



## **Аннотация**

В данной бакалаврской работе решается проблема повышения надежности работы токарного станка фирмы GEORG FISHER AUTOMOTIVE AG при одновременном снижении эксплуатационных затрат, путем замены электромеханического привода.

В первом разделе произведен анализ технического задания. Во втором разделе разработана функциональная схема электропривода. В третьем и четвертом разделах произведен расчет электропривода и характеристик. В пятом разделе описана технология подключения преобразователя частоты.

При этом был спроектирован электропривод с векторным управлением. Произведен расчет двигателя. Для получения характеристик электропривода использовалась математическая модель в среде Simulink приложения Matlab.

Работа содержит пояснительную записку объемом 50 печатных листа и 6 листов формата А1 графического материала.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ технического задания.....	7
1.1 Описание токарного станка.....	7
1.2 Анализ промышленных преобразователей частоты.....	
..... 10	
1.3 Постановка задач на выпускную работу.....	
..... 13	
2 Разработка схемы электропривода.....	
..... 14	
2.1 Разработка функциональной схемы.....	
..... 14	
2.2 Принцип действия преобразователя частоты.....	
..... 18	
3 Расчет электропривода.....	
..... 27	
3.1 Подбор электродвигателя.....	
..... 28	
3.2 Подбор электродвигателя по моменту сопротивления.....	
..... 28	
3.3 Определение перегрузочной способности электродвигателя.....	
..... 31	
3.4 Оценка электродвигателя по нагревостойкости.....	
..... 33	
4 Расчет характеристик электропривода.....	
..... 34	
4.1 Описание схемы электропривода с асинхронным электродвигателем.....	
..... 34	
4.2 Результаты моделирования по структурной схеме.....	
..... 36	
4.3 Расчет естественных механических характеристик асинхронного двигателя.....	
..... 37	
5 Технология подключения и установки преобразователя.....	
..... 40	
5.1 Требования, предъявляемые к установке преобразователя.....	
..... 40	
5.2 Механический монтаж.....	
..... 41	

5.3 Электрические соединения .....	42
5.4 Предотвращение влияния электромагнитных помех .....	44
5.5 Подключение двигателя .....	45
Заключение .....	47
Список используемой литературы .....	48

## Введение

В последнее время в России наблюдается рост промышленного производства. Немалая его доля относится к автомобильной промышленности и в частности к автомобильному заводу ОАО «АВТОВАЗ».

ОАО «АВТОВАЗ» является крупнейшим производителем автомобилей в России. Предприятие состоит из нескольких производств и занимается не только сборкой автомобилей, но и производством некоторых комплектующих для автомобилей. Более миллиона комплектов разнообразных запасных частей производит предприятие в год.

Для этого на предприятии применяется разнообразное оборудование, металлообрабатывающие станки, станочные комплексы, контрольно-измерительные станки, сварочные комплексы и др. Ведущие отечественные и зарубежные производители станков и станочных комплексов поставляют свои изделия на предприятие. Однако существует еще и устаревшее оборудование, которое требует замены или модернизации.

Основным видом станков, которые используются на производстве являются токарные станки. Токарные станки предназначены для обработки тел вращения и основными видами обработки в этом случае являются точение и расточка. Точение предназначено для обработки снаружи, а расточка – внутри заготовки. Помимо этих основных операций токарный станок позволяет производить нарезание резьбы, сверление отверстий, зенкование и др. Для осуществления операций точения и расточки используются разнообразные резцы, для сверления отверстий – сверла, а для нарезания резьбы – метчики и плашки. Главным элементом токарного станка является шпиндель, он предназначен для вращения приспособления, в котором закрепляется заготовка. Расположение шпинделя определяет тип станка – горизонтальный или вертикальный.

Частота вращения шпинделя является одним из важных параметров каждого токарного станка. Современные станки обладают частотой вращения шпинделя до 10000 об/мин.

Современные токарные станочные комплексы имеют в своем составе сложные системы автоматического управления и регулирования. Одним из таких комплексов является токарный станок GEORG FISHER AUTOMOTIVE AG, который используется на предприятии ОАО «АВТОВАЗ». Общий вид данного станка представлен на рисунке 1.

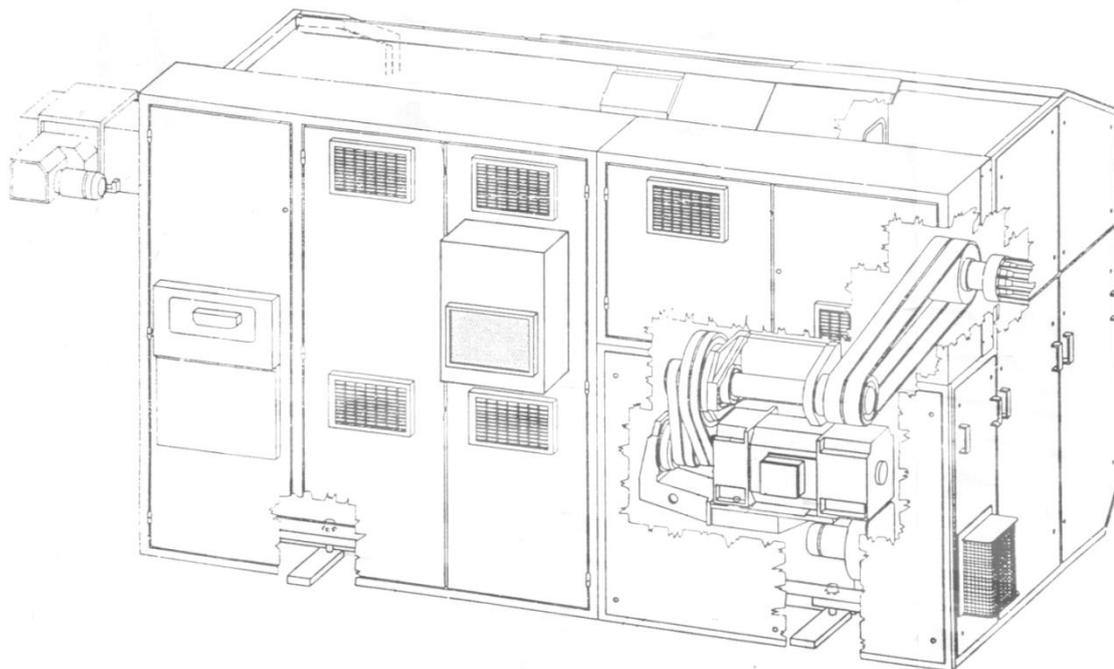
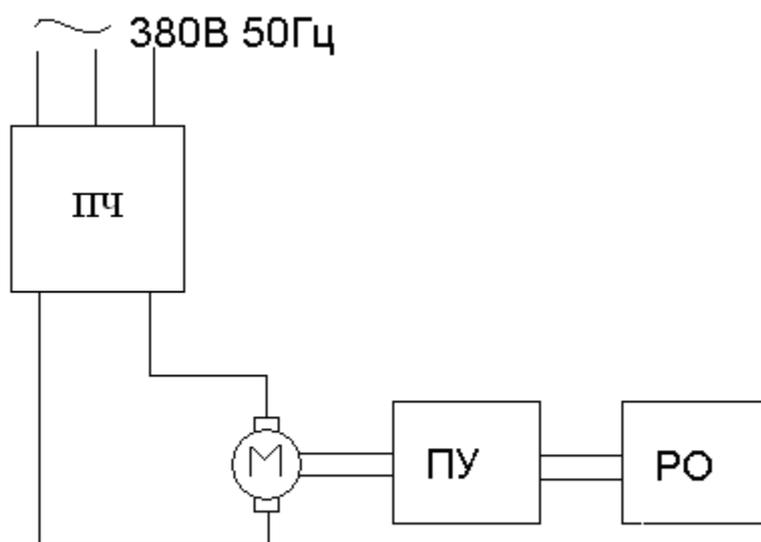


Рисунок 1 - Общий вид токарного станка фирмы GEORG FISHER AUTOMOTIVE AG

Данное оборудование выполняет операцию токарной обработкой наружного шарнира. Учитывая огромный годовой объем выпуска наружных шарниров, сокращение простоя оборудования и уменьшение затрат на данное оборудование повысит КПД данного оборудования.

Базовый электропривод токарного станка (рисунок 2) состоит из двигателя постоянного тока типа 1 GG 5 164, контрпривода и передней бабки.

Передняя бабка с контрприводом, а контрпривод с двигателем соединены механически через клиноременную передачу.



ПН – преобразователь напряжения; ПУ – передаточное устройство (контрпривод); РО – рабочий орган (передняя бабка).

Рисунок 2 - Электромеханический привод токарного станка

Таким образом, целью выпускной работы является снижение простоя станка, снижение затрат на ремонт оборудования за счет замены главного привода на асинхронный двигатель и частотный преобразователь с векторным управлением.

## 1 Анализ технического задания

### 1.1 Описание токарного станка

В качестве главного привода основного движения токарного станка (рисунок 1.1) GEORG FISHER AUTOMOTIVE AG используется двигатель постоянного тока (4) с охлаждающим вентилятором (2), контрпривода (3) с двумя электромагнитными дисковыми муфтами для переключения двух диапазонов скоростей и передней бабки (1).

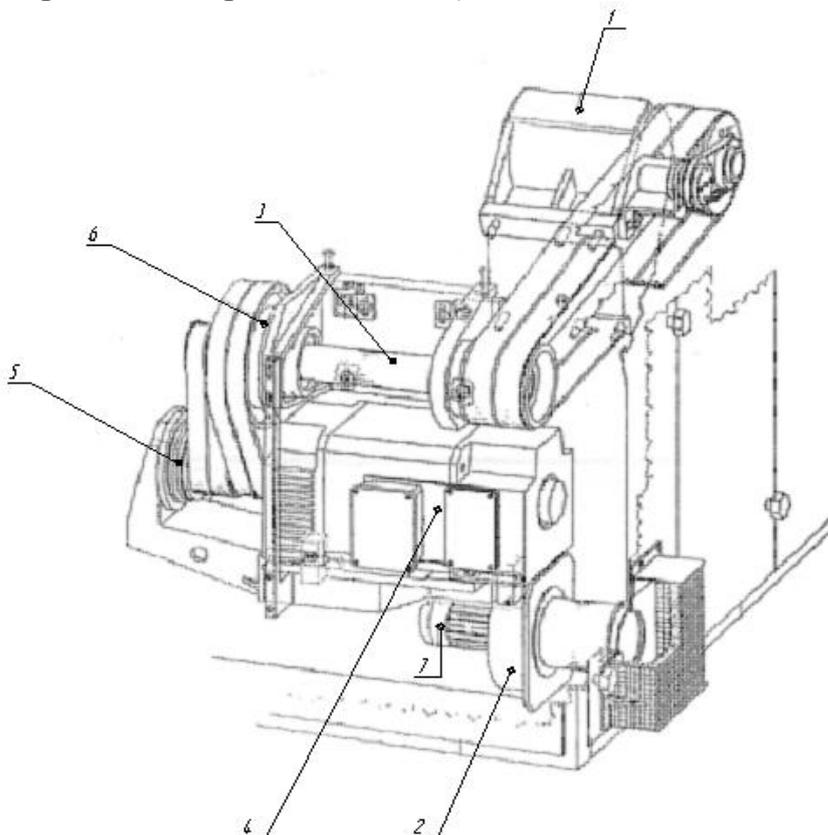
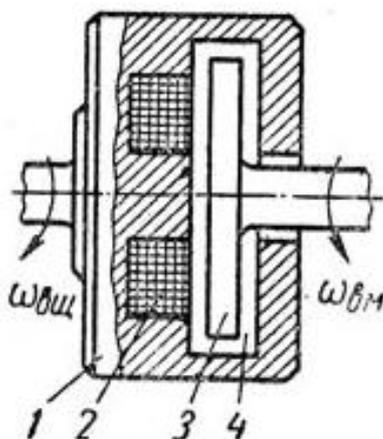


Рисунок 1.1 – Главный привод токарного станка GEORG FISHER AUTOMOTIVE AG

Электромагнитные дисковые муфты бывают двух типов: жидкостные и сухие. Принцип их действия основан на том, что в жидкость или в порошок добавляются ферромагнитные составляющие, которые меняют свойства данной смеси при нахождении в магнитном поле. В состав жидкостной муфты входит ферромагнитный порошок с трансформаторным маслом (либо керосином), а в состав сухих – ферромагнитный порошок с тальком или графитом. Соотношение частей порошка и масла примерно 5 к 1, при этом частицы порошка имеют размер 0,5-10мкм. С целью улучшения работоспособности при широком изменении температурных воздействий в

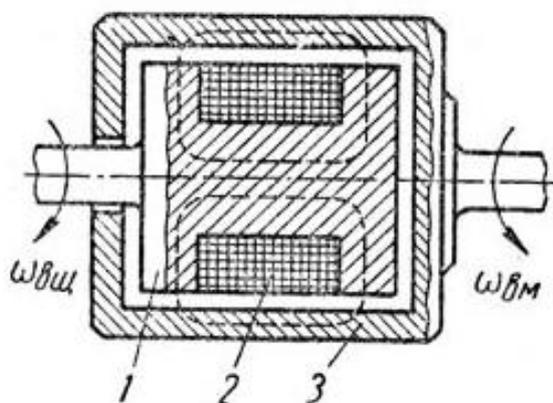
некоторых муфтах используются силиконовые масла, однако они более дорогие, но обладают лучшей вязкостью.

На рисунках 1.2 и 1.3 представлены конструкции дисковых муфт порошкового типа. Они бывают дисковыми или цилиндрическими. При одинаковых передаваемых моментах цилиндрические муфты обладают меньшими габаритными размерами, чем дисковые.



1 – ведущий вал; 2 – электромагнит; 3 – ведомый вал; 4 – пространство наполняемое ферромагнитным порошком.

Рисунок 1.2 – Дисковая порошковая муфта



1 – ведущий вал; 2 – электромагнит; 3 – ведомый вал.

Рисунок 1.3 – Цилиндрическая порошковая муфта

Двигатель постоянного тока (4) регулируется бесступенчато под нагрузкой. Вентилятор охлаждения (2) приводится в действие двигателем (7), который всасывает воздух через фильтр подает его в корпус двигателя с целью охлаждения. Двигатель постоянного тока приводит в движение вал контрпривода (3) при помощи двух ременных шкивов.

Контрпривод представляет собой две электромагнитные однодисковые муфты, которые обеспечивают расширение диапазона скоростей у двигателя постоянного тока, с результатом обеспечения двух диапазонов. Для низкого диапазона скоростей активируется муфта (6) и

приводные усилия передаются на вал посредством зубчатых ремней. Для высшего диапазона скоростей активируется муфта (5), вследствие чего приводные усилия передаются на вал посредством зубчатых ремней.

Передняя бабка (1). Привод шпинделя станка обеспечивают два многоклиновых ремня, которые можно натянуть или расслабить откидыванием люльки двигателя.

Каждое число оборотов, находящееся в диапазоне управления двигателем постоянного тока можно бесступенчато вызвать при помощи цифрового управления. Регулировка осуществляется посредством управления числа оборотов. Кроме того надо выбрать муфту, соответствующую желаемому числу оборотов.

Таким образом двигатель (4) приводит в движение при низкой ступени числа оборотов через ременные шкивы и муфту (6) вал перебора и совместно с ременными шкивами шпиндель станка.

При высокой степени числа оборотов привод осуществлен через ременные шкивы и посредством муфты на вал перебора. При включении кнопки останова шпинделя тормозится двигатель (4) посредством своей цепи регулирования; при стоящем шпинделе обе муфты (5 и 6) находятся в возбужденном состоянии.

Основными недостатками электромеханического привода данного оборудования являются отсутствие запасных частей, невысокая надежность, приводящая к частым сбоям, высокие затраты на ремонт и соответственно к простоям оборудования. Применение вместо электромеханического привода частотного преобразователя с векторным управлением и асинхронного двигателя, могло бы устранить отмеченные недостатки и, что особенно важно в наше время, существенно понизить простои оборудования и затраты на ремонт.

## 1.2 Анализ промышленных преобразователей частоты

Преобразователем частоты (ПЧ) является устройство, которое способно изменять частоту выходного сигнала под действием управляющих сигналов, при этом частота входного сигнала величина постоянная. Основой всех преобразователей частоты являются полупроводниковые элементы, как правило, транзисторы, диоды и тиристоры.

В настоящее время известны два основных типа построения преобразователей частоты:

- непосредственный ПЧ (НПЧ);
- ПЧ с автономным инвертором напряжения (АИН);

### 1.2.1 Непосредственный преобразователь частоты

Первая группа преобразователей (рисунок 1.4) осуществляет преобразование энергии только один раз – энергия сети непосредственно преобразуется в энергию, подаваемую на электродвигатель. На вход данного устройства подается переменное напряжение стандартизованных значений 220 или 380В промышленной частоты 50Гц. То есть это напряжение неизменно. На выходе устройства формируется переменное напряжение, амплитуду и период которого можно регулировать, при чем по отдельности, с помощью устройства управления.

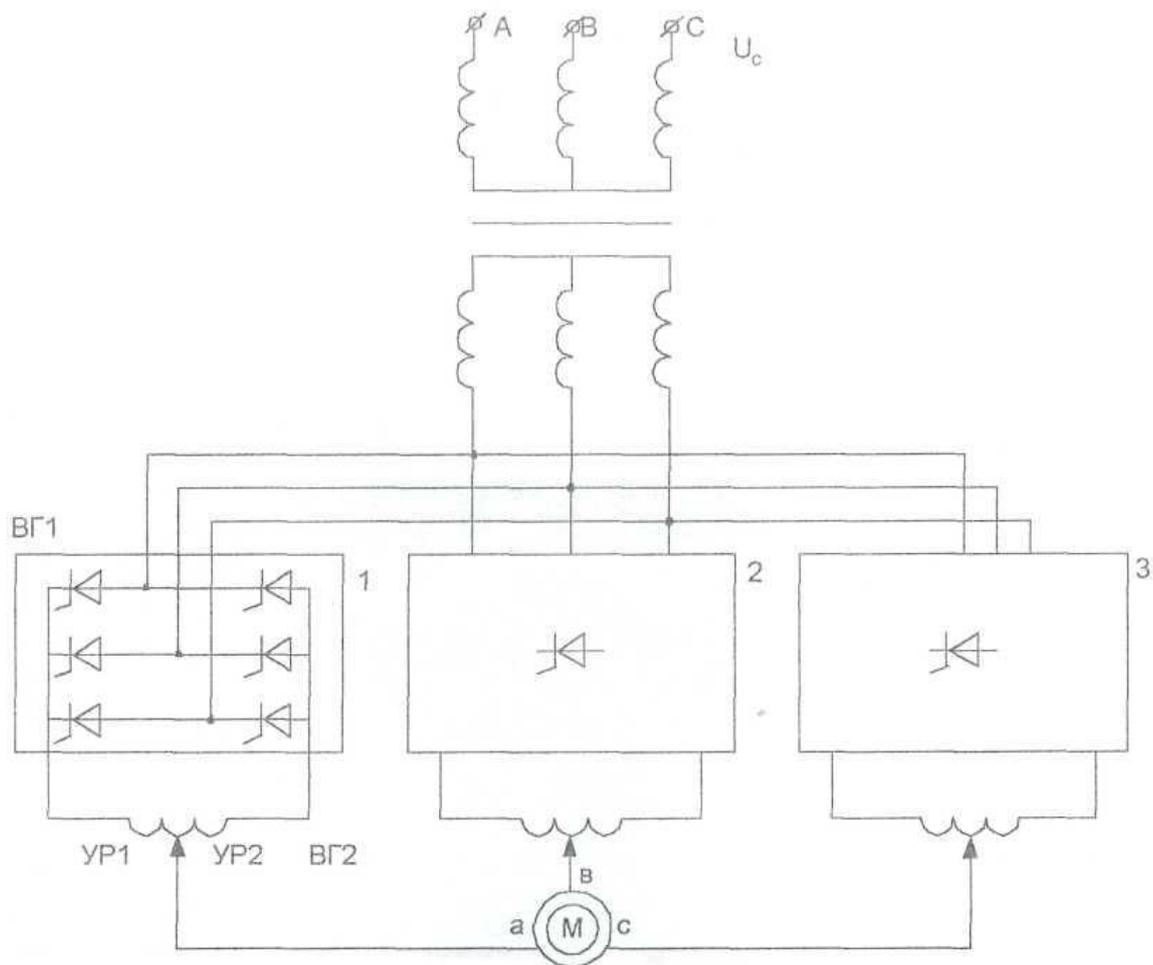


Рисунок 1.4 - Структурная схема НПЧ

Данный тип преобразователей частоты имеет как свои преимущества, так и недостатки. В качестве преимуществ можно выделить значительный КПД преобразования, поскольку применяется однократное преобразование, возможность передачи энергии в обратную сторону, реализация схемы на основе хорошо известных тиристорных схем.

Однако имеются и затруднения при использовании данных преобразователей. В первую очередь это громоздкие схемы реализации преобразователей, во вторых – управление частотой может осуществляться лишь в одном направлении, в сторону уменьшения, в третьих схема имеет

незначительный коэффициент по мощности. Существуют и еще некоторые недостатки.

Таким образом, использование таких преобразователей ограничено и для нашей модернизации не подойдет, поскольку одностороннее регулирование частоты выходного напряжения не сможет обеспечить электродвигатель шпинделя требуемой частотой питающего напряжения.

### 1.2.2 Преобразователь частоты с АИН

Преобразователь частоты второго типа (рисунок 1.5) определяет двукратное преобразование энергии. Первое преобразование осуществляется управляемым выпрямителем (УВ), в этом случае энергия сети преобразуется в энергию постоянного напряжения. Второе преобразование происходит в инверторе напряжения (АИН) – постоянное напряжение обратно преобразуется в переменное. Однако выходное напряжение уже можно регулировать и происходит это с помощью устройства управления (УУП), которое использует широтно-импульсную модуляцию.

Данная схема имеет возможность рекуперировать энергию, то есть преобразование энергии осуществляется в обратную сторону и функции выпрямителя и инвертора меняются. В этом случае энергия передается обратно в сеть. Единственным условием данного режима работы является наличие конденсатора в схеме преобразователя, подключенного ко входу инвертора.

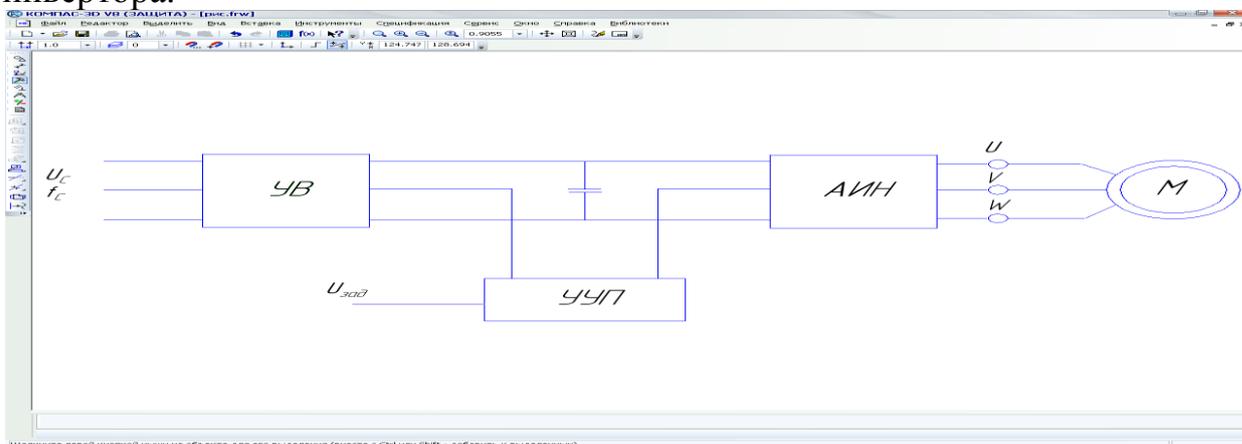


Рисунок 1.5 – Структурное построение ПЧ с АИН

Регулирование частоты двузонное, т.е. преобразователь частоты с АИН позволяет достичь необходимой частоты для требуемой скорости вращения двигателя шпинделя.

### 1.3 Постановка задач на выпускную работу

Проектирование любой системы электропривода невозможно без решения таких технических задач как:

- выбор двигателя;
- разработка функциональной схемы электропривода;
- разработка принципиальной схемы электропривода;
- математическое моделирование;
- экспериментальный раздел.

Кроме того, необходимо учитывать задачи, связанные с установкой электропривода и преобразователя частоты на станок.

## 2 Разработка схемы электропривода

### 2.1 Разработка функциональной схемы

В качестве модернизации станка будем заменять электропривод главного движения на асинхронный двигатель.

Частотное управление электроприводами с асинхронными двигателями в последнее время является наиболее широко распространенным. Оно не требует сложных систем управления, производители электроники выпускают широкую линейку преобразователей частоты. Поэтому в нашей работе будем использовать именно частотное управление, для этого потребуется подобрать преобразователь частоты с нужными параметрами, асинхронный двигатель на требуемую мощность и инвертор напряжения.

Одним из ведущих производителей электроники и, в частности, преобразователей частоты является немецкая фирма Siemens. Компания Siemens давно работает на российском рынке, ее комплектующие в огромном количестве применяются на Волжском автомобильном заводе, качество производимой электроники находится на высоком уровне и хорошо себя зарекомендовали, поэтому остановимся именно на этом производителе. Несомненным преимуществом является и то, что все производимые компоненты сертифицированы российским законодательством. Фирма Siemens выпускает преобразователи частоты под общей торговой маркой Micromaster, номенклатура производимых преобразователей широка, поэтому остается только подобрать преобразователь по техническим параметрам и характеристикам. Данные преобразователи могут использоваться не только для управления электроприводами, но и встраиваться в системы автоматизированного производства.

Выбираем преобразователь частоты из линейки Micromaster 440, данное устройство предназначено для регулирования частоты вращения и момента трехфазных асинхронных двигателей мощностью до 75кВт трехфазного напряжения и может применяться для простых случаев регулирования скорости электроприводов, каким и является наша модернизация.

Преобразователь частоты представляет собой микропроцессорную систему управления, выпрямитель и инвертор. Система управления модулирует на своем выходе импульсы с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), что позволяет практически безшумно работать электродвигателю. Инвертор реализован на современных транзисторах IGBT типа, преимущество которых заключается в том, что они управляются как полевые

транзисторы безтоковым способом, а в силовой части имеют структуру как у биполярных транзисторов. Выпрямитель служит для выпрямления трехфазного переменного напряжения в постоянное для питания системы управления и инвертора напряжения.

Преобразователь частоты также имеет цепи для защиты системы управления и электродвигателя. Используется защита от короткого замыкания, от перенапряжений, защита от перегрева самого преобразователя и электродвигателя.

Помимо необходимых входов и выходов преобразователь частоты имеет опции для подсоединения компьютера, панель оператора и модули передачи данных по шине Profibus.

Функциональными особенностями преобразователя являются векторное регулирование скорости, возможность регулирования магнитного потока, улучшенные режимы торможения, использование замкнутого PID регулятора, возможность выбора интенсивности разгона и торможения.

Под расчеты силового канала электропривода, выполненные в пункте 3 пояснительной записки, подходит электропривод с цифровым управлением Micromaster серии 440, мощностью 18,5 кВт и номинальным током на выходе 38 А. Функциональная схема подключения преобразователя частоты и асинхронного электродвигателя представлена на рисунке 2.1.

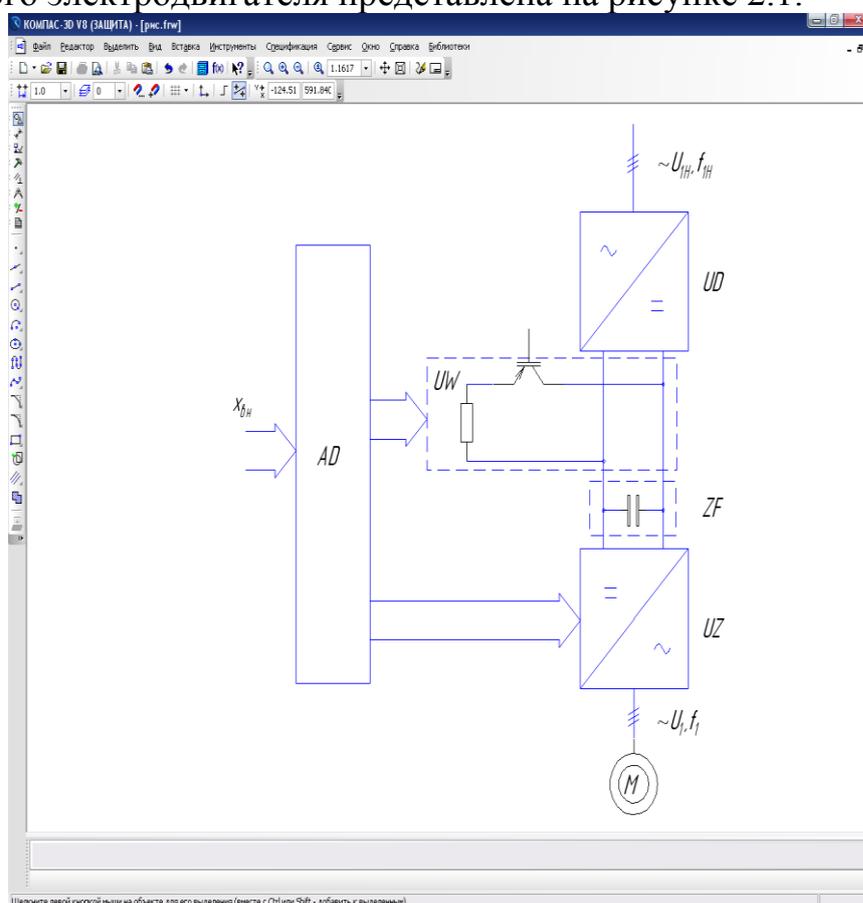


Рисунок 2.1 - Схема подключения преобразователя Micromaster 440

Преобразователь частоты состоит из силовой и управляющей частей. В состав силовой части входит неуправляемый выпрямитель (UD), балластное сопротивление (UW), фильтр (ZF) и инвертор (UZ). Система управления состоит из управляющего устройства (AD).

Как было сказано выше в состав преобразователя частоты входит выпрямитель переменного тока, который представляет собой схему Ларионова и является неуправляемым поскольку реализован на полупроводниковых диодах по трехфазной схеме, то есть на каждую фазу приходится два диода. Данная схема уже давно известна, проста, надежна и позволяет получить на выходе выпрямленное напряжение высокого качества. Схема представлена на рисунке 2.2.

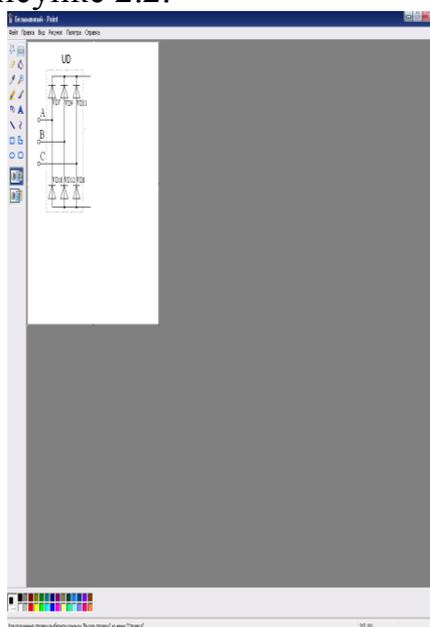


Рисунок 2.2 - Схема трехфазного выпрямителя

Схема инвертора напряжения, входящего в состав преобразователя частоты представлена на рисунке 2.3. Она реализована на IGBT транзисторах, управление которыми осуществляется системой управления. Поочередно происходит открытие и закрытие транзисторов для питания обмоток асинхронного двигателя. В схеме также применяются диоды, включенные в обратном направлении параллельно транзисторам, что создает путь для протекания тока в нужные моменты времени.

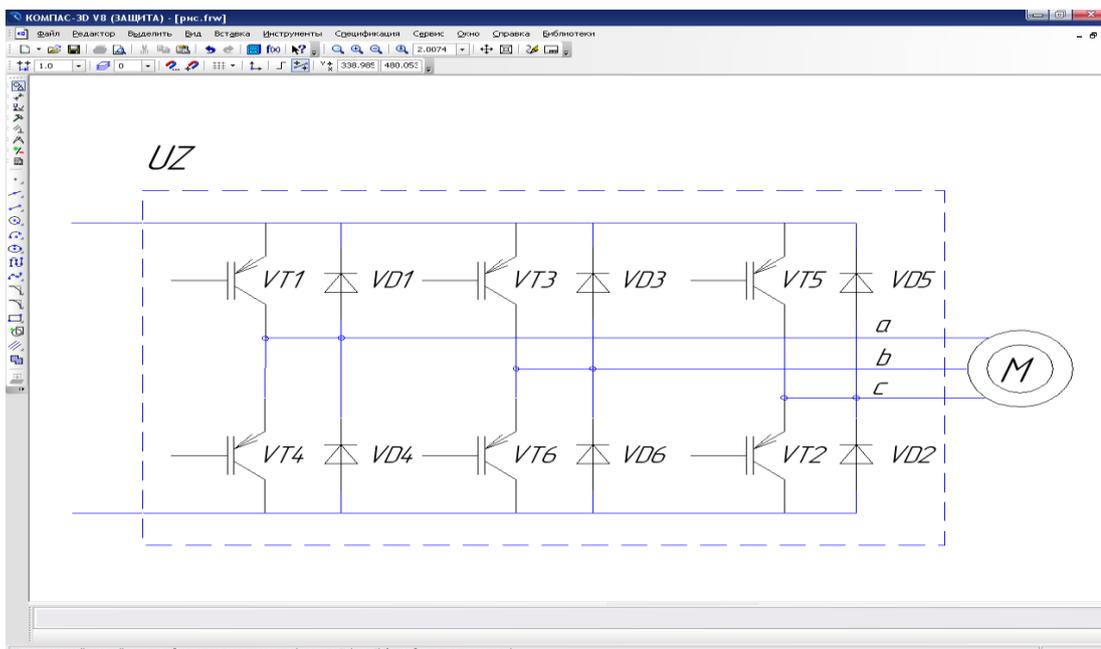


Рисунок 2.3 - Инвертор напряжения

Как было сказано выше использование IGBT транзисторов улучшает технические характеристики транзисторов, включенных в цепях протекания токов через обмотки электродвигателя. Сочетание в структуре транзистора биполярного силового канала и полевого управляющего канала позволило получить высокое входное сопротивление с высокой токовой нагрузкой и малым сопротивлением во включённом состоянии.

Система управления преобразователя частоты представляет микропроцессорное высокопроизводительное устройство с необходимым набором дополнительных модулей, которое управляет моментами включения и отключения транзисторов, обеспечивая синхронную работу обмоток электродвигателя и тем самым устойчивое вращение асинхронного электродвигателя с определенным значением скорости вращения и развиваемым моментом на валу электродвигателя.

## 2.2 Принцип действия преобразователя частоты

Рассмотрим более подробно принцип работы преобразователя частоты. Транзисторы образующие инвертор напряжения осуществляют функцию инвертирования и регулирования величины выходного напряжения. По сигналам от системы управления происходит управление коммутацией этих транзисторов. В свою очередь микропроцессорный блок осуществляет формирование управляющих импульсов в зависимости от параметров электродвигателя, определяя при этом необходимые скорость вращения и момент.

Диоды, включенные параллельно транзисторам, образуют диодный мост. Назначение их состоит в том, чтобы защитить транзисторы от импульсов перенапряжения, которые возникают в процессе коммутации, а также они обеспечивают возвращение накопленной энергии в обмотках двигателя в накопительный конденсатор в тот момент когда транзисторы закрыты, образуя при этом замкнутую цепь и обеспечивая таким образом цепь для протекания тока. За счет этого в данной силовой цепи образуется цепь для перемещения энергии между обмотками двигателя и конденсатором. Балластное сопротивление при этом предназначено для потребления излишек энергии.

Управление транзисторами системой управления осуществляется посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ), за счет чего выходное напряжение оказывается квазисинусоидальным при неизменной величине входного напряжения  $U_d$ . При этом алгоритм формирования ШИМ импульсов, заложенный в системе управления определяет последовательность импульсов, их фазу и длительность для каждой из трех пар транзисторов, обеспечивая открытие и закрытие каждого из транзисторов в нужный момент времени. Этот же алгоритм обеспечивает необходимое соотношение напряжение-частота во всех режимах работы электродвигателя.

Рассмотрим подробнее работу инвертора напряжения. Основные требования, которые должны соблюдаться при управлении транзисторами, следующие:

- включение двух транзисторов одной фазы осуществляется поочередно;
- включение транзисторов следующих фаз осуществляется со сдвигом на  $2\pi/3$  радиан.

Таким образом, в соответствии с этими требованиями каждый из транзисторов оказывается открытым в течении некоторого интервала времени через каждые  $\pi$  радиан. Недопустимы случаи одновременного открытия транзисторов одной фазы, поскольку это приведет к возникновению короткого замыкания источника постоянного напряжения  $U_d$ .

Рассматривая вышеуказанные принципы работы инвертора, можно увидеть, что в каждый момент времени открыты по одному транзистору в каждой фазе обмоток электродвигателя, при чем тем самым обеспечивается подключение обмоток к источнику постоянного напряжения, а следовательно и цепь для протекания электрического тока (как было сказано выше либо через открытые транзисторные ключи, либо через обратные диоды).

Для лучшего понимания можно ввести следующие обозначения:

- 1, когда соответствующая фаза подключена к  $+U_d$  (открыт верхний транзистор);

- 0, когда соответствующая фаза подключена к  $-U_d$  (открыт нижний транзистор).

Таким образом получилось восемь возможных вариантов открытого и закрытого состояния транзисторов, шесть из которых осуществляют подсоединение источника напряжения к обмоткам электродвигателя. Один из них (010) представлен на рисунке 2.4.

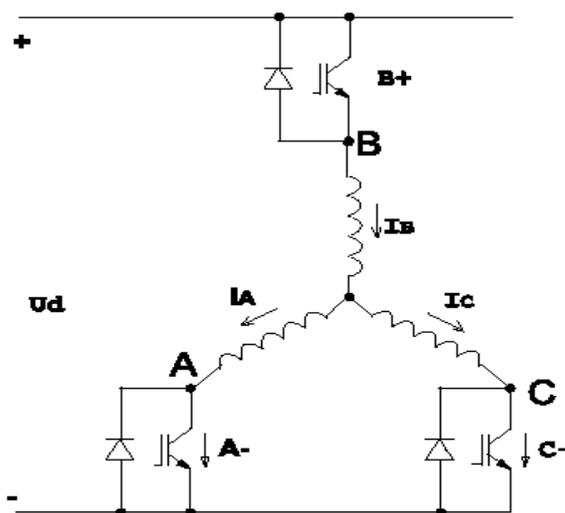


Рис. 2

Рисунок 2.4 - Схема подключения обмоток электродвигателя к источнику напряжения по типу 010

В этом случае ко всем обмоткам электродвигателя подано напряжение питания.

Два оставшихся варианта являются не рабочими, поскольку в этом случае все обмотки электродвигателя оказываются подключены только к одному полюсу источника напряжения. Этими вариантами являются 000 и 111. В этом случае на обмотках отсутствует разность потенциалов, тока нету и следовательно напряжение к обмоткам не подается. Вариант 111 представлен на рисунке 2.5.

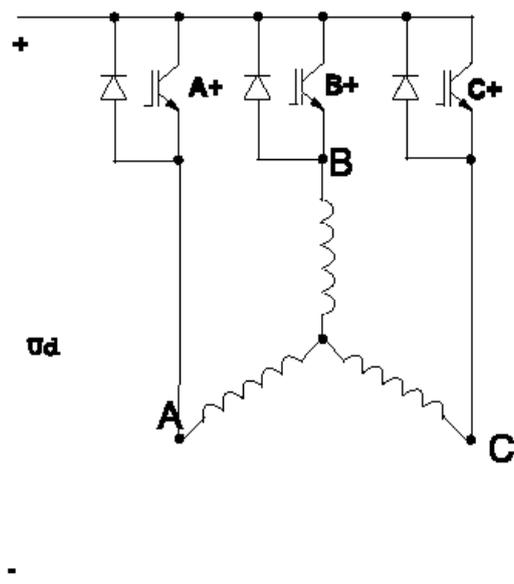


Рис. 3

Рисунок 2.5 - Схема подключения обмоток электродвигателя к источнику напряжения по типу 111

Рассмотрев теорию работы инвертора можно увидеть основную задачу, которая стоит перед разработчиками преобразователей частоты – усовершенствовать алгоритм работы с целью улучшения технических характеристик и режимов работы асинхронного двигателя, а именно:

- получения и регулирования всего возможного диапазона напряжения на выходе;
- наилучшего использования напряжения  $U_d$  от источника питания;
- обеспечение выходного тока нагрузки приближенного к синусоидальной форме (за счет ШИМ напряжения);
- уменьшение мощности потерь от частого переключения ключевых элементов.

В настоящее время достаточно широко рассмотрены вопросы разработки теории управления асинхронными электроприводами и вопросы широтно-импульсной модуляции для построения систем управления, чаще всего данные вопросы рассматриваются с использованием результирующего вектора  $U_k$  для трехфазного напряжения. В данной практике за основу берется положение вектора нагрузки при различных вариантах включения транзисторов. Графическая интерпретация данного положения представлена на рисунке 2.6.

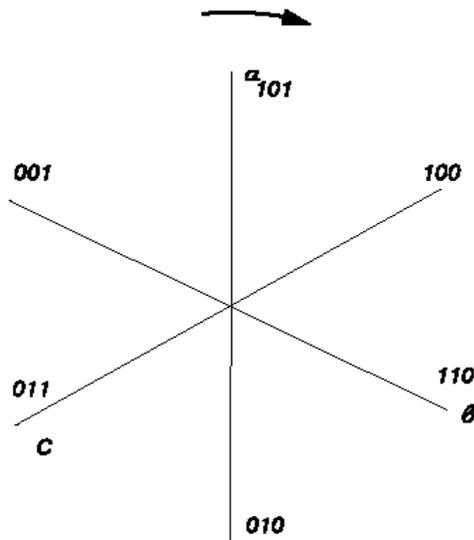


Рис. 4

Рисунок 2.6 – Положение вектора нагрузки при различных состояниях транзисторов

Очевидно, что два нерабочих варианта в этом случае представляют собой точку, то есть результирующий вектор равен нулю. Остальные шесть вариантов оказываются сдвинутыми друг относительно друга на  $60^\circ$  и через  $360^\circ$  происходит повторение, то есть период выходного напряжения составляет  $2\pi$ .

Помимо формирования этих шести фиксированных значений результирующего вектора выходного напряжения ШИМ имеет возможность обеспечить сколь угодно большое количество промежуточных положений вектора с возможностью изменения длины вектора, то есть амплитуды напряжения.

Для осуществления данного процесса необходимо за время действия периода одного импульса ШИМ  $T_u$  задать последовательно два соседних варианта состояния транзисторов и один вариант нерабочего состояния таким образом, чтобы  $T_u = T_1 + T_2 + T_0$ , где  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_0$  – соответствующее время состояний транзисторов.

В конечном итоге в этом случае образуется результирующий вектор  $U_{кр} = U_k X \cdot (T_1 / T_u) + U_k (X + 60) \cdot (T_2 / T_u)$ , который определит угол соответствующий промежуточному варианту, то есть  $30^\circ$ . Векторная интерпретация вышесказанного изображена на рисунке 2.7.

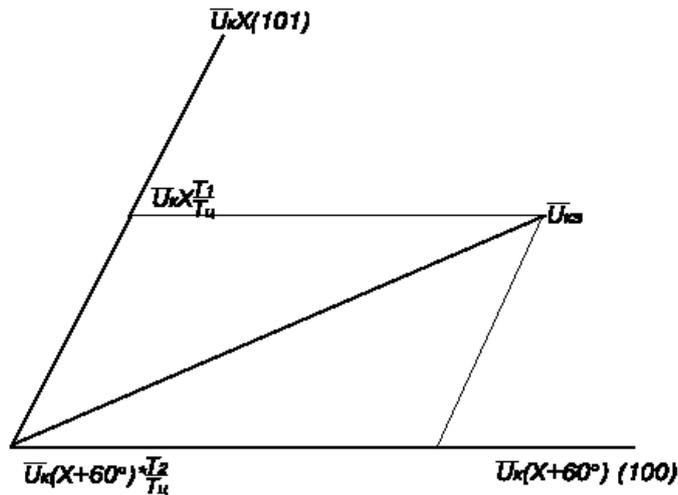


Рис. 5

Рисунок 2.7 – Результирующий вектор промежуточного варианта

Изменяя в пределах одного цикла величины  $T_1$  и  $T_2$ , а также их соотношение можно добиться любого угла положения вектора напряжения, а последовательное управление этими временами в течении одного периода выходного напряжения может привести к плавному вращению вектора в нужном направлении.

Плавность вращения вектора будет определяться частотой выходного напряжения инвертора и частотой ШИМ, а точнее отношением их периодов. Чем выше это отношение, тем более плавное оказывается вращение вектора.

Для существующих в настоящее время инверторов чаще всего применяется алгоритм, когда частота ШИМ оказывается величиной неизменной ( $T_u = const$ ) во всем диапазоне регулирования частоты выходного напряжения инвертора. В этом случае частота ШИМ принимается равной 4кГц практически для всех случаев управления. При разработке данного алгоритма были учтены рекомендации снижения потерь мощности, которые возникают при переключениях транзисторов, с этой целью количество переключений выбиралось оптимальным.

Реализация описанного выше алгоритма возможна с помощью специализированных микроконтроллеров, которые входят в состав системы управления.

Также можно реализовать данный алгоритм с применением цифровых элементов. В этом случае понадобится реверсивный счетчик для определения длительности ШИМ сигнала, регистров хранения, элементов сравнения цифровых сигналов и логических элементов для организации связей внутри схемы.

Осциллограммы, поясняющие принцип формирования алгоритма с использованием такой схемы представлены на рисунке 2.8.



Рис. Б

Рисунок 2.8 - Осциллограммы работы схемы на основе реверсивного счетчика

Значение максимального числа, до которого будет производиться прямой счет с последующим реверсом счета, определяет период ШИМ.

В электроприводах используется метод асинхронной ШИМ, означающий, что период выходной частоты инвертора не синхронизирован с частотой ШИМ.

В момент счета, соответствующий содержимому счетчика длительности периода ШИМ «0», вычисляются значения  $T_1$  и  $T_2$  (с учетом  $T_0$ ) для текущего расчетного угла поворота вектора  $U_{кэ}$ . Эти расчетные значения используются в качестве кодов загрузки регистров сравнения на текущий период ШИМ. В этот же момент в начале первого периода ШИМ после перехода текущего вектора в следующий сектор плоскости фаз нагрузки, ограниченный двумя соседними базовыми векторами  $U_{кX}$  и  $U_{к(X+60^\circ)}$ , ключи принудительно устанавливаются в состояние, соответствующее  $U_{кX}$ , если вращение вектора производится по часовой стрелке или  $U_{к(X+60^\circ)}$ , если против (рисунок 2.8).

Аппаратная логика формирования управляющих сигналов ключей обеспечивает следующий алгоритм переключения:

По совпадению текущего содержимого счетчика при прямом счете с содержимым первого регистра сравнения ( $T1/2$ ) ключи устанавливаются в состояние, соответствующее  $U_{к(X+60^\circ)}$ , если вращение вектора производится по часовой стрелке или  $U_{кX}$ , если против (рисунок 2.4).

По совпадению текущего содержимого счетчика при прямом счете с содержимым второго регистра сравнения ( $T1/2+T2/2$ ) ключи устанавливаются в состояние 000 или 111, отличающееся от предыдущего состояния положением только одного ключа.

По совпадению текущего содержимого счетчика при обратном счете с содержимым второго регистра сравнения ( $T1/2 + T2/2$ ) ключи

устанавливаются в состояние, соответствующее  $U_{\kappa}(X+60^{\circ})$ , если вращение вектора производится по часовой стрелке или  $U_{\kappa}X$ , если против (рисунок 2.8).

По совпадению текущего содержимого счетчика при обратном счете с содержимым первого регистра сравнения  $(T1/2 + T2/2)$  ключи устанавливаются в состояние, соответствующее  $U_{\kappa}X$ , если вращение вектора производится по часовой стрелке или  $U_{\kappa}(X+60^{\circ})$ , если против (рисунок 2.4).

Для иллюстрации работы описанного алгоритма ШИМ управления на рисунке 2.9 приведены схема вращения вектора и осциллограммы:

- модулирующих синусоидальных сигналов фаз А, В, С, рассчитанных по текущему заданию выходной частоты инвертора;
- несущего сигнала.

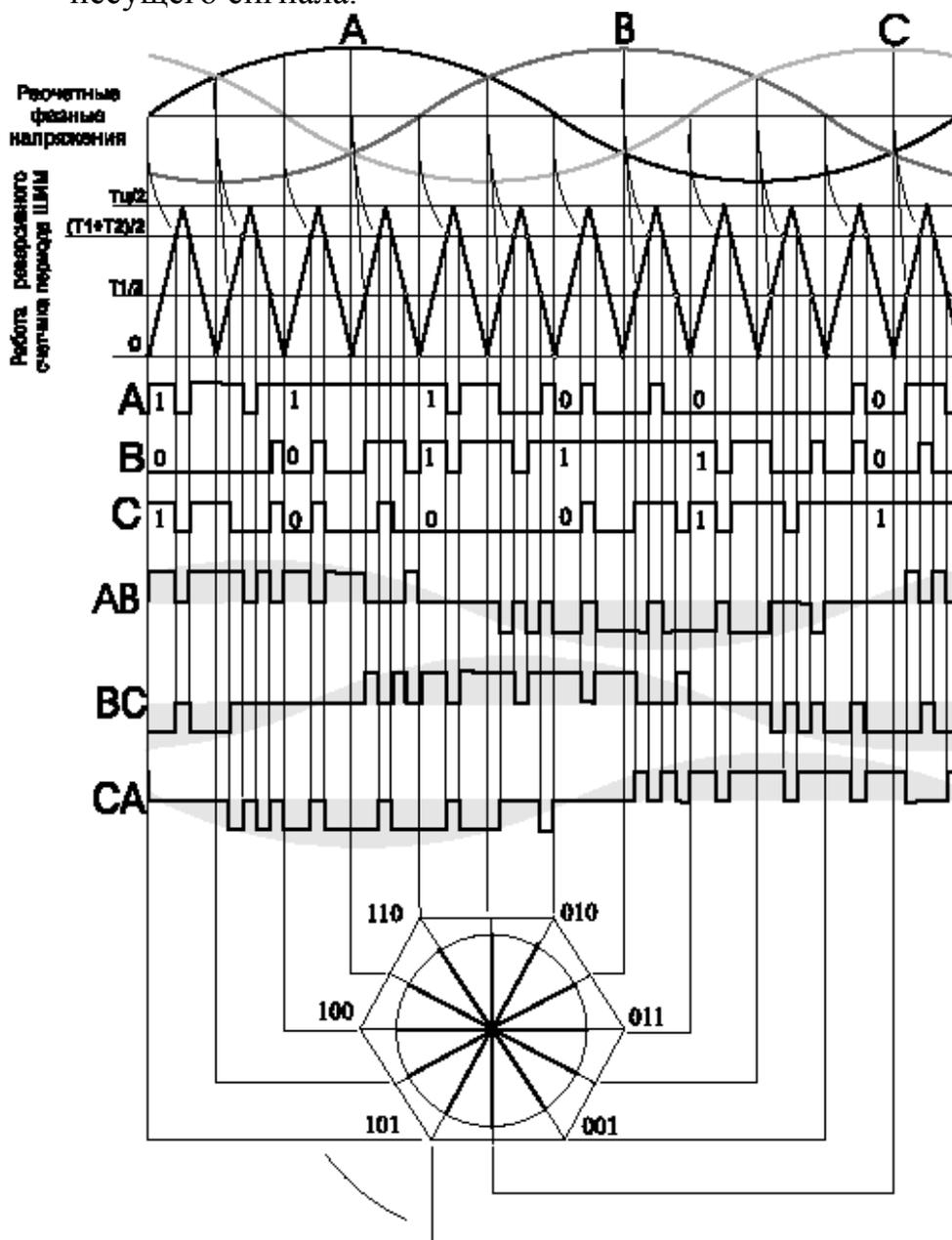


Рис. 7

Рисунок 2.9 - Осциллограммы работы алгоритма ШИМ управления



### 3 Расчет электропривода

Рабочий механизм приводится в движение двигателем через редуктор с передаточным числом равным 1 и КПД равным 0,92. Механизм работает в различных фазах цикла с общей длительностью  $t_{\Sigma}$ , развивает на валу моменты  $M_{р.м}$  для выполнения соответствующей технологической операции.

Продолжительность пуска и торможения не превышает величин  $t_{П}$  и  $t_{Т}$  соответственно.

Цель расчета состоит в выборе электродвигателя по расчетным данным и проектировании системы управления, а именно выборе преобразователя частоты и инвертора.

Данные на основе которых производится расчет представлены ниже. Ими являются.

Момент рабочего механизма

$$M_{р.м}=95 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Время, в течении которого действует момент

$$t=25 \text{ с}$$

Суммарное время цикла

$$t_{\Sigma}=45 \text{ с}$$

Номинальная частота вращения рабочего механизма

$$n_{р.м.ном 1}=1500 \text{ об/мин}$$

$$n_{р.м.ном 2}=500 \text{ об/мин}$$

Коэффициент полезного действия редуктора

$$\eta_{р.м}=0,92$$

Передаточное отношение редуктора

$$i=1$$

Время, предназначенное для пуска электродвигателя

$$t_{п}=0,9 \text{ с}$$

Время, предназначенное для торможения

$$t_{Т}=0,7 \text{ с}$$

#### 3.1 Подбор электродвигателя

Подбор электродвигателя осуществляется, как правило, по каталогам различных фирм производителей исходя из параметров, которые определены на этапе расчетов. Основным таким параметром является мощность электродвигателя. Не маловажным является и тот факт, кто является производителем, учитываются надежность фирмы, опыт ее работы, наличие дилерских центров, наличие сертификатов безопасности.

С технической точки зрения подбор электродвигателя по мощности должен происходить с учетом того, что слишком большая мощность выбранного электродвигателя может привести к большим габаритам и большим потерям. А незначительное уменьшение мощности вызовет перегрев самого электродвигателя и снижению его работоспособности. Поэтому оптимальным является условие, чтобы мощность каталожная была близка к мощности рассчитанной.

### 3.2 Подбор электродвигателя по моменту сопротивления

Для определения мощности электродвигателя обычно пользуются диаграммами того устройства, которым будет управлять электродвигатель, то есть его нагрузкой. Поэтому данные диаграммы носят название нагрузочная диаграмма и тахограмма. Нагрузочная диаграмма определяет необходимый момент и представлена на рисунке 3.1, а тахограмма – частоту вращения (представлена на рисунке 3.2).

Зная момент, который должен быть приложен к рабочему механизму, определим момент, развиваемый электродвигателем в статическом режиме

$$M_c = M_P \cdot M_i \cdot \eta = 951 \cdot 0,92 = 103 \text{ Нм} \quad (3.1)$$

где  $i$  – передаточное отношение редуктора;

$\eta$  – КПД редуктора.

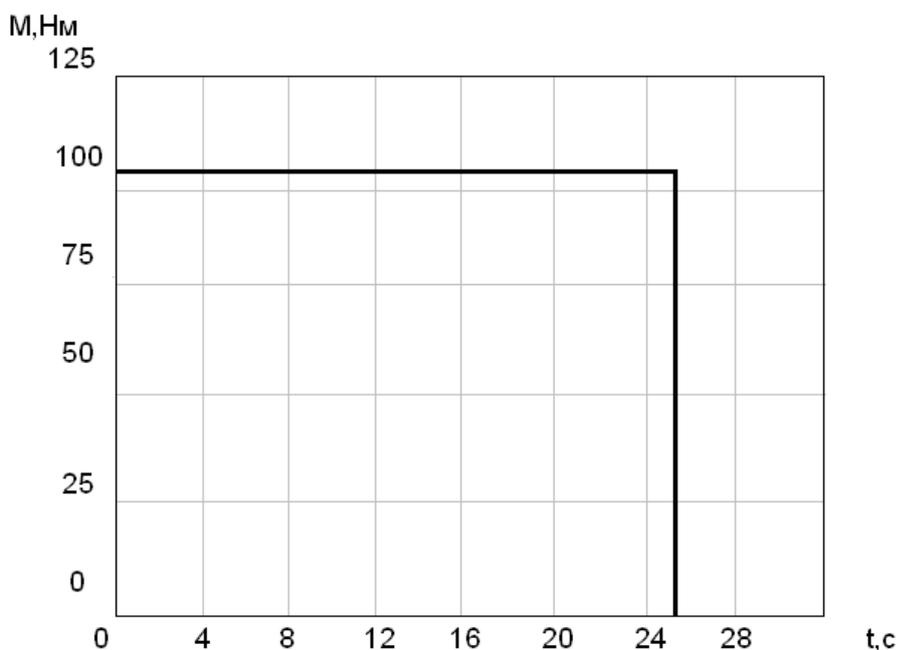


Рисунок 3.1 - Нагрузочная диаграмма рабочего механизма

В соответствии с исходными данными построим тахограмму. На ней по оси X откладываем время, в течении которого действует момент, время разгона и торможения электродвигателя, а также учитываем, что половина времени двигатель вращается с одной частотой, а другую половину с другой частотой. По оси Y откладываем значения частоты вращения.



Рисунок 3.2 - Тахограмма рабочего механизма

Рабочая частота вращения вала электродвигателя

$$n_{\text{раб}} = n_{\text{р.м.ном}} \cdot i$$

$$n_{\text{раб1}} = 1500 \text{ об/мин}$$

$$n_{\text{раб2}} = 500 \text{ об/мин}$$

При построении нагрузочной диаграммы электродвигателя необходимо учесть, что при пуске электродвигателя момент на валу должен быть больше статического момента на значение динамического момента, а при торможении – меньше на то же самое значение динамического момента. Определение значения динамического момента определим после того как подберем электродвигатель. В каталогах электродвигателей приводятся значения приведенного момента инерции.

Определим средний момент, развиваемый электродвигателем. При этом учтем два момента: момент нагрузки за время цикла не изменяется и не учитываем изменения момента при переходных режимах, поскольку они кратковременны, тогда

$$M_{\text{с.ср}} = \sum (M_{\text{с}} \cdot t) / t_{\text{ц}} = 103 \cdot 14 + 103 \cdot 1125 = 103 \text{ Нм} \quad (3.2)$$

Определим отклонения номинального момента.

Для этого рассчитаем низшее значение номинального момента электродвигателя

$$M_{\text{мин.ном}} = 1,1 \cdot M_{\text{ср}} = 113 \text{ Нм} \quad (3.3)$$

И большее значение номинального момента электродвигателя

$$M_{\text{макс.ном}} = 1,3 \cdot M_{\text{ср}} = 134 \text{ Н·м} \quad (3.4)$$

Для выбора электродвигателя известны требуемые величины моментов  $M_{\text{мин}}$  и  $M_{\text{макс}}$  и скорость вращения  $n_{\text{раб}} = 1500$  об/мин.

Выбираем асинхронный электродвигатель 4А180М4У3 со следующими характеристиками:

Номинальная частота вращения

$$n_{\text{ном}} = 1500 \text{ об/мин.}$$

Номинальная мощность

$$P_{\text{ном}} = 30 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Номинальный момент

$$M_{\text{ном}} = 191 \text{ Нм.}$$

КПД

$$\eta_{\text{ном}} = 91\%.$$

Номинальный ток

$$I_{\text{ном}} = 54 \text{ А.}$$

Момент инерции

$$J = 0,097 \text{ кг·м}^2.$$

Число пар полюсов

$$p = 6.$$

### 3.3 Определение перегрузочной способности электродвигателя

Осуществив подбор электродвигателя оценим возможность электродвигателя осуществлять разгон и торможение, учитывая значение момента на валу.

Для этого запишем основное уравнение движения из теории электропривода

$$M1 = M_{\text{с1}} + J \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{с1}} + J \cdot \varepsilon \quad (3.5)$$

где  $J \cdot \varepsilon = M_{\text{дин}}$  – динамический момент.

Момент инерции известен из параметров выбранного электродвигателя. Найдем ускорение, которое осуществляет электродвигатель в момент разгона, оно определяется из построенной тахограммы

$$\varepsilon = 2\pi \cdot n_{\text{раб}} \cdot 60 \cdot 1 \text{ тП} = 2\pi \cdot 1500 \cdot 60 \cdot 10,9 = 174 \text{ рад/с} \quad (3.6)$$

Ввиду того, что обмоточные данные электродвигателя неизменны, можно сделать вывод о том, что и при торможении двигатель будет совершать точно такое же ускорение, тогда момент электродвигателя в режиме торможения можно определить по следующей формуле:

$$M_2 = M_{c2} - J \cdot d\omega/dt = M_{c2} - J \cdot \varepsilon \quad (3.7)$$

Суммарный момент инерции

$$J_{\Sigma} = J + J_{р.м.привед} = 0,097 + 0,293 = 0,39 \text{ кг}\cdot\text{м}^2 \quad (3.8)$$

Следовательно, динамический момент пуска

$$M_1 = M_{c1} + J \cdot \varepsilon = 103 + 0,39 \cdot 174 = 170,8 \text{ Нм} \quad (3.9)$$

Оценить перегрузочную способность можно исходя из условия

$$M_{\text{макс}} \leq M_{\text{доп}},$$

где  $M_{\text{макс}} = M_1 = 170,8 \text{ Нм}$  – максимальный момент на валу электродвигателя;  $M_{\text{доп}}$  – предельный момент электродвигателя.

В технических параметрах электродвигателя приводится отношение допустимого момента к номинальному

$$M_{\text{доп}}/M_{\text{ном}} = M_{\text{критич}}/M_{\text{ном}} = 2,2 \quad (3.10)$$

Исходя из этой величины можно определить значение допустимого момента. Необходимо учитывать, что в связи со снижением напряжения питания  $M_{\text{доп}} = 0,8 \cdot M_{\text{критич}}$ , тогда

$$M_{\text{доп}} = 0,8 \cdot 1,7 \cdot M_{\text{ном}} = 0,8 \cdot 2,2 \cdot 193 = 340 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{макс}} = 170,8 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{макс}} \leq M_{\text{доп}}$$

Можно сделать вывод, что электродвигатель способен осуществлять разгон и торможение не выходя за допустимые пределы.

Определим время пуска электродвигателя при рассчитанных параметрах

$$t_{\text{П}} = J \cdot \omega_{\text{раб}} / (M_{\text{доп}} - M_{c1}) = 0,097 \cdot 157340,0 / (170,8 - 103) = 0,09 \text{ с} \quad (3.11)$$

где  $\omega_{\text{раб}}$  – угловая скорость вращения

$$\omega_{\text{раб}} = n_{\text{раб}} \cdot 2\pi / 60 = 1500 \cdot 2\pi / 60 = 157 \text{ рад/с} \quad (3.12)$$

Определим момент электродвигателя при торможении

$$M_2 = M_{c2} - J \cdot \varepsilon = 103 - 0,39 \cdot 174 = 35,1 \text{ Нм} \quad (3.13)$$

Определим время, за которое произойдет торможение электродвигателя

$$t_{\text{T}} = J \cdot \omega_{\text{раб}} / M_2 = 0,097 \cdot 15735,1 / 35,1 = 0,43 \text{ с} \quad (3.14)$$

Можно сделать вывод о том, что в случае срабатывания защиты по току электродвигатель затормозит под действием момента нагрузки за время меньшее чем 0,7с, которое задано в исходных данных

### 3.4 Оценка электродвигателя по нагревостойкости

Оценка нагревостойкости электродвигателя происходит с целью определения температуры, которой подвергается обмотка при эксплуатации электродвигателя и сравнение ее с предельной, которую может выдержать обмотка в зависимости от ее класса. Определить температуру можно неявным способом используя нагрузочную диаграмму.

В этом случае делается допущение, что за время цикла работы электродвигателя магнитный поток постоянен, тогда можно использовать способ эквивалентного момента.

Это значение для нагрузочной диаграммы такого типа можно определить следующим образом

$$M_{\text{экв}} = M_{c12} \cdot t_1 + M_{c22} \cdot t_{1\text{тц}} = 170,82 \cdot 14 + 35,12 \cdot 1125 = 129,9 \text{ Нм} \quad (3.15)$$

Сравнивая эту величину с номинальным моментом, который берется из каталога на электродвигатель

$$M_{\text{экв}} < M_{\text{ном}} = 191 \text{ Нм},$$

можно сделать вывод, что выбранный электродвигатель по параметру нагревостойкости выбран верно.

Таким образом, выбранный двигатель обеспечивает требуемые действия рабочего механизма и удовлетворяет условиям по перегрузочной способности и нагревостойкости.

## 4 Расчет характеристик электропривода

Для построения характеристик электропривода необходимо воспользоваться основными формулами и соотношениями, а также структурной схемой, которые приводятся в теории электропривода. Ввиду большого количества формул, значительного количества разнообразных коэффициентов и большой трудоемкости вычислительных процессов рекомендуется использовать математическое моделирование в программных комплексах, таких как Mathcad или Matlab.

### 4.1 Описание схемы электропривода с асинхронным электродвигателем

При разработке динамической схемы системы управления электроприводом используем структурную схему описанную в теории электропривода [14] и представленную на рисунке 4.1.

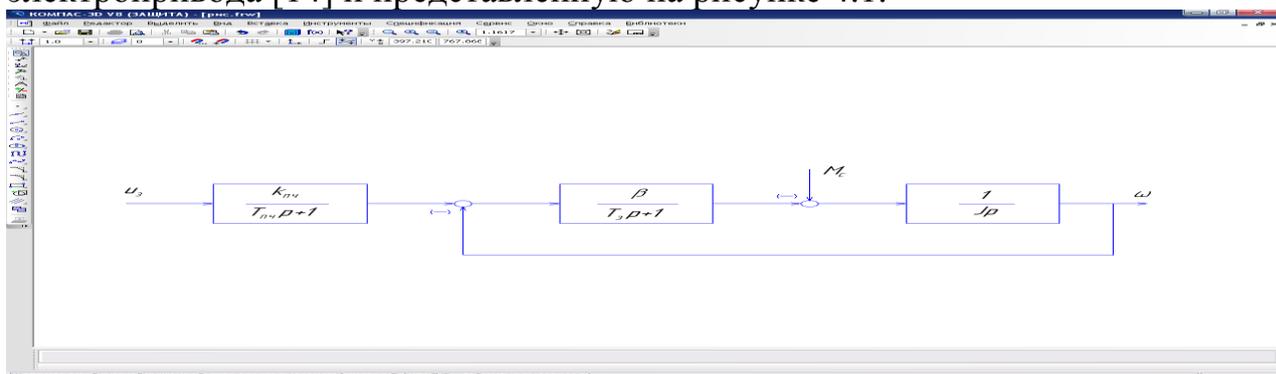


Рисунок 4.1 - Структурная схема системы управления с асинхронным электродвигателем

Эта схема составлена на основе функциональной схемы, представленной на рисунке 2.1 и определяет режим работы асинхронного электродвигателя в двигательном режиме, то есть в том режиме, в котором он работает большую часть времени своей эксплуатации, и в том режиме, в котором находится точка его номинального состояния.

Параметры, которые обозначены на рисунке определяют следующие величины.

Жесткость механической характеристики  $\beta$  определяет наклон рабочего участка и связанные с этим свойства асинхронного электродвигателя. В связи с тем, что преобразователь частоты работает в диапазоне от 0 до 650Гц (при подаваемой частоте 50Гц), то при увеличении частоты до 650Гц критический момент уменьшится до 1.4Нм. Поэтому в

формулу подставляем значение критического момента 1,4Нм и рассчитаем жесткость:

$$\beta = 2Mk\omega_{0ном} \cdot s_k = 2 \cdot 1,44082 \cdot 0,02 = 0,034 \quad (4.1)$$

где  $\omega_{0ном}$  – угловая скорость вращения асинхронного электродвигателя при напряжении, соответствующем номинальному значению частоты;  $s_k = 0,02$  – критическое скольжение для данного асинхронного электродвигателя.

$$\omega_{0ном} = 2\pi \cdot f_{1ном} = 2 \cdot 3,14 \cdot 650 = 4082 \text{ с}^{-1}$$

Следующим параметром является постоянная времени  $T_\tau$ , которая определяется обмоточными данными статора и ротора асинхронного электродвигателя. Она равна

$$T_\tau = 1/\omega_{0ном} \cdot s_k = 1/4082 \cdot 0,02 = 0,012 \text{ с} \quad (4.2)$$

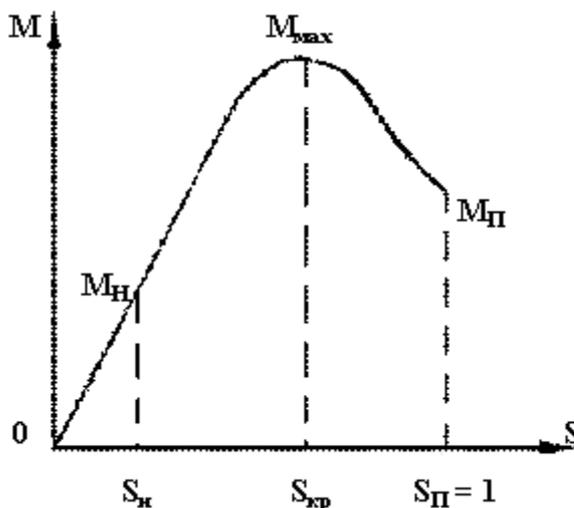
Определим коэффициент передачи ПЧ

$$k_{пч} = \Delta\omega_0 \Delta t_{пр} = 4082 \cdot 0,012 = 48,984 \quad (4.3)$$

Постоянная времени  $T_{пч}$ , как правило, ограничивается величиной 0,001с, поскольку выходное напряжение преобразователя модулируется достаточно высокими значениями частоты.

Заключительным параметром является момент инерции  $J$ . Он является приведенной величиной к валу электродвигателя.

Механическая характеристика асинхронного электродвигателя представлена на рисунке 4.2.



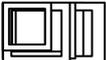
 - номинальный вращающий момент;  $M_{max}$  - максимальный вращающий момент;  $M_H$  - пусковой момент;  $s_k$  - номинальное скольжение;  $s_{кр}$  - критическое скольжение;  $s_{П} = 1$  - пусковое скольжение.

Рисунок 4.2 - Механическая характеристика асинхронного двигателя

Экстремум данной характеристики определяет критическое значение момента при критическом значении скольжения. Участок возрастания характеристики  $s_H \leq s_k$  соответствует двигательному режиму.

## 4.2 Результаты моделирования по структурной схеме

Определив величины параметров входящих в схему построим структурную схему системы управления, она представлена на рисунке 4.3. Результаты моделирования в виде динамических характеристик изображены на рисунке 4.4.

Рисунок 4.3 - Структурная схема системы управления

Рисунок 4.4 - Динамические процессы  $\omega(t)$  и  $M(t)$

Из рисунка 4.4 видно, что двигатель достигает установившейся скорости через 0,9 с после пуска. При включении нагрузки через 1с после пуска скорость двигателя осталась неизменной, что объясняется жесткостью на рабочем участке механической характеристики и двигатель создает момент, равный моменту нагрузки.

## 4.3 Расчёт естественных механических характеристик асинхронного двигателя

Определим синхронную угловую скорость двигателя:

$$\omega_0 = \pi \cdot n_0 / 30 \text{ рад/с}$$

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

Расчет естественной механической характеристики асинхронного двигателя:

$$M = m_1 \cdot U_1^2 \cdot R_2' \cdot \omega_0 \cdot s \cdot [(R_1 + R_2' \cdot s)^2 + (X_1 \sigma + X_2 \sigma')^2]$$

$$M = 3 \cdot 220^2 \cdot 12,3157 \cdot s \cdot [(4,097 + 12,3 \cdot s)^2 + (12,6 + 13,4)^2]$$

Определим дополнительные параметры двигателя.

Момент критический двигательного режима:

$$M_{кд} = m \cdot U_1^2 \cdot 2 \cdot \omega_0 \cdot (R_1 + R_2' + X_{кн}^2) \cdot m$$

$$M_{кд} = 3 \cdot 220^2 \cdot 157 \cdot (4,097 + (4,097^2 + 22,32)) = 17,28 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Критическое скольжение:

$$s_k = \pm R_2' / (R_1 + R_2' + X_{кн}^2)$$

$$s_k = 12,34 / (4,097^2 + 22,32) = \pm 0,54 \text{ о.е.}$$

Номинальная скорость двигателя:

$$\omega_n = \omega_0 (1 - s_n)$$

$$\omega_n = 157 \cdot (1 - 0,085) = 143,65 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_n = P_n / \omega_n \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_n = 30000143,65 = 208,8 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Максимальный момент двигателя

$$M_{\max} = k_{\max} \cdot M_n \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{\max} = 2,2 \cdot 208,8 = 459,36 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Минимальный момент двигателя

$$M_{\min} = k_{\min} \cdot M_n \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{\min} = 1,4 \cdot 208,8 = 292,3 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Найденные координаты точек с номинальным, максимальным и минимальным моментом нанесены на рассчитанный график (рисунок 4.5) естественной механической характеристики асинхронного двигателя в виде треугольников.

1 – момент номинальный, 2 – момент максимальный, 3 – момент минимальный

Рисунок 4.5 - Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

Анализ расчетов показывает, что контрольные точки, найденные в соответствии с каталожными данными двигателя, хорошо совпадают с рассчитанным графиком механической характеристики асинхронного двигателя.

## 5 Технология подключения и установки преобразователя

### 5.1 Требования, предъявляемые к установке преобразователя

Монтаж преобразователя частоты обязательно должен выполняться квалифицированным персоналом с необходимыми группами допуска по электробезопасности, прошедшими обучение правилам работы с изделиями в сертификационных сервисах производителя. При монтаже необходимо внимательно ознакомиться с правилами работы и предупреждениями, которые написаны в руководстве по эксплуатации и монтажу производителем изделия.

При монтаже преобразователя частоты в месте его установки следует придерживаться следующих основных требований.

Работы по проведению электромонтажных работ допускается осуществлять только подходящими по классу и диаметру проводами, провода должны быть надежно закреплены в местах крепления. Все устройства необходимо заземлить, при чем диаметр провода необходимо выбирать с таким условием, чтобы он был не меньше, чем диаметр провода которым подводится напряжение к преобразователю.

Трехфазные электрические машины имеющие фильтры электромагнитной совместимости не должны подключаться к сети с помощью защитных выключателей замыкания на землю.

Необходимо учитывать, что некоторые выводы преобразователя частоты могут находиться под высоким значением напряжения несмотря на отключенное напряжение питания. Такими выводами являются:

- вывода для подачи сетевого напряжения L/L1, N/L2, L3 (рисунок 5.3);
- вывода подключения двигателя U, V, W, DC +/B, DC-, B- и DC/R+ (рисунок 5.3).

Электромонтажные работы необходимо проводить только спустя некоторое время после отключения чтобы завершился процесс разряда конденсаторов.

Преобразователь частоты не предназначен для аварийной остановки электродвигателя.

В соответствии с руководством по эксплуатации преобразователь частоты рассчитан на работу в достаточно тяжелых условиях внутрипроизводственного использования, однако есть и некоторые ограничения: влажность в помещении не должна быть более 90%, не допускается проникновение воды в корпус изделия, не рекомендуется

устанавливать прибор рядом с источниками электромагнитных помех, в местах сильных вибраций, не допускается ударное воздействие на корпус.

## 5.2 Механический монтаж

Для проведения работ по монтажу преобразователя необходимо учитывать габаритные и присоединительные размеры, которые представлены на рисунке 5.1.

Все монтажные работы проводить только квалифицированным персоналом.

Монтаж преобразователя необходимо осуществлять строго в вертикальном положении для лучшего осуществления вентилирования полупроводниковых приборов расположенных внутри. Расположение преобразователя, как правило, происходит внутри электрошкафа при помощи болтов с гайками. Высота крепления электрошкафа не должна превышать 1,5м. Необходимо предусматривать в шкафу свободное пространство около преобразователя около 10см, а также следить за тем, чтобы отверстия предназначенные для циркуляции воздуха не были ничем загорожены.

Рисунок 5.1 - Присоединительные размеры преобразователя частоты Micromaster 440

## 5.3 Электрические соединения

Электромонтаж преобразователя частоты является трудоемким процессом и требует знаний правил работы с электроустановками, а также мер безопасности при проведении электромонтажных работ.

Рассмотрим некоторые из них применительно к электромонтажу преобразователя.

Вывода, предназначенные для подвода питания, подключения электродвигателя и другие могут быть опасными, поскольку на них могут оказаться высокие напряжения. Поэтому работать с ними следует только специальным инструментом, принимая меры безопасности.

Расположение преобразователя, как правило, осуществляется на DIN рейке в электрошкафу, в непосредственной близости с остальными устройствами.

Заземление преобразователя должно осуществляться в строгом соответствии с рекомендациями указанными в руководстве, иначе возможны недопустимые напряжения внутри, которые могут привести к поражению электрическим током персонала.

В случае короткого замыкания на входе преобразователя частоты устройство остается работоспособным, однако происходит его отключение и выдача сообщения F0001, по которому необходимо принять меры к исправлению ситуации.

В случае использования преобразователя частоты в сети промышленного трехфазного напряжения необходимо изъять из устройства конденсатор. Осуществить это необходимо как показано на рисунке 5.2

а) б)  
Рисунок 5.2 - Удаление крышки (а) и снятие конденсатора (б)

При размещении преобразователя в электрошкафу необходимо, чтобы все кабели подводимые к нему размещались отдельно. Кабели управления отдельно от кабелей силовых и отдельно от сетевых. Запрещается проводить проверку высоким напряжением изоляции подводимых кабелей.

#### 5.4 Предотвращение влияния электромагнитных помех

Преобразователь частоты предназначен для работы в условиях производства, поэтому он должен иметь защиту от электромагнитных помех, источником которых являются, как правило, коммутирующие устройства, обмотки электродвигателей, электромагнитных реле и т.д.

Установка преобразователя в электрошкафу в соответствии с техническими требованиями обеспечивает правильную работу преобразователя, то есть невосприимчивость его к электромагнитным помехам, возникающим в сети.

В случае, если возникает сбой в работе преобразователя, то следует проверить заземлены ли другие устройства, которые расположены рядом с преобразователем в электрошкафу. При чем заземление должно осуществляться не длинными проводами с достаточным диаметром, заземляющий провод должен подключаться к общей нулевой точке.

При использовании провода, который идет от электродвигателя необходимо его подключать к клемме PE самого преобразователя частоты.

Рекомендуется использовать не круглые проводники, а плоские, поскольку в условиях высокочастотных сигналов они обладают меньшими значениями сопротивления и потерь.

Для подключения рекомендуется использовать экранированные провода, иначе стараться обеспечить соединения между устройствами как

можно более короткими проводами. Управляющие провода однозначно должны быть экранированы.

При использовании кабельных каналов следует следить за тем, чтобы располагающиеся в них провода были из разных групп, отдельно друг от друга силовые и управляющие провода. Желательно не укладывать кабель каналы с разными проводами параллельно друг с другом.

При использовании контакторов в электрошкафу необходимо следить, чтобы они были снабжены схемами защиты. Особенно это актуально, когда контакторы управляются преобразователем. Контактторы работающие на переменном токе следует защищать RC-цепочками. Контактторы постоянного тока защищаются включением диодов в обратном направлении к катушкам. Можно использовать варисторные схемы защиты от перенапряжений.

При подключении электродвигателей необходимо использовать экранированные либо армированные провода, при этом необходимо следить, чтобы на обоих концах провода экран был заземлен.

### 5.5 Подключение электродвигателя

На рисунке 5.3 представлен разъем с контактами преобразователя частоты для подключения электродвигателя и внешнего напряжения питания, а также схема электрическая соединений устройств к данным контактам.

При проведении работ по подключению электродвигателя необходимо обесточить всю систему и подождать 5 минут. Затем необходимо проверить подключаемые устройства, согласованы ли они по напряжению питания, проверить количество фаз. Далее необходимо произвести подключение проводов к соответствующим контактам преобразователя частоты, электродвигателя и питающей сети. Проследить правильно ли закрыты все крышки устройства.

Убедиться, что между сетью и преобразователем частоты имеется предохранитель или автоматический выключатель.

По завершении всех работ можно осуществлять подачу напряжения питания на устройство.

а)

б)

Рисунок 5.3 – Контакты для подключения силовых цепей (а), схема электрическая соединений (б)



## Заключение

В ходе дипломной работы была произведена модернизация электропривода токарного станка. Для снижения эксплуатационных затрат была предложена установка преобразователя частоты.

Для реализации предложенной модернизации был произведен расчет силовой части, разработана функциональная схема, построены характеристики по структурной и математической моделям, проработана технология монтажа преобразователя частоты в электрошкафу.

По данным расчета был выбран преобразователь частоты Micromaster 440 фирмы Siemens тип 6SE6440 2UD15-5AA1, мощностью 18,5 кВт с выходным током 38 А.

При построении характеристик по динамической модели и структурной схеме модернизированного электропривода было определено время разгона, равное 0,9 с.

Показатели качества переходного процесса удовлетворяют технологическим требованиям к электроприводу основного движения токарного станка.

## Список используемой литературы

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. Отд-ние, 1982.
2. Браславский И.Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. – М.: Энергоиздат, 1988.
3. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора: Справочник. – Л.: Машиностроен., Ленингр. Отд-ние, 1983.
4. Денисов В. А. Управление электроприводами: учебное пособие. – Тольятти: ТолПИ, 1998. – 262 с.
5. Денисов В.А. Моделирование линейных систем автоматического управления. – Тольятти: ТолПИ, 1993. – 35 с.
6. Епифонов А.П., Малайчук Л.М., Гушинский А.Г. Электропривод: Учебник / Под ред. А.П. Епифанова. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 400 с.: ил.
7. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1998.
8. Лотоцкий К. В. Электрические машины и основы электропривода, М., Издательство «Колос», 1964. – 495с.
9. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов : Учебное пособие. – 2-е изд., и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 224 с.: ил.
10. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учебное пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.
11. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Проектирование электропривода промышленных механизмов: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 448 с.: ил.
12. Шапкарина Г.Г. Основы цифрового управления. Основные понятия и описание цифровых систем управления: Учеб. пособие. Ч. 1. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. – 63 с.
13. Алексеев М.А. Программно-аппаратный комплекс управления станками с ЧПУ // Молодежный научно-технический вестник, 2013, №11. С. 38.
14. В.В. Королев, В.В. Королев Использование RFID меток для построения гибких производственных систем в машиностроении // Инновационная наука, 2015, №4, с.30-31.
15. Королев В.В., Петров Р.Е. Модернизация токарно-винторезного станка // Вестник НГИЭИ, 2015, №12 (55), с.42-47.

16. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Пушков Р.Л. Принципы построения распределенной системы ЧПУ технологическими машинами с использованием открытой модульной архитектуры // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2011. № 12. С. 45-51.
17. Писаренко В.В. Methods of automatic control of cutting process on CNC machines // Современный научный вестник. 2015. Т. 9. № 2. С. 15-20.
18. Федонин О.Н., Петрешин Д.И., Карпушкин В.А. Разработка алгоритма функционирования автоматизированной системы сбора и анализа данных с металлорежущих станков // Вестник Брянского государственного технического университета. 2014. № 1 (41). С. 58-62.
19. Руководство пользователя преобразователей MICROMASTER 440.
20. Электротехнический справочник. В 4-х томах, т.4. Использование электрической энергии. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 696 с.
21. Anderson D. Gary Variable Frequency Drives: Installation & Troubleshooting (Practical Guides for the Industrial Technician), TAB Books, 1994.
22. Gottlieb, Irving M. Electric Motors and Control Techniques / by Irving M. [Gottlieb](#). – 2nd ed. TAB Books, 1994.
23. Rex Miller, [Mark Miller](#) Industrial Electricity and Motor Controls / Library of Congress Cataloging-in-Publication Data / - Second Edition, 2014.
24. Steven McFadyen Motor Starting and Control Primer: An introduction to the starting techniques and control of electric motors, 2014.
25. Hughes A., Drury B. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications, / Library of Congress Cataloging-in-Publication Data , 2013.