

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

ФАКУЛЬТЕТ «ЭЛЕКТРОНИКА И АВТОМАТИКА»
КАФЕДРА «Информационные технологии в управлении»

На правах рукописи

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Улмасова Хаётжона Аскаралиевича

на тему: «Микропроцессорный преобразователь напряжения с
регулируемой частотой для трехфазного асинхронного
электродвигателя»

по направлению 5521800 - «Автоматизация и управление»
для получения степени бакалавра

Зав.кафедрой

к.т.н., доц. Зарипов О.О.

Руководитель

доц.Абдуллаев М.М.

Ташкент – 2013 г.

Содержание

1. Введение

ГЛАВА 1. АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ – ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ.

1.1. Асинхронный электродвигатель. Принцип действия.

1.2. Асинхронные электродвигатели с фазным ротором.

1.3. Встроенные электродвигатели и электродвигатели специальных конструкций

1.4. Схемы подключения магнитного пускателя для управления асинхронным электродвигателем

1.5. Схемы присоединения асинхронных электродвигателей к сети.

1.6. Как включить трехфазный электродвигатель в однофазную сеть без перемотки

1.7. Виды электрической защиты асинхронных электродвигателей

ГЛАВА 2. УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

2.1. Основные серии двигателей, выпускаемых промышленностью, и их характеристики

2.2. Режимы работы электроприводов

2.3. Пуск двигателя с фазным ротором

2.4. Принцип постоянства отношения напряжение/частота.

2.5. Принцип обычной широтно-импульсной модуляции.

ГЛАВА 3. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ЧАСТОТОЙ ДЛЯ ТРЁХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

3.1. Принцип частотного регулирования.

3.2. Основные классы преобразователей частоты.

3.3. Принцип действия ПИ-регулятора.

3.4. Датчики для управления электродвигателем.

3.5. Микропроцессорный преобразователь напряжения с регулируемой частотой.

3.6 БЖД

3.7 Экономические часть

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЛИТЕРАТУРА

1.ВВЕДЕНИЕ

В своем докладе на XI сессии Верховного Совета Республики Узбекистан И. А. Каримов отметил жизненную необходимость для республики в создании предприятий законченным циклом производства, создающих конкурентоспособную продукцию.

И. А. Каримов говорил, что «Затрачивая в большом объеме труд и материальные ресурсы, используя в широких масштабах богатства недр, республика продает в основном сырье. При этом предварительные расчеты показывают, что если довести до завершения приработку имеющихся в республике сырья и полуфабрикатов, то есть выпускать готовую продукцию, то можно будет увеличить производство валового национального продукта в два раза, а национальный доход увеличиться в три раза».

Электрическая энергия уже давно используется для формирования механического движения (вращение или перемещение) с помощью электромеханических приводов. По оценкам, 50% электрической энергии, генерированной в мире, потребляется электродвигателями. Более 50 электродвигателей обычно можно найти в бытовом хозяйстве, примерно столько же в автомобиле и очень большое многообразие двигателей используются в промышленности.

В целях охраны окружающей среды и снижения эффекта излучения парниковых газов правительства по всему миру вводят правила, требующие от производителей бытового электрооборудования и промышленных предприятий выпускать продукцию более экономично расходующих электроэнергию. Наиболее часто этого можно достичь за счет эффективного управления скоростью электродвигателя. Это является причиной, почему разработчики бытовых приборов и поставщики полупроводников в настоящее время заинтересованы в разработке недорогих и экономичных регулируемых приводов.

За счет высокой выносливости, надежности, низкой стоимости и высокого к.п.д. (80%) асинхронные электродвигатели используются во многих промышленных приложениях, в т.ч.:

- бытовые электроприборы (стиральные машины, вытяжки, холодильники, вентиляторы, пылесосы, компрессоры и др.);
- системы нагрева, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- промышленные электропривода (управление движением, центробежные насосы).
- робототехника;
- автомобили (электромобили).

Однако недостатком асинхронных двигателей является работа только на номинальной скорости при подключении к сети. Это является причиной, почему преобразователи частоты необходимы для регулировки частоты вращения асинхронных электродвигателей. Наиболее популярным алгоритмом управления трехфазным асинхронным электродвигателем является алгоритм с поддержанием постоянства отношения напряжение/частота (правило Костенко) и использованием обычного широтно-импульсно модулированного (ШИМ) управления инвертором напряжения.. Целью данного дипломного проекта является разработка микропроцессорного преобразователя напряжения с регулируемой частотой для трехфазного асинхронного двигателя, а также реализации данного способа на основе микроконтроллеров.

ГЛАВА 1. АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ – ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ.

1.1. Асинхронный электродвигатель. Принцип действия.

В противоположность коллекторным и бесколлекторным электродвигателям постоянного тока асинхронные электродвигатели не содержат постоянных магнитов. Ротор выполнен в виде короткозамкнутой обмотки, в которой вращающееся электрическое поле создает магнитный поток. Благодаря различиям в скорости между электрическим полем статора и магнитным потоком в роторе электродвигатель способен создавать вращающий момент и совершать вращательное движение.

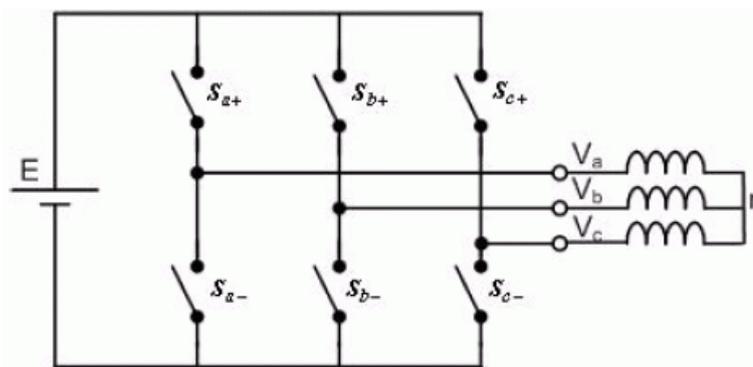


Рис. 1.1. Типичная структура инверторного асинхронного привода.

1.2. Асинхронные электродвигатели с фазным ротором.

В настоящее время, на долю асинхронных двигателей приходится не менее 80% всех электродвигателей, выпускаемых промышленностью. К ним относятся и трехфазные асинхронные двигатели.

Трехфазные асинхронные электродвигатели широко используются в устройствах автоматики и телемеханики, бытовых и медицинских приборах, устройствах звукозаписи и т.п.

Достоинства асинхронных электродвигателей и широкое распространение трехфазных асинхронных двигателей объясняется простотой их конструкции, надежностью в работе, хорошими эксплуатационными свойствами, невысокой стоимостью и простотой в обслуживании.

Устройство асинхронных электродвигателей с фазным ротором. Основными частями любого асинхронного двигателя является неподвижная часть – статор и вращающаяся часть, называемая ротором.

Статор трехфазного асинхронного двигателя состоит из шихтованного магнитопровода, запрессованного в литую станину. На внутренней поверхности магнитопровода имеются пазы для укладки проводников обмотки. Эти проводники являются сторонами многовитковых мягких катушек, образующих три фазы обмотки статора. Геометрические оси катушек сдвинуты в пространстве друг относительно друга на 120 градусов.

Фазы обмотки можно соединить по схеме "звезда" или "треугольник" в зависимости от напряжения сети. Например, если в паспорте двигателя указаны напряжения 220/380 В, то при напряжении сети 380 В фазы соединяют "звездой". Если же напряжение сети 220 В, то обмотки соединяют в "треугольник". В обоих случаях фазное напряжение двигателя равно 220 В.

Ротор трехфазного асинхронного двигателя представляет собой цилиндр, набранный из штампованных листов электротехнической стали и насаженный на вал. В зависимости от типа обмотки роторы трехфазных асинхронных двигателей делятся на короткозамкнутые и фазные.

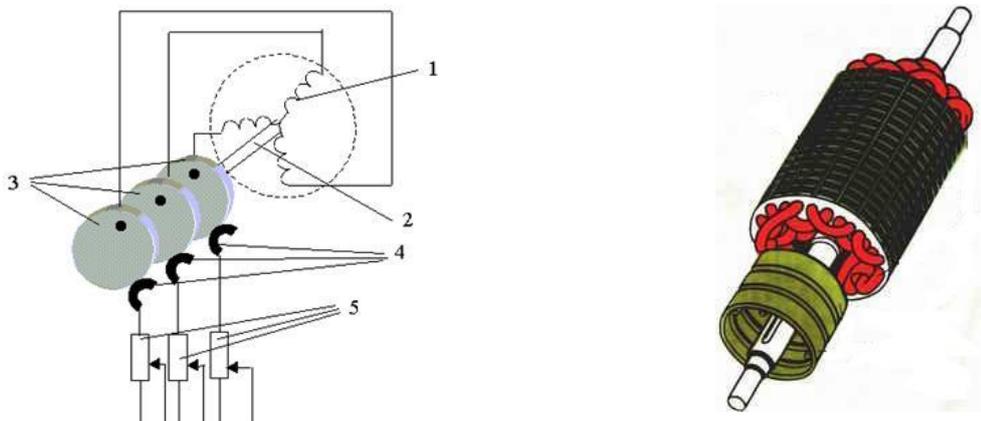


Рис.1.2. Асинхронный электродвигатель с фазным ротором.

В асинхронных электродвигателях большей мощности и специальных машинах малой мощности для улучшения пусковых и регулировочных свойств применяются фазные роторы (рис.1.2). В этих случаях на роторе укладывается трехфазная обмотка с геометрическими осями фазных катушек (1), сдвинутыми в пространстве друг относительно друга на 120 градусов.

Фазы обмотки соединяются звездой и концы их присоединяются к трем контактными кольцам (3), насаженным на вал (2) и электрически изолированным как от вала, так и друг от друга. С помощью щеток (4), находящихся в скользящем контакте с кольцами (3), имеется возможность включать в цепи фазных обмоток регулировочные реостаты (5).

Асинхронный двигатель с фазным ротором имеет лучшие пусковые и регулировочные свойства, однако ему присущи большие масса, размеры и стоимость, чем асинхронному двигателю с короткозамкнутым ротором.

Принцип работы асинхронных электродвигателей основан на использовании вращающегося магнитного поля. При подключении к сети трехфазной обмотки статора создается вращающееся магнитное поле,

угловая скорость которого определяется частотой сети f и числом пар полюсов обмотки p , т. е. $\omega_1 = 2\pi f/p$

Пересекая проводники обмотки статора и ротора, это поле индуцирует в обмотках ЭДС (согласно закону электромагнитной индукции). При замкнутой обмотке ротора ее ЭДС наводит в цепи ротора ток. В результате взаимодействия тока с результирующим магнитным полем создается электромагнитный момент. Если этот момент превышает момент сопротивления на валу двигателя, вал начинает вращаться и приводит в движение рабочий механизм. Обычно угловая скорость ротора ω_2 не равна угловой скорости магнитного поля ω_1 , называемой синхронной. Отсюда и название двигателя асинхронный, т. е. несинхронный.

Работа асинхронного двигателя характеризуется скольжением s , которое представляет собой относительную разность угловых скоростей поля ω_1 и ротора ω_2 : $s = (\omega_1 - \omega_2) / \omega_1$ (рис.1.3.)

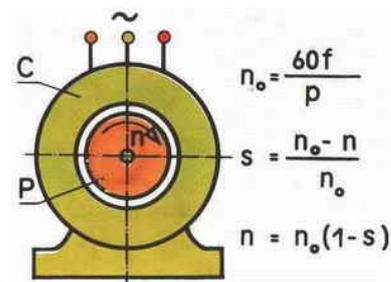


Рис.1.3. Работа асинхронного двигателя.

Значение и знак скольжения, зависящие от угловой скорости ротора относительно магнитного поля, определяют режим работы асинхронной машины. Так, в режиме идеального холостого хода ротор и магнитное поле вращаются с одинаковой частотой в одном направлении, скольжение $s=0$, ротор неподвижен относительно вращающегося магнитного поля, ЭДС в его обмотке не индуцируется, ток ротора и электромагнитный момент машины равны нулю. При пуске ротор в первый момент времени неподвижен: $\omega_2=0$, $s=1$. В общем случае скольжение в двигательном режиме изменяется от $s=1$ при пуске до $s=0$ в режиме идеального холостого хода. При вращении ротора со скоростью $\omega_2 > \omega_1$ в направлении вращения магнитного поля скольжение становится отрицательным. Машина переходит в генераторный режим и развивает тормозной момент. При вращении ротора в противоположном направлении вращения магнитного поля ($s > 1$),

асинхронная машина переходит в режим противовключения и также развивает тормозной момент. Таким образом, в зависимости от скольжения различают двигательный ($s=1\div 0$), генераторный ($s=0\div -\infty$) режимы и режим противовключения ($s=1\div +\infty$). Режимы генераторный и противовключения используют для торможения асинхронных двигателей.

1.3. Встроенные электродвигатели и электродвигатели специальных конструкций

Фланцевые электродвигатели. Для станкостроения создан ряд электродвигателей специальных исполнений по способу монтажа, а именно: фланцевых (с фланцем на щите, с фланцем на станине), для вертикальной и горизонтальной установок, с фланцем и лапами, встроенных и других (рис.1.4).



Рис.1.4. Фланцевые электродвигатели.

Применение в станках фланцевых двигателей в ряде случаев позволяет осуществлять привод более компактно и совершенно. Фланцевые двигатели применяют в первую очередь для привода рабочих органов с вертикальной осью (вертикально-сверлильные, резьбонарезные, плоскошлифовальные и кругло-шлифовальные станки, продольно-фрезерные станки крупных размеров и др.). Применение вертикально-фланцевого двигателя, ось которого параллельна оси шпинделя станка, значительно упрощает конструкцию станков за счет изъятия конических колес, служащих для изменения направления вращения.

Встроенные электродвигатели. Встроенные двигатели, состоящие из пакета железа статора с обмоткой, короткозамкнутого ротора и вентилятора,

не имеют станины, щитов, подшипников и вала, они являются наиболее совершенной формой органического соединения двигателя со станком. Встроенный двигатель собирают на станке. На вал станка насаживают ротор и вентилятор, статор же укрепляют в точно обработанной расточке станины станка и после посадки заштифтовывают. Установлено, что при применении встроенных двигателей достигается наивысшая компактность установки. Применение встроенных двигателей особенно удобно и целесообразно при соединении ротора двигателя с приводным механизмом станка без промежуточных передач.

Мотор-редукторы. Мотор-редукторы находят свое применение практически во всех областях промышленности. Мотор-редукторы по своей конструкции являются универсальными механизмами, которые используются при необходимости увеличить или уменьшить обороты, либо увеличить или уменьшить мощность. Мотор-редукторы состоят из редуктора и электродвигателя (рис.1.5).



Рис.1.5. Мотор-редукторы.

Мотор-редукторы особенно хороши тем, что дают возможность использовать нужное расположение выходного вала и не нуждаются в соединительных муфтах между двигателем и редуктором, так как в мотор-редукторе двигатель крепится непосредственно к самому редуктору.

Применение мотор-редукторов позволяет значительно упростить и удешевить конструкцию привода, а также существенно снизить затраты на

его эксплуатацию и обслуживание. Обычно, все мотор-редукторы комплектуются стандартными электродвигателями, которые, в случае поломки, могут быть легко демонтированы и заменены. Мотор-редукторы также комплектуются двигателями постоянного тока небольшой мощности.

Электрошпиндели. На внутришлифовальных станках обработка ведется кругами небольших размеров (наименьший диаметр до 5 - 7 мм), поэтому в них используют специальные высокоскоростные асинхронные двигатели, встраиваемые в корпус шлифовальной бабки (рис.1.6). Электродвигатель и шлифовальный шпиндель конструктивно объединены в один узел — электрошпиндель.



Рис.1.6. Высокоскоростные асинхронные двигатели, встраиваемые в корпус шлифовальной бабки.

Такие встроенные электродвигатели работают со скоростью вращения до 100 000 об/мин и питаются от специальных индукционных генераторов повышенной частоты или от статических преобразователей частоты. Электрошпиндели имеют очень важное значение в работе станка, являясь его неотъемлемой частью, при высокопроизводительной металлообработке. В современных станках в составе электрошпинделей используются электродвигатели, не требующие технического обслуживания. Электрошпиндель фирмы Faemat типа FA 80 HSLB с частотой вращения до 40 об/мин в минуту.

1.4. Схемы подключения магнитного пускателя для управления асинхронным электродвигателем.

Магнитный пускатель представляет собой простейший комплект

аппаратов для дистанционного управления электродвигателями и кроме самого контактора часто имеет кнопочную станцию и аппараты защиты.

Схема подключения нереверсивного магнитного пускателя. На рис. 1.7. а, б показаны соответственно монтажная и принципиальная схемы включения нереверсивного магнитного пускателя для управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. На монтажной схеме границы одного аппарата обводят штриховой линией. Она удобна для монтажа аппаратуры и поиска неисправностей. Читать эти схемы трудно, так как они содержат много пересекающихся линий.

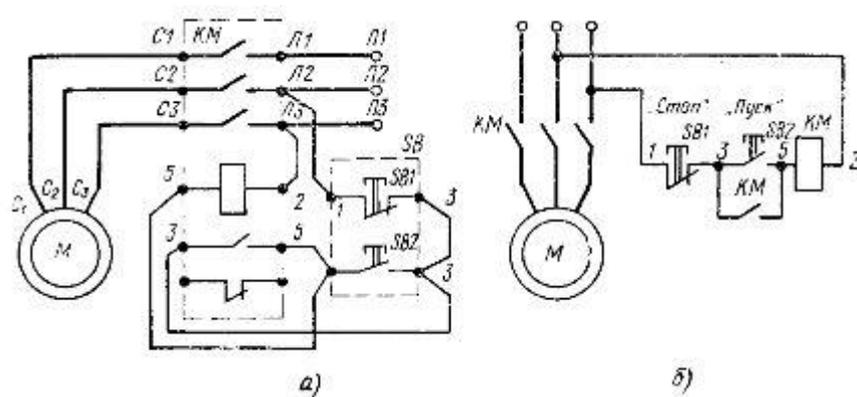


Рис.1.7. Схема включения нереверсивного магнитного пускателя: а – монтажная схема, б-электрическая принципиальная схема включения пускателя.

На принципиальной схеме все элементы одного магнитного пускателя имеют одинаковые буквенно-цифровые обозначения. Это позволяет не связывать вместе условные изображения катушки контактора и контактов, добиваясь наибольшей простоты и наглядности схемы.

Нереверсивный магнитный пускатель имеет контактор КМ с тремя главными замыкающими контактами (Л1 - С1, Л2 - С2, Л3 - С3) и одним вспомогательным замыкающим контактом (3-5).

Главные цепи, по которым протекает ток электродвигателя, принято изображать жирными линиями, а цепи питания катушки пускателя (или

цепи управления) с наибольшим током — тонкими линиями.

Принцип действия схемы включения нереверсивного магнитного пускателя. Для включения электродвигателя М необходимо кратковременно нажать кнопку SB2 «Пуск». При этом по цепи катушки магнитного пускателя, потечет ток, якорь притянется к сердечнику. Это приведет к замыканию главных контактов в цепи питания электродвигателя. Одновременно замкнется вспомогательный контакт 3 - 5, что создаст параллельную цепь питания катушки магнитного пускателя. Если теперь кнопку «Пуск» отпустить, то катушка магнитного пускателя будет включена через собственный вспомогательный контакт. Такую схему называют схемой самоблокировки. Она обеспечивает так называемую нулевую защиту электродвигателя. Если в процессе работы электродвигателя напряжение в сети исчезнет или значительно снизится (обычно более чем на 40% от номинального значения), то магнитный пускатель отключается и его вспомогательный контакт размыкается. После восстановления напряжения для включения электродвигателя необходимо повторно нажать кнопку «Пуск». Нулевая защита предотвращает непредвиденный, самопроизвольный пуск электродвигателя, который может привести к аварии.

Аппараты ручного управления (рубильники, конечные выключатели) нулевой защитой не обладают, поэтому в системах управления станочным приводом обычно применяют управление с использованием магнитных пускателей. Для отключения электродвигателя достаточно нажать кнопку SB1 «Стоп».

Схема подключения реверсивного магнитного пускателя. В том случае, когда необходимо использовать два направления вращения электродвигателя, применяют реверсивный магнитный пускатель, принципиальная схема которого изображена на рис. 1.8.

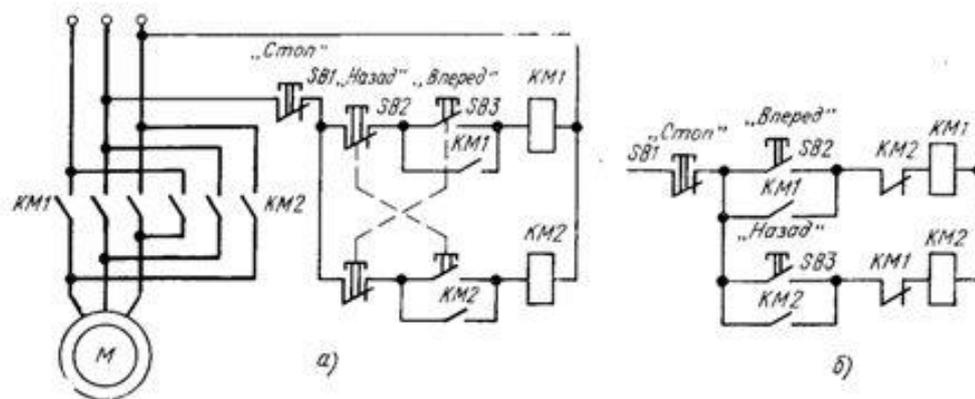


Рис. 1.8. Схемы включения реверсивного магнитного пускателя.

Принцип действия схем включения реверсивного магнитного пускателя

Для изменения направления вращения асинхронного электродвигателя необходимо изменить порядок чередования фаз статорной обмотки.

В реверсивном магнитном пускателе используют два контактора: KM1 и KM2. Из схемы видно, что при случайном одновременном включении обоих контакторов в цепи главного тока произойдет короткое замыкание. Для исключения этого схема снабжена блокировкой. Если после нажатия кнопки SB3 «Вперед» к включения контактора KM1 нажать кнопку SB2 «Назад», то размыкающий контакт этой кнопки отключит катушку контактора KM1, а замыкающий контакт подаст питание в катушку контактора KM2. Произойдет реверсирование электродвигателя.

Электрическая схема цепи управления реверсивного пускателя с блокировкой на вспомогательных размыкающих контактах изображена на рис.1.8 б. В этой схеме включение одного из контакторов, например KM1, приводит к размыканию цепи питания катушки другого контактора KM2. Для реверса необходимо предварительно нажать кнопку SB1 «Стоп» и отключить контактор KM1. Для надежной работы схемы необходимо, чтобы главные контакты контактора KM1 разомкнулись раньше, чем произойдет замыкание размыкающих вспомогательных

контактов в цепи контактора КМ2.

В серийных магнитных пускателях часто применяют двойную блокировку по приведенным выше принципам. Кроме того, реверсивные магнитные пускатели могут иметь механическую блокировку с перекидным рычагом, препятствующим одновременному срабатыванию электромагнитов контакторов. В этом случае оба контактора должны быть установлены на общем основании

1.5. Схемы присоединения асинхронных электродвигателей к сети.

Схемы присоединения односкоростных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором до 11 кВт включительно имеют три выводных конца в вводном устройстве и зажим заземления. Обмотки этих двигателей соединены в звезду или треугольник и предназначены для включения на одно из стандартных напряжений.

Двигатели мощностью от 15 до 400 кВт имеют шесть выводных концов во вводном устройстве и зажим заземления. Эти двигатели могут включаться на два напряжения: 220/380 или 380/660 В. Схемы включения обмоток показаны на рисунке 1.9.

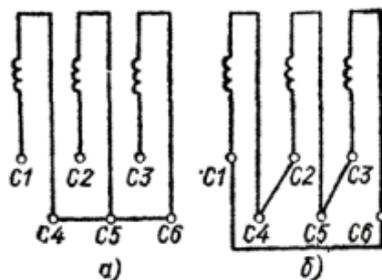


Рис.1.9. Схемы включения односкоростного двигателя на два напряжения 220/380 или 380/660 В: а — звезда; б — треугольник.

Схемы присоединения многоскоростных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Многоскоростные асинхронные электродвигатели отличаются от односкоростных только обмотками статора и пазами ротора. Число частот вращения может быть две, три или четыре. Например, в серии 4А предусмотрены многоскоростные двигатели со следующими соотношениями частот вращения: 3000/1500, 1500/1000, 1500/750, 1000/500, 1000/750, 3000/1500/1000 об/мин. и т.д.

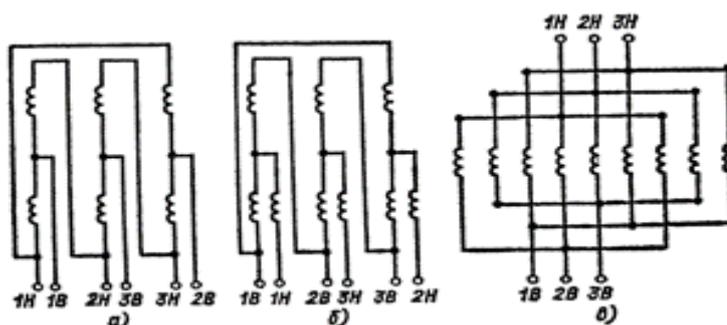


Рис.1.10. Схемы соединений обмоток двухскоростных двигателей.

Схемы соединений обмоток двухскоростных двигателей: Рис. 1.10 а — Д/УУ. Низшая скорость — Д: 1В, 2В, 3В свободны, на 1Н, 2Н, 3Н подается напряжение. Высшая скорость — УУ. 1Н, 2Н, 3Н замкнуты между собой, на 1В, 2В, 3В подается напряжение, б — Д/УУ с дополнительной обмоткой. Низшая скорость — УУ с дополнительной обмоткой, 1В, 2В, 3В замкнуты между собой: на 1Н, 2Н, 3Н подается напряжение. Высшая скорость — Д: Ш, 2Н, 3Н свободны, на 1В, 2В, 3В подается напряжение, в — УУУ. Низшая скорость: 1В, 2В, 3В свободны, на 1Н, 2Н, 3Н подается напряжение. Высшая скорость: 1Н, 2Н, 3Н свободны, на 1В, 2В, 3В подается напряжение.

Обмотка двигателей с соотношением частот вращения 1 : 2 выполняется по схеме Даландера и соединяется в треугольник (Д) при низшей частоте вращения и в двойную звезду (УУ) при высшей частоте вращения. Схема соединения обмоток показана на рис. 1.11.

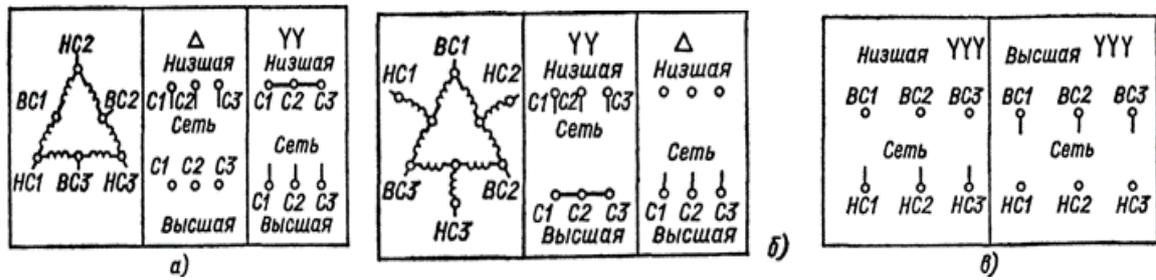


Рис.1.11. Схема присоединений двухскоростных двигателей с соотношением скоростей 2:3 и 3:4: а — Д/УУ без дополнительной обмотки; б — Д/УУ с дополнительной обмоткой; в - УУУ/УУУ.

Обмотки двухскоростных двигателей с соотношением частот вращения 2:3 и 3:4 соединяются либо в тройную звезду, либо в треугольник — двойную звезду без дополнительной обмотки или с дополнительной обмоткой.

Трехскоростные двигатели имеют две независимые обмотки, одна из которых выполняется по схеме Даландера и соединяется по схеме Д/УУ. Число выводных концов трехскоростного двигателя - девять.

1.6. Как включить трехфазный электродвигатель в однофазную сеть без перемотки

Трехфазный асинхронный двигатель может работать от однофазной сети как однофазный с пусковым элементом или как однофазный конденсаторный с постоянно включенной рабочей емкостью (рис.1.12). Применение двигателя в качестве конденсаторного предпочтительнее.

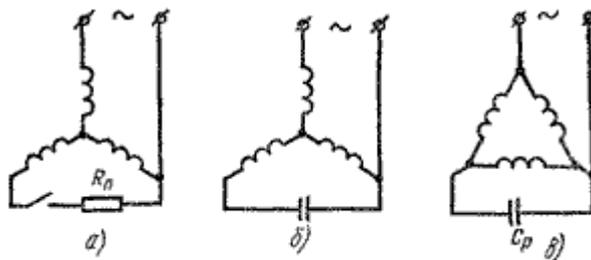


Рис. 1.12. Схемы включения в однофазную сеть трехфазных двигателей с тремя выводами: а - схема с пусковым сопротивлением, б, в - схемы с рабочей емкостью.

Если принять за 100 % мощность трехфазного двигателя, обозначенную на его щитке, то при однофазном включении двигатель может развить 50-70 % этой мощности, а при использовании в качестве конденсаторного - 70-85 % и более. Еще одно преимущество конденсаторного двигателя заключается в том, что отсутствует специальное пусковое устройство, которое необходимо при однофазной схеме для отключения пусковой обмотки после разгона двигателя.

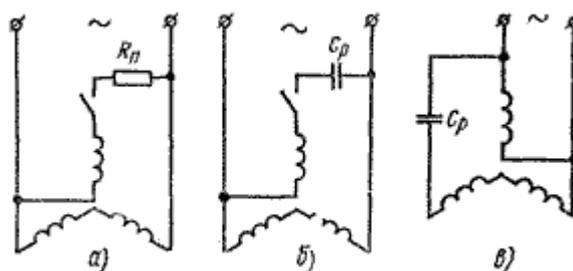


Рис. 1.13. Схемы включения в однофазную сеть трехфазных двигателей с шестью выводами: а - схема с пусковым сопротивлением, б, в - схемы с рабочей емкостью.

Схему включения на рисунках надо выбирать с учетом напряжения сети и номинального напряжения двигателя. Например, при трех выведенных концах обмотки статора (рис.1.13) двигатель может быть использован в сети, напряжение которой равно номинальному напряжению двигателя.

При шести выводных концах обмотки двигатель имеет два номинальных напряжения: 127/220 В, 220/380 В. Если напряжение сети равно большему номинальному напряжению двигателя, т.е. $U_c = 220$ В при номинальном напряжении 127/220 В или $U_c = 380$ В при номинальном напряжении 220/380 В и т.д., то надо пользоваться схемами, приведенными на рис.1.12, а, б. При напряжении сети, равном меньшему номинальному напряжению двигателя, следует применять схему, показанную на рис.1.12, в. В этом случае при однофазном включении значительно уменьшается мощность двигателя, поэтому целесообразно применять схемы с рабочей емкостью.

Рабочая емкость C_P (мкФ) для каждой схемы должна иметь определенное значение и может быть подсчитана, исходя из напряжения однофазной сети U_c и номинального тока I_f в фазе трехфазного двигателя: $C_P = k I_f / U_c$ где k - коэффициент, зависящий от схемы включения. При частоте 50 Гц для схем по рис.1.12, б и рис.1.13, б можно принять $k=2800$; для схемы по рис.1.12, в - $k=4800$; для схемы по рис.1.13, в - $k=1600$.

Напряжение на конденсаторе U_k также зависит от схемы включения и напряжения сети. Для схем по рис.1.12, б, в оно может быть принято равным напряжению сети; для схемы по рис.1.13, б - $U_k = 1,15U_c$; для схемы по рис.1.13, в - $U_k=2U_c$. Номинальное напряжение конденсатора должно быть равно или несколько больше расчетного значения.

Необходимо помнить, что конденсаторы после отключения длительное время сохраняют напряжение на своих зажимах и создают при прикосновении к ним опасность поражения человека электрическим током. Опасность поражения тем выше, чем больше емкость и выше напряжение на включенном в схему конденсаторе. При ремонте или отладке двигателя необходимо после каждого отключения конденсатор разрядить. Для защиты от случайного прикосновения в процессе эксплуатации двигателя конденсаторы должны быть жестко закреплены и ограждены. Пусковое сопротивление R_n определяют опытным путем, используя регулируемое сопротивление (реостат).

Если необходимо получить увеличенный момент при пуске двигателя, то параллельно рабочему конденсатору включают пусковой. Его емкость обычно подсчитывают по формуле $C_{п} = (от 2,5 до 3)C_P$, где C_P - емкость рабочего конденсатора. Пусковой момент при этом получается близким к номинальному моменту трехфазного двигателя.

1.7. Виды электрической защиты асинхронных электродвигателей

Защита асинхронных электродвигателей. Асинхронные двигатели трехфазного переменного тока напряжением до 500 В при мощностях от 0,05 до 350 - 400 кВт являются наиболее распространенным видом электродвигателей.

Надежная и бесперебойная работа электродвигателей обеспечивается в первую очередь надлежащим выбором их по номинальной мощности, режиму работы и форме исполнения. Не меньшее значение имеет также соблюдение необходимых требований и правил при составлении электрической схемы, выборе пускорегулирующей аппаратуры, проводов и кабелей, монтаже и эксплуатации электропривода.

Аварийные режимы работы электродвигателей. Даже для правильно спроектированных и эксплуатируемых электроприводов при их работе всегда остается вероятность появления режимов, аварийных или ненормальных для двигателя и другого электрооборудования.

К аварийным режимам относятся:

1). Многофазные (трех- и двухфазные) и однофазные короткие замыкания в обмотках электродвигателя; многофазные короткие замыкания в выводной коробке электродвигателя и во внешней силовой цепи (в проводах и кабелях, на контактах коммутационных аппаратов, в ящиках сопротивлений);

короткие замыкания фазы на корпус или нулевой провод внутри двигателя или во внешней цепи — в сетях с заземленной нейтралью; короткие замыкания в цепи управления; короткие замыкания между витками обмотки двигателя (витковые замыкания).

Короткие замыкания являются наиболее опасными аварийными режимами в электроустановках. В большинстве случаев они возникают из-за пробоя или перекрытия изоляции. Токи короткого замыкания иногда достигают величин, в десятки и сотни раз превосходящих значения токов нормального режима, а их тепловое воздействие и динамические усилия,

которым подвергаются токоведущие части, могут привести к повреждению всей электроустановки;

2). Тепловые перегрузки электродвигателя из-за прохождения по его обмоткам повышенных токов: при перегрузках рабочего механизма по технологическим причинам, особо тяжелых условиях пуска двигателя под нагрузкой или его застопоривании, длительном понижении напряжения сети, выпадении одной из фаз внешней силовой цепи или обрыве провода в обмотке двигателя, механических повреждениях в двигателе или рабочем механизме, а также тепловые перегрузки при ухудшении условий охлаждения двигателя.

Тепловые перегрузки вызывают в первую очередь ускоренное старение и разрушение изоляции двигателя, что приводит к коротким замыканиям, т. е. к серьезной аварии и преждевременному выходу двигателя из строя.

Виды защиты асинхронных электродвигателей. Для того чтобы защитить электродвигатель от повреждений при нарушении нормальных условий работы, а также своевременно отключить неисправный двигатель от сети, предотвратив или ограничив тем самым развитие аварии, предусматриваются средства защиты.

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

В зависимости от характера возможных повреждений и ненормальных режимов работы различают несколько основных наиболее распространенных видов электрической защиты асинхронных двигателей.

Защита асинхронных электродвигателей от коротких замыканий. Защита от коротких замыканий отключает двигатель при появлении в его силовой (главной) цепи или в цепи управления токов короткого замыкания.

Аппараты, осуществляющие защиту от коротких замыканий (плавкие предохранители, электромагнитные реле, автоматические выключатели с

электромагнитным расцепителем), действуют практически мгновенно, т. е. без выдержки времени.

Защита асинхронных электродвигателей от перегрузки. Защита от перегрузки предохраняет двигатель от недопустимого перегрева, в частности и при сравнительно небольших по величине, но продолжительных тепловых перегрузках. Защита от перегрузки должна применяться только для электродвигателей тех рабочих механизмов, у которых возможны ненормальные увеличения нагрузки при нарушениях рабочего процесса.

Аппараты защиты от перегрузки (температурные и тепловые реле, электромагнитные реле, автоматические выключатели с тепловым расцепителем или с часовым механизмом) при возникновении перегрузки отключают двигатель с определенной выдержкой времени, тем большей, чем меньше перегрузка, а в ряде случаев, при значительных перегрузках, — и мгновенно.

Защита асинхронных электродвигателей от понижения или исчезновения напряжения. Защита от понижения или исчезновения напряжения (нулевая защита) выполняется с помощью одного или нескольких электромагнитных аппаратов, действует на отключение двигателя при перерыве питания или снижении напряжения сети ниже установленного значения и предохраняет двигатель от самопроизвольного включения после ликвидации перерыва питания или восстановления нормального напряжения сети.

Специальная защита асинхронных электродвигателей от работы на двух фазах предохраняет двигатель от перегрева, а также от «опрокидывания», т. е. остановки под током вследствие снижения момента, развиваемого двигателем, при обрыве в одной из фаз главной цепи. Защита действует на отключение двигателя.

В качестве аппаратов защиты применяются как тепловые, так и электромагнитные реле. В последнем случае защита может не иметь выдержки времени.

Другие виды электрической защиты асинхронных электродвигателей. Существуют и некоторые другие, реже встречающиеся виды защиты (от повышения напряжения, однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью, увеличения скорости вращения привода и т. п.).

Электрические аппараты, применяемые для защиты электродвигателей. Аппараты электрической защиты могут осуществлять один или сразу несколько видов защит. Так, некоторые автоматические выключатели обеспечивают защиту от коротких замыканий и от перегрузки. Одни из аппаратов защиты, например плавкие предохранители, являются аппаратами однократного действия и требуют замены или перезарядки после каждого срабатывания, другие, такие как электромагнитные и тепловые реле, — аппараты многократного действия. Последние различаются по способу возврата в состояние готовности на аппараты с самовозвратом и с ручным возвратом.

Выбор вида электрической защиты асинхронных электродвигателей. Выбор того или иного вида защиты или нескольких одновременно производится в каждом конкретном случае с учетом степени ответственности привода, его мощности, условий работы и порядка обслуживания (наличия или отсутствия постоянного обслуживающего персонала).

Большую пользу может принести анализ данных по аварийности электрооборудования в цехе, на строительной площадке, в мастерской и т. п., выявление наиболее часто повторяющихся нарушений нормальной работы двигателей и технологического оборудования. Всегда следует стремиться к тому, чтобы защита была по возможности простой и надежной в эксплуатации.

Для каждого двигателя независимо от его мощности и напряжения должна быть предусмотрена защита от коротких замыканий. Здесь нужно иметь в виду следующие обстоятельства. С одной стороны, защиту нужно отстроить от пусковых и тормозных токов двигателя, которые могут в 5—10

раз превышать его номинальный ток. С другой стороны, в ряде случаев коротких замыканий, например при витковых замыканиях, замыканиях между фазами вблизи от нулевой точки статорной обмотки, замыканиях на корпус внутри двигателя и т. п., защита должна срабатывать при токах, меньших пускового тока.

Одновременное выполнение этих противоречивых требований с помощью простых и дешевых средств защиты представляет большие трудности. Поэтому система защиты низковольтных асинхронных двигателей строится при сознательном допущении, что при некоторых отмеченных выше повреждениях в двигателе последний отключается защитой не сразу, а лишь в процессе развития этих повреждений, после того как значительно возрастет ток, потребляемый двигателем из сети.

Одно из важнейших требований к устройствам защиты двигателей - четкое действие ее при аварийных и ненормальных режимах работы двигателей и вместе с тем недопустимость ложных срабатываний. Поэтому аппараты защиты должны быть правильно выбраны и тщательно отрегулированы.

ГЛАВА 2. УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

2.1. Основные серии двигателей, выпускаемых промышленностью, и их характеристики.

Электродвигатели выпускаются сериями, а для массового применения – едиными сериями. Для единых серий характерен высокий уровень унификации деталей и узлов, максимальная взаимозаменяемость. Для этого используют одни и те же штампы. Например, для того, чтобы пластины роторов и статоров использовались в машинах разной мощности, наращивание мощности достигается изменением длины пакетов пластин. Выпускаются специальные серии – крановые, металлургические, судовые, тяговые и т.д.

В основу разделения на тип и размер положен параметр – высота оси вращения h .

$h=50,355$ мм. Каждая h выпускается двух типов размеров с разной длиной пакета S и M, L и M, S и L.

Синхронные частоты вращения $n_0 = 3000, 1500, 1000, 750, 500$ об/мин.

Изготавливаются в двух исполнениях:

1. Закрытое обдуваемое,

2. Защищенное с внутренней самовентиляцией IP23. $h = 50,132$ мм изоляция класса В, $h = 160,355$ мм изоляция класс F.

Двигатели серии 4А. Двигатели серии 4А предназначены для широкого применения, в нефтяной промышленности они применяются на станках качалках. Двигатели серии 4А имеют ряд модификаций:

1. 4АС – с повышенным скольжением.
2. 4АР – с повышенным пусковым моментом, двойной беличьей клеткой. Применяются для привода ленточных транспортеров.
3. 4АК – с фазным ротором.
4. 4АВ – встраиваемые.
5. Многоскоростные на 2,3 и 4 частоты вращения.
6. На частоту 60 Гц (экспортные).
7. Малошумные (имеют большой скос пазов).
8. Со встроенной температурной защитой (в лобовой части терморезистор).
9. Со встроенным ЭМТ.

Условия применения серии следующие:

1. Окружающая среда не взрывоопасна.
2. Нет токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров.

Двигатели серии АИР. Двигатели серии АИР разрабатывались в рамках программы «Интерэлектро». Двигатели серии АИР выпускаются с высотой оси вращения $h = 45,355$ мм, $P_n = 0,025,315$ кВт, $U_n = 220/380$ В или $380/660$ В.

Исполнение: Закрытое обдуваемое для всех h или защищенное с внутренней вентиляцией при $h = 160,355$ мм (IP23).

Отличия двигателей серии АИР от серии 4А:

1. Применяются высокопрочные алюминиевые сплавы, пластмассы и более современная система вентиляции.
2. Применяются подшипники с улучшенной характеристикой

виброустойчивости.

3. По сравнению с двигателями серии 4А снижена температура на 10 – 12 оС, что обеспечило в тех же габаритах увеличение мощности электродвигателя.

Асинхронные электродвигатели серии АИР. Технические характеристики асинхронных электродвигателей серии АИР. Высоковольтные асинхронные двигатели, с короткозамкнутым ротором. Двигатели серии АН2 применяются для привода насосов и вентиляторов. Выполняются мощностью P_n от 500 до 2000 кВт, $n_0 = 1000, 750, 600, 500, 375$ об/мин, $U_n = 6000$ В. Изготавливаются только с горизонтальным положением вала на двух щитовых подшипниках качения. Исполнение защищенное (IP23). Корпус статора и подшипниковые щиты сварные из листовой стали. Класс изоляции В. Имеют двойную беличью клетку: пусковую и рабочую. Пусковая (верхняя) – из латуни, Рабочая (нижняя) – из медных стержней.

Асинхронный двигатель серии 4АН32. Это двигатель на 6000 В. Имеет закрытое исполнение с принудительной вентиляцией от постороннего вентилятора. $P_n = 500 – 2000$ кВт. АД: серии 4АТД. $P_n = 1000 – 5000$ кВт. $U_n = 6000$ В / 10000 В. Тепловое состояние этих двигателей контролируется термосопротивлениями, вмонтированными в лобовые части. При перегреве двигателя дается сигнал на его отключение.

Машины постоянного тока серии 2П. Это машины общепромышленного применения. В основу типизации положена высота оси вращения $h = 90 – 315$ мм, $n_n = 750 – 4000$ об/мин. Предусмотрено 11 габаритов. Каждый габарит может иметь две длины: среднюю (М) и длинную (L). Существуют четыре исполнения по способу защиты и охлаждения:

1. Защищенное исполнение с самовентиляцией: 2ПИ.
2. Защищенное исполнение с независимой вентиляцией от постороннего

вентилятора: 2ПФ.

3. Закрытое исполнение с естественным охлаждением: 2ПБ.

4. Закрытое исполнение с обдувом от постороннего вентилятора: 2ПО.

Двигатели имеют независимое возбуждение: 110 или 220 В. Напряжение якоря: $U_{я} = 110, 220, 340, 440$ В.

Генераторы выпускаются только защищенного исполнения. Они могут иметь независимое, параллельное или смешанное возбуждение. Независимое возбуждение может быть 110 или 220 В. $U_{я}$ генератора = 115, 230, 460 В. Генератор обеспечивает регулирование напряжения якоря:

1. от 0 до U_n – при независимом возбуждении.
2. от $0,5 U_n$ до U_n – при параллельном возбуждении.
3. от $0,8 U_n$ до U_n – при смешанном возбуждении.

При $h = 90 - 200$ мм класс изоляции В, а выше класс изоляции F.

Крановая и металлургическая серия асинхронных двигателей. Марки: 4МТФ (с фазным ротором), 4 МТКФ (с короткозамкнутым ротором).

Это двигатели повторно-кратковременного режима работы. Применяются на кранах с тяжелыми условиями работы. Основной режим работы ПВ 40%.

Отличия от серии 4А:

1. Короткозамкнутый ротор выполнен из материала с повышенным активным сопротивлением (АМГ-сплав).
2. Имеет повышенный пусковой момент $M_{п}/M_n = 3,3,5$.
3. Имеет повышенную перегрузочную способность $M_{кр}/M_n = 3,3,3,5$
4. Имеет повышенную механическую прочность.
5. Двигатели рассчитаны на частые пуски и реверсы, в том числе и на торможение противовключением.
6. Большой воздушный зазор по сравнению с двигателями других серий.

7. Двигатели обладают худшими энергетическими показателями $\cos \varphi$ и η по сравнению с двигателями общепромышленной серии.

8. Двигатели имеют большую длину по сравнению с другими двигателями.

Двигатели имеют как правило закрытое обдуваемое исполнение. Станина и подшипниковые щиты чугунные. Для кранов металлургического производства используется модификация этих двигателей МТН, МТКН. Их особенность заключается в том, что они могут быть выполнены на не стандартное напряжение 500 В. Для кранов с регулируемым электроприводом от ПЧ выпускаются двигатели серии: МАП 521 – 50 кВт, МАП 422 – 10 кВт.

Крановая серия двигателей постоянного тока, серия Д. Двигатели серии Д могут иметь последовательное, смешанное, параллельное возбуждение. Особенности этих двигателей:

1. Допускается регулирование от статических ТП без применения сглаживающих реакторов.
2. Двигатели имеют шихтованные сердечники. Это выполняется с целью улучшения коммутации.
3. Двигатели предназначены для работы при высоких частотах включения (до 1000 в час).
4. Двигатели выпускаются в двух вариантах: - тихоходный вариант, при частоте пусков до 1000 в час. - быстроходный вариант до 150 пусков в час.
5. Для всех обмоток применена изоляция класса Н.
6. Основным номинальным режимом является кратковременный (60 мин.). Равноправным режимом является ПВ 40%.
7. Параллельная обмотка рассчитана на ПВ 100% и состоит из двух групп, которые могут быть включены на 140 В (параллельно) и 220 В (последовательно).

8. При $U_{я} = 440\text{В}$ в цепь обмотки возбуждения включается резистор.
9. Двигатели допускают повышение частоты вращения за счет повышения $U_{я}$.
10. Допускается регулирование частоты вращения за счет ослабления магнитного потока, однако максимальное значение n ограничивается.
11. Все двигатели имеют по четыре основных и четыре добавочных полюса

2.2. Режимы работы электроприводов.

Возможные режимы работы электроприводов отличаются огромным многообразием по характеру и длительности циклов, значениям нагрузок, условиям охлаждения, соотношения потерь в период пуска и установившегося движения и т.п., поэтому изготовление электродвигателей для каждого из возможных режимов работы электропривода не имеет практического смысла.

На основании анализа реальных режимов выделен специальный класс режимов - номинальные режимы, для которых проектируются и изготавливаются серийные двигатели.

Данные, содержащиеся в паспорте электрической машины, относятся к определенному номинальному режиму и называются номинальными данными электрической машины. Заводы-изготовители гарантируют при работе электродвигателя в номинальном режиме при номинальной нагрузке полное использование его в тепловом отношении. Действующим ГОСТ предусматриваются 8 номинальных режимов, которые в соответствии с международной классификацией имеют условные обозначения S1 - S8.

Продолжительный режим работы S1 - работа машины при неизменной нагрузке достаточно длительное время для достижения неизменной температуры всех ее частей.

Продолжительный режим работы электродвигателя S1. Кратковременный режим работы S2 — работа машины при неизменной нагрузке в течение времени, недостаточного для достижения всеми частями машины установившейся температуры, после чего следует остановка машины на время, достаточное для охлаждения машины до температуры, не более чем на 2°С превышающей температуру окружающей среды. Для кратковременного режима работы нормируется продолжительность рабочего периода 15, 30, 60, 90 мин.

Повторно-кратковременный режим работы S3- последовательность идентичных циклов работы, каждый из которых включает время работы при неизменной нагрузке, за которое машина не нагревается до установившейся температуры, и время стоянки, за которое машина не охлаждается до температуры окружающей среды.

В этом режиме цикл работы таков, что пусковой ток не оказывает заметного влияния на превышение температуры. Продолжительность цикла недостаточна для достижения теплового равновесия и не превышает 10 мин. Режим характеризуется величиной продолжительности включения в процентах:

$$ПВ = (t_p / (t_p + t_n)) \times 100\%$$

Нормируемые значения продолжительности включения: 15, 25, 40, 60 %, или относительные значения продолжительности рабочего периода: 0,15; 0,25; 0,40; 0,60. Для режима S3 номинальные данные соответствуют только определенному значению ПВ и относятся к рабочему периоду.

Режимы S1 - S3 являются в настоящее время основными, номинальные данные на которые включаются отечественными электромашиностроительными заводами в каталоги и паспорт машины. Номинальные режимы S4 - S8 введены для того, чтобы впоследствии упростить задачу эквивалентирования произвольного режима номинальным, расширив номенклатуру последних.

2.3. Пуск двигателя с фазным ротором

Пусковые свойства асинхронного двигателя зависят от особенностей его конструкции, в частности от устройства ротора.

Пуск асинхронного двигателя сопровождается переходным процессом машины, связанным с переходом ротора из состояния покоя в состояние равномерного вращения, при котором момент двигателя уравнивает момент сил сопротивления на валу машины.

При пуске асинхронного двигателя имеет место повышенное потребление электрической энергии из питающей сети, затрачиваемое не только на преодоление приложенного к валу тормозного момента и покрытие потерь в самой асинхронном двигателе, но и на сообщение движущимся звеньям производственного агрегата определенной кинетической энергии. Поэтому при пуске асинхронный двигатель должен развить повышенный вращающий момент.

Для асинхронного двигателя с фазным ротором начальный пусковой момент, соответствующий скольжению $s_{\Pi} = 1$, зависит от активных сопротивлений регулируемых резисторов, введенных в цепь ротора.

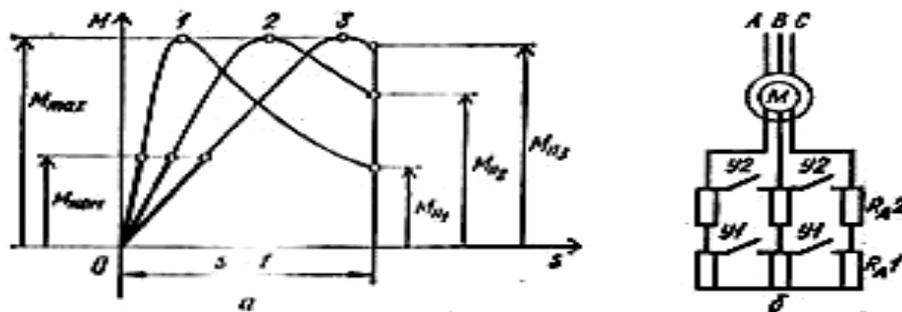


Рис. 2.1. Пуск трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором: а- графики зависимости вращающего момента двигателя с фазным ротором от скольжения при различных активных сопротивлениях резисторов в цепи ротора, б- схема включения резисторов и замыкающих контактов ускорения в цепь ротора.

Так, при замкнутых контактах ускорения $У1$, $У2$, т. е. при пуске асинхронного двигателя с замкнутыми накоротко контактными кольцами,

начальный пусковой момент $M_{п1} = (0,5 - 1,0) M_{ном}$, а начальный пусковой ток $I_{п} = (4,5 - 7) I_{ном}$ и более.

Малый начальный пусковой момент асинхронного электродвигателя с фазным ротором может оказаться недостаточным для приведения в действие производственного агрегата и последующего его ускорения, а значительный пусковой ток вызовет повышенный нагрев обмоток двигателя, что ограничивает частоту его включений, а в маломощных сетях приводит к нежелательному для работы других приемников временному понижению напряжения. Эти обстоятельства могут явиться причиной, исключающей использование асинхронных двигателей с фазным ротором с большим пусковым током для привода рабочих механизмов.

Введение в цепь ротора двигателя регулируемых резисторов, называемых пусковыми, не только снижает начальный пусковой ток, но одновременно увеличивает начальный пусковой момент, который может достигнуть максимального момента M_{max} (рис.2.1, а, кривая 3), если критическое скольжение двигателя с фазным ротором

$$s_{кр} = (R_2' + R_{д'}) / (X_1 + X_2') = 1,$$

где $R_{д'}$ — активное сопротивление резистора, находящегося в фазе обмотки ротора двигателя, приведенное к фазе обмотки статора. Дальнейшее увеличение активного сопротивления пускового резистора нецелесообразно, так как оно приводит к ослаблению начального пускового момента и выходу точки максимального момента в область скольжения $s > 1$, что исключает возможность разгона ротора.

Необходимое активное сопротивление резисторов для пуска двигателя с фазным ротором определяют, исходя из требований пуска, который может быть легким, когда $M_{п} = (0,1 - 0,4) M_{ном}$, нормальным, если $M_{п} = (0,5 - 0,75) M_{ном}$, и тяжелым при $M_{п} \geq M_{ном}$.

Для поддержания достаточно большого вращающего момента двигателем с фазным ротором в процессе разгона производственного агрегата с целью сокращения длительности переходного процесса и снижения нагрева

двигателя необходимо постепенно уменьшать активное сопротивление пусковых резисторов. Допустимое изменение момента в процессе разгона $M(t)$ определяется электрическими и механическими условиями, лимитирующими пиковый предел момента $M > 0,85M_{max}$, момент переключения $M_2 \gg M_c$ (рис.2.2), а также ускорение.

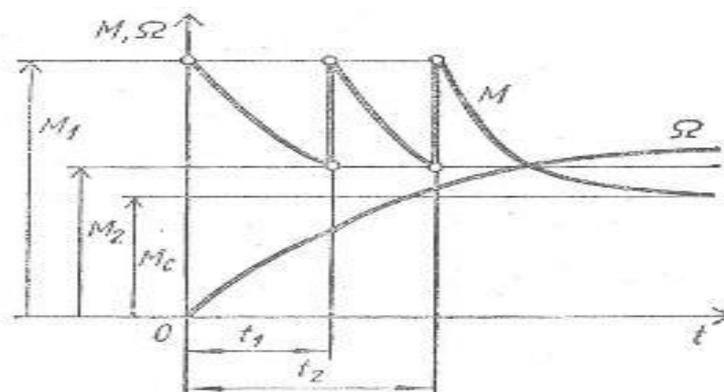


Рис. 2.2. Пусковые характеристики трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором

Переключение пусковых резисторов обеспечено поочередным включением контакторов ускорения Y_1, Y_2 соответственно в моменты времени t_1, t_2 отсчитываемые с момента пуска двигателя, когда в процессе разгона вращающийся момент M становится равным моменту переключения M_2 . Благодаря этому на протяжении всего пуска все пиковые моменты получаются одинаковыми и все моменты переключения равны между собой.

Поскольку вращающийся момент и ток асинхронного двигателя с фазным ротором взаимно связаны, то можно при разгоне ротора установить пиковый предел тока $I_1 = (1,5 - 2,5) I_{ном}$ и ток переключения I_2 , который должен обеспечить момент переключения $M_2 > M_c$.

Отключение асинхронных двигателей с фазным ротором от питающей сети всегда выполняют при цепи ротора, замкнутой накоротко, во избежание появления перенапряжений в фазах обмотки статора, которые могут превысить номинальное напряжение этих фаз в 3 - 4 раза, если цепь ротора в момент отключения двигателя окажется разомкнутой.

Первый пуск электродвигателя. Первый пробный пуск двигателя производится после окончания все его испытаний и при их положительных

результатах. Пуск двигателя производится наладчиками в присутствии представителя электромонтажной организации. При этом пускаются несколько электродвигателей, входящих в одну электроустановку.

Перед пуском двигатель должен быть подготовлен и пуск проведен с осторожностью. Необходимо проверить комплектность двигателя, состояние передачи от двигателя к механизму, наличие ее кожуха и кожуха вентилятора двигателя, наличие смазки в подшипниках, устройство заземления. Все виды защит двигателя должны быть испытаны и поставлены на минимальные уставки. Перед пробным пуском двигателя нужно провернуть его и проверить свободный ход. На случай отказа схемы управления двигателем при его отключении необходимо предусмотреть аварийное снятие напряжения ближайшим рубильником или автоматам.

При двигателе большой мощности или протяженном механизме необходимо расставить наблюдающих за работой двигателя и механизма. Сначала двигатель пускается на 1 - 2с. При этом проверяется направление вращения, работа механической части и поведение механизма.

При нормальном первом включении двигатель включается до разгона на полные обороты. При этом следят за током нагрузки по амперметру и по поведению двигателя, за состоянием защиты, работой щеток при их наличии, по звуку определяют, нет ли задевания вращающихся частей за неподвижные, нет ли вибрации, нагрева подшипников.

При всех замеченных неполадках двигатель немедленно отключается без предупреждения.

При удовлетворительных результатах пробных пусков двигатель включается на более продолжительное время на обкатку. При этом проверяют нагрев подшипников, обмоток, стали магнитопровода.

При пробных пусках двигатель-генераторов нужно разомкнуть цепь обмоток возбуждения генератора

2.4. Принцип постоянства отношения напряжение/частота.

Принцип постоянства отношения напряжение/частота наиболее широко распространен в современных регулируемых асинхронных приводах [1,2]. Он может использоваться в приложениях, которые не требуют высоких динамических характеристик, а необходимо только эффективно варьировать частотой вращения в полном диапазоне. Это позволяет использовать синусоидальную установившуюся модель асинхронного электродвигателя, в которой величина магнитного потока статора пропорциональна отношению амплитуды и частоты напряжения статорной обмотки. Если данное отношение поддерживать на постоянном уровне, то постоянство будет сохранять и магнитный поток статора и, таким образом, вращающий момент будет зависеть только от частоты скольжения.

Более точно, исходя из обычной модели асинхронного электродвигателя:

$$\begin{aligned} \frac{d\phi_s}{dt} + R_s I_s &= V_s; \quad \frac{d\phi_r}{dt} - j\omega_m \phi_r + R_r I_r = 0; \\ \phi_s &= L_s I_s + L_m I_r; \quad \phi_r = L_r I_r + L_m I_s; \\ C_{em} &= \frac{3p}{2} L_m \operatorname{Im}(I_s I_r^*); \quad \Omega_m = \frac{\omega_m}{p} \end{aligned}$$

где V_s , ϕ_s , ϕ_r , I_s , I_r - напряжение статора, магнитные потоки статора и ротора, токи статора и ротора, соответственно, а R_s , R_r , L_s , L_r , L_m , ω_m - общее сопротивление статора, сопротивление ротора, индуктивность статора, индуктивность ротора, общая индуктивность рассеяния и угловая частота вращения, соответственно. При питании электродвигателя 3-фазным синусоидальным напряжением с частотой ω_s , $V_s = V_{sm} e^{j\omega_s t}$, установившиеся токи в роторе и статоре будут также иметь синусоидальную форму с частотой ω_s : $I_s = I_{sm} e^{j(\omega_s t + \phi_s)}$ и $I_r = I_{rm} e^{j(\omega_s t + \phi_r)}$. Преобразуем предыдущие

выражения к виду $I_s = \frac{R_r + jL_r \omega_{slp}}{\Delta} V_s$, $I_r = -\frac{jL_m \omega_{slp}}{\Delta} V_s$ и $\phi_r = \frac{L_m R_r}{\Delta} V_s$, где $\omega_{slp} = \omega_s - \omega_m$, а $\Delta = (R_s + jL_s \omega_s)(R_r + jL_r \omega_{slp}) + L_m^2 \omega_{slp} \omega_s$. Однако, амплитудное

значение ϕ_{rm} может оставаться постоянным при сохранении постоянства

отношения $\frac{V_{sm}}{|\Delta|}$. На высоких скоростях $\Delta \approx j R_r L_s \omega_s$, а амплитудное значение

магнитного потока ротора остается постоянным при постоянстве отношения

$$\frac{V_{sm}}{\omega_s} : \phi_{rm} \approx \frac{L_m R_r}{R_r L_s \omega_s} V_{sm} = \frac{L_m}{L_s} \frac{V_{sm}}{\omega_s} .$$

Тогда, вращающий момент электродвигателя пропорционален частоте

скольжения: $C_{em} = \frac{3p \phi_{rm}^2}{2 R_r} \omega_{slip}$. Данные выражения показывают, что желаемые

значения вращающего момента C_{em} и частоты вращения электродвигателя

$$\omega_m \text{ могут быть достигнуты, если } \omega_s = \omega_m + \frac{2 C_{em} R_r}{3p \phi_{rm}^2} .$$

На низких скоростях $\Delta \approx R_s R_r$, а $\phi_r \approx \frac{L_m}{R_s} V_s$.

Когда частота статора снижается меньше определенной пороговой частоты, амплитуду напряжения необходимо поддерживать на определенном уровне для поддержания постоянства магнитного потока ротора. В противоположность этому, когда частота становится выше номинального значения, амплитуда напряжения останется на номинальном уровне ввиду насыщения ключей инвертора. В этом случае поток ротора будет непостоянным и вращающий момент снизится.

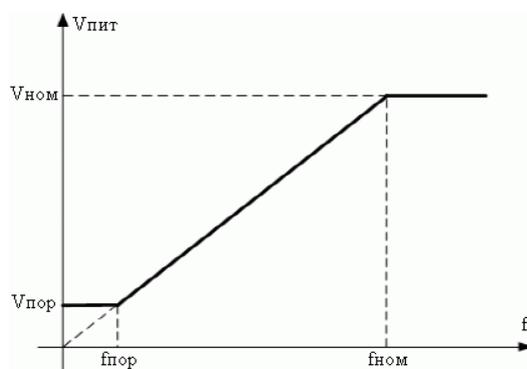


Рис. 2.3. Зависимость амплитуды напряжения статора от частоты статора, следуемая из принципа V/f .

Грубо говоря, скалярный принцип управления "V/f" заключается в подаче на обмотки электродвигателя 3-фазного синусоидального напряжения, амплитуда которого пропорциональна частоте, за исключением частот ниже порогового значения и выше номинального, как показано на рисунке 2.3. На практике, наклон, который определяет отношение амплитуды напряжения к частоте напряжения, определяется по номинальным значениям напряжения питания и частоты питающей сети, а пороговая частота выбирается по проценту (например, 5%) от номинальной частоты.

Данный принцип может использоваться для построения контуров автоматического управления скоростью (рисунок 1.2), в которых отклонение желаемой скорости от фактического измеренного значения скорости поступает в ПИ-регулятор, где вычисляется значение частоты напряжения статора. В целях снижения сложности регулятора в качестве исходных данных для правила V/f и векторного ШИМ-алгоритма используется абсолютное значение частоты статорного напряжения.

Необходимо заметить, что принцип управления, рассмотренный здесь, может использоваться только в приложениях, где поддерживается постоянный уровень скорости при любом допустимом моменте сопротивления. В приложениях, где необходимо поддерживать постоянство момента сопротивления при любых значениях частоты вращения, требуется измерение статорных токов и более сложные принципы управления.

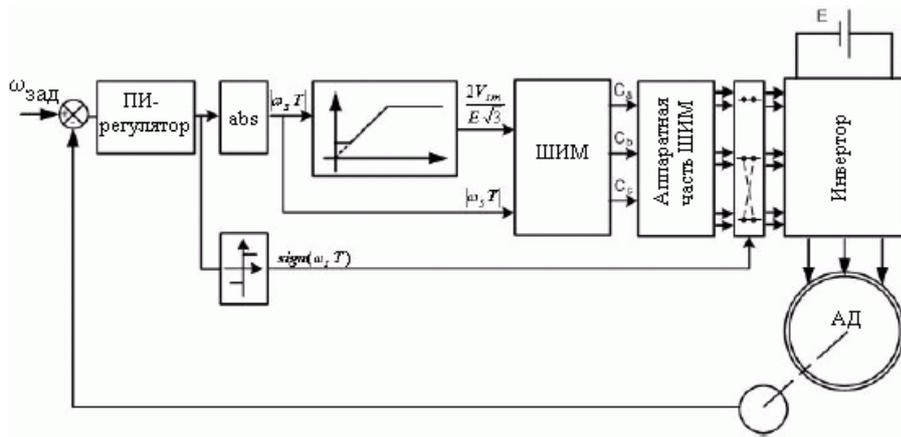


Рис.2.4. Блок-схема системы автоматического управления скоростью по принципу V/f .

2.5. Принцип обычной широтно-импульсной модуляции.

Одним из способов решения задачи формирования с помощью инвертора трехфазной синусоидальной системы напряжений со сдвигом по фазе 120 градусов на обмотках статора является использование таблицы синусов. В этом случае частота статора s определяет три дискретных времени интеграторов, которые вычисляют мгновенные значения фаз для каждого статорного напряжения:

$$\theta_1[k] = \theta_1[k-1] + \omega_s[k]T_s$$

$$\theta_2[k] = \theta_2[k-1] + \omega_s[k]T_s$$

$$\theta_3[k] = \theta_3[k-1] + \omega_s[k]T_s$$

где $\theta_1[0] = 0$, $\theta_2[0] = -\frac{2\pi}{3}$, $\theta_3[0] = -\frac{4\pi}{3}$, а T_s - период дискретизации для алгоритма управления.

Достичь улучшения можно путем добавления к чистой синусоиде в таблице синусов третьей гармоники, т.к. она не оказывает влияние на поведение электродвигателя и позволяет генерировать сигнал, первая гармоника которого имеет амплитуду на 15.47% выше по сравнению максимумом сигнала (см. рис.2.5).

С учетом данного улучшения имеется возможность генерировать более высокое переменное напряжение при питании от той же самой шины постоянного напряжения. Таким образом, имеется возможность увеличения частоты вращения электродвигателя при сохранении постоянства отношения V/F .

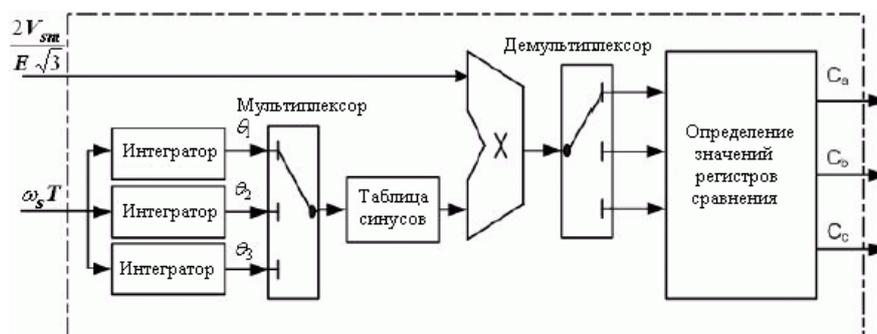


Рис.2.5.

Использование несинусоидальной формы напряжения для увеличения отношения между амплитудой первой гармоники максимальным значением.

Данные значения сравнивают с выходом реверсивного счетчика (используется в качестве генератора треугольных импульсов). Когда выходное значение реверсивного счетчика перешагивает через данные значения, переключается соответствующий выход компаратора. Как результат, в каждом ШИМ-канале генерируются импульсы, коэффициент заполнения которых пропорционален соответствующему значению напряжения статора. Поскольку данный реверсивный счетчик с тремя компараторами достаточно сложен для программной реализации, то такое устройство должно присутствовать в микроконтроллере в качестве встроенного аппаратного блока. Это и послужило причиной выбора микроконтроллера AT90PWM3, в состав которого входят три контроллера силового каскада (PSC). Если рассмотреть в качестве примера первую фазу, коэффициент заполнения импульсов, задаваемый содержимым регистра сравнения соответствующего PSC, будет пропорционален

$$\frac{T_s}{2} \left(1 + \alpha \frac{V_a[k]}{V_{s \max}} \right),$$

где $\alpha = 1 - \frac{2\delta}{T_s}$, $V_s \max$ и T_s - наибольшее значение амплитуды напряжения статора и длительность паузы неперекрывтия силовых ключей, соответственно. Результирующая блок-схема показана на рисунке 2.6.

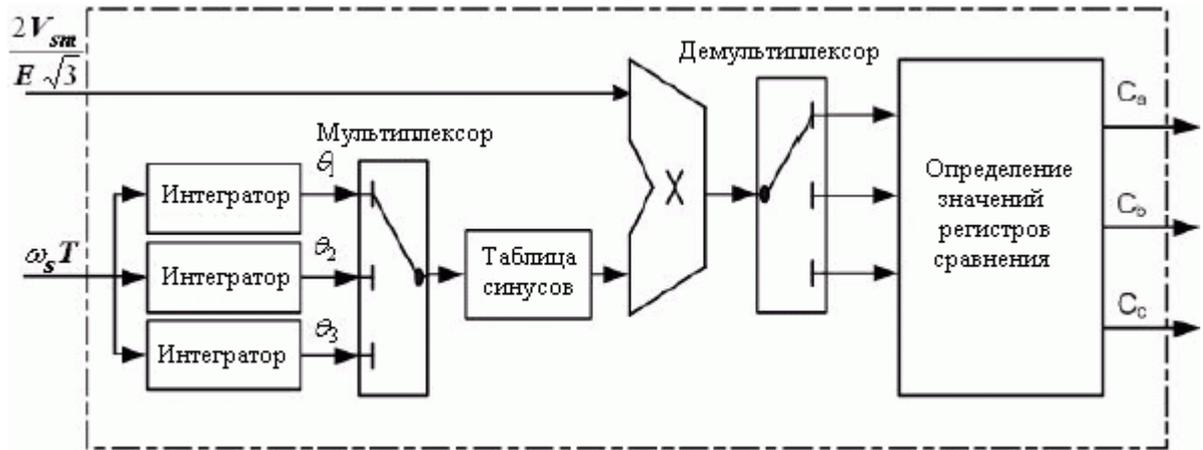


Рис.2.6. Блок-схема обычного ШИМ-управления

ГЛАВА 3. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ЧАСТОТОЙ ДЛЯ ТРЁХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.

3.1. Принцип частотного регулирования.

В электроприводах технологических установок получили широкое применение асинхронные трёхфазные двигатели. Если необходимо изменять частоту вращения ротора такого двигателя, его следует питать трёхфазным током с регулируемой частотой и эффективным значением напряжения. В данном дипломном проекте рассматривается преобразователь, формирующий регулируемое по частоте и амплитуде трёхфазное напряжение из однофазного, поступающего от сети 220 В, 50 Гц. Задачи, решаемые модулем управления преобразователя, разделены между двумя микроконтроллерами серии PIC16, а силовой модуль построен на микросхеме IR2131, специально предназначенной для использования в

трёхфазных инверторах, и мощных биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT — Insulated Gate Bipolar Transistor).

Варианты подобных конструкций уже были описаны на страницах журнала "Радио" [1;2]. Но они обладают сравнительно небольшим интервалом регулирования частоты вращения, а в конструкции [2] для регулирования напряжения применён автотрансформатор. В предлагаемом преобразователе использован алгоритм формирования трёхфазного напряжения по базовым векторам [3] с регулированием выходного напряжения путем широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Трёхфазная система обмоток статора двигателя создаёт магнитное поле, вращающееся с угловой частотой

$$\omega = 2\pi f / p,$$

где f — частота питающего напряжения, Гц; p — число пар полюсов статора.

Поле пересекает витки обмоток ротора, наводя в них ЭДС, под воздействием которой, в них протекает ток. Взаимодействуя с полем статора, он создаёт вращающий момент [3]. При постоянной частоте вращения поля двигатель обладает механической характеристикой, изображённой на рис. 1, где ω — угловая скорость вращения ротора; M — момент вращения на валу. Буквами обозначены точки: А — режим холостого хода, В — номинальный режим, С — режим максимально возможного (критического) момента, D — начало пускового режима. Участок А—Е — рекуперативное торможение.

Чтобы эффективно регулировать частоту вращения ротора, нужно изменять частоту вращения поля статора. Чтобы при этом сохранить момент, одновременно с частотой необходимо изменять и амплитуду приложенного к статорным обмоткам напряжения. Здесь частота — независимая переменная, а напряжение при данной частоте устанавливают исходя из того, как должна изменяться механическая характеристика двигателя в зависимости от частоты. Такой способ регулирования скорости

электропривода с асинхронным двигателем называется частотным, а зависимость напряжения от частоты — законом частотного регулирования (рис.3.1).

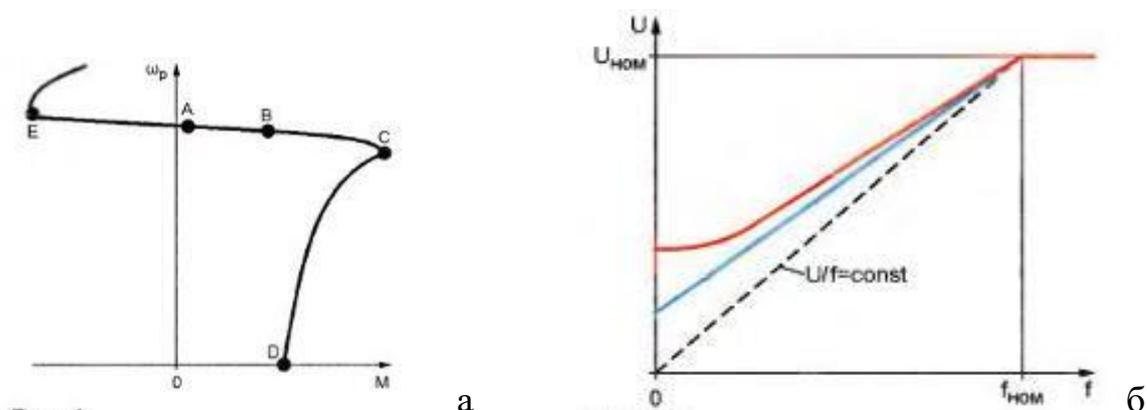


Рис.3.1. Частотное регулирования скорости электропривода с асинхронным двигателем – а, зависимость напряжения от частоты - б (законом частотного регулирования).

В частности, чтобы обеспечить независимости момента от частоты, необходимо выдерживать условие $U/f = \text{const}$. Но справедливо оно лишь при пренебрежении активным сопротивлением обмотки статора и приемлемо только для двигателей большой мощности. У двигателей малой или средней мощности пренебрежение активным сопротивлением статорной обмотки приводит к тому, что при изменении частоты постоянство момента не выдерживается.

Для поддержания момента близким к номинальному во всём интервале изменения частоты вращения применяют ИR-компенсацию — завышают напряжение относительно закона $U/f = \text{const}$, как показано на рис.3.1.б синей линией. Компенсация носит такое название, потому что добавка напряжения пропорциональна активному сопротивлению статорной обмотки R и протекающему по ней току I .

Корректируя зависимости напряжения от частоты, можно обеспечить желаемую зависимость развиваемого двигателем момента от частоты питающего напряжения. Повышение жёсткости механической характеристики в области малых значений частоты может быть достигнуто

увеличением напряжения относительно линейного закона (красная линия на рис.3.1.б). При частоте выше номинальной дальнейшее увеличение напряжения прекращают. В этой области его регулирование целесообразно лишь в тех случаях, когда момент нагрузки уменьшается с ростом частоты вращения.

Принцип работы преобразователя. Блок-схема преобразователя однофазного напряжения в трёхфазное управляемой частоты изображена на рис.3.2.

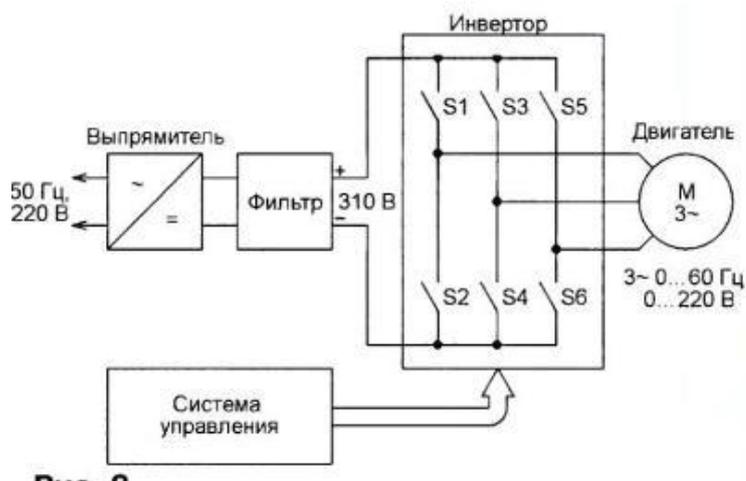
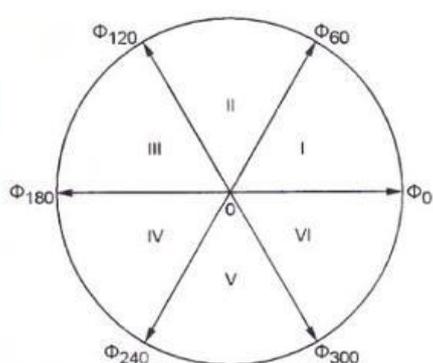


Рис.3.2. Блок-схема преобразователя однофазного напряжения в трёхфазное управляемой частоты.

Он состоит из неуправляемого выпрямителя сетевого напряжения, сглаживающего фильтра, инвертора постоянного напряжения в трёхфазное и системы управления. Фильтр на выходе выпрямителя не только сглаживает пульсации, но и обеспечивает возврат реактивной энергии двигателя во время переходных процессов. Инвертор чаще всего выполняют по схеме трёхфазного моста, состоящего из шести электронных ключей S1—S6. Регулирование частоты и амплитуды поступающего на двигатель трёхфазного напряжения осуществляется путём изменения частоты и скважности управляющих ключами импульсов, генерируемых системой управления.

Термин "векторное управление" обусловлен тем, что при непосредственном управлении моментом необходимо изменять помимо

амплитуды и фазу статорного тока, т. е. вектор магнитного потока в двигателе. Этот метод, использованный в рассматриваемом преобразователе, и основан на том, что вектор магнитного потока в статоре ротора в течение одного оборота последовательно занимает показанные на рис.3.3 положения Φ_0 — Φ_{300} , что достигается управлением ключами, коммутирующими ток в обмотках статора, согласно табл. 3.1. Таблица 3.1.



Ключ	Вектор					
	Φ_0	Φ_{60}	Φ_{120}	Φ_{180}	Φ_{240}	Φ_{300}
S1	+	+	+/-	-	-	-
S2	-	-	-	+	+	+/-
S3	-	+	+	+/-	-	-
S4	+/-	-	-	-	+	+
S5	-	-	+	+	+/-	-
S6	+	+/-	-	-	-	+

Рис.3.3. Положения ротора в течении одного оборота.

В ней замкнутое состояние ключа обозначено знаком плюс, а разомкнутое — знаком минус. Каждый из шести ключей замкнут в течение большей части половины периода, но размыкается за некоторое время до замыкания ключа, находящегося между тем же выводом двигателя и противоположным полюсом питающего напряжения. Этим предотвращается протекание "сквозного" тока через одновременно замкнутые ключи, когда из-за конечной скорости переключения один не успел еще разомкнуться, а второй уже замкнулся.

Векторное управление позволяет существенно расширить интервал изменения частоты, обеспечить точность регулирования, повысить скорость реакции электропривода на управляющие воздействия. Изменения эффективного значения трёхфазного напряжения в соответствии с необходимой для реализации закона управления зависимостью от частоты производится с помощью тех же ключей. Для этого импульсы, следующие с частотой вращения, подвергаются ШИМ — дополнительно модулируются

более высокочастотными импульсами изменяемой скважности. На осциллограммах, изображённых на рис. 5 розовой кривой, показана форма напряжения на одной из фазных обмоток двигателя (напряжение измеряется относительно средней точки "звезды", в которой соединены три обмотки). Ток этой обмотки — жёлтая кривая. Выбросы на осциллограммах — реакция индуктивной нагрузки на импульсное напряжение.

Несинусоидальная форма подаваемого на двигатель напряжения приводит к росту энергетических потерь. Уменьшить их удаётся за счёт усложнения закона изменения скважности ШИМ, что позволяет приблизить к синусоидальному закон изменения среднего значения формируемого инвертором напряжения в течение его периода. К сожалению, ограниченные ресурсы применённых микроконтроллеров не позволили это сделать в рассматриваемом преобразователе.

Потери возникают и в электронных ключах инвертора. Они тем больше, чем ближе частота ШИМ к предельной рабочей частоте применённых ключей. Это следует иметь в виду при их выборе.

Обычно в качестве ключей используют транзисторы, обеспечивающие протекание тока в одном (прямом) направлении. Цепи для протекания обратного тока создают подключённые параллельно транзисторам диоды. Меньшие потери создают ключи на транзисторах с короткими переходными процессами и с малым падением напряжения в открытом состоянии. Благоприятным сочетанием параметров для использования в инверторе обладают IGBT, сочетающие в себе преимущества биполярных транзисторов и униполярных (полевых) транзисторов с изолированным затвором IGBT могут работать на частоте до 100 кГц, имеют малое падение напряжения в открытом состоянии, а в закрытом выдерживают напряжение до 1500.. 1700 В.

Большой рабочий ток и устойчивость к его превышению (например, при замыкании в нагрузке) позволяют применять IGBT в системах

управления мощными электроприводами, Благодаря изолированному затвору IGBT можно управлять с помощью маломощных сигналов. Более подробно с особенностями силовых ключей на IGBT можно познакомиться в [4].

3.2. Основные классы преобразователей частоты.

Различают два основных класса преобразователей частоты.

К первому типу относится система скалярного управления, часто называемого частотным управлением, основной задачей которой является формирование фазных напряжений на основании заданных значений амплитуды и частоты, получаемых путем широтно-импульсной модуляции (ШИМ) инвертора, огибающие которых и представляют собой трехфазное напряжение для питания асинхронного электродвигателя. Данный принцип является наиболее простым способом реализации частотного управления и благодаря относительно низкой стоимости широко используется для привода механизмов, не предъявляющих высоких требований к качеству регулирования скорости.

В первую очередь это относится к электроприводам насосов, вентиляторов, компрессоров. Данный класс механизмов обладает широкими потенциальными возможностями энерго- и ресурсосбережения, которые успешно реализуются при внедрении указанного типа преобразователей.

Более того, в настоящее время существует тенденция к выделению особой группы скалярных преобразователей частоты - это так называемые насосные серии (например преобразователи LG серии iP 5A). Данные преобразователи имеют функции многодвигательного управления, двойной ПИД-регулятор, расширенные алгоритмы энергосбережения).

Ко второму типу систем управления относится система векторного управления, обеспечивающая характеристики асинхронного электропривода, близкие к характеристикам привода постоянного тока. Эти свойства системы достигаются за счет разделения каналов регулирования потокосцепления и скорости вращения электродвигателя, не достижимого при использовании скалярного управления. При построении указанных систем используется векторное представление физических величин. Преобразователи, использующие данный принцип управления несколько дороже и применяются в механизмах с повышенными требованиями к качеству регулирования скорости и момента. Следует также отметить, что существует четкая тенденция к отказу от датчиков скорости и разработке алгоритмов определения состояния двигателя по измеренным фазным токам и напряжениям, что ведет к снижению стоимости и повышению надежности системы.

В современной приводной технике к векторным преобразователям предъявляются высокие требования в части: погрешности позиционирования; погрешности стабилизации скорости; широкому диапазону регулирования; стабилизации момента вращения; перегрузочной способности; высокой динамике.

Требования к динамике, т.е. поведению привода во времени, складываются из все ускоряющихся процессов обработки, увеличению циклов обработки и связанной с ними производительности машины. Высокая точность очень часто определяет возможность использования систем электропривода в новых технологиях. Этим требованиям должны отвечать современные высокодинамичные системы привода.

Векторные преобразователи с успехом применяются в подъемных механизмах (в кранах - на подъем главный и вспомогательный, передвижение крана и тележки, в лифтах), в конвейерах с позиционированием, станках и технологических линиях.

В ряде случаев подобные преобразователи частоты позволяют исключить редуктор.

3.3. Принцип действия ПИ-регулятора.

Алгоритм ПИ-регулятора может быть реализован без обращения к сложной теории автоматического управления. Целью данного алгоритма является определение управляющего сигнала объектом управления (в нашем случае это частота статорного напряжения), при котором контролируемый выходной сигнал объекта управления (в нашем случае это частота вращения ротора) достигнет заданного значения (желаемая частота вращения, заданная пользователем). ПИ это сокращение от "пропорциональный и интегральный". Эти два термина описывают отдельные элементы регулятора:

- пропорциональная часть, которая выполняет умножение результирующего сигнала рассогласования (разницы измеренного выходного сигнала объекта управления и заданного значения) на постоянную величину, которая носит название коэффициент передачи пропорциональной части. Пропорциональная часть определяет краткосрочное поведение регулятора, т.к. она определяет, как сильно нужно реагировать регулятору на изменение заданных значений;
- интегральная часть, которая добавляет долговременную точность регулятору. Данная часть регулятора выполняет произведение суммы всех предшествующих сигналов рассогласования на постоянную величину, которая называется коэффициентом передачи интегрирующей части. Предшествующие значения сигнала рассогласования для вычисления суммы хранятся в памяти и обновляются пока значение рассогласования не равно нулю. Это позволяет регулятору убрать различия между измеренным выходным значением и заданным, но, при этом, снижается быстродействие и устойчивость замкнутой системы.

Иногда, помимо пропорциональной и интегрирующей части, добавляется третья- дифференцирующая. В этом случае регулятор называется ПИД (пропорционально – интегрально - дифференцирующий). Применение такого регулятора для управления асинхронным электродвигателем по принципу постоянства V/f нецелесообразно. Его применение позволяет повысить быстродействие контура регулирования, но при этом также пропускаются шумы и снижается стабильность замкнутого контура. Кроме того, Д-компонент сложен в настройке.

3.4. Датчики для управления электродвигателем.

Датчики скорости играют важную роль в управлении с обратной связью. Для определения частоты и направления вращения ротора могут использоваться несколько решений.

Наиболее точным, но при этом и самым дорогим, является использование абсолютного шифратора (энкодера) или шифратора (энкодера) приращений. Стоимость данных оптических датчиков высока и соразмерна со стоимостью собственно электродвигателя.

Другим решением, которое использовалось авторами данных рекомендаций при экспериментировании, является использование тахогенератора, механически связанного с ротором электродвигателя. Для подключения данного датчика к микроконтроллеру потребуется один канал аналогово-цифрового преобразования.

Третьим решением является использование датчиков на эффекте Холла. Данные недорогие бесконтактные датчики в настоящее время выпускаются в виде компактных корпусных интегральных схем, в состав которых входят собственно датчик и схема формирования выходного сигнала. Такие микросхемы формируют выходной сигнал, который может быть непосредственно подключен к порту ввода-вывода микроконтроллера.

3.5. Микропроцессорный преобразователь напряжения с регулируемой частотой.

Частоту выходного напряжения можно оперативно регулировать переменным резистором либо изменять с помощью кнопок. Предусмотрена индикация установленной частоты, текущего значения тока фазы, кода аварии (превышение мгновенного значения тока в любой из фаз, превышение среднего тока фазы).

Преобразователь состоит из двух модулей: инвертора и управления, а также имеются переменный резистор установки частоты и кнопки управления преобразователем.

Схема модуля инвертора изображена на рис.3.4. В нём установлены IGBT IRG4BC30F (600 В, 31 А, 5 кГц, без защитного диода). В позиционных обозначениях VT1—VT6 номера ключей. Подробные сведения об этих IGBT можно найти в [5].

Переключения IGBT в инверторе, реагирует на сигнал аварии (FAULT), формируемый находящейся в модуле инвертора микросхемой IR2131. Программа для этого микроконтроллера INV628.C и её загрузочный файл INV628.hex приложены к статье. Микроконтроллер DD1 PIC16F873 [9] работает по программе преобразования напряжения с регулируемой частотой для трехфазного асинхронного двигателя. Составление данной программы не входит в задание данного дипломного проекта.

Здесь же даются основные рекомендации для программиста:

- формируется пользовательское меню;
- преобразуются в цифровые коды и обрабатываются аналоговые сигналы установки частоты и контроля тока;
- слежение за состоянием кнопок SB1 — SB5, выполняя подаваемые ими команды, выводит необходимую информацию на светодиодные индикаторы HG1 - HG3 (через преобразователь кода DD2);
- генерирование сигналов управления микроконтроллером DD3.

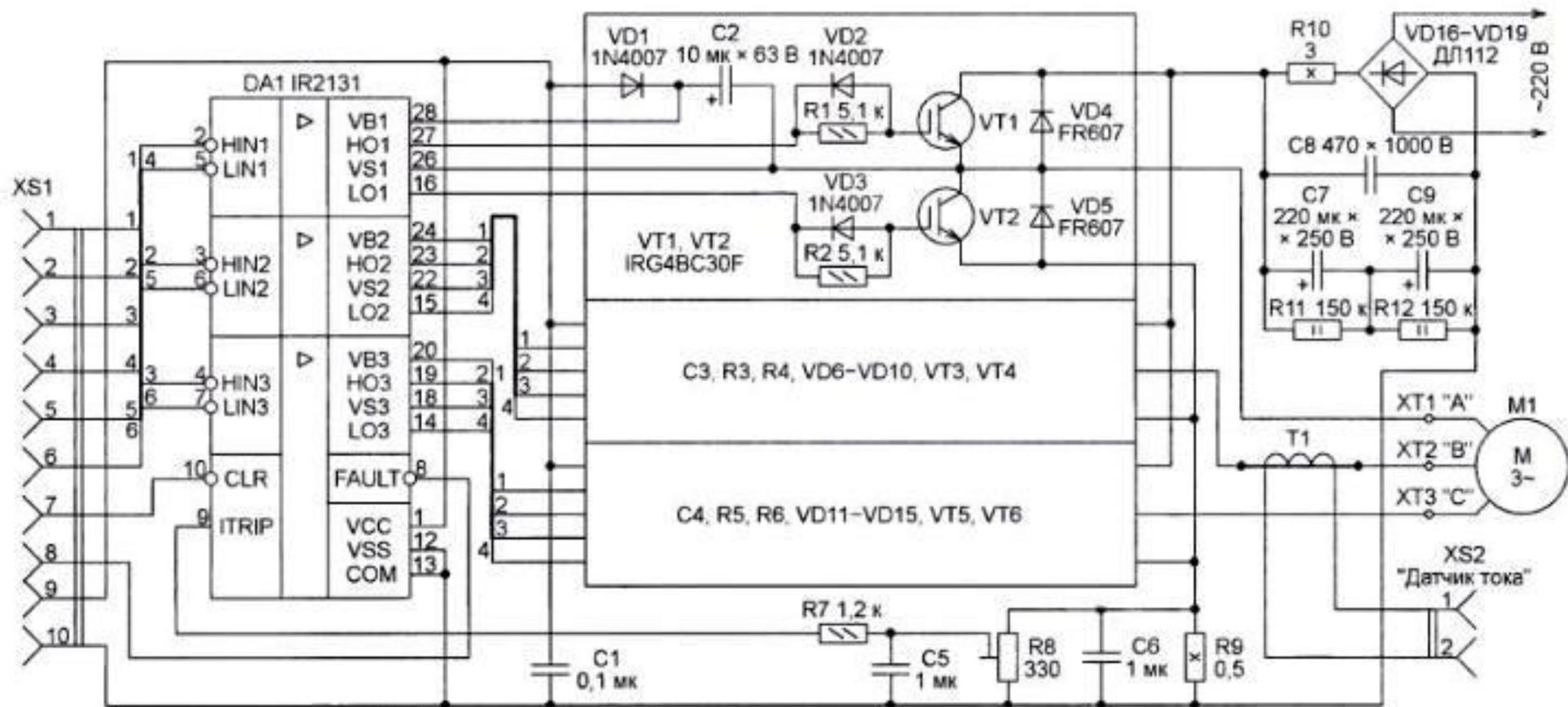


Рис.3.4. Схема модуля инвертора.

К разъёму XP1 подключён находящийся в модуле инвертора трансформатор тока. Выпрямленный диодным мостом VD1 ток его вторичной обмотки создаёт на резисторе R3 падение напряжения, пропорциональное току одной из фаз питаемого от преобразователя двигателя. Через резистор R10 оно поступает на вход RA1 (вывод 3) микроконтроллера DD1, где его значение преобразуется в цифровую форму. В такую же форму микроконтроллер преобразует и использует для установки заданной частоты напряжение, поступающее на его вход RA0 (вывод 2) с движка переменного резистора R1.

Сформированные модулем управления сигналы поступают на его разъём XP2, к которому должен быть подключён разъём XS1 модуля инвертора (рис.3.5).

Модуль управления питается от сети 220В через понижающий трансформатор T1 и мостовой выпрямитель на диодах VD2—VD5. Выпрямленное напряжение около 24В используется непосредственно лишь для сигнального светодиода HL1 "Сеть" и для питания узла на транзисторе VT1. По сигналу микроконтроллера DD1, разрешающему работу инвертора, в этом узле срабатывает реле K1 (833H-1C-C-24VDC). Замыкание его контактов может использоваться каким-либо внешним устройством как сигнал о том, что подключённый к инвертору двигатель (M1 на рис.3.4) включён. Одновременно включается светодиод HL2 "Работа". Включение светодиода HL3 "Авария" свидетельствует о том, что в модуле инвертора сформирован сигнал FAULT.

С помощью интегрального стабилизатора DA1 получено поступающее на контакт 9 разъёма XP2 напряжение + 12В для питания микросхемы IR2131 в модуле инвертора. Этим же напряжением питается двигатель вентилятора M1 охлаждающего преобразователь. Интегральный стабилизатор DA2 понижает напряжение до 5 В. Оно питает цифровые узлы модуля управления.

Переменный резистор установки частоты R1 и кнопки SB1—SB5 вынесены с платы модуля на отдельный пульт. Нажав на кнопку SB3 "Пуск", запускают питающийся от инвертора трёхфазный электродвигатель. За установленное пользователем время частота генерируемого трёхфазного напряжения плавно нарастает от нуля до заданного значения. Если включено управление частотой с

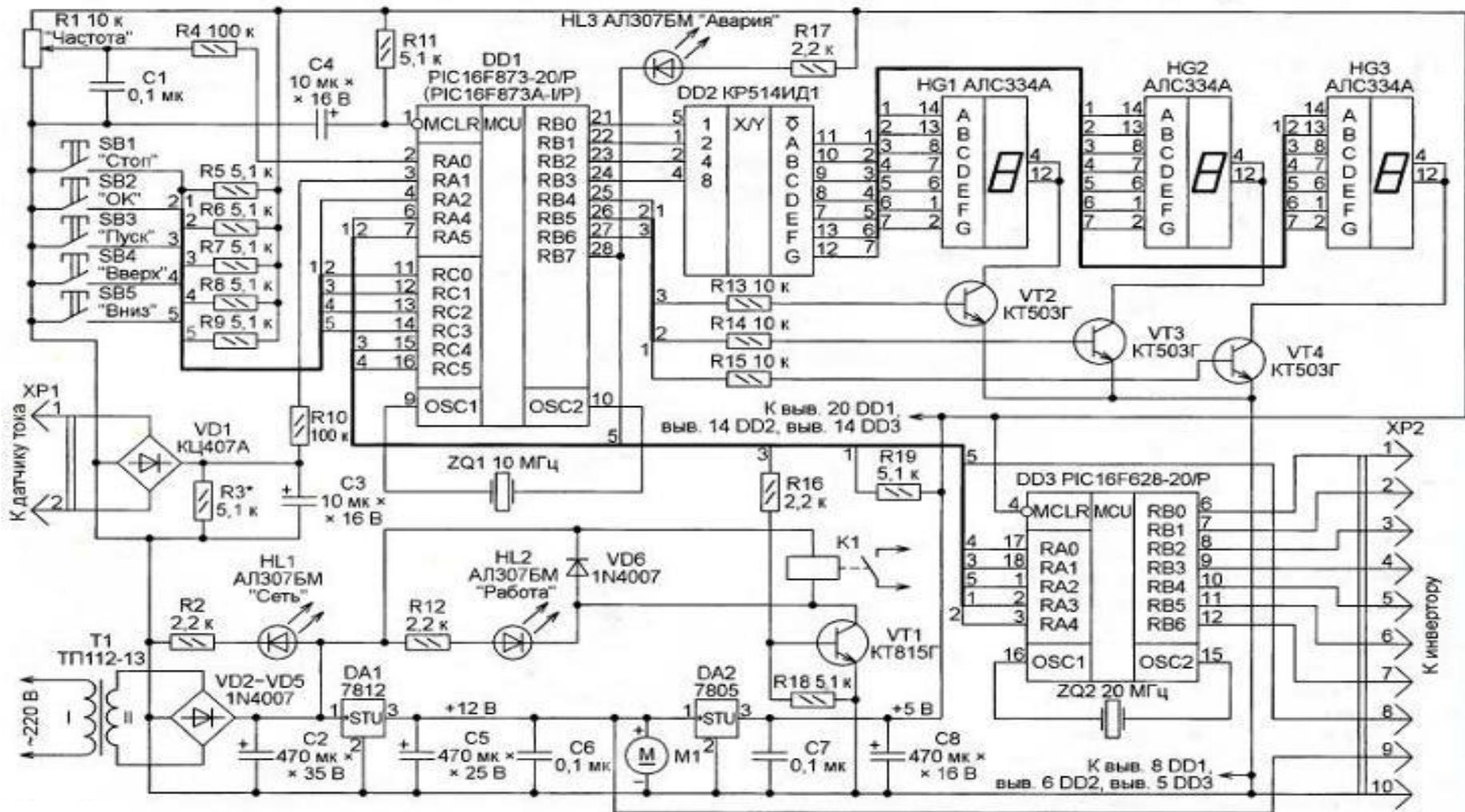


Рис.3.5. Схема модуля управления..

помощью переменного резистора R1, то при изменении положения его движка во время разгона соответственно изменится и конечное значение частоты, до которого будет происходить разгон.

При нажатии на кнопку SB1 "Стоп" происходит обратное — плавное снижение частоты генерируемого трёхфазного напряжения до нулевой, затем с двигателя снимается напряжение. Во время торможения переменный резистор R1 не действует.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЧАСТОТНО РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА/

Несмотря на кажущуюся значительную стоимость современных преобразователей, окупаемость вложенных средств за счёт экономии энергоресурсов и других составляющих эффективности не превышает в среднем 1,5 лет. Это вполне реальные сроки, а учитывая многолетний ресурс подобной техники, можно подсчитать ожидаемую экономию на длительный период и принять правильное решение.

Самая привлекательная особенность этого оборудования заключается в том, что оно представляет из себя один из наиболее выгодных объектов для инвестирования средств предприятия.

С одной стороны, инвестируя средства в преобразователи частоты для своего производства, предприятие гарантированно возвращает эти средства за период срока окупаемости, а в последующие 15-20 лет предприятие просто получает чистую прибыль. С другой стороны, сделанные инвестиции ни на минуту не покидают пределов вашего предприятия.

Обоснование технической эффективности внедрения частотного привода

При использовании преобразователя частоты появляются следующие технические возможности:

- регулирование скорости от нуля до номинальной и выше номинальной
- плавный разгон и торможение
- ограничение тока на уровне номинального в пусковых, рабочих и аварийных режимах
- увеличение срока службы механической и электрической частей оборудования
- высвобождается некоторое оборудование
- монтаж частотного преобразователя возможен в стандартной ячейке распределительного устройства на месте высвобождаемого оборудования

Обоснование экономической эффективности внедрения частотного привода – расчет окупаемости:

Оценим величину экономического эффекта от применения преобразователя частоты Lenze SMD ESMD223L4TXA (цена 2 446 774 сум. с НДС) на насосном агрегате мощностью 22 кВт.

Величина экономии электроэнергии при внедрении преобразователей частоты может составлять до 45 %. Мы в своих расчетах примем экономию за 20% хотя на практике она может составлять и 40%. Таким образом, для насосного агрегата мощностью 22 кВт и работающего, к примеру, 9 месяцев в году, величина экономии электроэнергии за 1 год составит:

$$E(1 \text{ год, кВт*ч}) = 22 \text{ кВт} * 0,2 * 24 \text{ часа} * 22 \text{ дней} * 12 \text{ месяцев} = 27878 \text{ кВт.ч}$$

В денежном выражении при стоимости 1 кВт*ч = 106,85 сум. (тариф на электроэнергию для промышленных и приравненных к ним потребителей с присоединенной мощностью > 750 кВА, 2013 г.) величина экономии составит:

$$E(1 \text{ год, сум.}) = 27878 \text{ кВт.ч} * 106,85 \text{ сум.} = 2 978 807 \text{ сум.}$$

Таким образом, срок окупаемости в этом случае составляет:

$$2 446 774 / 2 978 807 = 0,82 \text{ года.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В заключение хотелось бы отметить, что приведенные примеры производственных механизмов и технологических процессов, а число их можно увеличить, подтверждают, что использование для них частотно-регулируемых асинхронных электроприводов с системой технологической автоматики позволяет повысить качество управляемых процессов в переходных и установившихся режимах и обеспечить существенное ресурсосбережения и энергосбережения.

Наиболее популярным алгоритмом управления трехфазным асинхронным электродвигателем является алгоритм с поддержанием постоянства отношения напряжение/частота и использованием широтно-импульсно модулированного управления инвертором напряжения..

Разработанный в рамках дипломного проекта микропроцессорный преобразователь напряжения с регулируемой частотой для трехфазного асинхронного двигателя позволяет существенно сократить расход электроэнергии и значительно увеличить срок службы асинхронного двигателя за счет повышения эффективности его работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Энергосберегающий асинхронный электропривод // И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
2. Автоматическое управление электротермическими установками / Под ред. А.Д. Сванчанского. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.
3. Актуальность проблемы энергосбережения в системе водоснабжения // Ежемесячная газета «Новости приводной техники». – М., 2001. – №6. – С. 6 – 7.
4. Бабокин Г.И. Энергосбережение в электроприводе конвейера // Изв. вузов. Горный журнал. – 2002. – №1. – С. 122 – 125.
5. Браславский И.Я., Зубрицкий О.Б., Ольков А.Е. Энергетика регулировочных режимов асинхронного электропривода при потенциальном моменте нагрузки // Изв. вузов. Электромеханика. – 1975. – №1. – С. 82 – 85.
6. Использование частотно-регулируемого электропривода в насосных станциях // Ежемесячная газета «Новости приводной техники». – М.: 2002. – №2(10). – Код № 10 – 6.
7. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод как средство энергосбережения / И.А. Авербах, Е.И. Барац, И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов // Энергетика региона. – Екатеринбург, 2002. – №2(45). – С. 34 – 35.
8. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.
9. Электропривод и автоматизация промышленных установок как средства энергосбережения / И.А. Авербах, Е.И. Барац, И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов. – Екатеринбург: Свердловгосэнергонадзор, 2002. – 28 с.
10. A.C. Technology Anticipated to Boost Sales in Variable Speed Drivers Market // EPE Journal, 2003. – Vol. 6, № 2. – P. 7–8.

11. . Безопасность жизнедеятельности.Безопасность технологических процессов и производств(охрана труда).Учебн.пособия для вузов/Юлдашев О.Р. Кудратов О.К. и др.-Т.Уктивчи 2009.-318с

Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках.2-ое издание. М.Энергоиздат 1984г.

12.<http://www.info.ru/ru/m>

13.<http://www.technoserv.ru/>

14 <http://ru.wikipedia.org/wiki/>

15 <http://www.3DRay.ru>

16 <http://www.soapui.org/>