

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пермский государственный технический университет»
Кафедра электрификации и автоматизации горных предприятий

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ *MICROMASTER 420*

Методические указания к лабораторной работе по курсу
«Элементы систем автоматики»

Издательство
Пермского государственного технического университета
2008

Составители: Е.В. Аристов, Р.А. Хузин

УДК 680.51
И88

Рецензент
канд. техн. наук А.В. Ромодин
(Пермский государственный технический университет)

Исследование преобразователя частоты *Micromaster 420*: метод. указания к лабораторной работе по курсу «Элементы систем автоматики» / сост. Е.В. Аристов, Р.А. Хузин.– Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 15 с.

Рассмотрены принципы работы преобразователя частоты со звеном постоянного тока на базе автономного инвертора напряжения, способы настройки преобразователя частоты для работы в определенном режиме, описан порядок параметрирования преобразователя. Приведены описание лабораторного стенда, порядок выполнения работы и контрольные вопросы для самопроверки.

Предназначено для студентов всех специальностей горно-нефтяного факультета.

УДК 680.51

Подготовлено по программе «Гранты ТНК-ВР для профильных вузов РФ».

© ГОУ ВПО «Пермский
государственный технический
университет», 2008

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ MICROMASTER 420

Цели работы:

1. Изучение устройства и способа подключения преобразователя частоты *Micromaster 420*.
2. Изучения способов параметризации (настройки) преобразователей частоты серии *Micromaster 420*.

Основные теоретические положения

Базовыми элементами асинхронного частотно-регулируемого электропривода являются управляемый преобразователь частоты ПЧ (*UZF*), питающийся от промышленной сети напряжением U_c и частотой f_c , и асинхронный двигатель АД (*M*), питающийся от ПЧ (рис. 1).

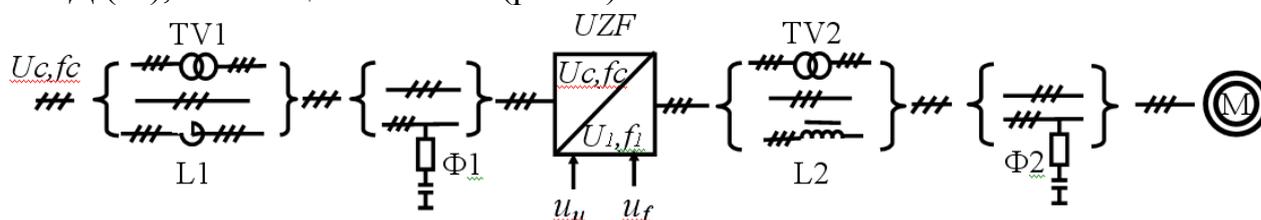


Рис. 1. Состав силовой части системы ПЧ-АД

При необходимости согласования мощности и входных напряжений питания собственно ПЧ с сетью между ними может устанавливаться согласующий трансформатор *TV1*. Для ограничения токов короткого замыкания и перенапряжений на входе ПЧ могут устанавливаться токоограничивающие реакторы *L1* и дополнительные *RC*-фильтры $\Phi 1$. При необходимости согласования выходного напряжения ПЧ и цепи питания *M* (например, для высоковольтных электрических машин) между ними могут устанавливаться согласующие трансформаторы *TV2*. При значительном удалении двигателя от преобразователя (при длине кабельной связи между ними более 50 м, а для ряда преобразователей допускается и более 200 м) на выходе ПЧ для ограничения перенапряжений на его силовых полупроводниковых элементах устанавливаются фильтрующие дроссели *L2*, а также помехоподавляющие *RC*-фильтры $\Phi 2$.

Выходные частота f_1 и фазное напряжение U_1 (или ток I_1) ПЧ определяются соответственно сигналами управления u_f и u_u . Регулирование частоты f_1 и напряжения U_1 (или тока I_1) обеспечивает регулирование основных координат АД (тока, электромагнитного момента M , угловой скорости ω).

Наибольшее распространение получили две группы управляемых полупроводниковых ПЧ: 1) преобразователи со звеном постоянного тока и автономным инвертором АИ (инвертором напряжения АИН или тока АИТ); 2) преобразователи с непосредственной связью питающей сети и нагрузки ПЧНС (без и с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения).

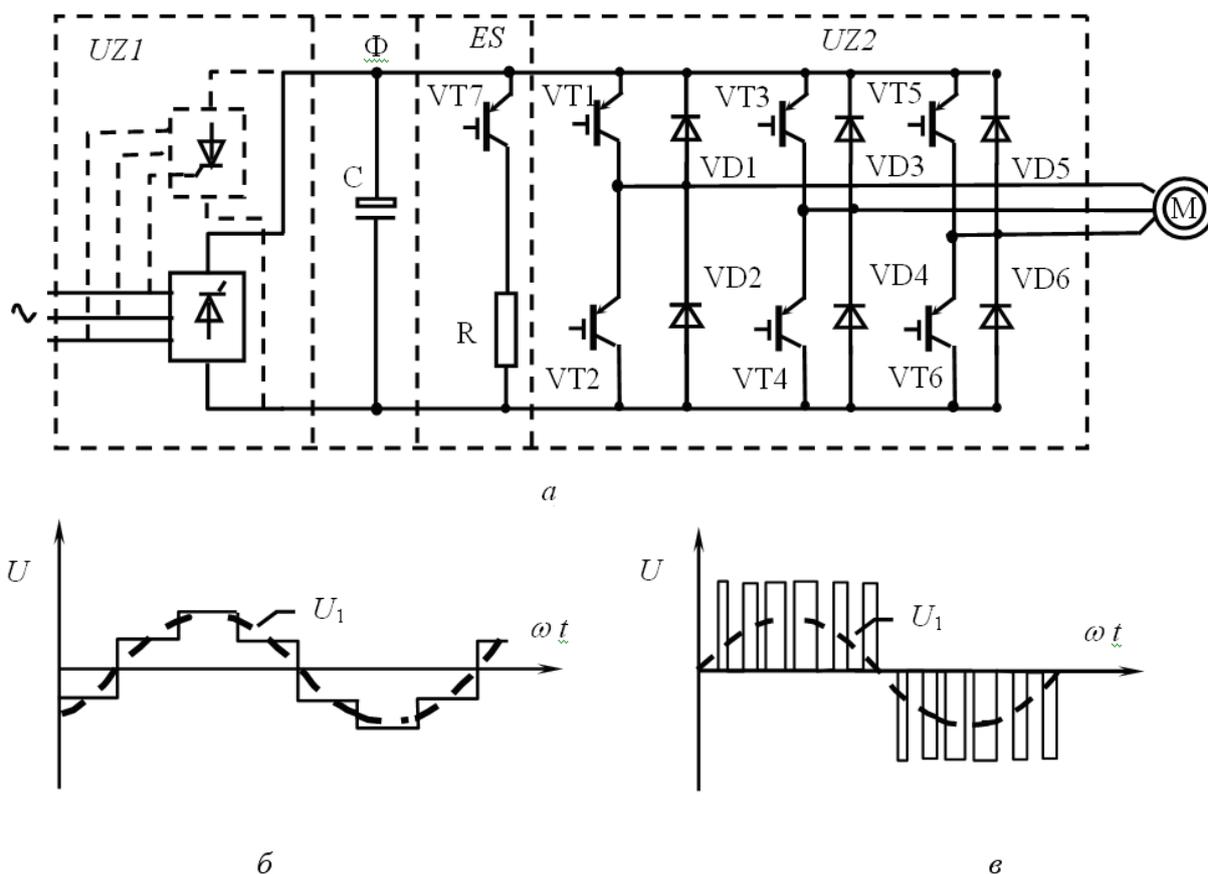


Рис. 2. Схема силовой части АИИ (*a*) и диаграммы его выходных напряжений при АИМ (*б*) и ШИМ (*в*)

Преобразователь по системе ПЧ-АИ состоит из трех силовых блоков: управляемого или неуправляемого выпрямителя *UZ1*, силового фильтра Φ (*C* или *LC* типа) в звене постоянного тока и автономного инвертора *UZ2* (рис. 2,*a*, рис. 3). АИ может быть выполнен либо на основе однооперационных тиристоров с искусственной их коммутацией, либо на запираемых (*GTO*) тиристорах, либо на полностью управляемых силовых транзисторах (чаще всего на базе *IGBT*-модулях, содержащих транзистор с изолированным затвором и шунтирующий его силовой диод).

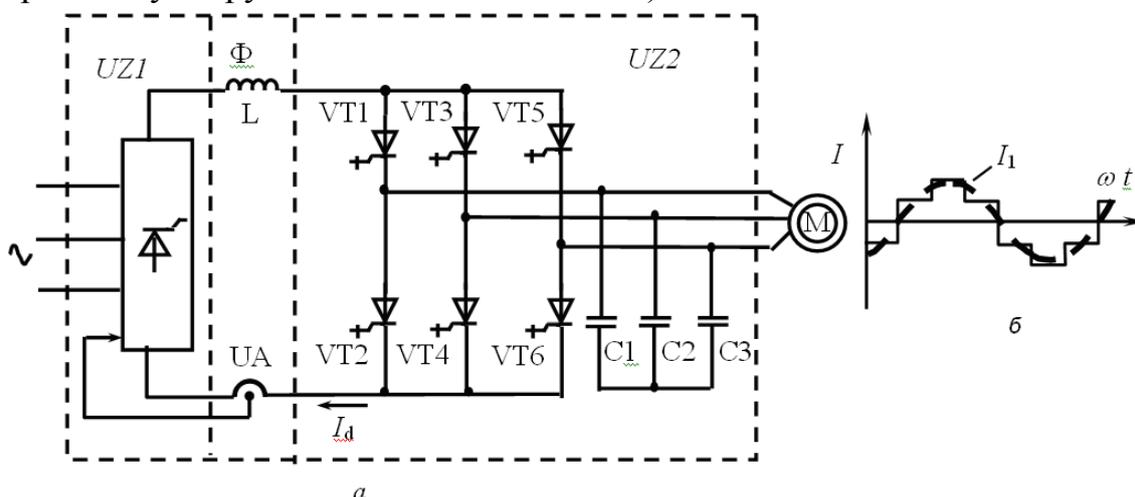


Рис. 3. Схема силовой части АИТ (*a*) и диаграммы его выходного тока (*б*)

АИН (см. рис. 2,а) является источником напряжения. Благодаря емкости C фильтра Φ и обратным диодам $VD1$ - $VD6$, подключенным параллельно силовым ключам $VT1$ - $VT6$, при работе АИН на активно-индуктивную нагрузку, к числу которой относится АД, обеспечивается обмен реактивной энергией между АД и звеном постоянного тока. Они обеспечивают непрерывность цепи тока в обмотках M при отключении их от источника питания в процессе коммутации и возврат запасенной магнитной энергии в конденсатор фильтра.

Выходное напряжение АИН может регулироваться двумя способами: 1) при управляемом выпрямителе $UZ1$ – изменением напряжения в звене постоянного тока, когда инвертору отводится роль лишь коммутатора фаз, формирующего требуемую частоту (АИН с амплитудно-импульсной модуляцией АИМ); 2) при неуправляемом выпрямителе – широтно-импульсным регулированием напряжения в инверторе за счет модуляции напряжения несущей частоты (частоты коммутации силовых ключей) сигналом требуемой частоты (АИН с широтно-импульсной модуляцией ШИМ). Диаграммы выходных фазных напряжений U и первых их гармоник U_1 для АИН с АИМ и с ШИМ показаны на рис. 2,б и рис. 2,в соответственно.

В ПЧ с АИН отсутствует рекуперация энергии в питающую сеть. При необходимости возврата энергии в сеть питания входной выпрямитель в ПЧ с АИН должен быть реверсивным и управляемым (на рис. 2,а изображен пунктиром). При отсутствии подобного выпрямителя для обеспечения режима динамического торможения АД параллельно фильтру Φ устанавливается узел сброса энергии на основе ключа $VT7$ и силового резистора R . При превышении допустимого напряжения на выходе фильтра ключ $VT7$ открывается и обеспечивает разряд конденсатора на резистор R .

В ПЧ с АИТ (см. рис. 3,а) управляемый преобразователь $UZ1$ работает в режиме источника тока, а инвертор $UZ2$ обеспечивает коммутацию обмоток статора АД силовыми ключами $VT1$ - $VT6$. Главное техническое отличие ПЧ с АИТ от ПЧ с АИН – в наличии индуктивного L -фильтра и отсутствии емкостного фильтра на выходе выпрямителя, отсутствии обратных диодов, шунтирующих силовые ключи, и наличии конденсаторов $C1$, $C2$, $C3$ на выходе инвертора, являющихся источником реактивной энергии для нагрузки преобразователя частоты.

При переходе АД в генераторный режим изменяется направление его ЭДС и инвертор, который переходит в режим выпрямителя, стремится увеличить ток I_d в звене постоянного тока. Однако за счет отрицательной обратной связи по току I_d (датчик тока UA на рис. 3,а) преобразователь $UZ1$ переводится в режим инвертора, ведомого сетью, сохраняя прежнее направление и значение I_d и, обеспечивая тем самым, режим рекуперативного торможения АД. Диаграммы выходного фазного тока I АИТ и первой его гармоники I_1 даны на рис. 3,б.

К достоинствам преобразователей по системе ПЧ-АИ относятся:

- высокий диапазон частот выходного напряжения АИН (практически от 0 до 1500 Гц), ограничиваемый лишь частотой коммутации и коммутационными потерями в силовых ключах автономного инвертора (для АИТ максимальная выходная частота тока – до 100–125 Гц);

- низкий уровень гармонических составляющих напряжения или тока статора двигателя и тока, потребляемого из сети питания;
- высокий коэффициент мощности (до 0,95–0,98) в преобразователях с неуправляемым выпрямителем. В случае применения управляемого выпрямителя коэффициент мощности меньше и близок коэффициенту мощности в системах тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока;
- относительно небольшое число силовых ключей преобразователя (по сравнению с ПЧНС) и более простая схема их управления, не требующая синхронизации с питающей сетью;
- для АИТ возможность рекуперации энергии в сеть и безаварийность режима короткого замыкания по выходу.

К недостаткам подобных преобразователей следует отнести:

- двукратное преобразование энергии (с переменного напряжения питающей сети на постоянное выпрямителя, а затем с постоянного – на переменное выходное напряжение инвертора), снижающее результирующий КПД преобразователя частоты (до 0,94–0,96);
- зависимость (для тиристорных ключей АИ) условий их искусственной коммутации от $\cos\phi$ и уровня нагрузки двигателя;
- для АИН отсутствие (без дополнительной управляемой инверторной группы в блоке выпрямителя *UZI*) возврата энергии в питающую сеть преобразователя, ограничивающее быстродействие регулирования скорости АД в тормозных его режимах, высокие требуемые значения емкости фильтра Φ и, соответственно, большие габариты конденсаторной батареи;
- для АИТ невозможность работы на групповую нагрузку, существенные масса и габариты реактора фильтра Φ , наличие коммутационных перенапряжений на силовых ключах, более низкий $\cos\phi$ по сравнению с АИН с ШИМ и неуправляемым входным выпрямителем.

В преобразователе *Micromaster 420* используется система с автономным инвертором напряжения (АИН), работающего по принципу широтно-импульсного преобразователя (ШИП).

Для понимания ограничений, накладываемых на применение преобразователей с АИН, необходимо знать основные принципы, на которых основаны преобразователи этого типа.

Схема, поясняющая принцип работы преобразователя частоты, представлена на рис. 4. Трехфазный переменный ток сетевого напряжения (может использоваться и однофазное напряжение) выпрямляется трехфазным выпрямителем. Полученное постоянное напряжение затем инвертируется *IGBT* транзисторами в переменное с изменяемой частотой и амплитудой. Для обеспечения возможности торможения электродвигателя в преобразователях с АИН используют торможение постоянным током, подаваемым в обмотку статора, также при применении нереверсивного выпрямителя возможен

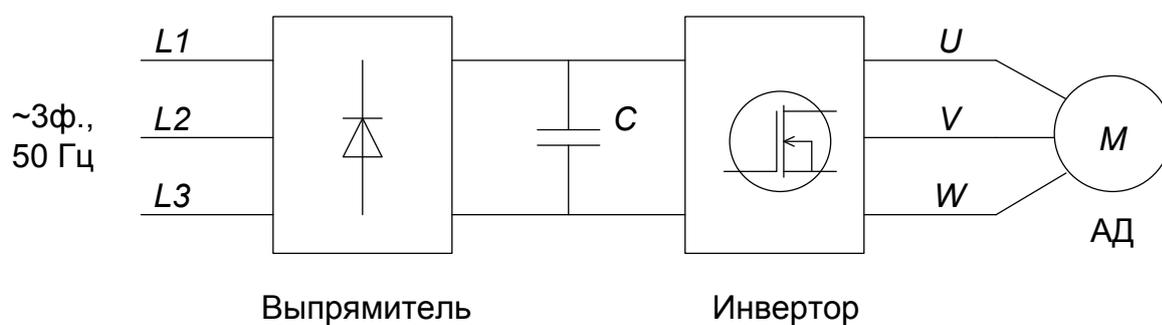


Рис. 4. Принцип устройства преобразователя частоты

режим динамического торможения с введением резистора в цепь статора электродвигателя, в этом случае уменьшается нагрев электродвигателя и снижается энергопотребление. Благодаря тому, что инвертор полностью управляемый, все тормозные режимы регулируются.

В преобразователе *Micromaster 420* используется нереверсивный выпрямитель и режим торможения постоянным током. Применение тормозного резистора также не предусмотрено. В следующей серии преобразователей (430 и 440) уже возможно применение тормозных резисторов.

Возможность торможения только постоянным током накладывает ограничения на применение преобразователей. Такие преобразователи частоты необходимо применять в установках с нечастыми торможениями и где отсутствует нагрузка, способная переводить электродвигатель в генераторный режим, иначе возможен перегрев электродвигателя и его аварийное отключение.

Частота ШИМ преобразователя *Micromaster 420* может изменяться от 2 до 16 кГц и может задаваться принудительно. В общем случае частота ШИМ микромастера зависит от нагрузки и температуры преобразователя, в случае его перегрева частота ШИМ снижается.

Современные преобразователи частоты предлагают гибкий выбор законов регулирования частоты и напряжения на электродвигателе. Выбор конкретного закона регулирования зависит от типа нагрузки и требуемой точности, преобразователь *Micromaster 420* поддерживает следующие способы задания зависимости напряжения (V) от частоты (f):

- Линейная V/f (по умолчанию), может применяться для нагрузки с изменяемым и с постоянным моментом (насосы, конвейеры);
- FCC (*Flux Current Control*) – поддерживает ток двигателя, создающий поток для улучшения эффективности, этот способ регулирования может использоваться для увеличения КПД и динамических характеристик электропривода;
- Квадратичная V/f – может применяться для нагрузок с изменяющимся моментом (компрессоры, насосы);
- Многоточечная V/f – для особых случаев.

Преобразователь может работать как с асинхронным электродвигателем, так и с синхронной машиной, при работе с синхронным электродвигателем допускается работа только при задании линейной зависимости V/f .

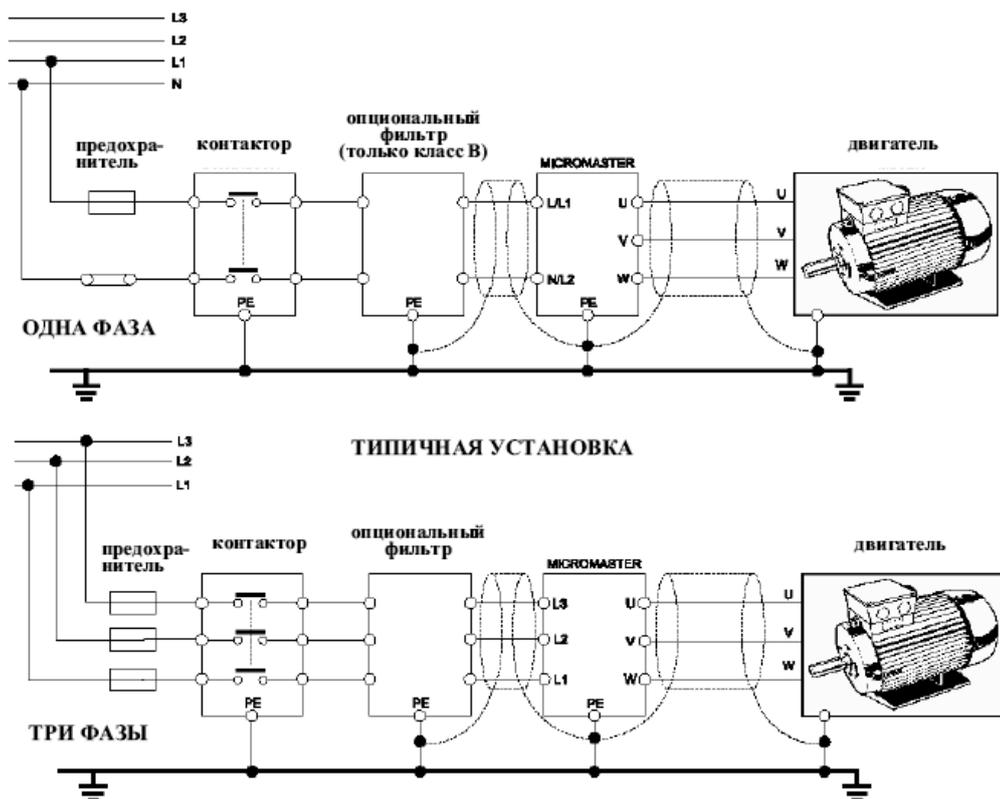


Рис. 5. Подключение электродвигателя и сети

Более подробно с работой преобразователей частоты и выбором законов управления вы можете ознакомиться в литературе [2].

Подключение преобразователя

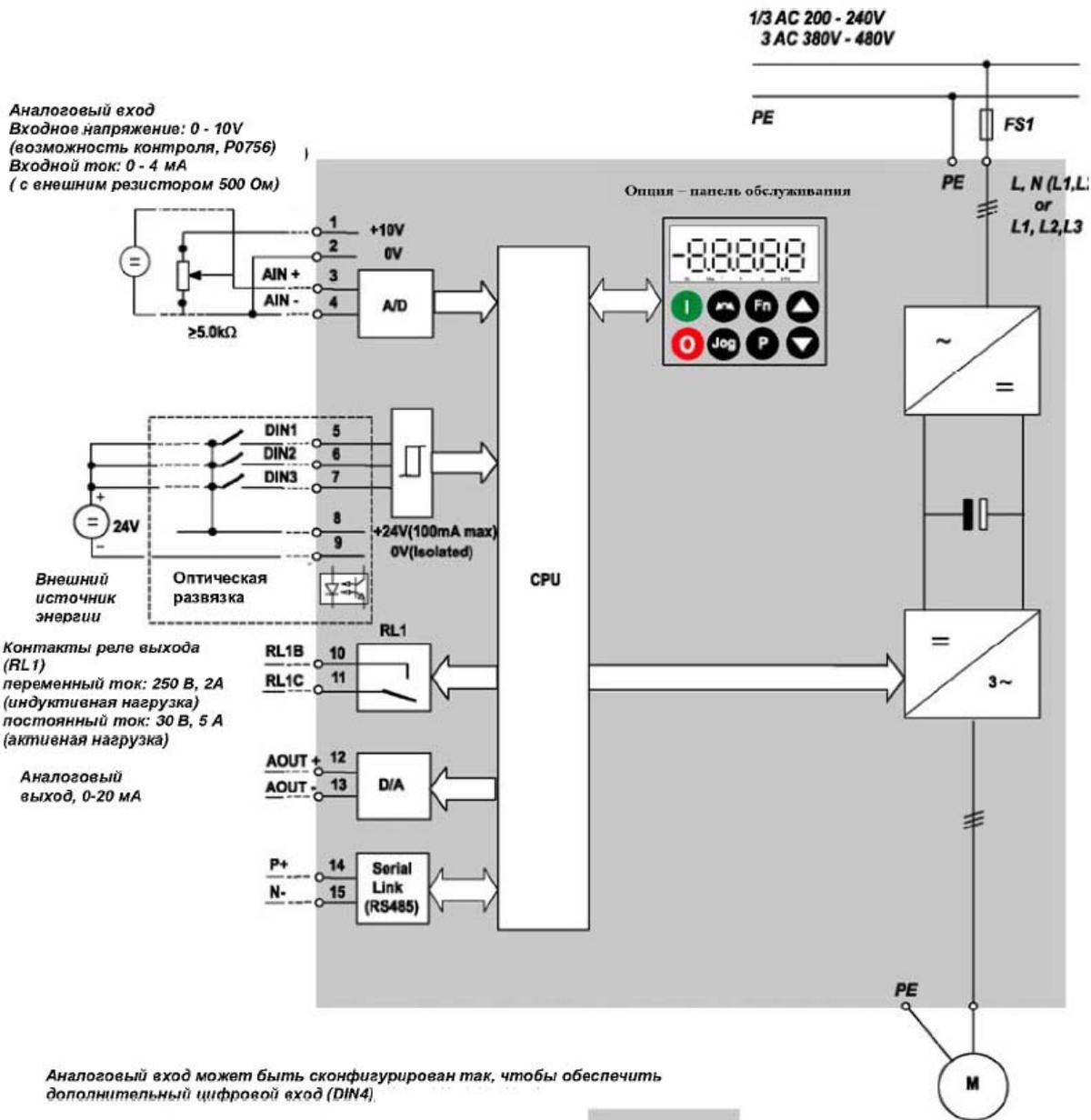
Подключение электродвигателя и сети к преобразователю поясняется схемой, изображенной на рис. 5.

Подключение цепей управления показано на рис. 6.

Устройство стенда

Внешний вид стенда приведен на рис. 7. Обозначение кнопок и входов на стенде полностью соответствует рис. 6.

На стенд выведены дискретные входы преобразователя (DIN1-DIN3), аналоговый вход подключен к потенциометру, имеется возможность отключать потенциометр (отжатием кнопки под ним). Сигнал на любой вход может быть подан с внешнего источника путем подключения к соответствующим входам, выведенным на лицевую панель. К клеммам $L1$, $L2(N)$, $L3$ подключается внешняя сеть. С клемм U , V , W присоединяется электродвигатель. С клемм DC можно снимать напряжение для измерения на силовом конденсаторе звена постоянного тока.



Аналоговый вход может быть сконфигурирован так, чтобы обеспечить дополнительный цифровой вход (DIN4).

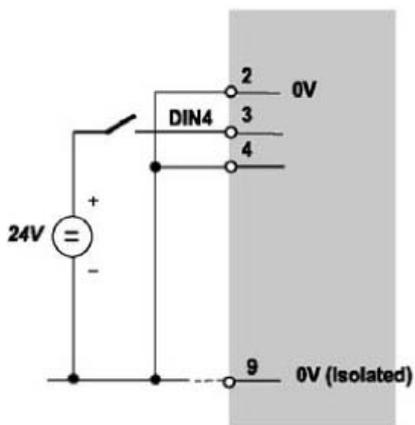


Рис. 6. Подключение цепей управления

Наличие аналогового входа позволяет строить простые системы замкнутого электропривода с использованием встроенного ПИД-регулятора.

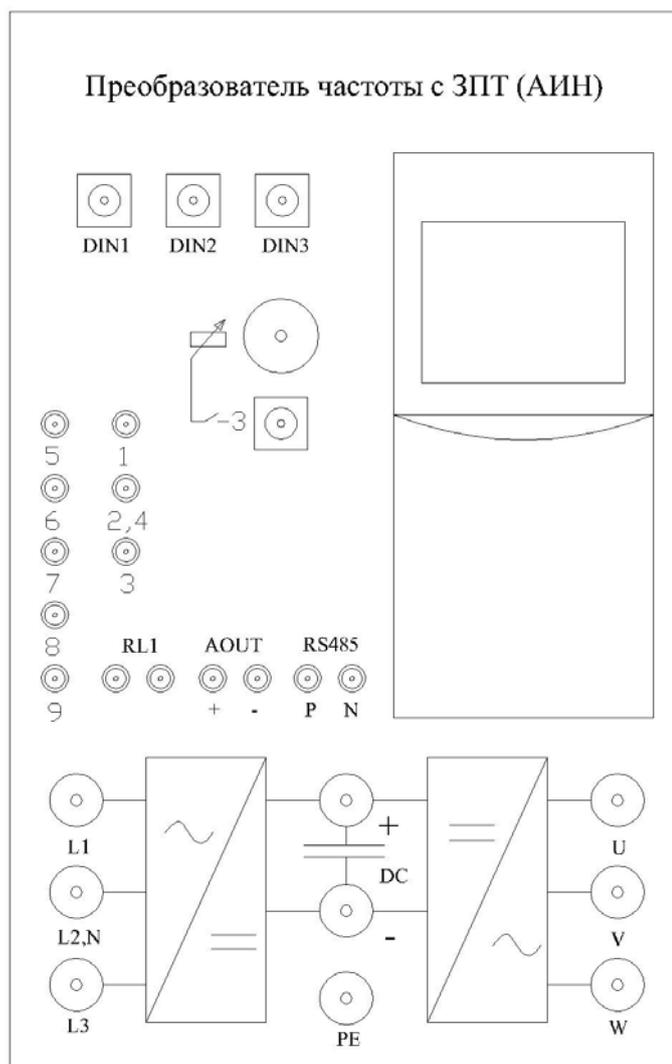


Рис. 7. Внешний вид стенда

Настройка и параметрирование преобразователя *Micromaster 420*

Настройка и параметрирование преобразователя частоты может осуществляться как посредством панели управления *BOP (Basic Operator)*

Клавиши базовой панели обслуживания

Поле / клавиша 1	Функция 2	Действие 3
	Индикация состояния	<i>LCD</i> показывает установку, с которой преобразователь работает в данный момент
	Пуск преобразователя	При нажатии клавиши преобразователь пускается. Эта клавиша является по умолчанию пассивной. Клавишу активизируют установкой P0700 = 1
	Остановка преобразователя	<i>AUS1</i> Нажатие клавиши приводит к остановке преобразователя по выбранной рампе скорости. По умолчанию пассивна, активизируется установкой P0700 = 1 <i>AUS2</i> Двойное нажатие (или длительное удержание) вызывает свободный выбег электродвигателя до остановки

1	2	3
	Реверсирование	Нажатие этой клавиши вызывает реверсирование электродвигателя. Обратное вращение отображается знаком минус (-) или мигающей десятичной точкой. По умолчанию пассивна, активизируется установкой P0700 = 1
	Толчковый режим	Нажатие этой клавиши при остановленном преобразователе вызывает пуск электродвигателя с заданной JOG-частотой. После отпускания клавиши преобразователь останавливается
	Функции	Эта клавиша может использоваться для отображения дополнительной информации. Клавиша должна нажиматься и удерживаться. Она указывает в зависимости от любого параметра при работе следующее: 1. Напряжение промежуточного контура постоянного тока. (Обозначено буквой <i>d</i>). 2. Выходной ток (<i>A</i>). 3. Выходная частота (<i>Hz</i>). 4. Выходное напряжение (<i>o</i>). 5. Величину (выбранную в P0005).
	Доступ к параметрам	Нажатие этой клавиши обеспечивает доступ к параметрам
	Повышение значения величины	Нажатие этой клавиши повышает отображаемое значение. Для изменения задания частоты с помощью BOP нужно установить P1000 = 1
	Понижение значения величины	Нажатие этой клавиши понижает отображаемое значение. Для изменения задания частоты с помощью BOP нужно установить P1000 = 1

Panel), так и посредством персонального компьютера с использованием специального программного продукта, например *DriveMonitor* или *Starter* и адаптера интерфейса *USB/RS-485*. В нашей работе параметрирование преобразователя будет осуществляться при помощи *BOP*. Описание функционального назначения клавиш приведено в таблице.

Параметрирование преобразователя заключается в изменении его системных настроек с целью внедрения его в систему автоматизации и согласования преобразователя с электродвигателем и сетью.

Полный перечень параметров преобразователя приведен в инструкции по преобразователю [1], которая будет выдана вам преподавателем перед выполнением лабораторной работы.

Техника безопасности при выполнении лабораторной работы

Работа выполняется в присутствии преподавателя (лаборанта).

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности и ознакомившиеся с данным методическим указанием по проведению работ на стенде «Исследование преобразователя»

частоты Micromaster 420».

Выполнение лабораторной работы производится строго в соответствии с методическим указанием к работе. В процессе работы нужно помнить, что соединительные провода и клеммы находятся под опасным для жизни напряжением!

Сборка схемы и ее разборка производится при выключенном стенде и вынутом ключе на управляющем пускателе. Подача и снятие напряжения со стенда производится только преподавателем (лаборантом).

В случае наличия неисправностей выполнение работы прекратить и сообщить об этом преподавателю.

Порядок выполнения работы

Перед выполнением заданий необходимо собрать схему, показанную на рис. 8. Перед соединением блоков необходимо соединить РЕ клеммы всех используемых в лабораторной работе блоков с РЕ клеммой источника.

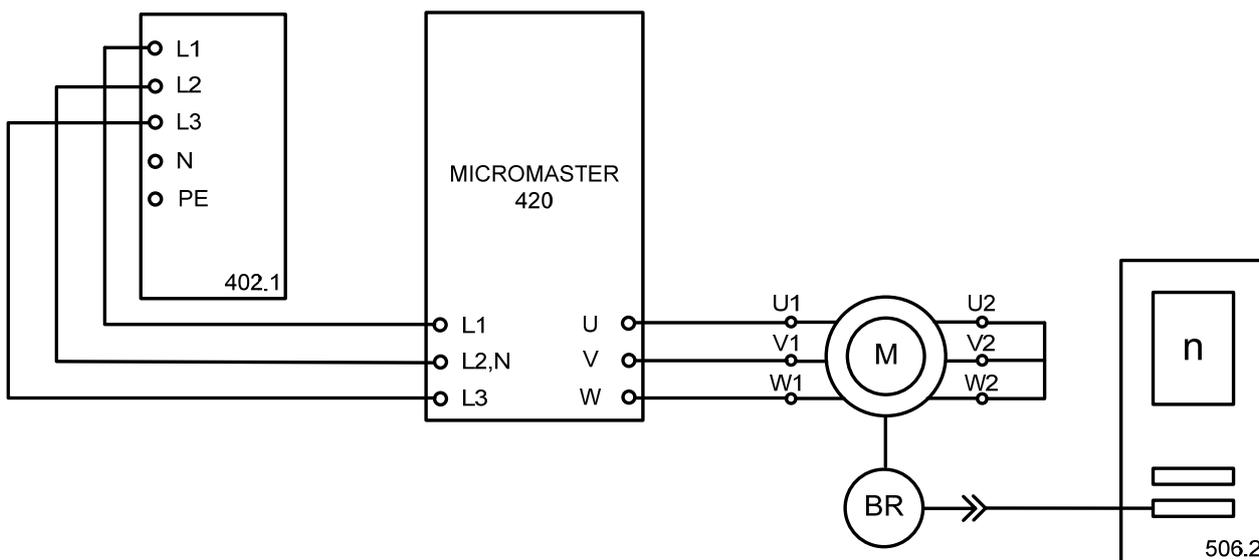


Рис. 8. Схема подключения преобразователя

Опыт 1

В первом опыте необходимо произвести параметрирование преобразователя для работы с электродвигателем без изменения назначений кнопок управления с минимальным количеством вводимых данных (так называемый быстрый старт).

Прежде всего, необходимо собрать схему, изображенную на рис. 8. После того, как схема собрана, необходимо подать питание на преобразователь, включив источник 402.1. Преобразователь включится, теперь можно произвести параметрирование преобразователя при помощи *ВОР*, проделав последовательно шаги, показанные на рис. 9. Данные электродвигателя берутся с его шильдика. **Будьте внимательны при параметрировании преобразователя**, в случае некорректного задания параметров электродви-

гателя возможен выход дорогостоящего оборудования из строя.

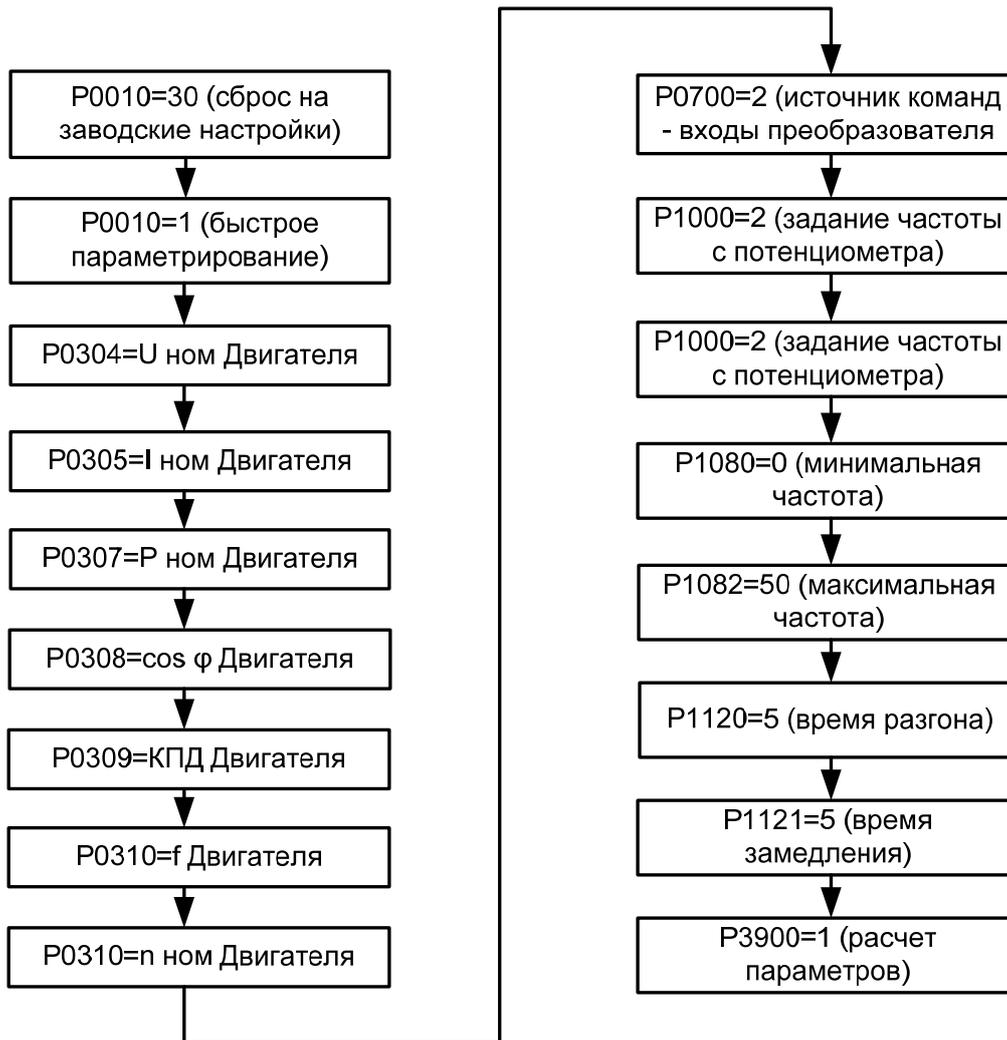


Рис. 9. Порядок параметрирования преобразователя при «быстром старте»

Для выхода из параметрирования и возвращения панели к отображению частоты (или другого параметра) необходимо вернуться к параметру r0000 и нажать P или последовательно, находясь в режиме выбора параметров, нажать Fn и P.

После параметрирования по блок-схеме произвести запуск электродвигателя нажатием кнопки DIN1, регулирование частоты осуществляется при помощи потенциометра (при этом DIN3 должен быть нажат). Реверс электродвигателя осуществляется кнопкой DIN2. Сброс ошибки кнопкой DIN3. Частоту вращения ротора электродвигателя можно измерять по показаниям указателя частоты вращения тахогенератора Вг 506.2.

Опыт 2

В данном опыте необходимо изменить источник задания управляющего сигнала, т.е. сделать задание частоты, а также пуск и останов преобразователя с ВОР. Также необходимо научиться выводить на панель такие параметры, как

ток, напряжение, частота напряжения на электродвигателе. Для выполнения этого задания необходимо внимательно изучить гл. 5.3 [1], где приведены параметры преобразователя.

Опыт 3

Последний опыт заключается в выполнении задания преподавателя по параметрированию преобразователя, выдаваемого на группу.

Форма отчетности

Письменного отчета по лабораторной работе не делается. Защита лабораторной работы заключается в выполнении индивидуального практического задания по параметрированию преобразователя, выдаваемого преподавателем. Кроме того, необходимо знать принцип работы преобразователей с АИН, их достоинства и недостатки.

Список литературы

1. *Micromaster 420*. Руководство по эксплуатации. Издание А1. (6SE6400-5AA00-0AP00).
2. Основы силовой электроники: учеб. пособие / Г.С. Зиновьев – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003.

Учебное издание

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ
MICROMASTER 420

Методические указания к лабораторной работе по курсу
«Элементы систем автоматики»

Составители: Аристов Евгений Валерьевич,
Хузин Руслан Альвертович

Корректор *Е.Б. Хасанова*

Подписано в печать 15.01.08 Формат 60x90/16.
Уч. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 2/2008.

Издательство
Пермского государственного технического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.