

Противоположности, поставленные рядом, становятся более явными.

Бонаventura

теряет свои преимущества и не выдает желаемые характеристики. То есть помимо стоимости оборудования, необходимо оплачивать еще и обучение персонала, в то время как с управлением шаговым двигателем может справиться даже неподготовленный пользователь, имея минимальную документацию.

Обобщив вышесказанное, можно сделать некоторые выводы в пользу шаговых двигателей:

- стоимость шагового привода на порядок ниже, чем сервомотора;
- легкость эксплуатации сделали шаговые двигатели доступными для применения даже неквалифицированными в этой области людьми, а для использования сервоприводов требуются значительные временные затраты на обучение;
- шаговый двигатель не привязан к конкретному блоку управления, при соблюдении минимальных условий (совпадение числа фаз, номинального тока и при необходимости возможности дробления шага). Серводвигатели хотя и могут работать с "неродными" устройствами управления, но не выдают при этом желаемых параметров. То есть приобретать необходимо не отдельные части, а всю сервосистему в целом у одного производителя (даже при завышенной стоимости отдельных компонентов)¹.

Выводы по распространению и областям применения напрашиваются сами собой. Шаговые двигатели можно применять везде, где есть необходимость позиционирования (в том числе довольно точного) при невысоких скоростях. Шаговый привод является идеальной заменой высокоскоростных двигателей с редуктором и применяется в случаях, когда нет необходимости в дорогостоящем сервоприводе. Шаговые двигатели могут применяться в единичных изделиях: индивидуальными изобретателями, создателями роботов, при создании несерийных станков, в аппаратах, проектируемых по индивидуальному заданию. Если же речь идет о высокоскоростной динамичной системе с большими крутящими моментами и при необходимости крайне высокой точности позиционирования — вместо шагового двигателя используется сервопривод. В таких случаях о конкурентоспособности по цене речь уже не идет — здесь главное добиться желаемых параметров работы. В серийных изделиях есть возможность снизить стоимость за счет уменьшения цены серийно изготавливаемого сервопривода и за счет того, что настройка всех приводов одинакова и выполняется специалистами при изготовлении изделия (либо поставщиком сервопривода, либо производителем конечной продукции).

*Каргу Анна Петровна — инженер-программист компании "НПФ Электропривод".
Контактный телефон (812) 703-09-81. [Http://electroprivod.ru](http://electroprivod.ru)*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРИВОДЫ ДАНФОСС**А.В. Туманов (ООО "Данфосс")**

Рассмотрены функции преобразователей частоты Danfoss, которые расширяют стандартные возможности привода в управлении ТП, сокращают расходы на автоматизацию в целом и способны автономно выполнять определенные действия по управлению и диагностике.

Частотно-регулируемый привод или частотный преобразователь

В последние годы значительно увеличился спрос на преобразователи частоты (ПЧ) широкого диапазона мощностей, усложнились задачи, которые должен решать частотно-регулируемый привод. Основная задача ПЧ — регулирование скорости или момента асинхронного двигателя в широком диапазоне с максимальным КПД. Сегодня его внедрение идет по нескольким направлениям. Одно из них связано с применением преобразователей в качестве основы энергосберегающих, ресурсосберегающих систем, другое — с применением комплектного частотно-регулируемого привода там, где технология производства требует изменения скорости вращения механизмов в широких пределах, поддержания стабильности технологических процессов, обеспечения синхронной работы многодвигательных приво-

дов. Раньше для этого, как правило, применялись приводы постоянного тока, многоскоростные двигатели, вариаторы. Наиболее эффективно применение ПЧ в приводах с вентиляторной нагрузкой, к которым относятся центробежные насосы, вентиляторы, воздухоудвки.

Далее, переходя от общей теории к рассмотрению приводов и ПЧ компании Danfoss, заметим, что под интеллектуальными функциями приводов будем подразумевать функции, которые расширяют стандартные возможности привода в управлении ТП, сокращают расходы на автоматизацию в целом и способны автономно, без участия верхнего уровня выполнять определенные действия. Эти функции поддерживаются ПЧ на программном и аппаратном уровнях. Приятный бонус — большинство описываемых функций встроено по умолчанию (бесплатно) в базовые конфигурации приводов Danfoss (рисунок).

¹ Подробно эта тема развита в статье Бартоса Ф. Советы по применению сервосистем // Control Engineering. (<http://www.dmotor.ru/servosystem.htm>).

Рассмотрим, как интеллектуальные функции помогают снизить энергопотребление, упростить ввод в эксплуатацию и сократить расходы на интеграцию привода в АСУТП. Далее опишем, как интеллектуальность привода облегчает решение задач в области инженерного обеспечения зданий, водоподготовки и водоотведения, а также таких сложных приводных приложений, как синхронизация и позиционирование.

Энергосбережение

Мониторинг энергопотребления. Преобразователь частоты может сам вести журнал энергопотребления (Energy Log) в течение заданного периода (сутки, неделя, месяц). Результат хранится в энергонезависимой памяти привода, профиль нагрузки может быть выведен в наглядном виде на экране ПК.

Счетчик окупаемости привода. Приводы имеют уникальную функцию, которая непрерывно показывает время, остающееся до полного возврата инвестиций в привод. Пользователь вводит стоимость электроэнергии и размер инвестиции, а привод сам рассчитывает результат.

Автоматическая оптимизация энергопотребления (АОЭ). Функция увеличивает КПД двигателя, оптимизируя его намагничивание, и дополнительно экономит 5...15% потребляемой электроэнергии в зависимости от режима работы. Эффект достигается за счет регулирования (уменьшения) реактивной составляющей тока. У всех двигателей при пониженных нагрузках падает коэффициент мощности. АОЭ компенсирует это падение, тем самым увеличивая КПД системы (ПЧ + двигатель) в широком диапазоне скоростей.

Ввод в эксплуатацию

Панель управления поддерживает русский язык; имеется возможность вывода на экран дисплея справочной информации по каждому параметру, графики переходного процесса, а также быстро настроить привод на месте без "ноутбука". Настройки параметров и программы контроллеров можно сохранить в памяти панели и скопировать на другой привод.

Доступные средства коммуникации:

- ноутбук подключается к ПЧ для программирования и диагностики по интерфейсам: RS-485, стандартному USB без дополнительных адаптеров интерфейса, по шине PROFIBUS (при наличии в ПК и ПЧ соответствующих коммуникационных карт);
- опционально доступны карты: DeviceNet, VACNet, Lon Works, CANOpen, Ethernet IP;
- во все приводы по умолчанию встроен протокол Modbus RTU.

Автоматическая адаптация двигателя. ПЧ настраивается на двигатель без вращения вала: измеряет, рассчитывает и запоминает реальные электрические параметры двигателя для работы в оптимальном векторном режиме с максимальным КПД: $\cos \phi$, сопротивления статора и ротора, реактивные сопротивле-



ния статора и ротора, основное реактивное сопротивление и сопротивление потерь в стали.

Распределенная автоматизация и диспетчеризация

Привод – это исполнительное устройство со своими входами/выходами, решающее локальную задачу автоматизации. Привод со встроенной коммуникационной платой (например, PROFIBUS), функционирующий в составе АСУТП, оснащенный мощным центральным ПЛК, способен передать свои "лишние" входы/выходы в распоряжение центрального процессора ПЛК. Последний сможет работать со входами/выходами привода как со своей "родной" децентрализованной периферией.

Интеллектуальная работа над ошибками. На базе встроенного в привод контроллера событий осуществляется программирование автоматической реакции ПЧ на аварийные и рабочие ситуации: контроль граничных значений рабочих параметров двигателя и процесса, анализ номера аварийного сообщения и т.п.

Интеллектуальное обслуживание. Привод напоминает персоналу о необходимости замены масла, смазки подшипников или профилактического обслуживания агрегата, отображая соответствующие сообщения на дисплее.

Встроенные часы РВ позволяют реализовать функции РВ: действия, привязанные ко времени; архивирование энергопотребления (Energy Log), данных (Data Log); анализ кривых (Trending), аварийных сообщений с метками времени; превентивное обслуживание (планирование ремонтов); счетчик срока окупаемости привода; переход на летнее/зимнее время; учет рабочих и выходных дней (праздников). Если привод работает в АСУТП (подключен по коммуникационной шине к центральному контроллеру), то его часы (если это запрограммировано) синхронизируются с эталонными часами

сервера (или главного ПЛК). При локальной работе привода и необходимости сохранять дату/время при отключении от сети приобретаетс я батареяка.

Прикладные функции приводов

Автоматизация инженерных систем зданий

Четыре встроенных ПИД-регулятора с автоматической настройкой позволяют приводу в системе вентиляции и кондиционирования здания регулировать не только расход воздуха, но и температуру контуров охлаждения и нагрева воздуха, управлять положением задвижки и т.п.

Контроль обрыва ремня вентилятора основан на определении момента двигателя. Если момент двигателя ниже запрограммированной величины момента холостого хода, а выходная частота ПЧ ≥ 15 Гц, то привод выдает предупреждающий или аварийный сигнал и останавливается. Функция работает как обратной связью, так и без нее.

Каскадный ПИ – регулятор. Для более точного регулирования может потребоваться коррекция заданного значения (уставки) контроллера, чтобы компенсировать изменения условий нагрузки. Коррекция – это техника подчиненного регулирования, при которой вторичный (П) контроллер корректирует уставку первичного (ПИ) контроллера.

Пример 1. При снижении температуры на улице на 1° (вторичный П контур) необходимо на $0,5^\circ$ увеличить (скорректировать) уставку температуры в помещении (первичный или подчиненный ПИ контур). Датчики температуры типа Pt1000 или Ni1000 можно подключить непосредственно к ПЧ.

Пример 2. Подчиненное управление может быть использовано в приложениях регулирования давления с обратной связью, в которых комбинируются два датчика давления:

- первый датчик устанавливается на удаленном расстоянии (вход для П-контроллера) от вентилятора (чтобы быть ближе к кондиционированному помещению, в котором поддерживается постоянное давление);
- второй датчик давления устанавливается рядом с вентилятором (ПИ-контроллер).

Стабильность и время отклика может быть улучшены путем размещения одного датчика давления рядом с вентилятором. Уставка для ПИ-контроллера будет корректироваться от выхода П-контроллера с обратной связью по удаленному датчику давления.

Мультизонное управление. Привод может математически обрабатывать до трех сигналов обратной связи и реализовать мультизонное управление в системах, где неизвестно местоположение максимальной нагрузки и наблюдаются вариации между зонами. Можно использовать "среднее" значение всех сигналов обратной связи и слегка увеличить уставку, чтобы найти оптимальный режим управления для одного ПИ-контроллера. Часто используется "минимальное" из всех сигналов обратной связи. Уставка, таким образом, рассчитывается из минимально необходимого давления в зоне с наибольшей нагрузкой (открытые VAV-боксы).

Пожарный режим. В случае пожара привод игнорирует все аварийные и предупредительные сообщения и поддерживает работу насосов или вентиляторов максимально долго, функционируя с обратной связью и без нее; может быть активирован только через дискретный вход (по срабатыванию пожарного датчика); может остановиться выбегом и реализовать байпасное включение напрямую в сеть, используя ре-лейный выход.

Старт на лету. Предусмотрена возможность подхвата вращающегося двигателя в обоих направлениях после восстановления питания. Если в момент пуска, вентилятор воздушным потоком раскручивается в обратном направлении, привод плавно подхватит двигатель, затормозит его и раскрутит в нужном направлении.

Компрессорные функции

- Привод обеспечивает плавный пуск компрессора и снижает его износ. Постоянный момент, необходимый для нормальной работы компрессора, обеспечивается на частоте > 20 Гц.

- Активация байпасного вентиля во время пуска. Привод управляет байпасным вентилем, чтобы пускать компрессор на холостом ходу;

- Преобразование сигнала обратной связи давления в температуру: из списка параметров выбирается тип хладагента, далее привод рассчитывает необходимую температуру. В качестве сигнала обратной связи для регулирования скорости компрессора может использоваться температура, а не давление;

- Ограничение числа циклов пусков/остановов (функция таймера).

Автоматизация систем водоподготовки и водоотведения

Встроенный в ПЧ каскадный контроллер позволяет реализовать алгоритм каскадного управления группой из 2...8 насосов. В стандартном режиме ПЧ регулирует скорость вращения одного ведущего насоса и подключает (через устройство плавного пуска или по схеме "звезда-треугольник") по мере необходимости дополнительные насосы, работающие с постоянной скоростью. Переменная производительность всей системы обеспечивается регулированием скорости ведущего мотора. Таким образом, поддерживается постоянное давление, в результате чего снижается нагрузка на систему и шум работающей установки. В режиме "ведущий/ведомый" система управляет несколькими насосами параллельно, все насосы работают на одной скорости. В этом режиме обеспечивается лучшая производительность, точность регулирования и большая эффективность с точки зрения энергосбережения.

Встроенная логическая функция чередования двигателей контролирует чередование насосов в режиме работы рабочий/резервный. Периодическая работа резервного насоса предотвращает его заклинивание. Внутренний таймер обеспечивает равномерную наработку насосов. В случае установки дополнительного каскадного контроллера возможно чередование до 8 насосов.

Защита от сухого хода. Привод постоянно отслеживает состояние насоса, основанное на сравнении

измеряемых значений частоты и мощности. В случае слишком маленького энергопотребления, показывающего отсутствие или малый разбор воды, ПЧ останавливает насос.

Защита от утечки. Если насос работает на полной скорости и не создает требуемого давления, высока вероятность возникновения на трубопроводе прорыва или утечки. Функция контроля конца кривой характеристики насоса инициирует тревогу, выключает насос или выполняет другое запрограммированное действие. При обнаружении утечки в трубе привод выключает насос или ограничивает его производительность.

Функция защиты обратного клапана предотвращает гидроудары во время остановки насоса, когда закрывается обратный клапан. Функция защиты обратного клапана постепенно снижает скорость насоса до значения, когда клапан почти закрылся, и лишь затем происходит остановка насоса.

Функция "Спящий режим" исключает работу насоса на низких оборотах (например, ночью при маленьком водоразборе). Спящий режим автоматически приостанавливает работу двигателя при низком уровне водопотребления. Когда водоразбор повышается, привод перезапускает двигатель и раскручивает его до требуемой скорости. Спящий режим существенно экономит энергию и снижает износ оборудования.

Компенсация потерь в длинных трубах. Максимальная эффективность достигается при установке датчика давления вблизи самой удаленной нагрузки в системе. Когда это практически невозможно, датчик устанавливается вблизи насоса. Компенсация расхода достигается путем регулировки уставки по выходной частоте (которая почти пропорциональна расходу), благодаря чему достигается компенсация повышенных потерь при повышенных значениях расхода.

Функция начального разгона позволяет запрограммировать минимальную частоту работы двигателя (ниже которой насос может работать только кратковременно). Двигатель быстро разгоняется до этой частоты, далее разгон осуществляется более плавно.

Функция заполнения пустой трубы. Для исключения гидроудара привод сначала медленно заполняет пустую трубу и только потом включает регулирование с обратной связью. Благодаря этой функции поддерживается программируемая скорость наполнения (ед./с); обеспечивается нормальный разгон на участке от давления полной трубы до рабочего давления; увеличивается производительность системы.

Синхронизация и позиционирование

Синхронизация используется в приложениях, где два и более вала должны следовать друг за другом по скорости или по положению (следящий привод). Это может быть как простая система ведущий-ведомый (master-slave), где ведомый привод следует за скоростью или положением ведущего привода, так и мульт-

ти-осевая система, где несколько ведомых приводов следуют за скоростью или положением общего привода-мастера. Электронная синхронизация намного гибче, чем механический вал, ремень или цепь, так как коэффициент передачи (передаточное отношение) и смещение могут настраиваться прямо во время работы. Скорость и положение ведомого привода управляются на основании сигнала энкодера ведущего привода. Во время синхронизации ведомый привод все время ограничивается максимальной скоростью и ускорением/ торможением. В дополнение ограничивается величина отклонения скорости ведомого от скорости ведущего. Встраиваемый в ПЧ контроллер обеспечивает три основных типа синхронизации: скорости, положения и по метке (маркеру).

Позиционирование привода – перемещение вала в заданное положение. Чтобы получить точное позиционирование, необходимо использовать замкнутый по положению контур регулирования. Процедура позиционирования с контроллером замкнутого контура требует задания скорости, ускорения, торможения и положения; профиль скорости рассчитывается на основании актуального значения положения вала (сигнал обратной связи от энкодера) и вышеупомянутых параметров; вал вращается согласно рассчитанному профилю скорости до того, как будет достигнуто заданное положение. Встраиваемый в ПЧ контроллер обеспечивает три основных типа позиционирования: абсолютное, относительное и по метке (конечному выключателю). Типичные приложения, где требуется точное позиционирование: паллетизеры, координатные столы, конвейеры, подъемники.

Электронный кулачок. Для реализации САМ управления (в зависимости от приложения), как минимум, потребуется одна кривая, описывающая положение ведомого привода в зависимости от положения ведущего, а также процедура включения/выключения сцепления. Также потребуются другие дополнительные параметры, которые по фиксированным точкам кривой сгенерируют ее профиль. Синхронизация в САМ-режиме может быть выполнена с коррекцией по метке. Это может потребоваться, например, если продукты транспортируются нерегулярно на конвейерной ленте или необходимо компенсировать накопленные ошибки. Чтобы создать профиль кривой, необходимо воспользоваться специальным САМ-редактором, затем пользователем задаются реперные точки кривой, и программно будут определены все прикладные параметры. Ввод всех значений возможен в физических или пользовательских единицах. Пользователь может постоянно графически отслеживать профиль кривой; контролировать скорость и ускорение ведомых осей.

Встраиваемый в ПЧ свободно-программируемый контроллер может хранить до 90 разных программ, написанных на языках высокого уровня.

Туманов Александр Владимирович – инженер ООО "Данфосс".

Контактный телефон (812) 927-87-04. [Http://www.drives.ru](http://www.drives.ru)