки по условиям перегрузки необходимо рассчитать максимальный момент исполнительного механизма.

Рассчитываем максимальную мощность электропривода P_{max} , кВт для максимального тока электропривода по формуле:

$$P_{max} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{max} \cdot \eta \cdot \cos \varphi, \quad (38)$$

где U_H – номинальное напряжение двигателя;

Подставив численные значения, получим (кВт):

$$P_{max} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 17,5 \cdot 0,81 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3} = 8,01 \text{ кВт}.$$

Максимальный момент исполнительного механизма рассчитывается по формуле:

$$M_{max} = 9570 \cdot \frac{P_{max}}{n \cdot (1 - s_k)}, \quad (39)$$

Подставив численные значения, получим:

$$M_{max} = 9570 \cdot \frac{8,01}{1500 \cdot (1 - 0,14)} = 59,42 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Условием для проверки двигателя на перегрузочную способность является:

$$M_{max} \leq M_{кр}, \quad (40)$$

Подставив численные значения, получим:

$$59,42 \leq 111,75.$$

Условие выполняется, следовательно, двигатель удовлетворяет условиям перегрузки.

3.4 Расчет и выбор аппаратов защиты

Схема электроснабжения, от которой запутывается станок, приведена на рисунке 3.4.

Выбираем оборудование на ввод.

Ток одного вводного выключателя (исходя из показателей деятельности цеха):

$$I_{расч} = I_{пк1} = 1624,66 \text{ А}.$$

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Ориентируемся на применение комплектных распределительных устройств (КРУ) [13].

Предварительно выбираем выключатель типа ВВТЭ – М – 10 – 20 – 1600. Данные для выбора оборудования на ввод приведены в таблице 3.3.

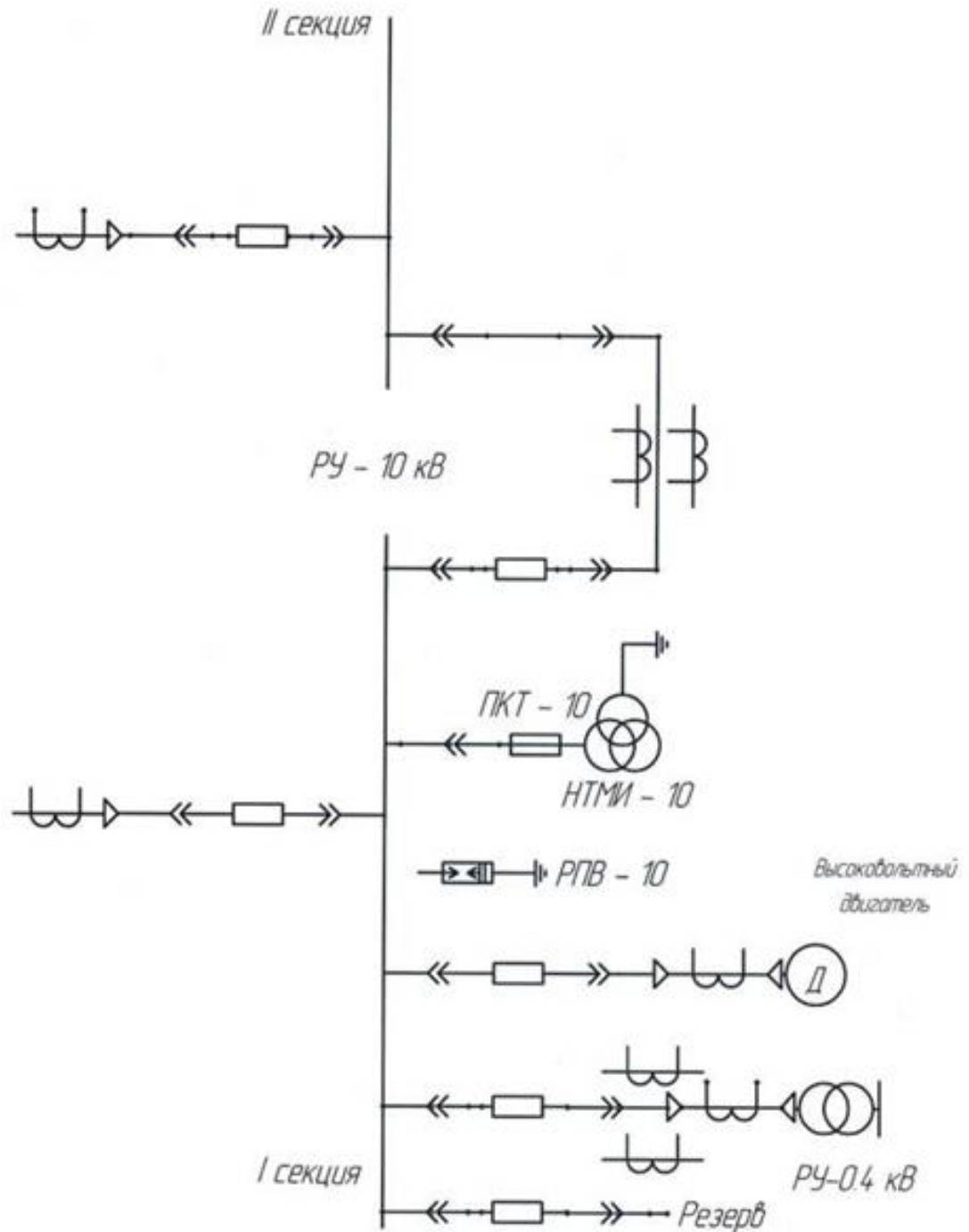


Рисунок 3.4 – Схема электроснабжения для расчета и выбора аппаратов защиты и управления

Таблица 3.3 – Выбор оборудования на ввод

Фактические данные для исследуемого производства	Допустимые величины
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_H = 1624,66$ А	$I_H = 1600$ А
$I_{к.з.} = 6,281$ кА	$I_{отк} = 20$ кА
$S_{к.з.} = 108,765$ МВА	$S_{к.з.} = 350$ МВА
$t_{уд} = 15,94$ А	$t_{уд} = 51$ кА
Окончание $I_{\infty}^2 \times t_{п} = 6,281^2 \times 0,9 = 35,5$ кА ² ×ч	$I_{\infty}^2 \times t_{п} = 20^2 \times 3 = 1200$ кА ² ×ч

Фактические данные соответствуют допустимым, поэтому окончательно принимаем выключатель ВВТЭ – М – 10 – 20 – 1600.

В качестве выключателя трансформатор тока, первоначально выбираем трансформатор тока типа ТВЛМ – 10 – р/р – 1500/5 и составляем сравнительную таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Выбор оборудования на ввод

Расчетные величины	Допустимые величины
$K_t = \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t_n}}{I_H} = \frac{6,281 \cdot \sqrt{0,9}}{1,5} = 3,97$	$K_t = 120$
$K_d = \frac{i_{уд}}{\sqrt{2} \cdot I_H} = \frac{15,94}{1,41 \cdot 1,5} = 7,53$	$K_d = 250$

Ни одна из расчетных величин не превышает соответствующего значения допустимых величин, то окончательно принимаем трансформатор тока типа ТВЛМ – 10 – р/р – 1500/5.

Произведем выбор секционного выключателя.

Определим расчетный ток (А):

$$I_{расч} = \frac{I_H}{2}, \text{ А} \quad (41)$$

$$I_{расч} = \frac{1624,66}{2} = 812,33 \text{ А}$$

Первоначально выбираем выключатель типа ВВТЭ – М – 10 – 20 – 1000 и составляем сравнительную таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Выбор секционного выключателя

Расчетные величины	Допустимые величины
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_{расч} = 812,33$ А	$I_H = 1000$ А
$I_{к.з.} = 6,281$ кА	$I_{отк} = 20$ кА
$S_{к.з.} = 108,765$ МВА	$S_{к.з.} = 350$ МВА

Расчетные данные соответствуют допустимым, окончательно принимаем выключатель типа ВВТЭ – М – 10 – 20 – 1000.

Для этого выключателя первоначально выбираем трансформатор тока типа ТВЛМ – 10 – р/р – 1000/5 и составляем сравнительную таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Выбор секционного выключателя

Расчетные величины	Допустимые величины
$K_t = \frac{I_\infty \cdot \sqrt{t_n}}{I_n} = \frac{6,281 \cdot \sqrt{0,58}}{1} = 4,78$	$K_t = 120$
$K_d = \frac{i_{y\partial}}{\sqrt{2} \cdot I_n} = \frac{15,94}{1,41 \cdot 1} = 11,3$	$K_d = 250$

Расчетные данные не превышают соответствующего значения допустимой величины, то окончательно принимаем трансформатор тока типа ТВЛМ – 10 – р/р – 1000/5.

Выводы по разделу три

В третьем разделе выпускной квалификационной работы произведен выбор и расчет электропривода главного движения станка модели ГФ2171.

В данном разделе произведен расчет мощности электродвигателя. Выбран трехфазный асинхронный электродвигатель главного привода станка – 4АМ112М2.

Далее произведен расчет и выбор аппаратов защиты, трансформаторов. Окончательно принят трансформатор тока типа ТВЛМ – 10 – р/р – 1000/5.

4 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

4.1 Выбор преобразователя частоты

В данной части выпускной квалификационной работы произведен обзор рынка современных технических средств, необходимых для построения системы управления.

Преобразователи частоты ЭПВ являются приоритами из нового поколения многофункциональных и «интеллектуальных» устройств по управлению низковольтными (до 440 В) электродвигателями переменного тока, синхронными и асинхронными, оснащенными датчиками скоростей с номинальным током на выходе в 480 А, мощностные характеристики которых находятся в диапазоне от 1 кВт до 250 кВт.

Частотные преобразователи ЭПВ главным образом применимы в электроприводах главного движения, и, кроме того, в электроприводах подачи станков, подъемно-транспортных механизмах, а также приводах кранового оборудования и аппаратах для слежения и позиционирования, где предъявляются высокие требования к скорости, и, кроме того, статической точности контроля над моментом и скоростью. То, как выглядят данные преобразователи, отражено на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Внешний вид преобразователей ЭПВ

Исполнение ЭПВ-Р выполнено в виде рекуперативных блоков, которые нужны при подключении либо к одному, либо к нескольким преобразователям частоты в линейке ЭПВ, управляемые механизмами, которые могут работать на протяжении длительного времени в генераторном режиме. Также управление ведется за счет высоко инерционных механизмов с напряженными динамическими режимами работы, такими как, например, частые торможения либо высокоинтенсивный реверс. Обмен энергией в двух направлениях между приводными

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

электродвигателями механизмов и питающей сетью выполним посредством рекуперативных блоков, обеспечивающих стабилизацию выходного напряжения, а также входное напряжение и ток синусоидальной формы с возможностью управления реактивной мощностью, производя регулировку входного коэффициента сдвига $\cos \varphi$ основной гармоники тока относительно сетевого напряжения.

Преимущества применения преобразователей ЭПВ:

- полная защита электродвигателя и преобразователя;
- встроенный ПИД-регулятор;
- встроенный пульт управления, задания параметров настройки и отображения информации о состоянии преобразователя и электродвигателя, их параметрах и режимах работы;
- удобство установки, эксплуатации и стандартные заводские настройки;
- для исполнения 1 возможность управления по циклограмме с абсолютным и относительным временем.

Серия частотных преобразователей ProfiMaster разработана совместно Российско-Корейскими специалистами и адаптирована для Российского рынка. Внешний вид одной из наиболее популярной модели компании – РМ-G500 – приведен на рисунке 4.2.

Преобразователи частоты ProfiMaster производятся в Южной Корее на современных автоматических линиях эксклюзивно для России. Частотные преобразователи разработаны для управления электродвигателями насосов и вентиляторов мощностью от 5,5 до 450 кВт. Контроль качества каждого частотного преобразователя проверяется на всех этапах производства, тем самым, обеспечивая высочайший уровень надежности выпускаемой продукции. Работа преобразователя частоты максимально продумана, что позволяет учесть любые потребности потребителя.



Рисунок 4.2 – Внешний вид преобразователя ProfiMaster РМ-G500

Гарантия этому – большой опыт внедрения преобразователей частоты ProfiMaster на предприятия Москвы и других городов России. Современный

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

частотный привод ProfiMaster имеет влагозащитный корпус, удобный интерфейс и компактное исполнение, что позволяет использовать частотный преобразователь в самых сложных условиях. Преобразователи частоты поставляются со съемными ЖК-пультами, имеющими понятный русский интерфейс. На пульте отображаются основные параметры, время работы частотного преобразователя, потребление электроэнергии и журнал сбоев.

Преимущества использования частотных преобразователей ProfiMaster:

- энергосбережение (частотный привод позволяет сократить расходы на электроэнергию до 50 %);
- преобразователи частоты обладают высоким КПД (около 95 %);
- срок окупаемости объекта по внедрению частотного преобразователя ProfiMaster составляет небольшой период (около 1 года);
- преобразователи частоты полностью адаптированы к российским условиям эксплуатации. Частотный привод включает в себя расширенный набор защитных функций;
- экономический эффект от использования частотного преобразователя – резкое снижение аварийности и экономия ресурса оборудования.

Сегодня одними из самых совершенных и перспективных рядов моделей универсальных частотных преобразователей для электродвигателей являются преобразователи частоты марки Delta Electronics из серии VFD-C2000. Кроме того, серия представлена максимальным количеством современных устройств, не имеющих аналогов в базах основного количества иных известных производителей. Внешний вид данного преобразователя приведен на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 – Внешний вид преобразователя Delta Electronics VDF-C

Устройства в этой серии многофункциональны и обладают многими режимами управления, что делает возможным их успешное применение не только в качестве частотных преобразователей для асинхронных двигателей, но также и как частотные преобразователи в синхронных двигателях.

Этот универсальный режим функционирования преобразователя частоты VFD-C, служащего для управления разными видами двигателей, а также встроенный режим позиционирования могут создать привлекательные в ценовом

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

смысле комплексы, подходящие для разнообразных требований к точности перемещения.

Самые последние разработки учтены в преобразователях частоты для синхронных и асинхронных двигателей VFD-C, приходящиеся на область частотного регулирования электропривода. Такие преобразователи сконструированы самым тщательным образом и просчитаны с применением компьютерного моделирования тепловых режимов работы, в результате которого произошло разделение силовой и управляющей частей, а также понижение общего тепловыделения.

Преобразователи частоты из серии VFD-CF представляют собой устройства, позволяющие реализовать два принципа управления: вольтчастотный и векторный бездатчиковый. Применяются такие преобразователи, как правило, при работе с насосами и вентиляторами (HVAC).

Выбор частотных преобразователей, как правило, производится в зависимости от мощности и тока подключаемого двигателя, но при этом важно вести подбор параметров с запасом, так как в этом случае нагрузка на частотный преобразователь станет не такой большой. Как следствие, возможно избежать лишнего перегрева устройства и обеспечить более длительную его эксплуатацию. Следует учесть, что зачастую частотный преобразователь с большим номиналом существенно дороже по стоимости, что оказывается экономически неоправданным шагом.

К основным требованиям для современных частотных преобразователей можно отнести:

- 1) наличие возможности перегрузок относительно номинальных значений, что оказывается ключевым моментом при возникновении существенных перегрузок;
- 2) возможность векторного и скалярного управления;
- 3) наличие разного рода защит, таких как контроль по току, напряжению, перекос фаз, отсутствие фазы, КЗ и т.п.;
- 4) возможность плавного разгона и торможения в указанном временном отрезке;
- 5) широкий функционал управления, наличие таких функций как плавный рост и падение оборотов, поддержание определенных оборотов, аналоговые и дискретные входы и выходы для подключения сторонних датчиков, а также управляющих сигналов;
- 6) возможность поддержки ПИД регулятора.

Учитывая уровень напряжения питания, выделяют 3 вида преобразователей, а именно диапазоны 380-415, 500-525 и 600-690 В; а по степени защиты оболочки выделяют IP 23 и IP 54. Процессы охлаждения системы идут по двум сценариям, первый из которых подразумевает общий контур охлаждения, а второй отдельный контур охлаждения. Для отдельного контура охлаждения охлаждение силовых элементов производится за счет отдельного потока воздуха, находящегося в особых воздуховодах. За счет этого предотвращается перегрев управляющей части устройства, которая охлаждается благодаря отдельному

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

вентилятору. Для приборов с высокой мощностью охлаждение силовой части производится за счет жидкостного контура.

Учитывая способ управления, преобразователи можно разделить на две группы, первая из которых включает преобразователи с векторным управлением, а вторая со скалярным, при этом каждый тип несет свои достоинства и недостатки.

Для скалярного(частотного) управления присуще формирование гармонических токов фаз двигателя, означающее управление, имеющее чаще остальных поддержку за счет постоянного отношения максимального момента двигателя к моменту сопротивления на валу. Так, можно сделать вывод, что в случаях с изменением частоты амплитуда напряжения в состоянии измениться таким образом, что отношение максимального момента двигателя к текущему моменту нагрузки будет наблюдаться неизменным.

Использование векторного управления применимо тогда, когда наблюдается изменение нагрузки на протяжении эксплуатационного периода. Так, можно сделать вывод о том, что выявление явной закономерности между моментом нагрузки и скоростью вращения позволяет существенным образом повысить диапазон управления, и, кроме прочего, еще и точность регулировки, а также повысить быстродействие электропривода. Векторное управление в состоянии обеспечить управление вращающим моментом двигателя напрямую.

Выполним рассмотрение функциональных и технических возможностей таких передатчиков, как «Сапфир», «Веспер», «Delta Electronics» «Триол», «ProfiMaster», и «ЭПВ». Сравнение будем производить по типу преобразователя; по напряжению питания; по диапазону изменений выходной частоты; по числу аналоговых и дискретных входов; по наличие дополнительных функций.

Анализируя технические возможности ПЧ у разных производителей, стало ясным, что диапазон мощностей находится в зависимости от мощности двигателей, которые подключают к выбранному ПЧ. Таким образом, наличие широкого диапазона в мощностях для некоторых моделей одного производителя говорит о серьезных основательных позициях этой фирмы для производства устройств с различным применением.

Для удобства конкретного пользователя, который не имеет промышленной трехфазной сети, производителями созданы некоторые модели, которые рассчитаны на однофазное питание номиналом 200-240 В переменного тока. Обычно они представлены моделями с малой мощностью до 1,5 кВт. Модели с большей мощностью создаются с учетом трехфазного питания в 380-480В переменного тока. Колебания от -15% до +10% от номинального напряжения питания представляются стандартными, которые предъявимы к электрическим аппаратам. Это условие является необходимым для бесперебойной работы в российских электросетях. Все преобразователи из списка сравнения выполняют это условие.

Число параметров для настройки говорит о возможности наиболее гибкой для своих задач настройке преобразователя. Но остается важным, что качественный состав, а также выбор параметров также важны, что и их число. Для

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

специализированных моделей преобразователей в упрощенном исполнении хватает небольшого числа важных в технологическом процессе параметров. Для правильной оценки качественного и количественного состава, возникает необходимость изучения полное описание выбранной модели ПЧ.

Частота на выходе говорит о том, в каком диапазоне возможно изменение выходной частоты напряжения ПЧ. В случае номинальной частоты питающей сети 50 Гц у двигателя и частотой оборотов 1420 об/мин, можно подавать на него частоту 100 Гц. При этом скорость вращения двигателя будет в 2 раза выше, то есть станет равной 2840 об/мин.

Присутствие дополнительных функций у преобразователя показывает приспособляемость передатчика для его плавной настройки для нужд производственного процесса. Многие крупные производители устанавливают в ПЧ дополнительные опции, позволяющие расширять его функционал. Выбирая ПЧ, следует брать во внимание тот факт, что у ПЧ одной марки введённые в состав дополнительные модули могут входить в базовую комплектацию у другого производителя.

Существует закономерность, при которой тем легче сопрягать преобразователь с внешней системой управления, чем больше сигнальных входов.

Предлагаю к рассмотрению преобразователь ЭПВ, в котором можно выделить следующие особенности:

- компактность установки;
- векторный бессенсорный контроль, который делает возможным эффективное использование мощностных характеристик двигателя;
- способность работать в энергосберегающем режиме;
- несложный этап программирования;
- возможность автоматической настройки, при которой «интеллектуальный» инвертор производит автоматический расчет характеристик двигателя;
- значительный пусковой момент;
- значительные возможности при установке дополнительных модулей.

Рассмотрим особенности преобразователя частоты Сапфир.

Этот ПЧ обладает повышенной надёжностью функционирования, несложным этапом настройки, понятным управлением, а также возможностью установки дополнительных управляющих опций. Прямой доступ программируемым параметрам ПЧ обеспечивает пользователю встроенный пульт управления.

К дополнительным возможностям устройства можно отнести следующие:

- 1) S-образные и линейные параметры для разгона и торможения;
- 2) наличие семи программируемых установок скорости, относящихся к типу А;
- 3) наличие опции цифрового потенциометра;
- 4) производство рестарта в автоматическом режиме с запуском двигателя;
- 5) присутствие режима надежного токоограничения;
- 6) возможность программирования функций ходов и выходов;
- 7) наличие режима таймерного управления, относящееся к типу А.

Рассмотрим особенности преобразователя частоты Триол АТ04.

Данный преобразователь нашёл применение в управлении большой разновидности производственных машин и механизмов, оснащённых приводными низковольтными классом напряжения 0,4 кВ трёхфазными асинхронными электродвигателями с мощностью от 5,5 кВт до 315 кВт, предназначенных для управления процессами, сложно устроенных в технологическом плане, а также производственными комплексами в сетях, которые включают в себя электроприводы АТ такого рода. Основные технические характеристики привода приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные технические характеристики привода Триол АТ04

Технические характеристики	Описание
Питающая сеть	3x380 В, +10%, -15%, 50(60) Гц ± 2% (с заземленной либо изолированной нейтралью)
Выходное напряжение	3x (0...380 В) ± 2% (значение максимального выходного напряжения программируется)
Выходная частота:	0...400 Гц ± 0,05% (значения максимальной и минимальной частоты программируются)
Ток перегрузки	150% от номинального значения в течение 60 с
Коэффициент полезного действия	не менее 0,95 (без двигателя)
Коэффициент мощности (сети)	не менее 0,95
Кратковременное допустимое отклонение напряжения питающей сети, при котором электропривод сохраняет работоспособное состояние	-40%
Сопротивление изоляции гальванически не связанных цепей и относительно корпуса	10 Мом
Электрическая прочность изоляции	2500 В, 50 Гц, в течение 1 мин.
Условия окружающей среды:	рабочая температура +1 ...+40°C, влажность (без конденсации) до 90%.

Существенная надежность в процессе эксплуатации электроприводов Триол АТ04 объясняется качеством разработки конструкции и схемотехники, а также применением новой элементной базы, прогрессивными технологиями сборки, монтажа и испытаний.

Малогабаритные преобразователя частоты ВЕСПЕР EI-8000 совмещают в себе Преобразователи частоты с малыми габаритами ВЕСПЕР EI-8000 включают в себе свойства преобразователей EI-7000 и EI-9000 с упрощенным набором

						13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			43

функций, исполнены компактно, а также позволяют реализовать возможность плавных перемен частоты с применением встроенного потенциометра.

К основным характеристикам преобразователя частоты ВЕСПЕР EI-8000 можно отнести:

- векторное управление без обратной связи;
- диапазон мощностей 0,75 кВт – 15 кВт;
- питание 220/380 В, 50/60 Гц;
- полная защита двигателя;
- согласование с RS-232/RS-485;
- встроенный ПИД-регулятор;
- аналоговые и цифровые входы/выходы для регулирования и дистанционного управления.

Преобразователи частоты Delta Electronics служат с целью преобразования одно- или трехфазного напряжения с постоянной частотой 50 Гц в трехфазное напряжение с переменной частотой, находящейся в диапазоне от 0,2 до 400 Гц. Именно это свойство преобразователей частоты позволяет широко их применять в случаях бесступенчатого регулирования любых асинхронных электродвигателей, включая электроприводы, насосы, вентиляторы, компрессоры и другие механизмы, где есть необходимость в регулировании частоты вращения. Большое количество функций, а также повышенная надежность, которые заложены в преобразователях частоты Delta Electronics, позволяют стать им выгодными при их практическом использовании в случаях управления электроприводами в разного рода установках и технологических комплексах.

Рассмотрим особенности преобразователей частоты ProfiMaster. Модельный ряд ProfiMaster разработан для управления трёхфазными общепромышленными асинхронными двигателями.

Нужно учитывать тот факт, что в основном производители имеют в арсенале специализированные серии с точки зрения их применения, но в этом обзоре анализировать будем универсальные преобразователи частоты производителей, наиболее востребованных на рынке.

Учитывая сравнительный анализ характеристик и по результатам изучения инструкций по эксплуатации выбранных моделей, можно сделать следующие выводы:

1) по удобству настройки, а также дружелюбности интерфейса и защите электросети от высокочастотных помех от ПЧ лидирующие места занимают преобразователи серии ЭПВ в основном за счет наличия прикладных макросов, мастера запуска и встроенного фильтра радиопомех;

2) учитывая универсальность лидирует Delta Electronics VDF-C по той причине, что у него есть все необходимые встроенные основные функции, настройки, а также нужное число входов/выходов и встроенный вентиляторно-насосный режим, необходимый при реализации управления приводом разнообразных систем;

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

3) учитывая глубину настройки процессов и внешних сигналов сегодня лидирует ПЧ ProfiMaster PM-G500.

Проанализировав требования, которые предъявляются, выбираем преобразователь Delta Electronics VDF-C. Это устройство позволяет обеспечить все нужные режимы работы двигателя, а также диапазон регулирования.

Кроме того, преобразователи марки Delta Electronics VDF-C оптимальным образом предназначены для устройства приводов с использованием двух трансформаторной схемы, представляющую собой понижающий трансформатор – преобразователь – моторный фильтр – повышающий трансформатор – двигатель.

Подытожим сравнительный анализ рассматриваемых преобразователей.

Новый уровень развития электроники, средств автоматического регулирования электроприводов, а также микропроцессорных средств управления и контроля может позволить широкое применение технических достижений с целью решить задачи автоматизации и модернизации электротехнических систем. Использование актуальных методов регулирования скорости технологических механизмов совместно со значительными возможностями автоматизации позволит обеспечить наиболее оправданное применение энергетических и механических ресурсов. Выбирая из многообразия решений и проблем автоматизации, самым эффективным можно считать применение частотнорегулируемых электроприводов.

4.2 Выбор датчиков автоматизированной системы

Для исследуемого объекта решено применить схему частотно-регулируемого ЭП.

Каналом регулирования выбирается контур, где объектом выступает привод электродвигателя, а регулируемым параметром становится частота вращения привода ($f_{\text{вых}}$). Учитывая влияние возмущающих параметров, эта частота может быть измерена датчиком частоты вращения, и электрический сигнал, который соответствует измеренному значению частоты, будет подан в управляющее устройство. Там, в свою очередь, произойдет сравнение полученного сигнала с заданным и будут выработаны нужные управляющие воздействия (h), которые корректируют скорость вращения основного крепления. Канал регулирования схематично показан на рисунке 4.4.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

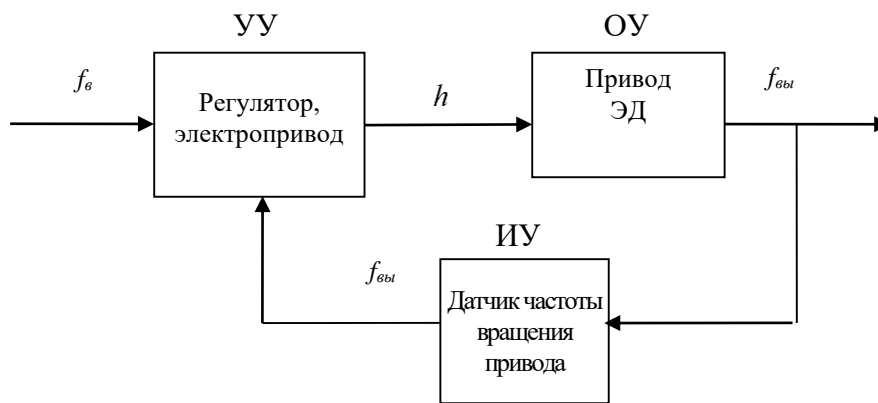


Рисунок 4.4 – Канал частотного регулирования

Датчиком частоты вращения основного вала принято решение применять современный индуктивный бесконтактный датчик.

Индуктивные бесконтактные датчики широко применимы на тех производствах, где особая роль уделяется надежной работе оборудования. К отличительным особенностям этих датчиков следует относить высокую надежность и точность работы.

Бесконтактным датчиком принято считать датчик, который приводится в действие внешним объектом без непосредственного механического контакта датчика и объекта. Коммутация нагрузки в этом случае выполняется полупроводниковыми элементами. Эти меры позволяют обеспечить существенную надёжность работы бесконтактных датчиков.

Упрощенная функциональная схема бесконтактного датчика приведена ниже.



Рисунок 4.5 – Функциональная схема бесконтактного датчика

Индуктивные бесконтактные датчики (ДБИ) снабжены чувствительным элементом, представляющим собой катушку индуктивности с открытым в сторону активной поверхности магнитопроводом.

Электромагнитное поле образуется перед активной поверхностью ДБИ.

Если внести металлического предмет в это поле, то произойдет следующая последовательность действий: колебания генератора затухают, демодулированное напряжение падает, триггер срабатывает, коммутационный элемент переключается, давая тем самым сигнал в систему управления о присутствии объекта в зоне контроля.

Электрическая часть датчика находится в корпусе из пластмассы или никелированной латуни. Чтобы обеспечить работоспособность в экстремальных

условиях эксплуатации, выполняют герметизацию электрической части компаундом.

Пример применения индуктивного бесконтактного датчика приведен на рисунке 4.6.

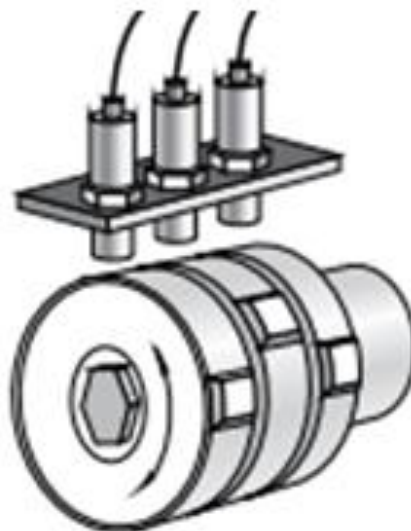


Рисунок 4.6 – Применение индуктивного бесконтактного датчика

ВБИ с напряжением питания 20-250 В переменного тока не требуют блока питания и часто применяются в простых схемах управления.

При выборе ВБИ с напряжением питания 10–30 в постоянном токе с тремя или четырьмя выводами следует отдавать предпочтение ВБИ с защитой коммутационного элемента от короткого замыкания и перегрузок (буква «З» в обозначении).

Реальные условия эксплуатации бесконтактных датчиков на оборудовании часто достаточно жесткие, воздействия разносторонние.

ДБИ не требуют обслуживания в процессе эксплуатации, но при монтаже следует учитывать определенные ограничения.

В разрабатываемой САУ решено использовать бесконтактный индуктивный датчик ВБИ-Б10-60К-1113-З.

Производством данного датчика занимается ЗАО «Сенсор».

Внешний вид датчика приведен на рисунке ниже.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

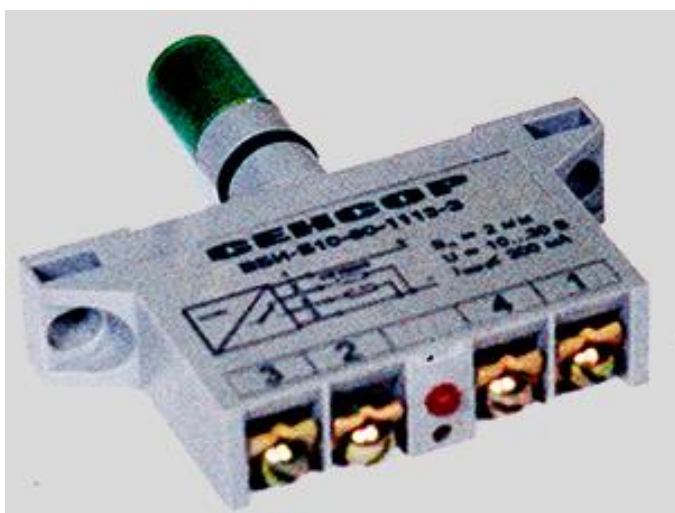


Рисунок 4.7 – Датчик бесконтактный ВБИ-Б10-60К-1113-3

Габаритный чертеж изделия представлен на рисунке 4.8.

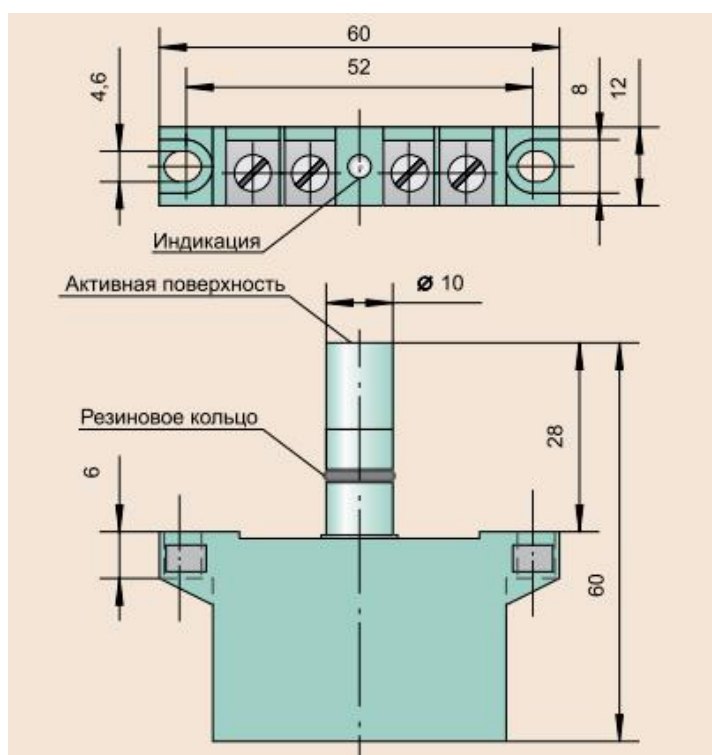


Рисунок 4.8 – Габаритный чертеж датчика ВБИ-Б10-60К-1113-3

Схема подключения датчика представлена на рисунке 4.9.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ

Лист

48

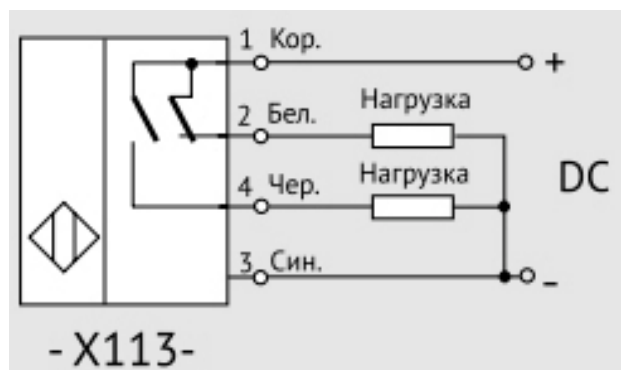


Рисунок 4.9 – Схема подключения датчика ВБИ-Б10-60К-1113-3

Основные технические характеристики используемого датчика приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Основные технические характеристики датчика ВБИ-Б10-60К-1113-3

Наименование	ВБИ-Б10-60К-1113-3
Sp. Номин. расстояние срабатывания	2 мм
Диапазон рабочих напряжений	10-30 В DC
Гарантированный интервал срабатывания	0-1,6 мм
Установка в металл	Встраиваемый
Номинальный ток	200 мА
Схема выхода	PNP общий (-)
Подключение	Клеммник (до 2,5 мм ²)
Модификация	Типовое исп.
Частота переключения	800 Гц
Индикация срабатывания	Есть
Категория применения коммут. элемента	DC13
Защита коммутационного элемента	Есть, бистабильная
Падение напряжения	не более 2 В
Остаточный ток	менее 0,01 мА
Температура окружающей среды	-45...+80°С
Степень защиты корпуса	IP67
Материал корпуса	Полиамид
Материал чувствит. элемента	Армамид
Габариты корпуса	60x60x12
Максимальная масса изделия	0,072 кг

Выбранный датчик полностью соответствует требованиям разрабатываемой системы управления.

Выводы по разделу четыре

В данном разделе выпускной квалификационной работы произведен сравнительный анализ необходимых технических средств автоматизации.

Произведено исследование характеристик наиболее распространённых на рынке на сегодняшний день отечественных и передовых зарубежных преобразователей частоты, среди которых электроприводы серии ЭПВ,

преобразователи частоты ProfiMaster, а также преобразователей частоты VDF-C от Delta Electronics.

В ходе сравнительного анализа для дальнейшего применения был выбран преобразователь частоты Delta Electronics VDF-C. Основными преимуществами такого решения являются: ценовое преимущество, простота установки и обслуживания хорошо известной модели, практическое отсутствие высокочастотных токов утечки.

В качестве датчика частоты вращения решено использовать бесконтактный индуктивный датчик ВБИ-Б10-60К-1113-3.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

5 СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СТАНКА МОДЕЛИ ГФ2171

5.1 Построение математической модели электропривода

Объектом расчета в системе управления является вал привода электродвигателя станка.

Технологическим параметром системы управления выбрана частота вращения вал привода электродвигателя, поэтому далее будет рассматриваться контур регулирования вал привода.

В работе используется система ПЧ-АД с обратной связью по скорости (рисунок 5.1).

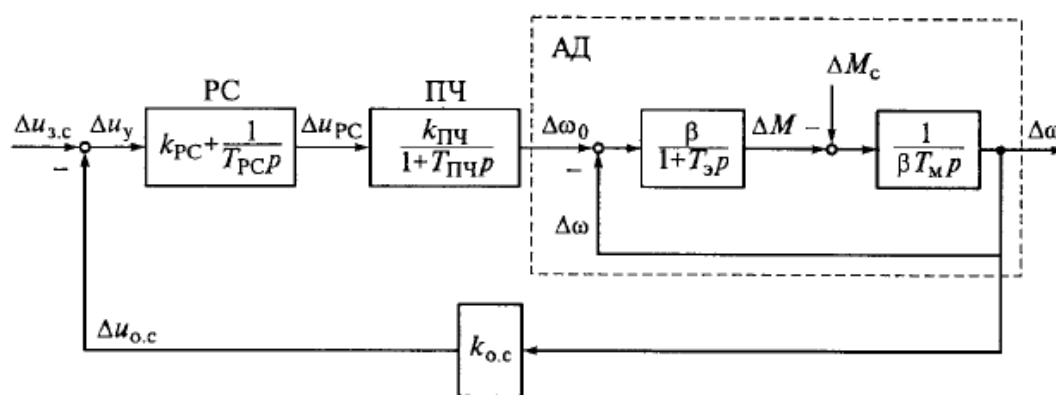


Рисунок 5.1 – Схема ПЧ-АД с обратной связью по скорости

В настоящее время существует несколько структурных схем асинхронного электродвигателя. Использование структурной схемы двигателя во вращающейся системе координат с ориентацией на вектор потокосцепления ротора, позволяет значительно упростить синтез системы управления, используя методы, хорошо проработанные в теории электроприводов постоянного тока.

На рисунке 5.2 представлена структурная схема асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат с ориентацией на вектор потокосцепления ротора.

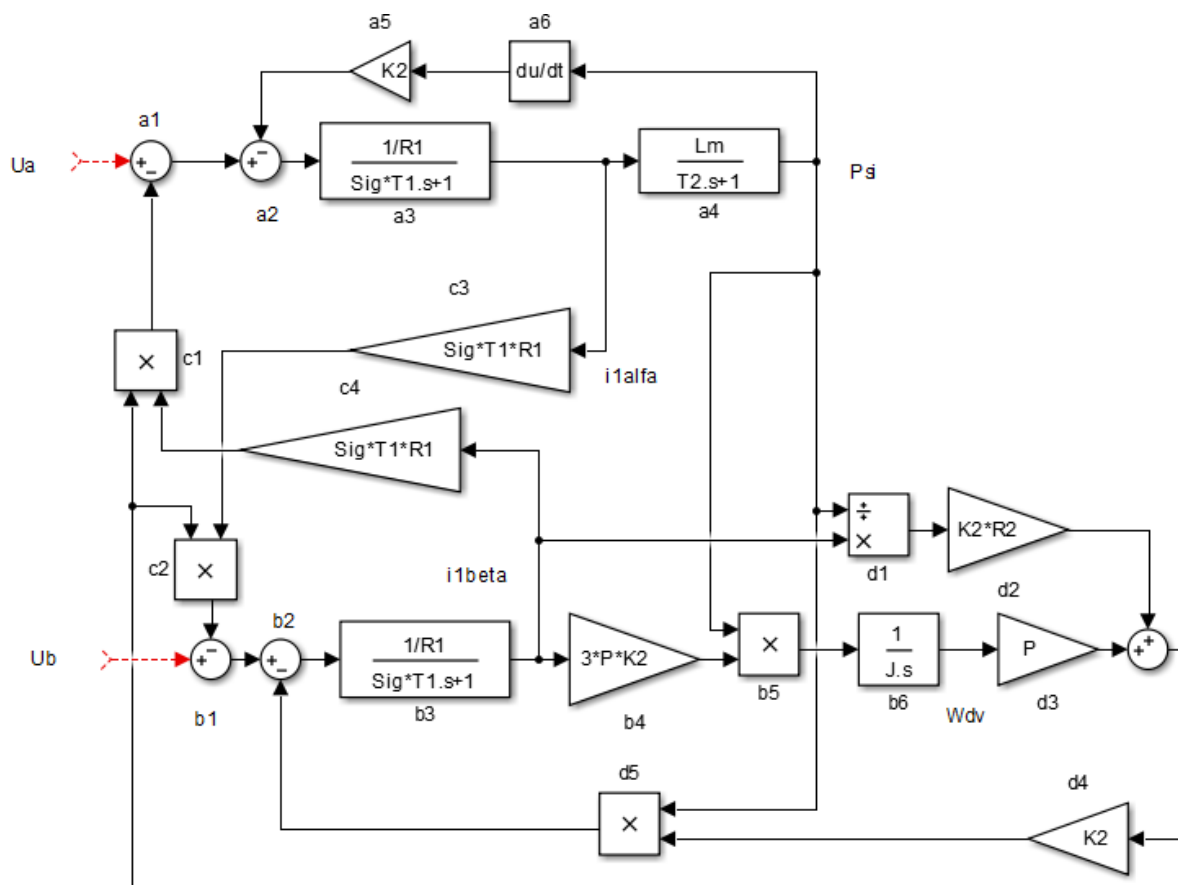


Рисунок 5.2 – Структурная схема асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат с ориентацией на вектор потокосцепления ротора

Элементы структурной схемы с индексом «а» относятся к каналу формирования потокосцепления ротора. Элементы с индексами «b» и «d» к каналу формирования скорости двигателя. Элементы с индексом «с» характеризуют перекрёстные взаимосвязи.

Структурная схема асинхронного привода с векторным управлением со стабилизацией потокосцепления ротора (предложена Соколовским Г. Г.), изображена на рисунке 5.3.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ

Лист

52

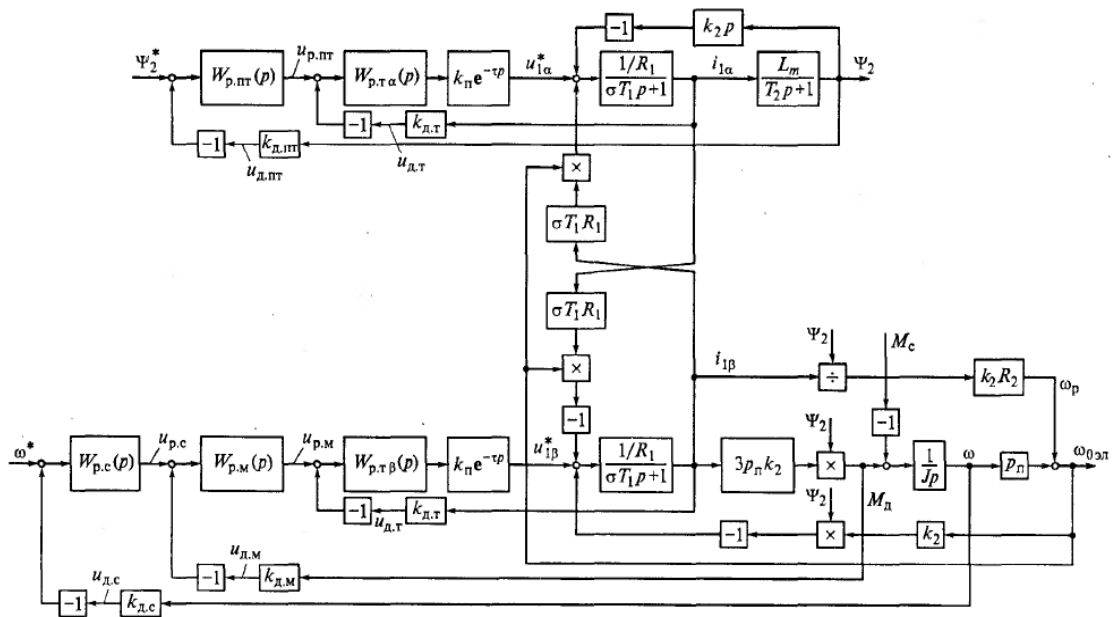


Рисунок 5.3 – Структурная схема асинхронного привода с векторным управлением со стабилизацией потокосцепления ротора

Элементы с индексами «а», «b» и «с» относятся к структурной схеме асинхронного двигателя во вращающейся системе координат с ориентацией на вектор потокосцепления ротора.

Система стабилизации потокосцепления и система регулирования скорости построены по принципу подчиненного регулирования.

Система стабилизации потокосцепления, изображенная в верхней части структурной схемы, является двухконтурной, контур тока внутренний, а контур потокосцепления внешний.

Система автоматического регулирования скорости, изображенная в нижней части структурной схемы, состоит из трех контуров, где контур тока и контур момента являются внутренними, а контур скорости внешним.

Внутренние контуры тока и момента целесообразно настраивать на оптимум по модулю. Внешний контур потокосцепления, также необходимо настраивать на оптимум по модулю. Однако, внешний контур скорости рекомендуется настраивать на симметричный оптимум [1].

Передаточная функция силовой части преобразователя частоты представляет собой звено с чистым запаздыванием.

$$W_{пч} = k_{п} e^{-\tau p} \quad (43)$$

где $K_{п} = 380 \text{ В}$ – фазное напряжение питающей сети.

$$\tau = \frac{1}{f_{\text{так}}}, \quad (44)$$

где $f_{\text{так}}$ – тактовая частота преобразователя

Используя преобразование Тейлора, выражение (5.2) можно представить в виде:

$$W_{\text{пр}}(s) = k_{\text{пр}} \cdot \frac{1}{T_{\text{пр}}s+1}, \quad (45)$$

Силовая часть преобразователя частоты может быть представлена апериодическим звеном первого порядка ($K_{\text{пр}}=220$, $T_{\text{пр}}=1/f_{\text{такт}}$, где $f_{\text{такт}}$ – тактовая частота преобразователя равная 10 кГц).

Коэффициенты передачи датчиков целесообразно принять равными единице.

Моделирование производим в среде Matlab Simulink. Схема моделирования приведена на рисунке 5.4.

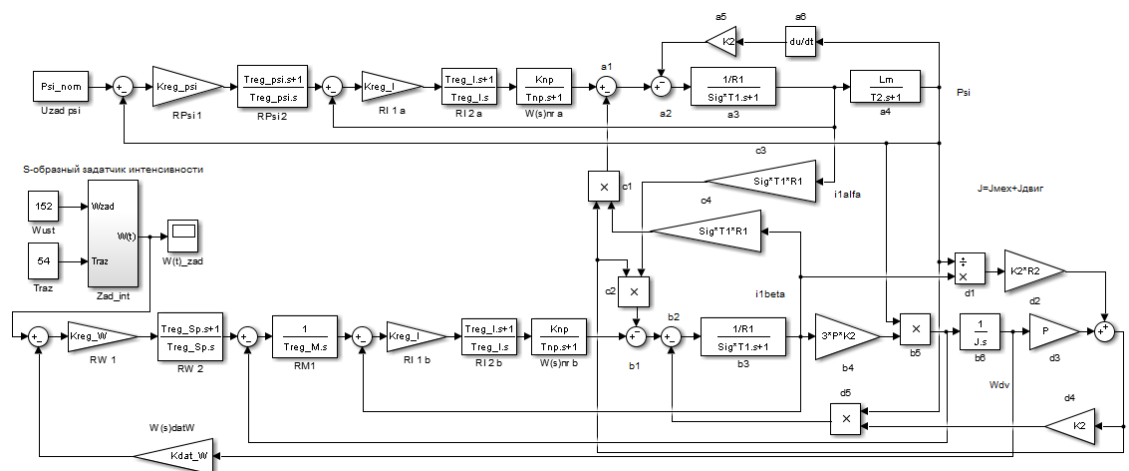


Рисунок 5.4 – Структурная схема асинхронного привода при векторном управлении со стабилизацией потока сцепления ротора

5.2 Синтез регуляторов и анализ переходных процессов контуров структурной схемы асинхронного привода с векторным управлением

Произведем синтез регулятора контура тока.

Структурная схема контура тока приведена на рисунке 5.4.

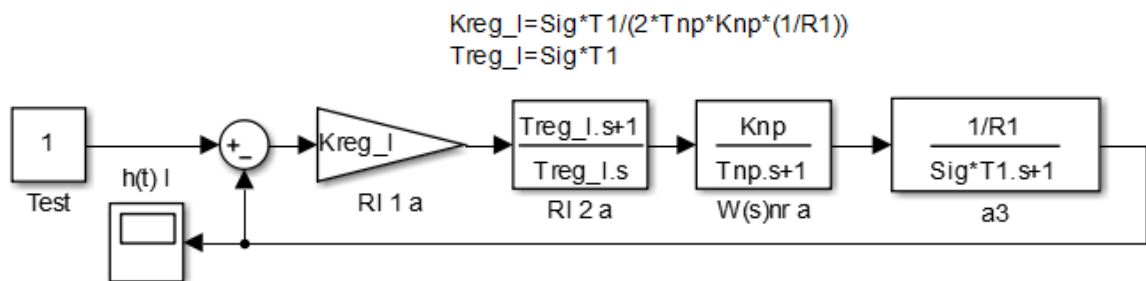


Рисунок 5.4 – Структурная схема контура тока

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ

Лист

54

В связи с тем, что контур тока внутренний, то его настраивают на оптимум по модулю. Так как в данном контуре в качестве неизменяемой его части присутствуют два последовательно подключенных апериодических звена, следует использовать ПИ – регулятора.

Постоянная времени регулятора определяется по формуле (46), динамический коэффициент усиления – по формуле (47).

$$T_{\text{рег I}} = \text{Sig} \cdot T_1 = 0,0289 \text{ с}, \quad (46)$$

$$K_{\text{рег I}} = \frac{\text{Sig} \cdot T_1}{2 \cdot T_{\text{np}} \cdot K_{\text{np}} \cdot \frac{1}{R_1}} = \frac{0,0289}{2 \cdot 0,0001 \cdot 220 \cdot 2,785} = 0,136, \quad (47)$$

На рисунке 5.5 изображена структурная схема контура тока, настроенного на оптимум по модулю.

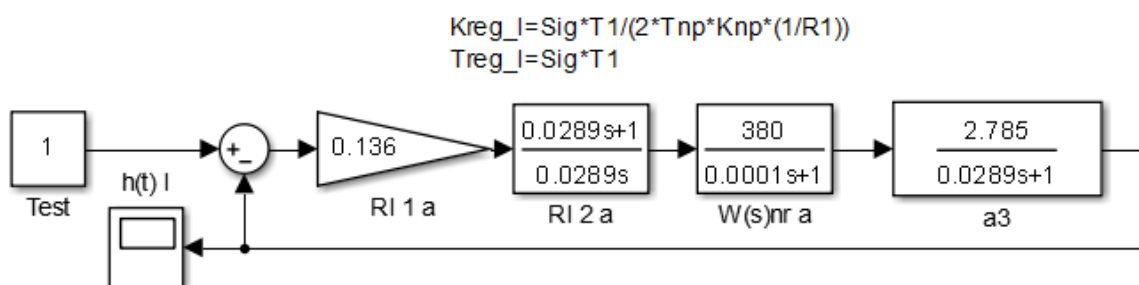


Рисунок 5.5 – Структурная схема контура тока, настроенного на оптимум по модулю

Переходная характеристика этого контура показана на рисунке 5.6, перерегулирование и время первого согласования полностью соответствует критериям оптимума по модулю.

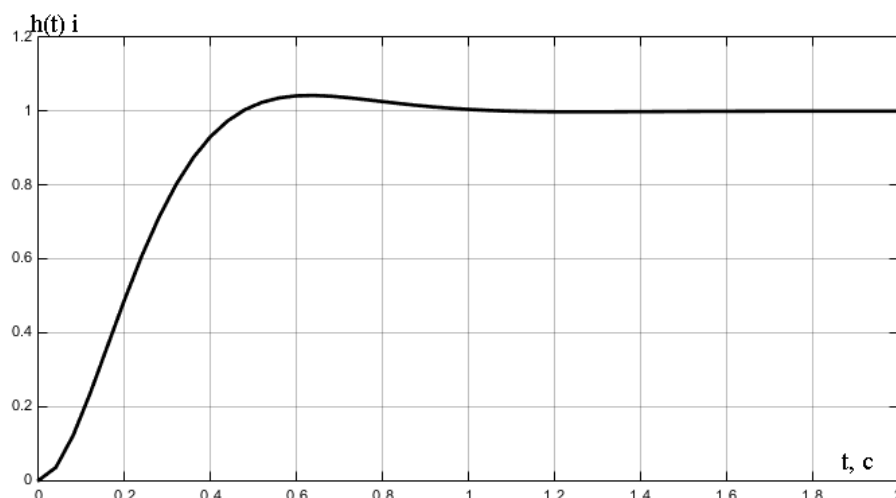


Рисунок 5.6 – Переходная характеристика контура тока

Произведем синтез регулятора контура стабилизации потокосцепления.

Структурная схема контура потокосцепления с внутренним контуром тока, представлена на рисунке 5.7.

Согласно существующим рекомендациям, настраивать контур стабилизации потокосцепления необходимо на оптимум по модулю.

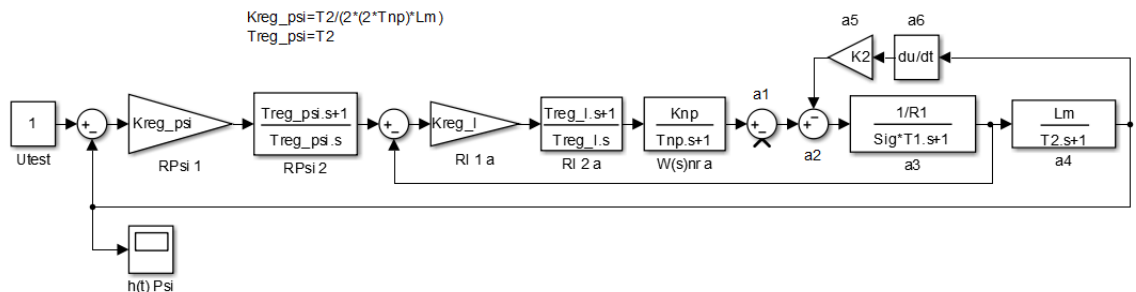


Рисунок 5.7 – Обобщенная структурная схема контура потокосцепления

Стоит отметить, что внутренний контур тока настроен на оптимум по модулю, его передаточная функция является апериодическим звеном второго порядка, которую можно заменить на апериодическое звено первого порядка с постоянной времени, равной двум малым постоянным времени контура тока.

$$W_{Т.ЭКВ} = \frac{1}{2 \cdot T_M + 1} \quad (48)$$

где T_M – малая постоянная времени, равная $T_{пр}$.

Обратной связью a_5 , a_6 пренебрегаем. Неизменяемая часть контура потокосцепления после принятых допущений представляет собой два последовательно включенных апериодических звена первого порядка. Следовательно, необходимо использовать пропорционально-интегральный регулятор.

Постоянная времени регулятора:

$$T_{regpsi} = T_2 = 0,372, \quad (49)$$

динамический коэффициент усиления:

$$K_{regpsi} = \frac{T_2}{2 \cdot (2 \cdot T_{np}) \cdot L_m}, \quad (50)$$

$$K_{regpsi} = \frac{0,372}{4 \cdot 0,0001 \cdot 0,099} = 9393, \quad (51)$$

На рисунке 5.8 изображена упрощенная структурная схема контура потокосцепления с рассчитанными параметрами регулятора и принятыми допущениями.

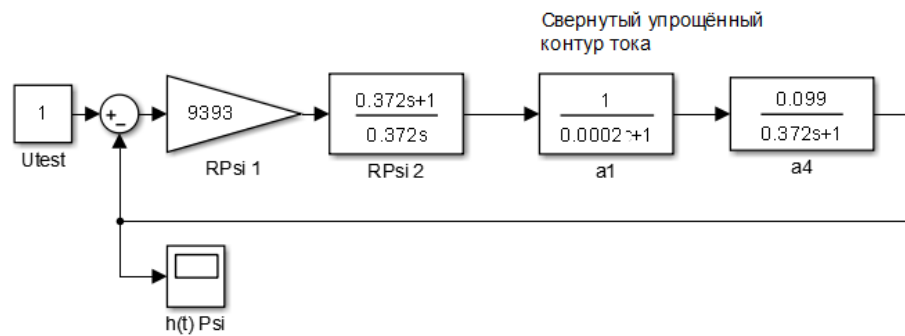


Рисунок 5.8 – Структурная схема упрощённого контура потокосцепления

На рисунке 5.9 изображена переходная характеристика реального контура стабилизации потокосцепления.

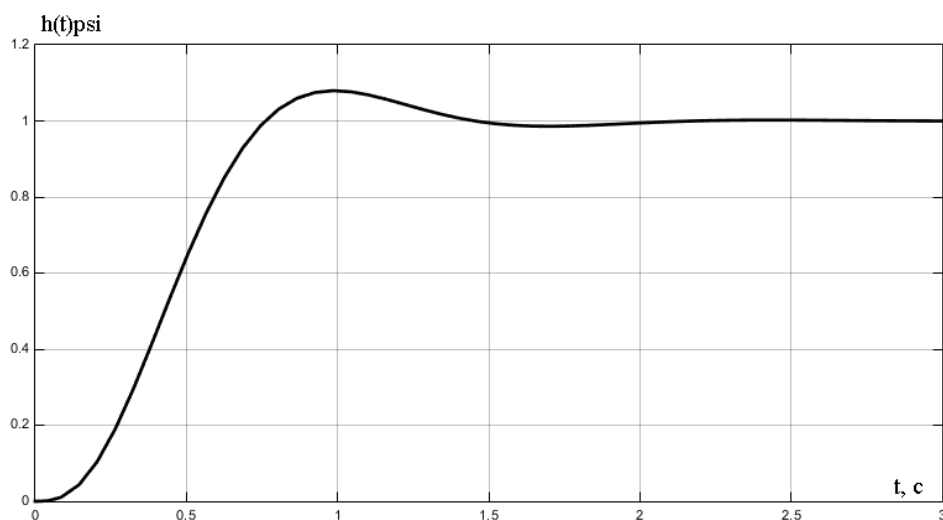


Рисунок 5.9 – Переходная характеристика контура потокосцепления

Анализ этой характеристики показывает, что перерегулирование и время первого согласования отличаются от значений, характерных для идеальной настройке на оптимум по модулю, но контур быстродействующий и устойчивый.

Произведем синтез регулятора контура момента.

Структурная схема реального контура момента, приведена на рисунке 5.10.

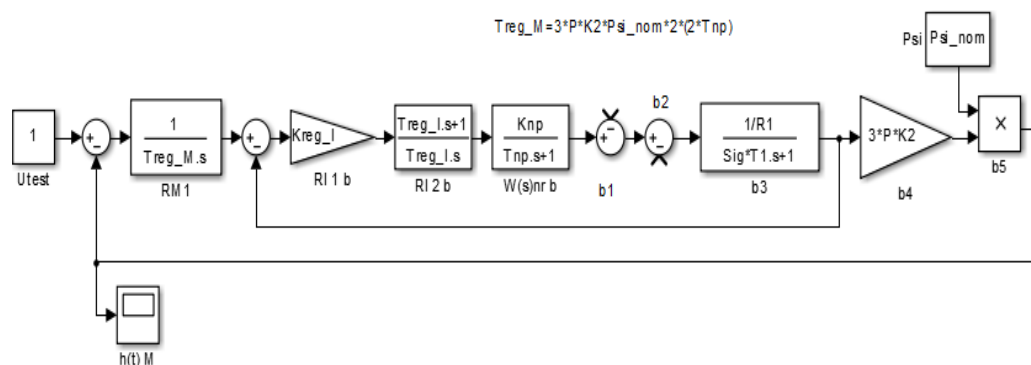


Рисунок 5.10 – Структурная схема реального контура момента.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Контур момента является внутренним по отношению к внешнему контуру скорости, и внешним по отношению к контуру тока. Следовательно, контур момента необходимо настраивать на оптимум по модулю. Учитывая замену реального контура тока апериодическим звеном первого порядка регулятор момента должен быть интегральным.

Постоянная времени регулятора:

$$T_{regM} = 3 \cdot p \cdot K2 \cdot Psi_{ном} \cdot 2 \cdot 2 \cdot T_{пр} \quad , \quad (52)$$

$$T_{regM} = 3 \cdot 2 \cdot 0,949 \cdot 1,97 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,0001 = 0,00448.$$

На рисунке 5.11 изображен упрощённый контур момента, в котором контур тока представлен апериодическим звеном первого порядка.

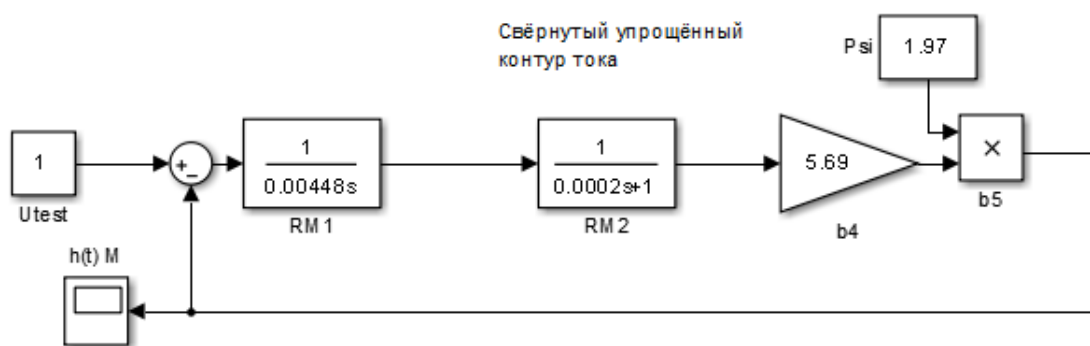


Рисунок 5.11 – Структурная схема упрощённого контура момента

На рисунке 5.12 изображена переходная характеристика реального контура момента.

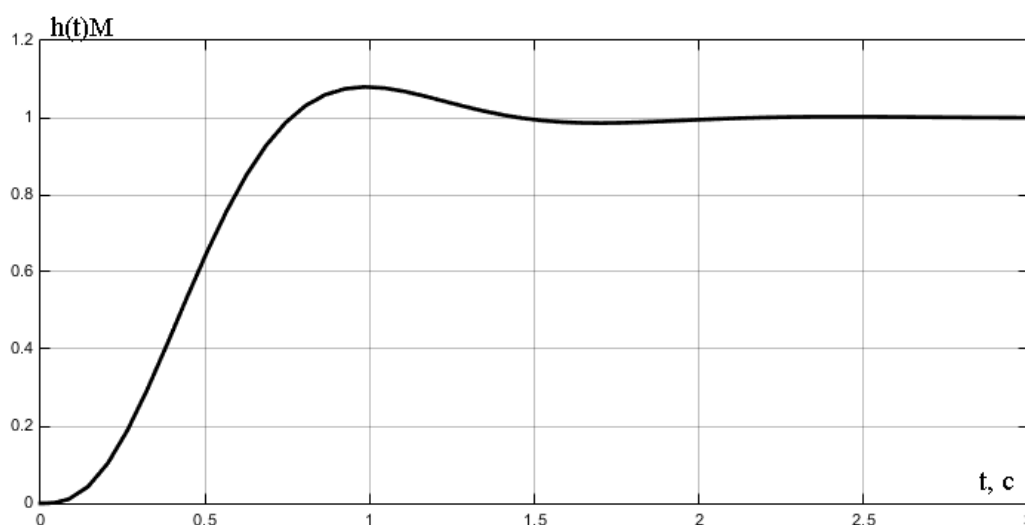


Рисунок 5.12 – Переходная характеристика реального контура момента

Анализ данной характеристики показывает, что она не соответствует переходной характеристике идеально настроенного на оптимум по модулю контура. Но контур устойчивый и быстродействующий.

Произведем синтез регулятора контура скорости.

Структурная схема реального контура скорости приведена на рисунке 5.13.

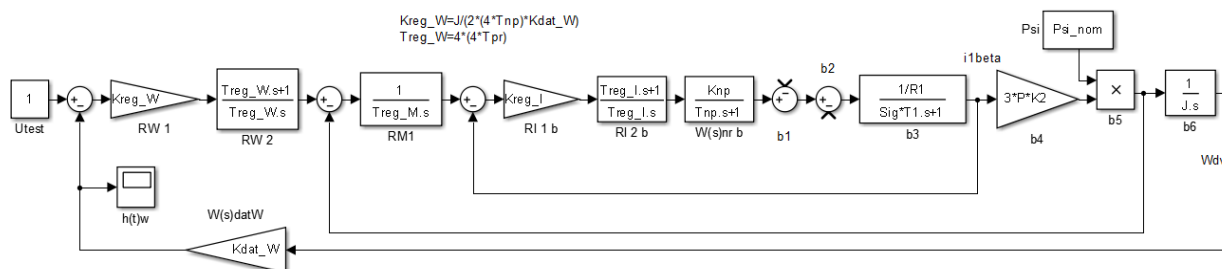


Рисунок 5.13 – Структурная схема реального контура скорости

Контур скорости является внешним контуром, поэтому его целесообразно настраивать на симметричный оптимум. Это позволяет при возникновении возмущающего воздействия по моменту исключить ошибку по скорости, то есть сделать ее равной нулю.

Внутренний контур момента заменяется на апериодическое звено первого порядка с постоянной времени $4T_{пр}$. В таком случае, объект управления в контуре скорости будет выглядеть как последовательно соединенные интегральное и апериодическое звено первого порядка. В качестве регулятора следует использовать ПИ - регулятор.

Динамический коэффициент усиления рассчитывается по формуле (53):

$$K_{regW} = \frac{J}{2 \cdot 4 T_{пр} \cdot K_{datW}} \quad , \quad (53)$$

$$K_{regW} = \frac{43,4}{2 \cdot 0.0004 \cdot 1} = 54250.$$

Постоянная времени регулятора:

$$T_{рег} = 4 \cdot (4 \cdot T_{пр}). \quad , \quad (54)$$

На рисунке 5.14 изображена упрощённая структурная схема контура скорости, настроенного на симметричный оптимум с рассчитанными параметрами.

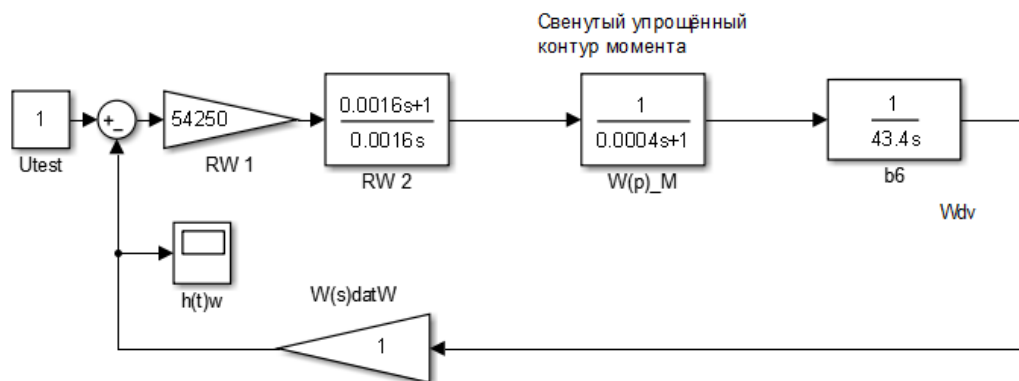


Рисунок 5.14 – Структурная схема упрощённого контура скорости

Переходная характеристика реального контура скорости, настроенного на симметричный оптимум показана на рисунке 5.15.

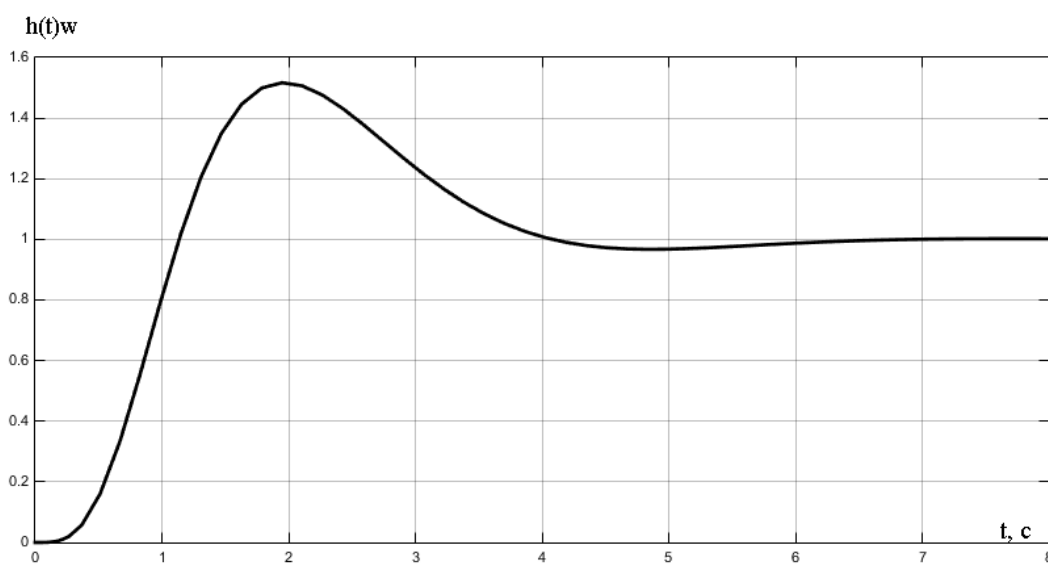


Рисунок 5.15 – Переходная характеристика контура скорости

Анализ данной характеристики показывает, что контур устойчивый и достаточно быстродействующий.

5.3 Моделирование системы для исследования динамики системы векторного управления асинхронным приводом

Структурная схема САР показана на рисунке 5.16.

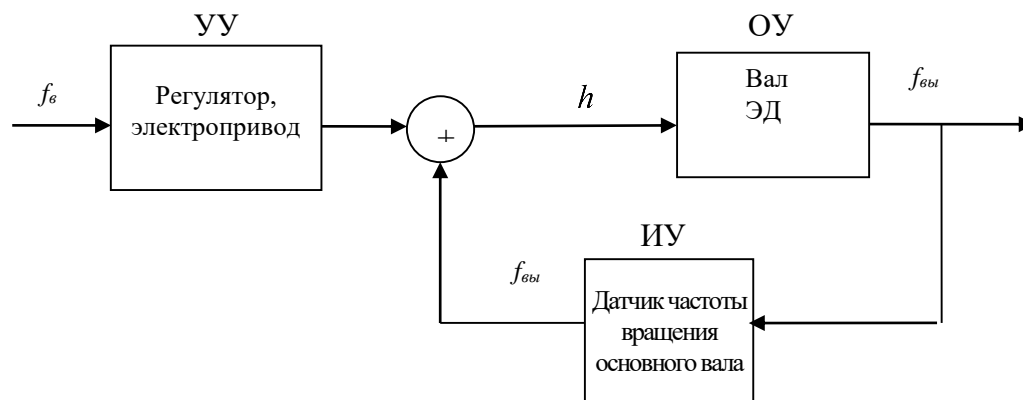


Рисунок 5.16 – Структурная схема САР

В общем случае, относительно конструктивного исполнения, регуляторы классифицируются на три вида:

- гидравлические;
- пневматические;
- электрические.

Гидравлический регулятор не подходит для рассматриваемой системы, так как его недостатками является: небольшой радиус действия и огнеопасность.

Пневматические регуляторы так же не могут быть применены в связи с неудовлетворением требования пожаробезопасности.

Электрические регуляторы, наиболее широко распространенные в пожароопасных помещениях, удовлетворяют требованиям исследуемого объекта, поэтому будет использоваться именно этот вид регулятора.

Вид автоматического регулятора определяется с учетом свойств объекта, а также заданных параметров качества переходных процессов. Качеству регулирования конкретного процесса, присущи индивидуальные особенности, и предъявляются индивидуальные требования.

Приблизительно, характер действия регуляторов определяется по формуле:

$$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} = \frac{2,3}{11,329} = 0,203 \quad (56)$$

где $T_{об}$ – наибольшая постоянная времени передаточной функции.

$$0,2 < \frac{\tau_{об}}{T_{об}} < 1$$

Так как $0,2 < \frac{\tau_{об}}{T_{об}} < 1$, выбирается тип регулятора – регулятор непрерывного действия. Данный тип регулятора используют для объектов, которые обладают самовыравниванием, а также для емкостных объектов, которые имеют малое запаздывание при плавно изменяющейся нагрузке.

Итак, будет использоваться электрический апериодический регулятор непрерывного типа.

Произведем выбор закона регулирования.

Для выбора закона регулирования необходимо воспользоваться номограммой, представленной на рисунке 3.19 для апериодического переходного процесса.

Для этого необходимо определить следующие соотношения:

$$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} = \frac{2,3}{11,329} = 0,203 \quad ; \quad \frac{t_1^*}{\tau_{об}} = \frac{53}{2,3} = 23 \quad , \quad (57)$$

Желательное время окончания переходного процесса $t_1^* = 53 \text{ с}$.

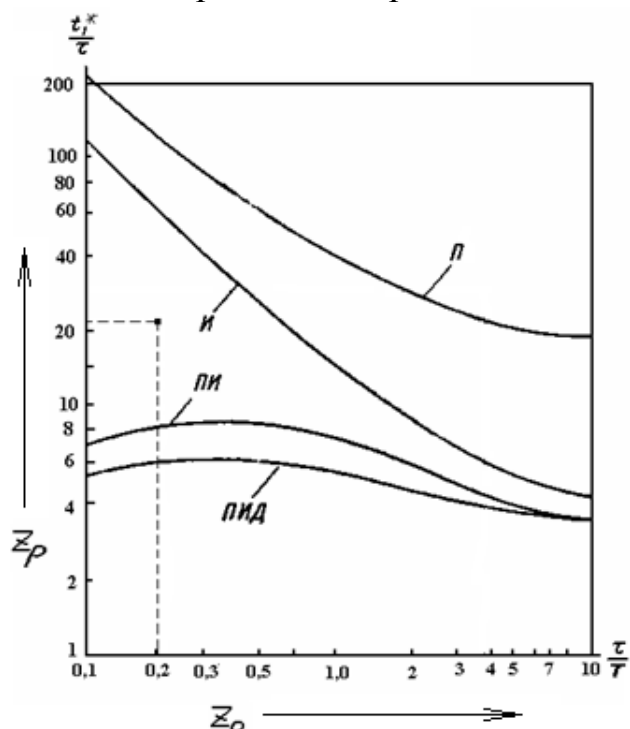


Рисунок 5.17 – Номограмма для переходной характеристики без перерегулирования

Точка, полученная на пересечении двух линий, находится между И и ПИ-регуляторами, в качестве закона регулирования выбирается ПИ-закон регулирования.

Преимущество ПИ-регулирования состоит в его быстродействии (небольшое время регулирования) и высокая устойчивость процесса регулирования. ПИ-регулятор является одним из наиболее универсальных регуляторов.

Как правило, для исследования динамики СВУ используют математическую модель на базе модели обобщенной асинхронной машины [1].

Исследование переходных процессов в СВУ возможно с помощью модели, основанной на однолинейной структуре СВУ с опорным вектором главного потокосцепления Ψ_0 , данной на рисунке 3.20 [2].

Рассмотрим подробнее модель структуры СПВУ во вращающейся системе координат (рисунок 5.18). Она содержит кроме двигателя преобразователь (ТП), канал регулирования момента, подсистему стабилизации потока (Ssys. Φ_0),

дополнительный контур (ДК) для работы в режиме постоянной мощности (рисунок 5.19).

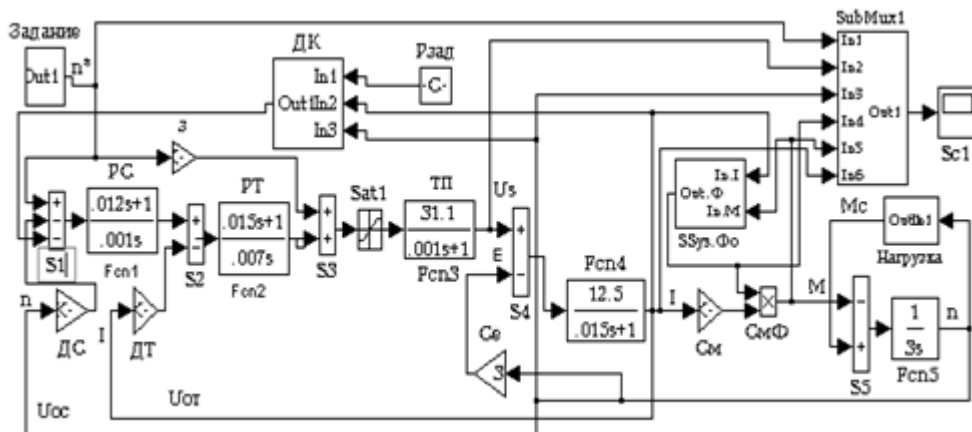


Рисунок 5.18 – Модель СПВУ с АД

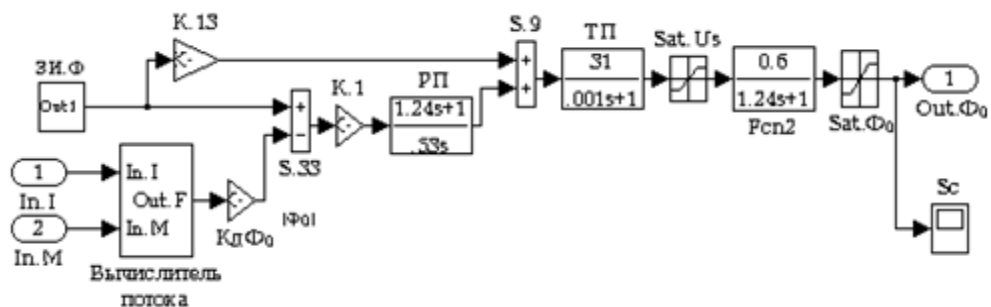


Рисунок 5.19 – Подсистема стабилизации главного потокосцепления АД

АД получена при линеаризации зависимости момента двигателя от тока:

$$M = c_m \Phi_0 I_s, \quad (58)$$

где Φ_0 – основной магнитный поток; I_s – ток статора асинхронного двигателя; $c_m = 0,5tr_0$.

Известно, что ток статора, нагруженного АД согласно схеме замещения примерно равен току ротора: ($|I_s| \approx |I_2|$).

ЭДС вращения:

$$E = C_e n, \quad (59)$$

где C_e – постоянная, равная числу пар полюсов машины (p_0);

n – угловая скорость.

Двигатель представлен несколькими типовыми звеньями, в том числе инерционным звеном $Fcn5$ с суммарной постоянной времени $J = 3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и апериодическим звеном $Fcn4$ с параметрами [1]:

$$T_i = (L_s(1 - k_r k_s)) / (R_s + k_r R_r) = 0,015 \text{ с},$$

$$K_i = 1 / (R_s + k_r R_r) = 12,5 \text{ См},$$

где $k_s = 0,9695$ – коэффициент магнитной связи статора;

$k_r = 0,968$ – коэффициент магнитной связи ротора;

$R_s = 0,0492 \text{ Ом}$;

$R_r = 0,031 \text{ Ом}$ – сопротивления статора и ротора;

$(1 - k_s k_r)L_s = L'_s$ – переходная индуктивность статора.

Задание потока, как и скорости, – сигнал 10 В. Подсистема выполнена с введением параметров исследуемого двигателя:

$$k_\psi = \frac{k_s(1 - k_r) L_r}{1 - k_s k_r R_r} = 0,6 \text{ с};$$

$$T_\psi = \frac{1 - k_s k_r L_r}{1 - k_s k_r R_r} = 1,24 \text{ с}.$$

На рисунке 5.20 даны уровни перерегулирования скорости при моделировании линейного разгона АД для двух моделей СПВУ. На рисунке 5.20, а представлены процессы в модели.

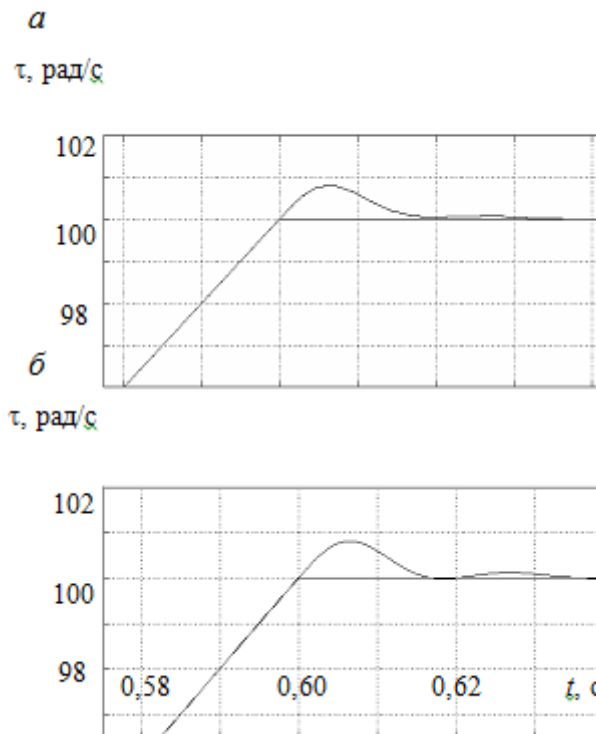


Рисунок 5.20 – Результаты моделирования динамики привода

На рисунке 5.20, б для сравнения даны процессы для «классической» математической модели СПВУ с опорным вектором главного потокосцепления 1,

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

использующей координатные преобразования и дифференциальные уравнения обобщенной асинхронной машины, при одинаковых настройках регуляторов [1].

Выводы по разделу пять

В данном разделе работы произведен синтез системы автоматического регулирования электропривода главного движения станка модели ГФ2171.

Для исследуемого объекта произведено построение математической модели электропривода. В качестве закона регулирования выбирается ПИ-закон регулирования. Преимущество ПИ-регулирования состоит в его быстродействие (небольшое время регулирования) и высокая устойчивость процесса регулирования. ПИ-регулятор является одним из наиболее универсальных регуляторов. Так же произведен синтез регуляторов системы автоматического управления.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

6 АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В данном разделе рассмотрит вопрос программирования ПЛК системы автоматизации.

Для программирования используемого семейства контроллеров используется широко известный и распространенный язык программирования лестничной логики LADDER LOGIC. Фирмой Rockwell Automation разработан специальный программный пакет, включающий средства программирования RSLogix 500, предназначенный для написания и отладки программ для SLC -500, а также других продуктов Allen – Bradley. Тем самым обеспечивается стандартизация и унификация для всех малых программируемых контроллеров.

Пакет RSLogix 500 Professional включает в себя инструменты конфигурации RSNetWorx, интерфейс связи RSLinx Lite, и RSLogix Emulate 500, высокопроизводительное программное обеспечение для эмуляции, позволяющее с легкостью протестировать и выполнить отладку программ перед вводом в эксплуатацию и запуском. RSLogix 500 Professional имеет множество обновлений, в том числе функцию Logic Trace.

Программа для управления системой автоматизации содержит следующие блоки:

- основная программа;
- подпрограмма инициализации аналоговых модулей;
- подпрограмма копирования данных с датчиков в память контроллера;
- подпрограмма обработки аналоговых и дискретных сигналов;
- подпрограмма обработки ПИД инструкции.

В свою очередь основная программа включает в себя такие подпрограммы как:

- 1) подпрограмма инициализации контроллера и модулей;
- 2) подпрограммы сканирования и анализа состояния аналоговых входов, масштабирования их величин и проверки с уставками;
- 3) подпрограмма проверки на аварийное состояние всей установки;
- 4) подпрограмма пуска насосов;
- 5) подпрограмма останова насосов;
- 6) подпрограмма пуска установки;
- 7) подпрограмма останова установки.

Верхний уровень управления реализован также с помощью программного обеспечения Rockwell Software продукта RSView – 32 на основе MMI.

Основная программа является циклической, и представляет собой совокупность условий, действий и подпрограмм, обеспечивающих корректное управление заданным технологическим процессом.

Программа должна выполнять следующие функции [9]:

- при выходе технологических параметров за допустимые пределы сигнализировать об этом оператору;
- для параметров, по которым предусмотрена блокировка, при дальнейшем их росте выдать сигнал на управление соответствующим блокирующим оборудованием.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

Текст программы приведен в приложении 1.

Выводы по разделу шесть

В шестом разделе выпускной квалификационной работы подробно исследован вопрос программирования ПЛК системы автоматизации.

Для программирования контроллера используется широко известный и распространенный язык программирования лестничной логики LADDER LOGIC. Используется специальный программный пакет, включающий средства программирования RSLogix 500, предназначенный для написания и отладки программ для SLC -500 фирмы Allen – Bradley.

Программа при выходе технологических параметров за допустимые пределы сигнализировать об этом оператору; для параметров, по которым предусмотрена блокировка, при дальнейшем их росте программа выдает сигнал на управление соответствующим блокирующим оборудованием.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексная автоматизация с применением автоматизированных систем, с широким использованием вычислительной техники существенно повышает производительность труда, снижает вероятности возникновения аварийных ситуаций. Благодаря автоматизации ликвидируется необходимость выполнения человеком однообразных, утомительных операций. Труд становится более интеллектуальным и интересным. В автоматизированном процессе производства роль человека сводится к наладке, регулировке, обслуживанию средств автоматизации и наблюдению за их действием [3].

По завершению выполнения работы, получены следующие результаты:

- дана краткая техническая характеристика консольно-фрезерного станка ГФ2171, исследованы назначение и принцип действия станка;
 - исследована кинематическая схема консольно-фрезерного станка ГФ2171;
 - определены особенности автоматизированного управления электропривода проектируемого оборудования;
 - произведен расчет мощности электродвигателя проектируемого оборудования, аппаратов защиты и управления, кабелей и проводов;
 - произведен выбор оборудования системы управления;
 - разработана математическая модель электропривода;
 - определен закон регулирования;
 - произведен синтез регуляторов системы автоматического управления.
- Все поставленные задачи решены, цель работы достигнута.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арефьев, В.Н. Основы теории управления и автоматики: учебное пособие / В.Н. Арефьев. – Ульяновск: УлГТУ, 2019. – 315с.
2. Борисов, А.М. Программируемые устройства автоматизации: учебное пособие / А.М. Борисов, А.С. Нестеров, Н.А. Логинова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 186 с.
3. Власов, К.П. Теория автоматического управления. Основные положения. Примеры расчета / К.П. Власов. – М.: Гуманитарный центр, 2017. – 540с.
4. Водовозов, А.М. Микроконтроллеры для систем автоматики: Учебное пособие / А.М. Водовозов. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – 131 с.
5. Кангин, А.В. Аппаратные и программные средства систем управления. Промышленные сети и контроллеры: учебное пособие / В.В. Кангин, В.Н. Козлов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2018. – 418 с.
6. Клюев, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А.С. Клюев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Клюев. – М.: Энергоатомиздат, 2015. – 251 с.
7. Кузьмицкий, И.Ф. Моделирование объектов и систем управления / И.Ф. Кузьмицкий, В.П. Кобринец, А.В. Овсянников. – Минск: БГТУ, 2013. – 324 с.
8. Процессоры в модульном исполнении SLC 5/03 и SLC 5/04. Инструкция по установке. – М.: Владос, 2016. – 15с.
9. Рей, У. Методы управления технологическими процессами: Пер. с англ / У. Рей. – М.: Мир, 2017. – 298 с.
10. Семейство малых программируемых контроллеров SLC-500 / Allen-Bradly A Rockwell International Company. – М.: Владос, 2015. – 31 с.
11. Системы SLC – 500. Bulletin 1746 и 1746. Руководство по выбору. – М.: Владос, 2015. – 92с.
12. Средства измерения, контроля и автоматизации технологических процессов. Вычислительная и микропроцессорная техника / Под ред. К. И. Котова, М.А. Шершевер. – М.: Металлургия, 2019. – 234 с.
13. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Академия, 2016. – 382 с.

					13.03.02.2021.325.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69