



УДК 621.313.3

**РАЗРАБОТКА ЧАСТОТНОГО  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С СИСТЕМОЙ  
УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ**  
**DEVELOPMENT OF FREQUENCY CONVERTER  
WITH MODULAR CONTROL UNIT**

**Хашимов Арипджон Адилевич**, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Ташкентского государственного технического университета имени И.А. Каримова, Узбекистан, 100042, г.Ташкент, ул. 1ый Аксай, 16. E-mail: prof\_a\_khashimov@mail.ru, Тел.: +998931720216

**Азизов Дилмурод Абдумалиевич**, аспирант каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Ташкентского государственного технического университета имени И.А. Каримова, Узбекистан, 100084, г.Ташкент, ул. 1-проезд Чимробод, 18. E-mail: azizov.d17@gmail.com, Тел.: +998901751781

**Aripdjon A. Xashimov**, Doctor Sc., Tashkent state technical university named after I.A.Karimov, 100042, 1iy Aksay street, 16, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: prof\_a\_khashimov@mail.ru. Ph.: +998931720216

**Dilmurod A. Azizov**, graduate student, Tashkent state technical university named after I.A.Karimov, 100084, 1 proezd Chimrobod, 18, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: azizov.d17@gmail.com. Ph.: +998901751781

**Аннотация:** Статья посвящена разработанной системы управления модульного исполнения для частотного преобразователя мощностью 30кВт. В статье описывается структура разработанного частотного преобразователя, использованные типы модулей и их функциональное назначение.

**Abstract:** The article is devoted to the developed control system of a modular design for a frequency converter with a power of 30 kW. The article describes the structure of the developed frequency converter, the types of modules used and their functional purpose.

**Ключевые слова:** электропривод переменного тока; асинхронный электродвигатель; частотный преобразователь; силовой модуль; управляющий модуль; панель оператора; технологический процесс.

**Key words:** AC electric drive; asynchronous motor; frequency converter; power unit; control unit; operator panel; technological process.

Современный этап развития промышленных приводов характеризуется значительным расширением области применения регулируемых электроприводов переменного тока. Это касается большинства тех отраслей промышленности, в которых ранее использовались электроприводы постоянного тока с двигателями независимого возбуждения, обладающие наилучшими регулировочными свойствами, а также отраслей, где технологические параметры средствами электропривода не регулировались (например, насосные станции и воздуходувки) [1].

В настоящее время, асинхронный электродвигатель стал основным устройством в большинстве электроприводов. Все чаще для управления им используется частотный преобразователь. Несмотря на многообразие существующих на данный момент алгоритмов управления и вариантов аппаратной реализации частотных преобразователей, можно говорить о

типовых решениях, применяемых большинством производителей. Фактически, выработались негласные стандарты на структуру частотных преобразователей и выполняемые ими функции. Такое управление дает массу преимуществ, но и создает некоторые проблемы реализации тех или иных технических решений.

В настоящее время ведущие производители преобразовательной техники предлагают общепромышленные частотные преобразователи модульного исполнения. Это значит, что устройство состоит из нескольких модулей. Обычно из трех основных частей: силовой модуль, управляющий модуль и опциональная панель оператора. Такое модульное исполнение преобразователя частоты все еще не позволяет удовлетворять управление технологическим процессом некоторых производственных участков. Решением этой проблемы является разработка частотного преобразователя с

системой управления (управляющим модулем) модульного исполнения.

Основное преимущество модульной концепции состоит в том, что она позволяет подобрать частотный преобразователь под конкретные потребности технологического процесса за адекватную стоимость, попутно повысив надежность и экономичность прибора. Также важным фактором является возможность сократить склад запасных частей, обеспечив максимальную техническую готовность оборудования на производстве. В случае отказа стандартного моноблочного частотного преобразователя приходится менять его целиком, соответственно желательно иметь запасные части в виде всех типов преобразователей, применяющихся на производстве, а при замене такого частотного преобразователя его нужно не только установить вместо старого, но и конфигурировать под технологический процесс. В случае же использования модульного частотного преобразователя, при выходе из строя управляющего модуля его можно заменить без отключения силового питания силового модуля, а конфигурацию для конкретного случая загрузить в управляющий модуль по внешнему интерфейсу. Также можно заменить в случае аварии и силовой модуль отдельно от управляющего, то есть, отключив питание силового модуля, мы не прервем управление технологическим процессом. Управляющий модуль, имеющий возможность подключения внешнего питания, будет обрабатывать данные процесса и продолжать обмен по полевой шине. Остается только заменить силовой модуль, и сразу по включении питания можно запускать преобразователь частоты в работу. Модульность преобразователя частоты является огромным плюсом со стороны экономической эффективности. При этом остается возможность дальнейшей модернизации преобразователя частоты с развитием функциональности — заменяя дешевый управляющий модуль, можно обеспечить новую функциональность частотного преобразователя, не меняя более дорогую силовую часть. В случае изменения параметров технологического процесса (например, расширение системы) заменяются или добавляются только необходимые модули.

Согласно поставленной задаче был разработан частотный преобразователь мощностью 30кВт с системой управления модульного исполнения, структурная схема которого представлен на рисунке 1.

Система управления было разработана для 3-х фазного частотного преобразователя силовым модулем мощностью 30кВт для вентиляционной установки. В качестве выпрямителя использовался

неуправляемый мостовой выпрямитель постоянного тока, преобразующий 3-х фазное напряжение в постоянное напряжение. Выпрямленное постоянное напряжение сглаживается последовательно подключенными электролитическими конденсаторами (С) объемом 6800 мкФ, напряжением работы 400В. В качестве выходного силового блока применен мостовая схема инвертора на основе 3-х IGBT модулей типа SKM100GB12T4. Мостовой инвертор питаемый постоянным напряжением, методом широтно-импульсной модуляции генерирует переменное напряжение с изменяемой амплитудой и частотой [2]. Также в силовом модуле используются две датчика тока (Т1 и Т2) для измерения токов потребляемым асинхронным двигателем (АД).

После подключение подаваемого основного питания электролитические конденсаторы (С) заряжаются электрическим током, который проходит через силовой резистор (R) значением 50 Ом. Достижением номинального значения постоянного напряжения на электролитических конденсаторах электромагнитный пускатель (К) коммутирует силовую цепь постоянного тока для питания номинальной мощностью частотного преобразователя.

Разработанная модульная система управления состоит из следующих частей: панель оператора, контроллер управления, модуль верхнего интерфейса, модуль температурного входа, модуль 3-х фазного напряжения, модуль постоянного тока, модуль релейного выхода, модуль 2-х фазного тока, модуль широтно-импульсной модуляции и блока питания. Каждый модуль связан между собой через цифровой «Модульный интерфейс связи» представляющий с собой стандартный интерфейс связи RS485. По которому модули обменивается информацией между собой согласно протоколу связи MODBUS RTU.

Панель оператора предназначен для отображения информации о состоянии частотного преобразователя, а также управления его. На панели оператора установлен 2-х строчный символьный жидкокристаллический индикатор, светодиоды состояния (питания, вперед/назад и авария), а также 6 кнопок управления.

Модуль верхнего интерфейса предназначен для осуществления связи с системой автоматизации верхнего уровня. В качестве выходного интерфейса связи с верхним уровнем используется интерфейс RS485, в качестве протокола связи применен MODBUS RTU.

Для измерения температуры радиаторов выпрямителя и инвертора используется модуль

температурного входа, к которому подключаются аналоговые датчики температуры типа LM35 установленные непосредственно в радиаторы силовых модулей. Модуль температурного входа обеспечивает гальваническую развязку цепи датчиков температуру от других цепей.

В частотном преобразователе применена защита от понижения или увеличения 3-х фазного силового входного напряжения 220В. Модуль 3-х фазного напряжения измеряет 3-х фазное переменное напряжения сети и при несоответствии одного значения напряжений выдает аварию отключением частотного преобразователя. Это функция не позволяет работать частотный преобразователь часто

встречающейся аварийного режима питающей сети «отсутствие фазы».

Модуль постоянного тока предназначен для измерения напряжения постоянного тока выхода силового выпрямительного блока. При достижении предельного максимального напряжения постоянного тока частотный преобразователь уходит в аварию отключением выхода или включает тормозной резистор при присутствии его. При этом модуль измеряет коэффициент пульсации напряжения постоянного тока и в результате измерения, что свидетельствует об аварийном состоянии сглаживающих электролитических конденсаторов или отсутствия входных фаз.

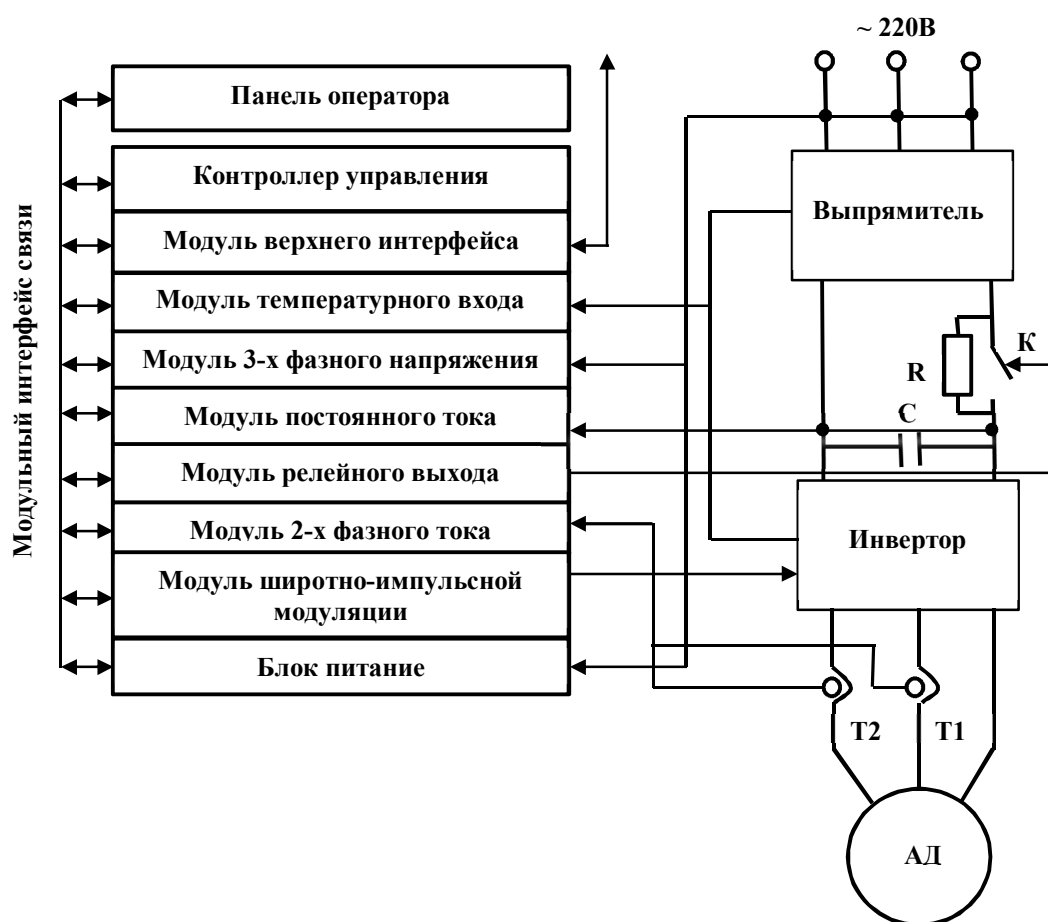


Рис. 1. Структурная схема разработанной системы управления модульного исполнения

Модуль релейного выхода предназначен для включения магнитного пускателя силового блока и управления вентилятором охлаждения радиатора частотного преобразователя.

Для осуществления защит от максимального тока (путем ограничения действующего значения тока на уровне примерно 1,5 номинального тока), минимального тока, обрыва одной выходной фазы частотного преобразователя, а также для тепловой

защиты асинхронного двигателя (путем непрерывных расчетов величин  $I_2t$ ) применен модуль 2-х фазного тока, к которому подключаются выходы 2-х датчиков тока на основе эффекта Холла.

В частотном преобразователе функцию управления инвертором выполняет модуль широтно-импульсной модуляции, который подает 6 каналные сигналы управления платам

драйверов IGBT транзисторов инверторного силового блока, а также получает сигнал короткого замыкания с цепи драйверов этих блоков. Платы драйверов управляемых IGBT транзисторами выполнены на основе микросхемы HCPL316 (Рисунок 2), что позволяет защищать при коротких замыканиях, а также понижении напряжения питания. Принцип широтно-импульсной модуляции, используемый в мостовом инверторе заключается в подаче на обмотки двигателя серии импульсов напряжения с амплитудой, равной напряжению, получаемому от выпрямителя. Эти импульсы модулированы по ширине с целью создать напряжение переменного тока с изменяющейся амплитудой. В качестве управляющего звена модуля выбран микроконтроллер типа STM32F103C8T6, который вырабатывает широтно-импульсные сигналы. В программной части микроконтроллера модуля реализована функция плавного пуска и торможения, прямого и обратного вращения магнитного поля электродвигателя, установки частоты модуляции, а также функция установки зависимости частоты от выходного напряжения частотного преобразователя. Модуль позволяет установки зависимости напряжение-частота с пропорциональной и квадратурной функцией, а также функцией определённый пользователем.

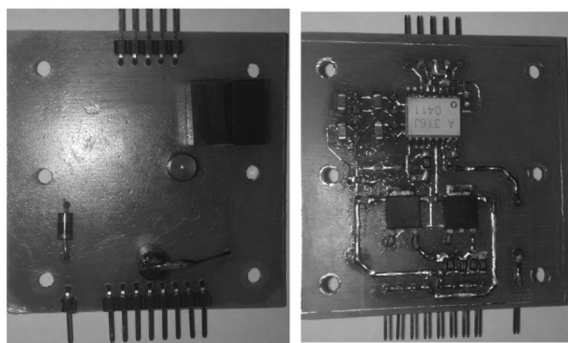


Рис. 2. Драйвер управления IGBT транзистора

Блок питания предназначен для выработки вторичного напряжения питания 24В в качестве источника питания для модулей системы

управления. Первичным напряжением блока питания является 3-х фазное напряжение 220В, что позволяет продолжать работать частотного преобразователя при кратковременной исчезновении одной из фаз основного 3-х фазного источника питания.

Выше описанные модули управляются контроллером управления, который является ведущим в системе управления преобразователя частоты. Контроллер управления считывает данные с аналоговых и дискретных входов, производит анализ и выдаёт управляющие сигналы в другие управляющие и дискретные выходные модули.

Выше описанная модульная система управления включает в себя основные модули для защиты асинхронного двигателя и частотного преобразователя от аномальных режимов работы электропривода. В зависимости от установки частотного преобразователя в определённый технологический процесс можно добавлять другие модули, которые позволяют осуществлять таких режимов работы частотного преобразователя как обратная связь с технологического режима (в виде давления, скорости, потока и т.д.) с аналоговых, дискретных и импульсных датчиков. При этом в аппаратную часть частотного преобразователя прибавляются соответствующие модули датчиков, а программная часть изменяется дополнительным алгоритмом согласно дополнениям аппаратной части.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник / Г.Г. Соколовский. Москва: Академия, 2006. 265 с.
2. Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск №19: Низковольтные устройства защиты и частотные регуляторы скорости, 2008. 36 с.