

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

В. А. Савельев

НАЛАДКА И ДИАГНОСТИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2010

УДК 62-83-52(075.8)
ББК 31.291я73
С12

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 1 от 14.09.2009 г.)*

Рецензент канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
Т. В. Алферова

Савельев, В. А.
С12 Наладка и диагностика автоматизированного электропривода : лаборатор. практикум по одной дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. и заоч. форм обучения / В. А. Савельев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 31 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-939-5.

На примере преобразователя частоты OMRON SYSDRIVE 3G3RV предложено рассмотреть устройство, принцип действия и методику проведения наладочных работ современных электроприводов переменного тока с преобразователями частоты отечественных и зарубежных производителей.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 62-83-52(075.8)
ББК 31.291я73**

ISBN 978-985-420-939-5

© Савельев В. А., 2010
© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2010

Предисловие

Сегодня преобразователи частоты для двигателей переменного тока представлены на рынке такими фирмами, как LG, Mitsubishi, Vacon, Danfoss и др. Объем реализуемых функций у большинства преобразователей частоты (ПЧ) достаточно большой, однако в технической документации на них часто ограничиваются только формальным описанием этих функций и редко приводят примеры возможного их использования. Еще реже встречается информация о типичных областях применения преобразователя (таких, например, как поддержание давления, перекачка жидкости) и примера настройки преобразователя для работы в таком режиме. В результате большая часть поддерживаемых преобразователем функций остается невостребованной пользователем.

В лабораторном практикуме описаны некоторые дополнительные функции ПЧ, использование которых может значительно повысить надежность работы преобразователя и двигателя и расширить спектр возможных применений преобразователей частоты. Также приведены несколько типовых примеров применения преобразователей частоты.

1. Цель работы

1. Обобщение информации о принципах построения современных преобразователей частоты.

2. Изучение типовой методики проведения работ по наладке преобразователей частоты электроприводов переменного тока.

2. Указания мер безопасности

1. К выполнению практической части лабораторной работы допускаются студенты, прошедшие специальный технический инструктаж и изучившие техническое описание и инструкцию по эксплуатации.

2. Включение питания производите только после установки на место передней крышки, крышки клеммного блока, нижней крышки, а также цифрового пульта управления и дополнительно устанавливаемых узлов. Включение питания со снятыми крышками может привести к удару электрическим током.

3. Не производите никаких операций с цифровым пультом управления или с переключателями влажными руками. Не прикасайтесь к компонентам, находящимся внутри Инвертора.

4. Не производите непродуманных изменений установок. Это может привести к травмированию или к повреждению оборудования.

5. Приступать к выполнению практической части лабораторной работы студенты могут только с разрешения преподавателя.

3. Методы частотного управления и режимы работы преобразователей частоты

Для решения задач регулирования скорости и момента в современном электроприводе применяют два основных метода частотного управления: скалярное и векторное управление.

3.1. Скалярное управление

Асинхронный электропривод со скалярным управлением является на сегодняшний день наиболее распространенным. Он применяется в составе приводов насосов, вентиляторов, компрессоров и других механизмов, для которых важно поддерживать либо скорость вращения вала двигателя (при этом используется датчик скорости),

либо технологический параметр (например, давление в трубопроводе, при этом используется соответствующий датчик).

Основной принцип скалярного управления – изменение частоты и амплитуды питающего напряжения по закону

$$\frac{U}{f^n} = \text{const}, \quad (1)$$

где U , f – напряжение, частота и момент двигателя при его работе на любой искусственной характеристике; $n \geq 1$.

Выполнение соотношения (1) при частотном управлении приводит к обеспечению постоянства перегрузочной способности двигателя, неизменного значения коэффициента мощности двигателя $\cos \phi$ и жесткости его механических характеристик. Необходимо отметить, что это соотношение получено для некоторого идеализированного двигателя, у которого сопротивление статора предполагалось равным нулю, $r_1 = 0$.

Конкретный вид зависимости (1) определяется требованиями, предъявляемыми к приводу нагрузки. Обычно за независимое воздействие принимается частота, а значение напряжения при данной частоте определяет вид механической характеристики, значения пускового и критического моментов. Скалярное управление обеспечивает постоянство перегрузочной способности привода независимо от частоты напряжения, однако имеет место снижение развиваемого двигателем момента при низких частотах (при $f < 0,1 f_{\text{ном}}$). Максимальный диапазон регулирования скорости вращения ротора при неизменном моменте сопротивления для приводов со скалярным управлением достигает 1:10.

Метод скалярного управления относительно прост в реализации, но обладает двумя существенными недостатками. Во-первых, при отсутствии датчика скорости на валу двигателя невозможно регулировать скорость вращения вала, так как она зависит от нагрузки. Наличие датчика скорости решает эту проблему, однако остается второй существенный недостаток – нельзя регулировать момент на валу двигателя. С одной стороны, и эту проблему можно решить установкой датчика момента, однако такие датчики имеют очень высокую стоимость, зачастую превышающую стоимость всего привода. Но даже при наличии датчика управление моментом получается очень инерционным. Более того, при скалярном управлении нельзя регулировать

одновременно и момент, и скорость, поэтому приходится выбирать ту величину, которая является наиболее важной для данного технологического процесса.

3.2. Векторное управление

Для устранения недостатков, присущих скалярному управлению, фирмой Siemens в 1971 г. был предложен метод векторного управления. Первые варианты приводов с векторным управлением требовали использования двигателей со встроенными датчиками потока. Это существенно ограничивало применение таких приводов.

В современных электроприводах в систему управления закладывается математическая модель двигателя, которая позволяет рассчитывать момент на валу и скорость вращения вала. При этом необходимыми являются только датчики тока фаз статора двигателя. Благодаря специальной структуре системы управления обеспечивается независимое и практически безынерционное регулирование двух основных параметров – момента на валу и скорости вращения.

На сегодняшний день сформировалось два основных класса систем векторного управления – бездатчиковые системы (без датчика скорости на валу двигателя) и системы с обратной связью по скорости. Применение того или иного метода векторного управления определяется областью применения электропривода. При небольших диапазонах изменения скорости (не более 1:100) и требованиях к точности ее поддержания не более $\pm 0,5\%$ применяют бездатчиковое векторное управление. Если же скорость вращения вала изменяется в широких пределах (до 1:10000 и более), имеются требования к высокой точности поддержания скорости вращения (до $\pm 0,02\%$ при частотах вращения менее 1 Гц) или есть необходимость позиционирования вала, а также при необходимости регулирования момента на валу двигателя на очень низких частотах вращения применяют методы векторного управления с обратной связью по скорости.

При использовании векторного управления достигаются следующие преимущества:

- высокая точность регулирования скорости даже при отсутствии датчика скорости;
- плавное, без рывков, вращение двигателя в области малых частот;

- возможность обеспечения номинального момента на валу при нулевой скорости (при наличии датчика скорости);
- быстрая реакция на изменение нагрузки: при резких скачках нагрузки практически не происходит скачков скорости;
- обеспечение такого режима работы двигателя, при котором снижаются потери на нагрев и намагничивание, а следовательно, повышается КПД двигателя.

Наряду с очевидными преимуществами, методу векторного управления присущи и некоторые недостатки, такие, как большая вычислительная сложность и необходимость знания параметров двигателя. Кроме того, при векторном управлении колебания скорости на постоянной нагрузке больше, чем при скалярном управлении. Следует отметить, что существуют области, в которых возможно использование только скалярного управления, например, в групповом приводе, где от одного преобразователя питаются несколько двигателей.

3.3. Режимы работы преобразователей частоты

Можно выделить два принципиально отличающихся режима работы преобразователя частоты: работа в режиме поддержания выходной частоты и в режиме стабилизации внешнего параметра.

В режиме поддержания выходной частоты преобразователь непрерывно отслеживает сигнал задания частоты и изменяет в соответствии с ним свою выходную частоту. Задание частоты может производиться с пульта управления, входа «задатчика» (аналогового входа) или комбинацией сигналов дискретных входов.

Система стабилизации внешнего параметра строится на основе ПИД-регулятора, на входы которого подаются сигнал задания параметра (уставки) и сигнал с датчика регулируемого параметра. ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал для преобразователя частоты, который за счет изменения скорости вращения двигателя поддерживает управляемую величину, равную заданной. В качестве внешнего параметра может использоваться расход жидкости, давление, температура и др. Информация с датчика поступает с внешнего аналогового входа. Значение уставки может задаваться с пульта управления, с внешнего аналогового входа или комбинацией сигналов дискретных входов.

4. Построение силовой части

Наибольшее распространение получили преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока, построенные по схеме выпрямитель–автономный инвертор. Принцип работы и области применения таких ПЧ зависят от типа используемого выпрямителя и автономного инвертора (инвертор напряжения или инвертор тока).

4.1. Особенности построения выпрямителя

Существует несколько различных схем выпрямителей. По принципу действия они могут быть разделены на три группы: управляемые, полууправляемые и неуправляемые. Схемотехнически все выпрямители строятся по трехфазной мостовой схеме.

Наибольшее распространение получили неуправляемые выпрямители. Выполняемые на самых простых и дешевых полупроводниковых приборах – диодах, они характеризуются максимальной простотой и надежностью, высоким КПД, а также достаточно высоким качеством выходного (выпрямленного) напряжения и гармонического состава тока, потребляемого из сети. Однако неуправляемость процесса преобразования энергии не позволяет реализовать режимы рекуперации, необходимые во многих случаях.

Управляемые выпрямители, выполняемые обычно на низкочастотных тиристорах, лишены как недостатков, так и большинства достоинств диодных выпрямителей. Они обладают высоким КПД и свойством обратимости по направлению преобразования энергии и обычно используются совместно с автономными инверторами тока для регулирования величины выходного тока преобразователя. Недостатки управляемых выпрямителей заключаются в повышенном уровне пульсаций выпрямленного напряжения, в пониженном значении коэффициента мощности, который уменьшается пропорционально выходному напряжению, и в одностороннем направлении выходного тока. При необходимости обеспечить протекание выпрямленного тока в обоих направлениях используют реверсивные тиристорные преобразователи, состоящие из двух включенных встречно-параллельно тиристорных выпрямителей, один из которых предназначен для протекания тока нагрузки в прямом, а другой в обратном направлении. Это усложняет и удорожает преобразователь.

Полууправляемые выпрямители занимают промежуточное положение между управляемыми и неуправляемыми выпрямителями,

позволяя регулировать значение выпрямленного напряжения без возможности рекуперации энергии в сеть. В случае управляемых и полупроводимых выпрямителей появляется возможность отключения силовой схемы ПЧ от сети без использования дополнительного оборудования.

4.2. Особенности построения звена постоянного тока

В зависимости от типа автономного инвертора контур постоянного тока может быть выполнен как звено, обеспечивающее постоянное напряжение (обычно C - или LC -фильтр), или как звено, поддерживающее постоянство тока (фильтр в виде реактора со значительной индуктивностью). Величина емкости конденсатора в звене постоянного тока обычно составляет 2000...20000 мкФ; такие конденсаторы имеют большие габариты и высокую стоимость.

Максимальная скорость торможения ограничена допустимым увеличением напряжения в звене постоянного тока. Увеличение напряжения происходит за счет того, что при торможении двигатель работает в рекуперативном режиме и кинетическая энергия его вращения преобразуется в электрическую энергию, которая возвращается в звено постоянного тока преобразователя. Это приводит к увеличению напряжения на конденсаторах звена постоянного тока. При увеличении его выше максимально допустимого предела возможен выход из строя либо конденсаторов, либо выходных силовых ключей.

Некоторые преобразователи позволяют использовать внешний тормозной прерыватель, который подключается параллельно звену постоянного тока и состоит из силового ключа и мощного резистора, на котором происходит рассеяние избыточной энергии конденсаторов звена постоянного тока. Применение тормозного прерывателя позволяет уменьшить время торможения. Это может быть особенно полезным для механизмов с большим моментом инерции.

4.3. Особенности схем автономных инверторов

Характерными особенностями автономных инверторов тока (АИТ) являются питание от источника тока (в цепь источника включен дроссель значительной индуктивности), обмен реактивной энергией нагрузки с коммутирующим конденсатором, значительное колебание напряжения на входе инвертора при постоянном токе источника, а также зависимость формы кривой напряжения на выходе и входе

инвертора от характера нагрузки. АИТ технически реализуются проще, чем АИН, т. к. в них отсутствует возвратный диодный мост. В ПЧ на основе АИТ при использовании управляемых выпрямителей возможна рекуперация энергии в сеть, что важно для электроприводов, работающих в повторно-кратковременных режимах работы.

Характерным недостатком АИТ является то, что он не может работать на холостом ходу (с отключенным двигателем). Кроме того, при использовании АИТ возможны существенные потери мощности и формирование дополнительных возмущающих моментов в двигателе, приводящих к колебаниям скорости. При необходимости формирования токов двигателя, близких к синусоидальным, требуется значительное усложнение схемы АИТ.

Особенностями автономных инверторов напряжения (АИН) являются питание от источника напряжения, замыкание контура реактивного тока нагрузки через обратные диоды и независимость формы кривой напряжения на выходе инвертора от характера нагрузки. Недостатком АИН является необходимость использования реверсивных выпрямителей для организации рекуперативных режимов работы электропривода. Однако применение инверторов напряжений позволяет без усложнения схемы получить высокие энергетические показатели и обеспечить выходные токи, близкие к синусоидальным. Именно это обуславливает широкое применение АИН в современном электроприводе.

4.4. Силовые ключи

Для построения силовых ключей в области коммутируемых токов до 30 А используются биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) и полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET), а также низкочастотные и высокочастотные диоды и тиристоры.

В области коммутируемых токов более 50 А основными используемыми приборами являются силовые модули на базе биполярных транзисторов, запираемые тиристоры (СТО, GCT, IGCT). Особо следует выделить транзисторные и диодно-транзисторные модули, выполненные по интегральной технологии на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором.

Биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT) это полностью управляемый полупроводниковый прибор, сочетающий в

себе два транзистора в одной полупроводниковой структуре: биполярный (образующий силовой канал) и полевой (образующий канал управления). Сочетание двух приборов в одной структуре позволило объединить достоинства полевых и биполярных транзисторов: высокое входное сопротивление с высокой токовой нагрузкой и малым сопротивлением перехода коллектор-эмиттер во включённом состоянии.

По быстродействию IGBT уступают MOSFET транзисторам, но значительно превосходят биполярные. Типичные значения времени рассасывания накопленного заряда и спада тока при выключении IGBT находятся в диапазонах $0,2 \dots 0,4$ и $0,2 \dots 1,5$ мкс соответственно.

Область безопасной работы IGBT позволяет успешно обеспечить его надёжную работу без применения дополнительных цепей формирования траектории переключения при частотах от 10 до 20 кГц для модулей с номинальными токами в несколько сотен ампер. Такими качествами не обладают биполярные транзисторы, соединённые по схеме Дарлингтона.

Ток управления IGBT мал, поэтому цепь управления (драйвер) конструктивно компактна. В модулях IGBT драйверы непосредственно включены в их структуру. «Интеллектуальные» IGBT модули также содержат устройства защиты от токов короткого замыкания, системы диагностирования, обеспечивающие защиту от исчезновения управляющего сигнала, одновременной проводимости в противоположных плечах силовой схемы, исчезновения напряжения источника питания и других аварийных явлений. В структуре «интеллектуальных» IGBT модулей предусматривается в ряде случаев система управления с широтно-импульсной модуляцией и однокристалльная ЭВМ. Во многих модулях имеется схема активного фильтра для коррекции коэффициента мощности и уменьшения содержания высших гармонических в питающей сети.

5. Построение системы управления

5.1. Режимы управления преобразователем

Ручное управление – пользователь непосредственно управляет преобразователем путем подачи команд с пульта управления. Все события, такие как пуск и останов двигателя инициируются пользователем вручную. Разумеется, преобразователь полностью отрабатывает свои защитные функции и в случае возникновения нештатной ситуа-

ции способен самостоятельно остановить двигатель и уведомить пользователя о возникновении аварии.

Управление по событиям – как правило, в составе преобразователя имеются часы реального времени и существует возможность запрограммировать определенные действия по наступлению заданного времени. В качестве действий можно установить запуск или останов двигателя, установку нового значения выходной частоты или поддерживаемого параметра. Имеется возможность задать требуемые действия не только на определенное время, но и на определенный день недели (один или несколько). В комбинации это дает пользователю широкие возможности для настройки преобразователя в режиме автономного функционирования.

Управление по «сухим контактам» – в составе даже простых моделей преобразователей частоты имеется различное количество гальванически развязанных дискретных входов управления, которые принято называть «сухими контактами». Они могут иметь такие жестко определенные функции, как разгон, торможение, аварийный останов, установленные значения скорости, или же иметь возможность программирования функций пользователем. При управлении по «сухим контактам» преобразователь является составной частью внешней системы управления (ее исполнительным механизмом).

Внешнее управление – режим управления преобразователем от внешнего управляющего устройства. Как правило, для этого используется интерфейс RS232 или RS485. В качестве внешнего устройства управления может использоваться персональный компьютер со специальным программным обеспечением, позволяющий не только управлять преобразователем, но и просматривать информацию о его текущем состоянии. Часто имеется возможность управления преобразователем с внешнего пульта управления, который может располагаться на достаточном удалении (ограничения, накладываемые интерфейсом передачи данных на максимальную длину линии связи обычно составляют несколько сотен метров).

5.2. Особенности микропроцессорного управления преобразователем частоты

Основным элементом систем управления современных ПЧ является специализированный микроконтроллер или цифровой сигнальный процессор (DSP). Построение системы управления на базе DSP

обусловлено необходимостью производства большого объема сложных вычислений в режиме реального времени для реализации современных алгоритмов управления. В наибольшей степени это критично для бездатчиковых систем векторного управления.

Система управления может быть одно- или многопроцессорной. Однопроцессорные системы обладают рядом существенных недостатков: к микроконтроллеру предъявляются повышенные требования по наличию встроенных периферийных модулей и портов ввода-вывода, по быстродействию и объему памяти; значительно усложняется разработка программного обеспечения. Однако при решении задач управления невысокой сложности достоинством однопроцессорных систем является простота аппаратной и программной реализации.

В настоящее время большинство преобразователей строятся на двухпроцессорной основе. Первый процессор (ЦП1) выполняет основные функции ПЧ (реализация алгоритмов управления инвертором, выпрямителем, опрос датчиков и т. д.), второй (ЦП2) обеспечивает работу пульта управления, связь с системой верхнего уровня и другие сервисные функции. Следует отметить, что распределение функций между микроконтроллерами может быть произведено и другим способом.

Достоинства двухпроцессорной системы по сравнению с однопроцессорной – снижение требований к ЦП1 и ЦП2 по встроенной периферии, быстродействию и объему памяти; возможность применения единого интерфейса для связи центрального контроллера с пультом управления и с системой автоматизации верхнего уровня; значительное упрощение разработки программного обеспечения для каждого из контроллеров.

Управление драйверами инвертора осуществляется посредством формирования шестиканального ШИМ-сигнала с автоматическим добавлением «мертвого времени». В большинстве микроконтроллеров модуль ШИМ реализован аппаратно. Для получения формы выходного напряжения, близкой к синусоидальной (что особенно критично при скалярном управлении), может использоваться программная или аппаратная коррекция «мертвого времени». Также в большинстве случаев реализуется аппаратная блокировка сигналов ШИМ в случае аварии.

5.3. Задачи, решаемые программным обеспечением преобразователей частоты

Основными задачами, которые решает программное обеспечение преобразователей частоты, являются:

1. Реализация различных методов управления двигателем и методов формирования выходного напряжения.

2. Управление входным выпрямителем (в случае использования управляемого или полупроводяемого выпрямителя) – выдача импульсов управления на силовые ключи в соответствии с заданным углом открытия тиристорov. При этом необходима синхронизация с питающей сетью, т. е. определение момента прохождения фаз входного напряжения через ноль и корректировка моментов открытия ключей выпрямителя.

3. Прием и обработка информации с датчиков. Данная информация используется для определения текущего состояния ПЧ и двигателя, что необходимо для реализации требуемых законов управления, отслеживания аварийных ситуаций и т. д.

4. Взаимодействие с периферийными модулями контроллера (работа с Flash-памятью, таймером реального времени и прочими устройствами, обеспечивающими дополнительные сервисные функции).

5. Взаимодействие с системой автоматизации верхнего уровня. Осуществляется по принципу «ведущий – ведомый» (Master – Slave), причем ПЧ выступает в роли ведомого устройства. Программное обеспечение реализует требуемый протокол обмена, обеспечивает прием и выполнение команд управления, а также выдачу требуемой информации о текущем режиме работы, состоянии датчиков и параметрах ПЧ. В случае двухпроцессорной системы обеспечивается возможность совместной работы основного контроллера и контроллера пульта управления.

6. Обработка внешних сигналов и выдача управляющих воздействий на внешнюю аппаратуру в случае управления преобразователем частоты через дискретные или аналоговые входы.

7. Обеспечение интерфейса с пользователем. Следует отметить, что сложность реализации удобного интерфейса определяется набором средств управления и индикации, предусмотренных на пульте.

8. Диагностика аппаратуры и самодиагностика. Диагностика заключается в определении работоспособности различных модулей, входящих в состав ПЧ (как силовых, так и управляющих) и подклю-

ченного двигателя. Кроме того, производится контроль целостности программы и данных, хранимых в энергонезависимой памяти.

9. Реализация защитных функций. Современные ПЧ реализуют максимально-токовую защиту, защиту от перегрева двигателя и преобразователя, от перегрузки, чрезмерных отклонений напряжения питания, обрыва фазы, межфазного короткого замыкания, замыкания фазы на землю и ошибок связи.

Корректный выход из состояния аварии возможен, только если ликвидированы причины ее возникновения. Для отдельных видов аварий (например, пропадание напряжения в сети, авария связи) система в состоянии самостоятельно отследить возможность продолжения работы. Восстановление после других аварий требует вмешательства обслуживающего персонала.

10. Сохранение информации о режимах, длительности работы, периодичности включения ПЧ; подсчет показателей эффективности за определенный период; ведение журнала произошедших сбоев и аварий. Это позволяет проанализировать эффективность использования ПЧ и облегчает поиск причин сбоев в работе оборудования.

11. Реализация дополнительных функций. Различные модификации преобразователей обладают набором таких возможностей, как задание программируемых фиксированных установок скорости; управление режимом торможения привода; управление несколькими двигателями; осуществление работы ПЧ по расписанию.

5.4. Внешние сигналы управления и индикации

Управление преобразователем может осуществляться с помощью пульта, дискретных или аналоговых входов.

Преобразователи конструктивно строятся по модульному принципу, позволяющему вводить в них дополнительные функциональные модули, которые в сочетании со встроенными программными средствами позволяют получить различную конфигурацию электропривода, отвечающего требованиям заказчика, – от простейших разомкнутых до точных замкнутых систем позиционирования. Как правило, такие модули (платы) расширения содержат в своем составе аналоговые и дискретные входы и выходы, а также интерфейсы связи.

Все аналоговые входы и выходы на платах расширения имеют встроенный источник питания и обычно выполняются гальванически развязанными от системы управления и дискретных входов и выхо-

дов. Функции, выполняемые аналоговыми входами и выходами, программируются с пульта управления. Наиболее часто аналоговые входы служат для подключения датчиков обратной связи по технологическим параметрам (для этих целей, как правило, предусматривается один вход напряжения и один вход тока). В большинстве ПЧ имеется также вход для подключения потенциометра, используемого в качестве задатчика выходной частоты (для ПЧ со скалярным управлением) или частоты вращения ротора двигателя (для ПЧ с векторным управлением), при этом для питания задатчика частоты используется встроенный источник питания (как правило, 10 В). Возможно также наличие дополнительного входа для подключения датчика температуры двигателя (терморезистора).

Аналоговые выходы служат для индикации одного из параметров состояния ПЧ (например, текущей выходной частоты или расчетного значения момента на валу двигателя). Возможность подключения к выходам, как вольтметров, так и амперметров достигается за счет наличия выхода напряжения и выхода тока. Выходные аналоговые сигналы формируются с помощью ЦАП (как правило, 10-битных); в отдельных случаях выходное напряжение формируется методом широтно-импульсной модуляции.

Дискретные входы и выходы на платах расширения используются для подключения внешних управляющих сигналов, поступающих с электромагнитных реле, а также для формирования сигналов управления такими реле.

Обычно в ПЧ имеется от четырех до восьми дискретных входов типа «открытый коллектор», выполняющих следующие функции: выбор одной из трех выходных частот (или скоростей вращения ротора), управление отключением и реверсом, аварийное отключение ПЧ. Все дискретные входы выполняются гальванически развязанными от системы управления.

Дискретные выходы можно разделить на две категории: силовые («релейные») выходы для управления внешними электромагнитными реле и выходы типа «открытый коллектор» для работы с внешними логическими схемами. Платы расширения обычно содержат два релейных выхода, имеющих пару нормально замкнутых и пару нормально разомкнутых контактов, а также четыре выхода типа «открытый коллектор». Функции выходов можно запрограммировать с пульта управления; обычно это: готовность, перегрузка, авария, выход на заданную частоту. Все дискретные выходы гальванически развязаны от системы

управления, при этом релейные выходы развязаны между собой, а выходы типа «открытый коллектор» имеют общий нулевой сигнал.

Типовые характеристики аналоговых и дискретных входов и выходов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Типовые характеристики плат расширения

Наименование вывода	Описание
Аналоговые выходы	Выход напряжения: $0 \dots 10$ В; $I_{\text{вых.макс}} = 2$ мА
	Выход тока: $0 / 4 \dots 20$ мА; $R_{\text{нагр}} < 600$ Ом
Аналоговые входы	Вход напряжения: ± 10 В ($R_{\text{вх}} = 20$ кОм)
	Вход тока: $4 \dots 20$ мА ($R_{\text{вх}} = 250$ Ом)
	Вход задатчика частоты: $R = 4,7 \dots 10$ кОм
Дискретные входы	Тип входа – «открытый коллектор», $U_{\text{вх.макс}} = 24$ В, $I_{\text{макс}} = 8$ мА
Дискретные выходы	«Релейные» выходы: 30 В / 3 А постоянного тока, или 250 В / 1 А переменного тока.
	Выходы «открытый коллектор»: 24 В / 50 мА
Сетевые интерфейсы	RS-422 (RS-485), Modbus, Profibus, Interbus, CAN Open, Device Net

Для построения систем с обратной связью по скорости ПЧ предусматривают входы для подключения датчика скорости типа «энкодер». Модуль сопряжения с датчиком скорости может входить в стандартную поставку ПЧ или выполняться в виде платы расширения. Для питания дискретных входов и датчика скорости используется встроенный источник питания (обычно 24 В).

Преобразователи легко встраиваются в современные системы автоматизации. Широко используется управление в реальном времени несколькими преобразователями, для чего предлагаются решения с различными интерфейсами связи и топологиями сети. Большинство преобразователей частоты комплектуется стандартным интерфейсом RS-422 или RS-485. При этом взаимодействие осуществляется с использованием протоколов Modbus или Profibus, или их упрощенных модификаций. При использовании модулей расширения доступны

дополнительные интерфейсы (например, CAN) и протоколы (Interbus, CAN Open, Device Net).

Как правило, ПЧ в своем составе имеет пульт управления, который располагается на лицевой панели корпуса преобразователя. Пульт содержит несколько специализированных кнопок, в отдельных случаях может присутствовать цифровая клавиатура. Вывод информации осуществляется посредством одно- или двухстрочного специализированного ЖКИ или нескольких семисегментных индикаторов, а также светодиодов, отображающих режимы работы. На этапе ввода ПЧ в эксплуатацию пульт служит для конфигурирования преобразователя и настройки соответствующих параметров; во время работы – для наблюдения за параметрами рабочего режима. В процессе обслуживания на индикаторе отображается информация о возникших неисправностях, что обеспечивает возможность постоянного контроля состояния привода. Пульт управления, как правило, выполняется съемным, что позволяет подключать его к ПЧ только при необходимости и использовать один пульт для нескольких ПЧ.

Для хранения настроек системы, калибровочных параметров, журнала аварий и другой информации используется дополнительная энергонезависимая память. Часто она выполняется на основе микросхем Flash-памяти (как правило, с последовательным интерфейсом I²C или SPI). Кроме того, многие микроконтроллеры и DSP имеют возможность сохранения данных во внутренней энергонезависимой памяти.

6. Программируемые управляющие функции

К программируемым управляющим функциям можно отнести параметры, обеспечивающие возможность адаптации статических и динамических характеристик привода под условия нагрузки.

Настройка разгона и торможения

Для уменьшения перегрузок при включении и отключении двигателя преобразователь осуществляет его плавный разгон и торможение. Для эффективного управления приводами различного промышленного назначения используются различные виды характеристик разгона и торможения.

Линейная характеристика – стандартная характеристика, используемая при постоянном моменте нагрузки двигателя.

Характеристика S -типа – характеристика плавного разгона и торможения, которая предотвращает рывки и колебания механизма во время разгона и торможения.

Характеристика U -типа – используется для эффективного разгона и торможения механизмов с вентиляторной и насосной нагрузкой.

Настройка вида характеристики $U f$

Характеристика $U f$ определяет зависимость амплитуды напряжения, подаваемого на двигатель, от частоты его вращения. При подаче на двигатель полного значения номинального напряжения при частоте вращения близкой к нулю возможен выход двигателя из строя из-за превышения тока обмоток и их перегрева. Использование специальной зависимости напряжения, подаваемого на двигатель, от частоты его вращения, позволяет продлить время работы двигателя и повысить надежность работы привода в целом.

Обычно преобразователь предоставляет пользователю возможность выбора одного из предустановленных типов характеристик $U f$ или же возможность задания собственного вида характеристики в табличной форме.

Линейные зависимости рекомендуется выбирать в общих случаях применения преобразователя. В частности, при постоянной нагрузке независимой от скорости вращения, например, для линейных транспортных систем.

Квадратичные зависимости рекомендуется выбирать когда момент нагрузки пропорционален изменению скорости вращения в n -степени, например, при работе вентиляторов или насосов.

Характеристики с высоким стартовым моментом рекомендуется выбирать только в случаях, когда:

- длина соединительной линии между инвертором и двигателем велика (примерно, начиная со 150 м);
- при запуске требуется значительный момент (например, подъемники, и т. д.);
- на входе или выходе инвертора установлен дроссель переменного тока;
- выполняется работа с двигателем, характеристики которого ниже оптимальных значений.

Пользовательская характеристика предназначена для специального применения. Пользователь может самостоятельно определить вид характеристики применительно к конкретному механизму.

Поиск скорости двигателя

Эта функция полезна тогда, когда необходимо подключить к преобразователю частоты уже вращающийся двигатель. Обычно преобразователь осуществляет свой запуск со стартовой частоты и доходит до заданной частоты за некоторое время разгона. Если двигатель при этом вращается, произойдет рывок, что часто недопустимо. Преобразователи, оснащенные функцией поиска скорости, анализируют параметры двигателя и начинают вращать двигатель именно с той частоты, на которой он вращается в данный момент. Области применения данной функции: где требуется «подхват» вращающегося двигателя после перебоя в питании или при переходе с питания от сети на питание от преобразователя частоты.

При использовании внешней контактной аппаратуры возможно управление несколькими двигателями от одного преобразователя. Плавный разгон каждого двигателя осуществляется преобразователем, после чего двигатель переключается на питание от сети, а преобразователь производит разгон следующего двигателя. Для этого необходимо предварительно синхронизировать двигатель по фазе и частоте с питающей сетью.

При работе в таком режиме один из двигателей обычно является основным, т. е. эксплуатируется большую часть времени. Для равномерной выработки ресурса всех подключенных двигателей статус основного двигателя присваивается по очереди каждому из них.

Пропуск резонансных частот

При работе преобразователя существует возможность пропускать при разгоне и торможении двигателя частоты, при которых в механизме наблюдаются вибрации и резонансные явления. Это позволит продлить ресурс привода и избежать нежелательных шумов при разгоне и торможении. Обычно имеется возможность задания от 2 до 5 резонансных частот, а также задания ширины резонансной зоны.

К прочим функциям можно отнести:

- компенсацию падения напряжения на активном сопротивлении статора (IR-компенсация);
- поддержку высокого пускового момента на низких частотах за счет дополнительного увеличения напряжения;
- стабилизацию скорости вращения путем воздействия на частоту в функции нагрузки (компенсация скольжения);
- настройку реакции на скачок скорости или момента нагрузки с учетом инерционных свойств механизма;
- автоматическое определение параметров подключенного двигателя.

7. Дополнительные защитные функции

Увеличение мощности управляющих контроллеров и жесткая конкуренция производителей привели к появлению наряду с обязательными защитными функциями (защиты от короткого замыкания, превышения или пропадания напряжения сети) некоторых дополнительных, которые позволяют увеличить надежность работы как преобразователя частоты, так и привода в целом.

Тепловая защита двигателя

Это программная реализация защиты от перегрева двигателя, вызванного превышением тока обмоток и выделением избыточного тепла. Может заменять тепловое реле в выходных цепях ПЧ. В преобразователях некоторых фирм данная функция имеет название «электронное тепловое реле». Ее применение не требует использования датчика температуры двигателя.

Этот вид защиты двигателя реализован путем непрерывного расчета контроллером ПЧ перегрева двигателя. Перегрев двигателя определяется как разность между количеством тепла, выделяющегося в обмотках двигателя и количеством тепла, которое способен рассеять двигатель в общепромышленных условиях применения.

Значение допустимого перегрева двигателя обычно задается сочетанием двух параметров: коэффициента превышения тока и времени превышения тока. Первый определяет допустимое увеличение тока через двигатель. Второй параметр – максимальное время, в течение которого происходит это увеличение тока.

Защита от резкого изменения регулируемого параметра

Эта защита может помочь, например, при работе преобразователя на вентиляторную или насосную нагрузку. При обрыве трубопровода увеличивается расход жидкости или газа за счет больших утечек через разрыв, при этом скорость двигателя доходит до максимальной, а требуемое значение параметра не может быть достигнуто. В данной ситуации преобразователи, реализующие эту функцию, выдают предупреждающий сигнал на специальный выход.

В случае блокировки трубопровода (выше места установки датчика давления) давление в системе начинает уменьшаться, и преобразователь увеличивает скорость работы насоса. Однако расхода жидкости или газа нет, и ток двигателя остается небольшим. Если скорость двигателя достигла максимальной при небольшом токе двигателя, преобразователь выдает предупреждающий сигнал на специальный вывод. В обоих случаях после выдачи предупреждающего сигнала преобразователь в зависимости от настроек может продолжить работу или остановиться.

Защита от кратковременных перегрузок

Применяется, например, для защиты от заклинивания вала двигателя. Срабатывает в случае, если ток больше, а частота меньше заданного значения в течение заданного времени. Так как при отсутствии датчика скорости преобразователь не имеет прямой информации о скорости вращения вала, то такая защита является разновидностью защиты от превышения тока.

8. Частотный преобразователь OMRON SYSDRIVE 3G3RV

Инверторы SYSDRIVE RV предназначены для:

- управления вентиляторами, насосами;
- управления конвейерами, толкателями (эжекторами), металлообрабатывающими механизмами, и т. д.

Инверторы серии RV подразделяются по напряжению на два класса: класс 200 В и класс 400 В. Диапазон мощностей выпускаемых моделей от 0,4 до 160 кВт. Все модели соответствуют требованиям ЕС директив.

Внешний вид частотного преобразователя OMRON SYSDRIVE 3G3RV приведен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид преобразователя
OMRON SYSDRIVE 3G3RV

Вид инвертора со снятой крышкой клеммного блока и расположение клемм на моделях, поставляемых в европейские страны, приводится на рис. 2 и 3.

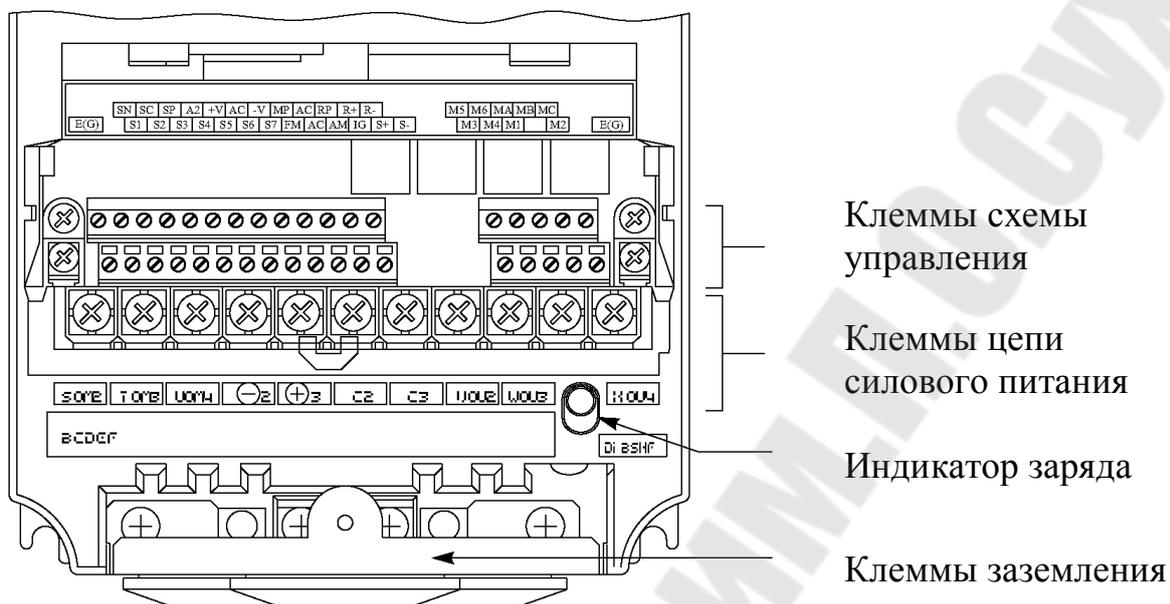


Рис. 2. Расположение клемм на моделях мощностью 18,5 кВт и меньше

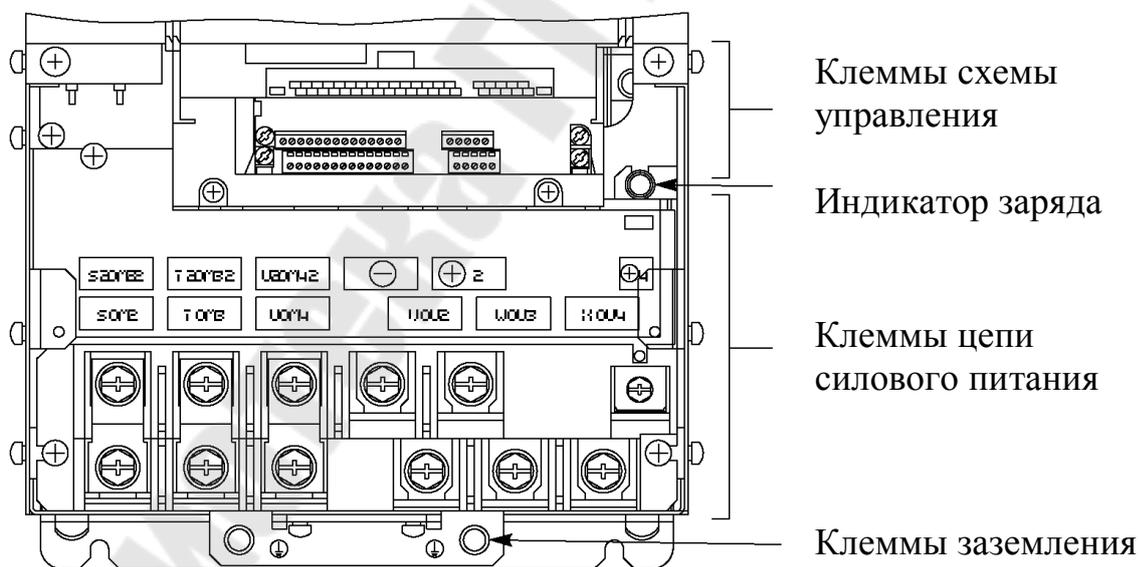


Рис. 3. Расположение клемм на моделях мощностью 22 кВт и больше

Схема подключения инверторов, поставляемых в европейские страны, приведена на рис. 4.

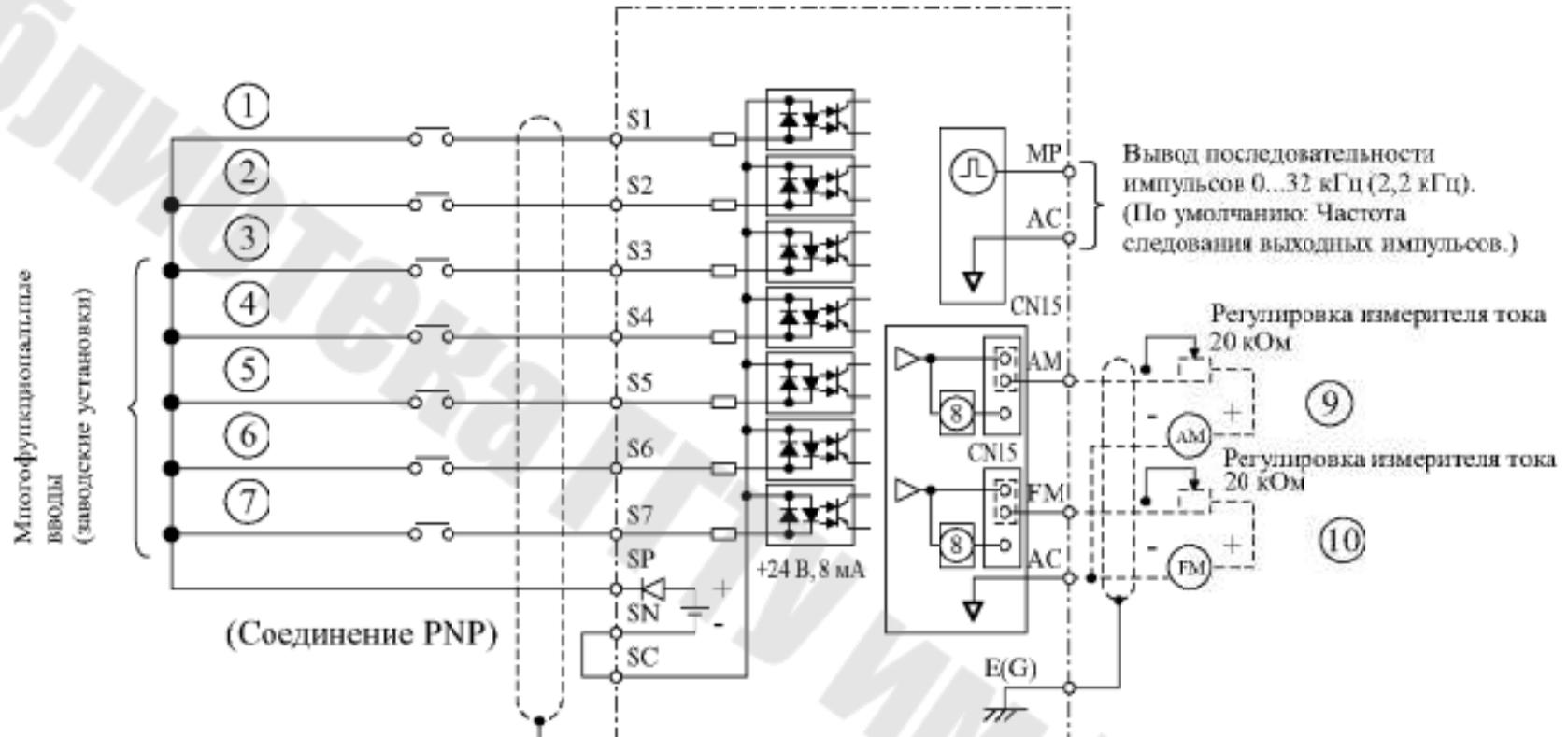


Рис. 4. Соединения клемм схемы управления (окончание см. на с. 25):

- 1 – вращение в прямом направлении/остановка; 2 – вращение в обратном направлении/остановка; 3 – внешняя ошибка; 4 – переустановка ошибки; 5 – установка 1 для многоступенчатого изменения скорости; 6 – установка 2 для многоступенчатого изменения скорости; 7 – выбор частоты для медленного выполнения операций; 8 – преобразователь В/А 0...10 В/4...20 мА; 9 – многофункциональный аналоговый вывод 2: –10...+10 В, 2 мА (по умолчанию: выходной ток, 0...+10 В); 10 – многофункциональный аналоговый вывод 1: –10...+10 В, 2 мА (по умолчанию: частота следования выходных импульсов, 0...+10 В)

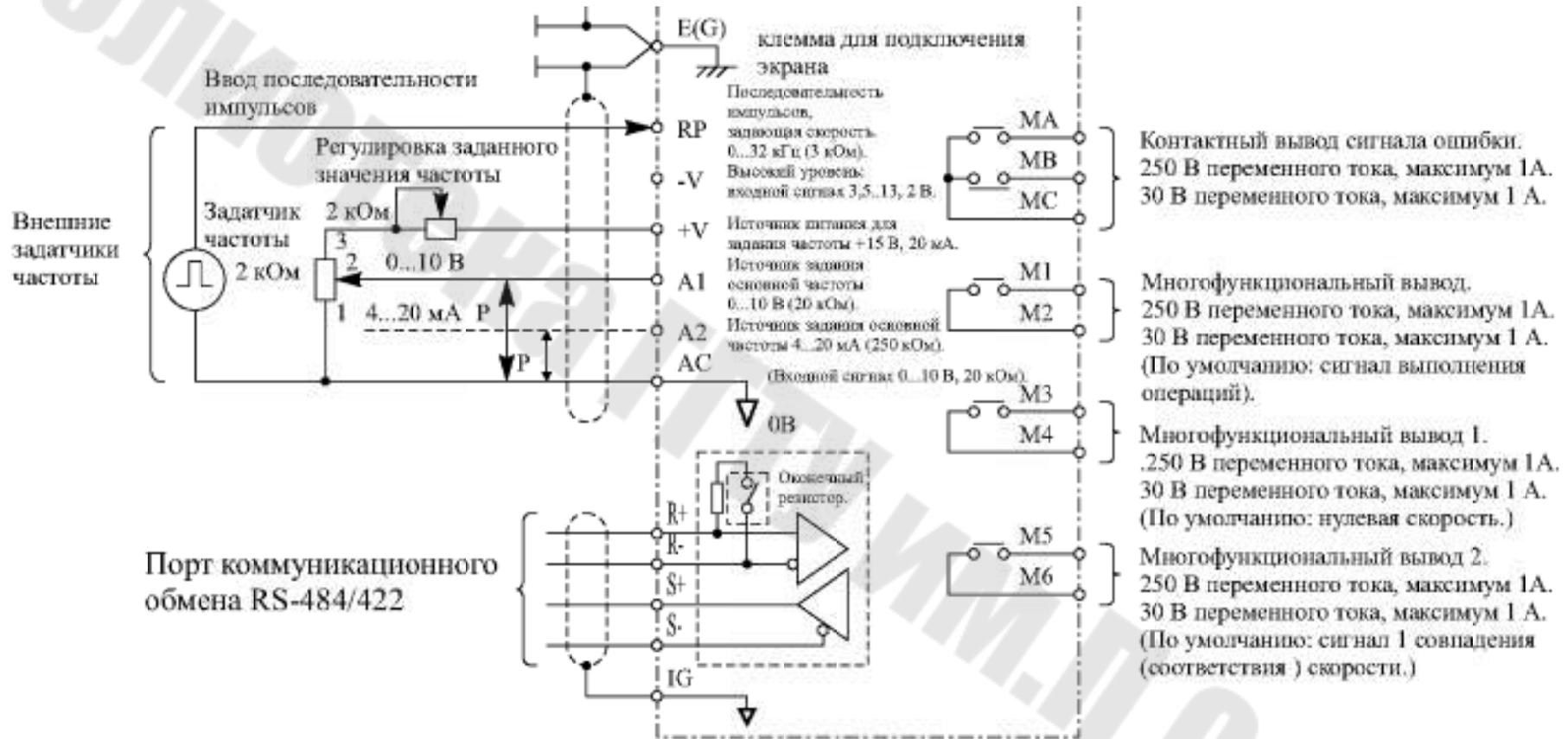


Рис. 4. Окончание (начало см. на с. 24)

9. Порядок выполнения работы

1. Перед использованием Инвертора укажите область применения.

Если Инвертор применяется не для управления вентиляторами, воздуходувками, насосами, задайте в параметре С6-01 (выбор СТ/VT) значение, равное нулю (СТ: низкая несущая частота, фиксированный момент). Значением по умолчанию является 1 (VT: высокая несущая частота, изменяемый момент вращения).

2. Перейдите в режим ускоренного программирования (на Цифровом пульте управления загорается индикатор QUICK) и произведите установку следующих параметров, перечисленных в таблице 2.

Таблица 2

Параметры, подлежащие установке

Параметр	Наименование	Описание	Заводская установка
A1-02	Выбор метода управления (регулирования)	Задайте Инвертору метод управления: 0: <i>U/f</i> регулирование 1: <i>U/f</i> регулирование и PG (Генератор импульсов в качестве устройства кодирования) 2: векторное управление с разомкнутой петлей обратной связи	0
V1-01	Выбор задатчика	Метод ввода сигнала задатчика частоты: 0: цифровой пульт управления 1: клемма схемы управления (аналоговый ввод) 2: обмен через порт RS-422A/485 3: дополнительная плата 4: ввод последовательности импульсов	1
V1-2	Выбор метода работы	Задайте метод ввода команды запуска RUN: 0: цифровой пульт управления 1: клемма схемы управления (последовательный ввод) 2: обмен через порт RS-422A/485 3: дополнительная плата	1
C1-01	Время разгона 1	Задайте время разгона в секундах, за которое выходная частота изменяется от 0 % до 100 % (0,0...6000,0 с)	10,0

Продолжение табл. 2

Параметр	Наименование	Описание	Заводская установка
C1-02	Время торможения 1	Задайте время торможения в секундах, за которое выходная частота изменяется от 100 % до 0 % (0,0...6000,0 с)	10,0
C6-01	Выбор СТ/VT	Установите в СТ (достаточно высокий уровень помех, максимальная перегрузка по току: 150 %), или VT (низкий уровень помех, максимальная перегрузка по току: 120 %) 0: СТ 1: VT	1
E1-01	Задание входного напряжения	Задайте номинальное входное напряжение инвертора в вольтах (155...255 В – класс 200 В, или 310...510 В – класс 400 В)	200 V (Класс 200 В) 400 V (Класс 400 В)
E2-01	Номинальный ток двигателя	Номинальный ток двигателя (10 %...200 % от номинального тока инвертора)	Установка для двигателя общего назначения, мощность двигателя равна мощности инвертора
L1-01	Выбор защиты двигателя	Одно из значений для ввода в действие или блокирования функции защиты двигателя от перегрузки с помощью электронного теплового реле: 0: функция блокируется 1: общая защита двигателя 2: защита двигателя с помощью инвертора 3: векторная защита двигателя	1
B1-03	Выбор метода остановки	Метод остановки после поступления на вход команды остановки: 0: торможение до остановки 1: остановка по инерции 2: динамическое торможение с помощью тормоза 3: остановка по инерции с таймером	0

Параметр	Наименование	Описание	Заводская установка
С6-02	Выбор частоты несущей	Частота несущей устанавливается в меньшее значение, если длина кабеля достигает 50 м и более, или для уменьшения уровня радиопомех или уменьшения тока утечки. Заводская установка и пределы установок зависят от значения параметра С6-01	Зависит от значения параметра С6-01
d1-01... d1-04 и d1-17	Задатчики частоты 1...4 и задатчик частоты медленного вращения	Задайте необходимые источники сигналов для управления частотой при многошаговом изменении скорости и для выполнения медленного вращения. (0...400,00 Гц)	D1-01...d1-04: 0,00 Гц D1-16: 6,00 Гц
Н4-02 и Н4-05	Коэффициент передачи на выходе клемм FM и AM	Отрегулируйте после подключения оборудования к клеммам FM или AM (0,00...2,50)	Н4-02: 1,00. Н4-05: 0,50

3. Произведите пробный пуск двигателя.

4. В соответствии с индивидуальным заданием преподавателя установите необходимые параметры преобразователя и произведите повторный пуск с контролем заданных параметров.

10. Содержание отчета

В отчете необходимо привести наименование и указать цель работы, чертеж схемы соединения клемм системы управления. Дать краткое описание основных параметров, используемых при наладке преобразователя частоты. Сделать выводы по работе.

11. Контрольные вопросы

1. Поясните сущность скалярного способа управления.
2. Укажите преимущества и недостатки скалярного способа управления.
3. Поясните сущность векторного способа управления.
4. Укажите преимущества и недостатки векторного способа управления.
5. Какова область применения приводов с датчиками и без них?

6. В чем состоит отличие непосредственных преобразователей частоты от ПЧ со звеном постоянного тока?
7. Охарактеризуйте особенности схем выпрямителей, применяемых в ПЧ со звеном постоянного тока.
8. Чем объясняется необходимость подключения к звену постоянного тока внешнего резистора?
9. Приведите схему АИТ и охарактеризуйте ее достоинства и недостатки.
10. Приведите схему АИН и охарактеризуйте ее достоинства и недостатки.
11. Охарактеризуйте особенности элементной базы, применяемой при построении инверторов.
12. Опишите достоинства и недостатки одно- и двухпроцессорной схемы управления ПЧ.
13. Охарактеризуйте назначение и функции аналоговых входов и выходов.
14. Охарактеризуйте назначение и функции цифровых входов и выходов.
15. Перечислите основные программируемые управляющие функции ПЧ.
16. Для чего и как выполняется настройка вида характеристики $U(f)$?
17. Приведите основные виды защит ПЧ и дайте им краткую характеристику.

Литература

1. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г. Г. Соколовский. – Москва : Академия, 2006. – 356 с.

2. Частотные преобразователи OMRON 3G3RV. Руководство по использованию. Cat.No. I532-E1-1 R1.00.

3. Башарин, А. В. Управление электроприводами : учеб. пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Ленинград : Энергоиздат, 1982. – 392 с.

Содержание

Предисловие	3
1. Цель работы	4
2. Указания мер безопасности	4
3. Методы частотного управления и режимы работы преобразователей частоты.....	4
3.1. Скалярное управление.....	4
3.2. Векторное управление.....	6
3.3. Режимы работы преобразователей частоты.....	7
4. Построение силовой части.....	8
4.1. Особенности построения выпрямителя.....	8
4.2. Особенности построения звена постоянного тока.....	9
4.3. Особенности схем автономных инверторов	9
4.4. Силовые ключи.....	10
5. Построение системы управления	11
5.1. Режимы управления преобразователем	11
5.2. Особенности микропроцессорного управления преобразователем частоты	12
5.3. Задачи, решаемые программным обеспечением преобразователей частоты	14
5.4. Внешние сигналы управления и индикации	15
6. Программируемые управляющие функции	18
7. Дополнительные защитные функции.....	21
8. Частотный преобразователь OMRON SYSDRIVE 3G3RV	22
9. Порядок выполнения работы.....	26
10. Содержание отчета.....	28
11. Контрольные вопросы.....	28
Литература.....	30

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Савельев Вадим Алексеевич

**НАЛАДКА И ДИАГНОСТИКА
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

**Лабораторный практикум
по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. И. Жукова*
Компьютерная верстка *Е. Н. Герасименко*

Подписано в печать 21.04.2010.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Ризография. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 2,0.

Изд. № 254.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.