

Частотно-регулируемый электропривод. Преобразователи частоты для асинхронных электродвигателей

В.Г. Харазов (СПГУ)

Выделены основные преимущества регулирования скорости вращения двигателей с помощью частотных преобразователей. Сформулированы общие характеристики частотных преобразователей и принципы управления, реализованные в современных частотно-регулируемых электроприводах. Представлен обзор продукции известных мировых производителей частотно-регулируемых приводов.

Необходимость регулирования скорости вращения механизмов (насосов, вентиляторов, конвейеров, подъемно-транспортного оборудования, станков, вытяжных машин, центрифуг, мельниц, экструдеров, буровых механизмов и др.) возникает во многих производственных процессах.

В настоящее время наибольшее применение в промышленности находят преобразователи частоты с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. Регулирование скорости вращения вала двигателя осуществляется здесь путем изменения частоты и напряжения питания двигателя. Преимуществом такого электропривода является его простота и надежность, вызванная отсутствием соприкасающихся частей (коллектора и щеток, характерных для электропривода постоянного тока), механических узлов (характерных для механических вариаторов скорости) или гидросистем (для гидравлического двигателя) [1].

Основными достоинствами регулирования скорости двигателя с помощью преобразователя частоты являются:

- высокая точность поддержания заданной скорости;
- мягкий пуск без механических и электрических перегрузок;
- регулируемое время ускорения и замедления вращения;
- возможность дистанционного управления приводом, в том числе по ЛВС;
- экономия электроэнергии (режим энергосбережения);
- возможность работы двигателя во взрывоопасной зоне;
- увеличение срока службы привода;
- снижение эксплуатационных затрат и др.

Преобразователь частоты состоит из стандартного выпрямителя однофазного или трехфазного напряжения питания, звена постоянного тока (фильтра) и инвертора, реализующего алгоритмы скалярного или векторного управления для разомкнутой/замкнутой систем. Как правило, инвертор выполнен на базе силовых транзисторных ключей (IGBT), способных работать при высоком токе и напряжении и высокой частоте коммутации.

Различные типы частотно-регулируемых электроприводов характеризуются:

- максимальными значениями выходной мощности и тока преобразователя частоты, а также максимальной мощности электродвигателя;
- способами управления скоростью (вольт-частотный и/или векторный);
- перегрузочной способностью преобразователя частоты;
- диапазоном регулирования частоты (скорости) при управлении с/без датчиком обратной связи;
- возможностью автоматического энергосбережения при работе с насосами и вентиляторами;
- защитными функциями преобразователя (защита от короткого замыкания, перегрева, холостого хода, обрыва фаз, бросков напряжения и др.);
- наличием функции автоматического рестарта после пропадания сетевого напряжения с возможностью "подхвата" частоты вращения;
- возможностью работы по циклограмме;
- способами торможения двигателя (комбинированное, рекуперативное, торможение постоянным током с внутренним/внешним тормозным резистором и скольжением);
- наличием встроенных ПИ-, ПИД-регуляторов, последовательных интерфейсов;
- характеристиками и числом входных/выходных сигналов;
- возможностями ПО для работы с электроприводом;
- наличием многофункциональной панели управления (пульт оператора);
- возможностью синхронного управления несколькими приводами от одного преобразователя и ряд др.

Как правило, мощность частотного преобразователя выбирается равной (или чуть больше) мощности электродвигателя. Это правило распространяется на электродвигатели с номинальным числом 1500 и 3000 об/мин. При использовании других типов электродвигателей выбор частотного преобразователя должен соответствовать условию, при котором номинальный выходной ток преобразователя не меньше номинального тока электродвигателя.

Для повышения надежности работы преобразователя в его схеме предусмотрены сетевые (входной/выходной) дроссели, фильтры электромагнитной совместимости (ЭМС), соответствующие нормам излучения EN 55011 класса А и В, радиочастотные фильтры и прочие аксессуары.

Назначение дросселя – подавление высокочастотных гармоник, присутствующих в токе двигателя, вызывающих его дополнительный нагрев. Входной дроссель применяется для компенсации высших гармоник, поступающих из сети в преобразователь и обратно, а также для защиты конденсаторов промежуточного контура, диодов и тиристорных выпрямителей при бросках тока в сети и нагрузке. Выходной дроссель используется при длине кабеля между преобразователем и электродвигателем более 50...100 м.

Преобразователь частоты формирует ток в обмотках двигателя методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ) по синусоидальному закону. Высокая частота ШИМ гарантирует бесшумную работу электродвигателя. К функциям выходного дросселя относятся также ограничение амплитуды тока короткого замыкания за счет индуктивности дросселя, компенсация емкостного тока в случае длинного кабеля, сглаживание бросков напряжения на обмотках двигателя и др. Выбор дросселя зависит от напряжения сети, диапазона рабочих частот и максимального тока электродвигателя.

Радиочастотные фильтры используются для снижения помех, излучаемых преобразователем в питающую сеть. ЭМС-фильтры снижают излучение силовой части аппаратуры привода до пределов, допустимых в соответствии со стандартом EN 55011 – А/В. При установке ЭМС-фильтра применяется экранированный кабель определенной длины (до 25 м), контролируется ток заземления (утечки), величина которого для преобразователя со встроенным или внешним ЭМС-фильтром не должна превышать порядка 30 мА.

Принцип скалярного способа управления скоростью вращения двигателя привода состоит в том, что скорость вращения статора под воздействием магнитного поля пропорциональна частоте источника питания f . При вольт-частотном способе управления, когда $U = F(f)$, электромагнитный момент зависит от частоты и напряжения питания. В зависимости от вида нагрузки используются различные формы взаимосвязанного управления напряжением и частотой: при постоянном моменте нагрузки $U_s/f = \text{const}$; при постоянной мощности $U_s/f^2 = \text{const}$. В случае вентиляторной нагрузки, зависящей от скорости, имеем квадратичную зависимость $U_s/f^2 = \text{const}$. Для реализации принципа скалярного управления следует согласованно управлять напряжением (током) статора электродвигателя при изменении частоты питания. В режиме скалярного управления используются схемы с/без датчиком скорости. Для улучшения качества выходных характеристик в алгоритм скалярного управления без датчика обратной связи введена

функция компенсации скольжения, при которой частота тока статора определяется алгебраической суммой заданной и текущей частоты вращения ротора. Также известен алгоритм скалярного управления с контролем потокосцепления ротора. В этом случае характеристики потокосцепления поддерживаются постоянными. В переходных режимах, однако, величина потокосцепления не является константой, что ухудшает динамические характеристики электропривода. Этот недостаток устраняется в электроприводе с системой векторного управления.

При использовании режима векторного управления возможно управление с постоянным (СТ) или переменным (VT) моментом на валу. Векторное управление при разомкнутой системе (без датчика обратной связи по скорости) обеспечивает поддержание скорости с точностью порядка 0,5% и диапазон скоростей 1:100. В этом режиме скорость вращения вала может быть рассчитана путем точного измерения формы сигнала и обратной связи по трем выходным фазам привода. Векторное управление в замкнутом контуре (с датчиком обратной связи) обеспечивает более высокое быстродействие и повышенную точность по скорости (0,02...0,001)%, а также широкий диапазон скоростей 1:1000. В качестве датчика обратной связи используется энкодер, с помощью которого производится расчет и управление углом поворота и скоростью вращения вала электродвигателя. В случае потери связи с энкодером, привод автоматически переходит в режим векторного управления с разомкнутым контуром. Известны алгоритмы векторного управления с помощью вектора тока (CFC – Current Flux Control) и вектора напряжения (VFC – Voltage Flux Control). Теоретические основы алгоритмов векторного управления и системы электропривода с векторным управлением приведены в работах [2, 3, 4].

Преобразователь частоты имеет функцию энергосбережения, позволяющую экономить 5...60% электроэнергии путем поддержания оптимального КПД. Преобразователь автоматически отслеживает потребление тока, производит расчет нагрузки и при необходимости снижает выходное напряжение. При этом снижаются потери на обмотках двигателя и повышается КПД.

Функции торможения двигателя основаны на подачах в одну из его фаз напряжения постоянного тока. Взаимодействие магнитного поля в этой фазе с магнитным полем ротора приводит к быстрой остановке двигателя. Существует также режим генераторного торможения с подключением внутреннего тормозного резистора (до мощности примерно 7,5 кВт.) или внешнего (при больших мощностях).

Дополнительные функции, реализованные в преобразователях частоты.

- Функция встроенного ПИД-регулятора и разнообразных модулей расширения позволяет организовать контроль и управление технологическими параметрами, интегрируя преобразователь частоты в существующие и проектируемые системы управления.

Таблица. Преобразователи частоты

NN п.п.	Тип (фирма)	Напряжение, В, Мощность, кВт	Режим управления двигателем	Диапазон выходной частоты, Гц	Входы	Выходы
1	ACS-800 (ABB)	3~(380...415), 1,5...110 3~ (380...500), 90...500	Прямое регулирование момента (DTC)	0...300	AI-3, DI-4 (мод. расшир.)	AO-2 RO-3 (СК)
2	FR-S500 (Mitsubishi Electric)	1~ (230), 0,2...1,5 3~ (400), 0,4...3,7	Вольт-частотное управление	0,5...120	AI-2 DI-5	AO-1 DO-2
3	FR-A500 (Mitsubishi Electric)	3~ (380...480), 0,4...450 3~ (380...500), 90...500	Векторное управление	0,2...400	AI-3 DI-12	AO-2 DO-6
4	ATV 11 (Schneider Electric)	1~ (200...240), 0,18...2,2 3~ (200...230), 0,18...2,2		0...200	AI-1 DI-4	RO-1 DO-1 (OK)
5	ATV 68 (Schneider Electric)	3~ (380...460), 75...500	Вольт-частотное и векторное	0,1...300	AI-2 DI-4	AO-1 DO-1 (OK)
6	Micromaster 420 (Siemens)	1~ (200...240), 0,12...3 3~ (380...480), 0,37...11	Вольт-частотное и управление с контролем потока сцепления (FCC)	0...650	AI-1 DI-4	AO-1 RO-1 (СК)
7	Micromaster 440 (Siemens)	1~ (200...240), 0,12...3 3~ (380...480), 0,37...75	Вольт-частотное, векторное и управление с контролем потока сцепления (FCC)		AI-2 DI-6	AO-2 RO-3 (СК)
8	F5 General (KEB)	3~ (180...280), 0,37...75 3~ (305...500), 0,37...315	Векторное управление	0...1600	AI-2 DI-8	AO-2, RO-2 (СК) DO-2 (OK)
9	VAT2000 (GE Power Controls)	3~ (200...230), 0,4...37 3~ (400...460), 1,7...75 3~ (400...460), 100...450	Вольт-частотное, векторное управление	0...440 (вольт-частотное), 0...120 (векторное)	DI-8	AOC2, RO-2 (СК) DO-3 (OK)
10	MDV 60 (SEW EURODRIVE GmbH)	3~ (380...500), 1,5...75	Векторное управление	0...400	AI-1 DI-6	RO-1 (СК) DO-2 (OK)
11	VLT 5000 (Danfoss)	3~ (200...240), 0,75...37 3~ (380...480), 0,75...355	Вольт-частотное, векторное управление	0...1000	AI-3 DI-8	AO-2, RO-2 (СК) DO-2 (OK)
12	Commander SX (Control Techniques)	1~ (200...240), 0,25...2,2 3~ (200...240), 0,75...7,5 3~ (380...480), 0,75...37			AI-2 (3) DI-4 (6)	AO-1, RO-1 (СК) DO-1 (2) (OK)

• Функция многоступенчатого регулирования скорости с переключением электропривода на ряд фиксированных скоростей.

• Функция предотвращения опрокидывания ротора или функция ограничения момента при разгоне, торможении и в процессе работы. При разгоне и торможении в случае задания большого ускорения и недостатка мощности двигателя увеличивается время разгона (торможения). В случае перегрузки снижается скорость вращения двигателя.

• Функция "подхвата" скорости (частоты) работающего двигателя. В случае пуска преобразователя при вращающейся нагрузке для предотвращения опрокидывания используется функция поиска скорости (функция подхвата работающего двигателя). После определения скорости вращения нагрузки привод начинает регулирование с текущей скорости.

• Защитные функции электропривода: токовая защита двигателя от перегрузки по току; защита двигателя от перегрева, короткого замыкания, перенапряжения в звене постоянного тока, замыкания выходных фаз, в том числе на землю, обрыва сетевых

фаз, колебаний напряжения (до 15%), перегрева выходных каскадов, пропуска резонансных частот, могущих привести к механическому резонансу и ряд др.

Интерфейс пользователя в преобразователях частоты основан на принципах ЧМИ и реализуется с помощью встроенной панели управления, ПО, сетевых плат и открытых стандартов для промышленных сетей. С помощью коммуникационных модулей преобразователь частоты может быть подключен к различным промышленным сетям: Modbus RTU, Modbus Plus, Profibus DP, Device Net, Interbus, Ethernet и др.

Пульт управления преобразователя частоты служит для: настройки параметров преобразователя; управления включением/отключением; изменения направления вращения; отображения основных параметров и состояния преобразователя (скорость, частота, величина тока, выходное напряжение, потребляемая мощность и др.); вывода сообщения об ошибках и диагностических сообщений и т.д.

Современные частотные преобразователи оснащены встроенными черно-белыми или цветными ЖК-дисплеями для отображения параметров, также

Mitac M220: защищенный ноутбук может быть элегантным

Часто за повышенную надежность промышленных устройств приходится платить не самым изящным внешним видом, а иногда еще и урезанными характеристиками по сравнению с офисными аналогами. Компания ПРОСОФТ предлагает уникальный продукт – защищенный ноутбук Mitac M220, который имеет тонкий, элегантный дизайн и при этом является весьма производительным решением. Вес изделия составляет 3,9 кг, а толщина – всего 43 мм.

Mitac M220 построен на базе современной платформы для мобильных ПК Intel Centrino. Новинка оснащена модификацией процессора Intel Pentium M с низким уровнем энергопотребления и частотой 1,4 ГГц (ядро Dothan). В ноутбук может быть установлено до 2 Гб DDR-памяти и жесткий диск объемом 80 Гб. В зависимости от модели диагональ экрана составляет 14" или 15" (разрешение 1400x1050). При этом изделие является ударопрочным, оно способно выдерживать падения на бе-

Таблица. Продолжение

NN п.п.	Тип (фирма)	Способ торможения	Перегрузочная способность, %	Интерфейс	Программное обеспечение
1	ACS-800 (ABB)	Торможение постоянным током	150 (60 с)	ProfibusDP, Interbus, DeviceNet, CANopen, Modbus +, Modbus RTU, Ethernet	DriveAP Drive OPC Drive Windows 2.0
2	FR-S500 (Mitsubishi Electric)		200	ProfibusDP, DeviceNet, CANopen, CC-Link	VFD Setup
3	FR-A500 (Mitsubishi Electric)		120...200	ProfibusDP, DeviceNet, CANopen, CC-Link	
4	ATV 11 (Schneider Electric)		150	RS-232/485	PowerSuite
5	ATV 68 (Schneider Electric)			ProfibusDP, Modbus RTU, Modbus+, Fipio	
6	Micromaster 420 (Siemens)	ProfibusDP, DeviceNet, CANopen, RS-232			
7	Micromaster 440 (Siemens)	Торможение постоянным током и комбинированное торможение	150	ProfibusDP, DeviceNet, CANopen, RS-232	Starter, Drive Monitor
8	F5 General (KEB)			ProfibusDP, Interbus, CAN, DeviceNet, KEB-HSP 5	
9	VAT2000 (GE Power Controls)	Торможение постоянным током	120...150	ProfibusDP, RS-232/485	COMBIVIS 5
10	MDV 60 (SEW EURODRIVE GmbH)	Рекуперативное торможение (с рассеиванием энергии на двигатель)	50	CAN, RS-485	PowerDriveAid-1
11	VLT 5000 (Danfoss)	Торможение постоянным током	150	RS-485, ProfibusDP, Interbus, DeviceNet, Modbus +, Modbus RTU	MOVI Tool
12	Commander SX (Control Techniques)			RS-485, ProfibusDP, Interbus, DeviceNet, CANopen	VLT Motion Control Tool

предусмотрена возможность подключения к ним выносной ЖК-панели для управления и настройки параметров. ПО большинства преобразователей частоты работает под управлением ОС Windows и позволяет выполнить настройку, конфигурирование, диагностику, визуализацию, тестирование и архивирование параметров.

Преобразователи частоты в большинстве своем имеют степень защиты IP20, но известны модели со степенью защиты IP54 и IP65.

К настоящему времени существуют свыше 50 крупных фирм, производящих различные типы преобразователей частоты. В таблице приведены основные технические характеристики некоторых из них. Помимо компаний, перечисленных в таблице, преобразователи частоты производят фирмы Yaskawa Electric (Япония), Delta Electronics Inc. (Тайвань), Emtron AB (Швеция), LG Industrial System Co.

(Ю.Корея), Matsushita Automation Controls (Япония) и др. Высокие технические характеристики, простота управления, компактные размеры и низкая стоимость определили широкое применение частотно-регулируемого электропривода в промышленности.

Список литературы

1. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Автоматическое частотное управление асинхронным двигателем. М.: Энергия. 1974.
2. Дартау В.А., Павлов Ю.П., Рудаков В.В., Аверкиев А.Л., Козярук А.Е. Теоретические основы построения частотных электроприводов с векторным управлением // Автоматизированный электропривод. М.: Энергия. 1980.
3. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. Л.: Энергоатомиздат. 1987.
4. Соколовский Г.Г. Теория и системы электропривода (электроприводы переменного тока). Учебное пособие / СПбГЭТУ (ЛЭТИ). СПб. 1999

Харзов Виктор Григорьевич — д-р. техн. наук, проф. кафедры "Автоматизация процессов химической промышленности" Санкт-Петербургского технологического института. Контактный телефон (812)259-47-53.

тонную поверхность с высоты до 3 м. Также Mitac M220 успешно противостоит воздействию влаги и пыли — степень защиты IP54.

Благодаря всем этим характеристикам ноутбук является отличным производительным решением для различных применений вне помещения, на производстве, в жестких условиях эксплуатации. Кроме того, модель M220 соответствует международному стандарту MIL-STD-810, что делает ее пригодной для военных применений. Для работы с ресурсоемкими 3D-приложениями Mitac M220

может быть оснащен более производительным видеоадаптером ATI M11 с памятью 64 Мб. Помимо этого, среди опций модули GPRS, Bluetooth, сенсорный экран. Также можно заказать модель с поддержкой расширенного температурного диапазона -200...50°C.

Mitac M220 не только значительно удобнее в эксплуатации, чем ее крупногабаритные собратья, не только не уступает им в производительности, но и при этом характеризуется более низкой ценой.

[Http://www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)