ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ И УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Мухамадеев А.Р.[1], генеральный директор ООО "Преобразователь", г. Казань

В статье рассматриваются общие принципы работы и применения преобразователей частоты и устройств плавного пуска.

Ключевые слова. Преобразователь частоты, устройство плавного пуска

В промышленности и быту применяют двигатели переменного и постоянного тока. Исторически сложилось, что для регулирования скорости вращения чаще использовали двигатели постоянного тока. Преобразователь в данном случае регулировал только напряжение, был простым и недорогим. Однако двигатели постоянного тока имеют сложную конструкцию, критичный в эксплуатации коллекторно-щеточный аппарат, к тому же они сравнительно дороги.

На асинхронных электродвигателях построены технологические схемы подавляющего большинства производственных процессов во всех отраслях народного хозяйства. Большое распространение асинхронных электродвигателей для привода механизмов различных систем обусловлено простотой, надежностью и относительно небольшой стоимостью этих машин. Эта "рабочая лошадка" мирового прогресса, не имеет аналогов по простоте и надежности. Именно он тратит большую часть вырабатываемой на Земле электроэнергии. Именно он является самым массовым, дешевым и надежным. Именно он может работать там, где другие двигатели работать просто не могут, в запыленной, взрывоопасной и агрессивной среде, в вакууме и под водой. Но есть и недостатки: асинхронный электродвигатель имеет постоянную частоту вращения ротора, практически не зависящую от нагрузки. Непосредственно во время запуска возникают очень высокие всплески тока, которые могут быть более чем в 15 раз выше, чем номинальный ток двигателя. Этот ток перегружает провода системы питания и коммутационные устройства. Также возникает очень высокий вращательный момент. Этот толчок нагружает не только двигатель, но и соединенный с ним механизм. Подавляющее большинство систем, элементами которых являются приводимые электродвигателем механизмы, работают в режимах с переменной нагрузкой. Для регулирования их производительности существуют различные способы, но наиболее распространенным в настоящее время методом регулирования производительности насосов и вентиляторов является уничтожение избыточной мощности при дросселировании расхода посредством клапанов и заслонок. Экономическая

[1] 420073, Россия, РТ, г. Казань, ул. Шуртыгина, д.3

эффективность подобных решений крайне неудовлетворительна. Это всех устраивало до тех пор пока на электро- и тепловую энергию мы тратили примерно 3-4% от всех затрат в СССР. Сейчас тратим примерно 18% в промышленности, 17% на транспорте, 11% в сельском хозяйстве. Но все мы видим тенденции. Вступление в ВТО доведет этот процент до 20-25.

Чтобы избежать негативных эффектов, необходимо использовать устройства плавного пуска (УПП) или преобразователи частоты (ПЧ). Свободный от рывка разгон привода достигается плавным поднятием напряжения на клеммах, и плавным уменьшением напряжения при плавном останове. Причем в устройствах плавного пуска выходная частота равняется входной, а в преобразователях частоты может меняться. Таким образом, устройства плавного пуска работают только при включении и отключении двигателя, в большинстве УПП даже ставится контактор, напрямую подключающий двигатель к питающей сети, после завершения разгона.

Преобразователь частоты - устройство более сложное и, соответственно, дорогое, рассмотрим его работу более подробно. Сегодня нельзя найти отрасль, где бы ни применялись частотно-регулируемые электроприводы с приводными асинхронными двигателями. Большинство производственных машин и механизмов общепромышленного применения (насосы, вентиляторы, конвейеры, компрессоры и т.п.) требуют относительно небольшого диапазона и невысокой точности регулирования скорости 20-30%, а также относительно низкого быстродействия. В этом случае используют электроприводы с системой скалярного управления асинхронных двигателей, т.е. с взаимосвязанным регулированием частоты и значения питающего напряжения (V/F).

Некоторые аспекты эффективности внедрения систем с частотно-регулируемыми приводами

Возможность управления частотой вращения короткозамкнутых асинхронных электродвигателей была доказана сразу же после их изобретения, а реализовать эту возможность удалось лишь с появлением силовых типов полупроводниковых приборов. В настоящее время во всем мире широко реализуется способ управления асинхронным двигателем, который сегодня рассматривается не только с точки зрения экономии энергии, но и совершенствования управления технологическим процессом.

Быстрый рост рынка преобразователей частоты для асинхронных двигателей не в последнюю очередь стал возможен в связи с появлением новой элементной базы - силовых модулей на базе IGBT (биполярный транзистор с изолированным затвором), рассчитанных на токи до нескольких килоампер, напряжением до нескольких киловольт и имеющих частоту коммутации 30 кГц и выше.

Существует два основных типа преобразователей частоты:

- с непосредственной связью;
- с промежуточным контуром постоянного тока.

В первом случае выходное напряжение синусоидальной формы формируется из участков синусоид преобразуемого входного напряжения. При этом максимальное значение выходной частоты принци-

пиально не может быть равным частоте питающей сети. Частота на выходе преобразователя этого типа обычно лежит в диапазоне от 0 до 25-33 Гц. Наибольшее распространение получили преобразователи частоты с промежуточным контуром постоянного тока, выполненные на базе инверторов напряжения. Структурная схема такого преобразователя показана на рис. 1.

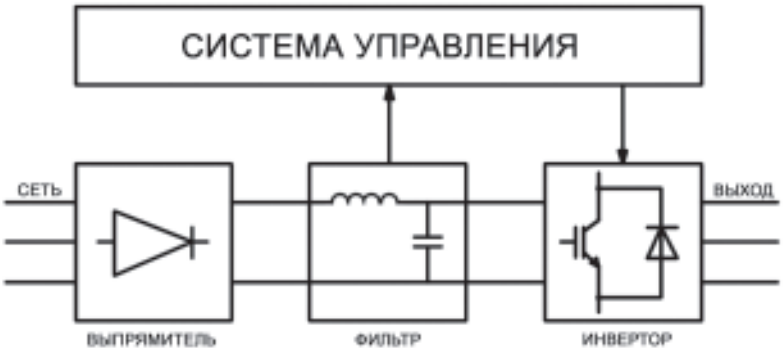

Рис. 1. Структурная схема преобразователя с промежуточным контуром постоянного тока

Режимы управления электродвигателем

В зависимости от характера нагрузки преобразователь частоты обеспечивает различные режимы управления электродвигателем, реализуя ту или иную зависимость между скоростью вращения электродвигателя и выходным напряжением.

Режим с линейной зависимостью между напряжением и частотой (U/F=const) реализуется простейшими преобразователями частоты для обеспечения постоянного момента нагрузки и используется для управления асинхронными двигателями или двигателями, подключенными параллельно. Вместе с тем при уменьшении частоты, начиная с некоторого значения, максимальный момент двигателя начинает падать. Для повышения момента на низких частотах в преобразователях предусматривается функция повышения начального значения выходного напряжения, которая используется для компенсации падения момента для нагрузок с постоянным моментом или увеличения начального момента для нагрузок с высоким пусковым моментом, таких, например, как промышленный миксер.

Для регулирования электроприводов насосов и вентиляторов используется квадратичная зависимость напряжение/частота (U/F^2=const). Этот режим так же, как и предыдущий, можно использовать для управления параллельно подключенными двигателями. Вместе с тем для повышения качества управления приводом требуется использование других, более совершенных методов управления. К ним относятся метод управления потокосцеплением (Flux Current Control - FCC) и метод бездатчикового векторного управления (Sensorless Vector Control - SVC). Оба метода базируются на использовании адаптивной модели управления электродвигателем, которая строится с помощью специализированного вычислительного устройства, входящего в состав блока управления преобразователя.

Наиболее точное и эффективное управление обеспечивает режим векторного управления без датчика обратной связи по скорости (SVC). Если в двигателях постоянного тока имеются две обмотки (статорная, или возбужденная, и роторная, или якорная), что позволяет управлять раздельно скоростью вращения (ток возбуждения) и электромагнитным моментом (ток якоря), то в двигателях переменного тока с короткозамкнутым ротором имеется всего лишь одна статорная обмотка, через которую формируется возбуждающее магнитное поле и определяется вращающий момент. С этим и связаны все трудности управления электродвигателем. Выход остается один: необходимо управлять амплитудой и фазой статорного тока, то есть его вектором, однако для управления фазой тока, а значит, и фазой магнитного поля статора относительно вращающегося ротора необходимо знать точное положение ротора в любой момент времени. Эта задача может быть решена с использованием датчика положения, например шифратора приращений. В такой конфигурации привод переменного тока по качеству регулирования становится сопоставимым с приводом постоянного тока, но в составе большинства стандартных электродвигателей переменного тока встроенные датчики положения отсутствуют, поскольку их введение неизбежно ведет к усложнению конструкции двигателя и существенному повышению его стоимости.

Применение же современной технологии векторного управления позволяет обойти это ограничение путем использования математической адоптивной модели двигателя для

предсказания положения ротора. При этом система управления должна с высокой точностью измерять значение выходных токов и напряжений, обеспечивать расчет параметров двигателя (сопротивление статора, значение индуктивности рассеяния и т.д.), точно моделировать тепловые характеристики двигателя с различными режимами его работы, осуществлять большой объем вычислений с очень высокой скоростью. Последнее обеспечивается применением в составе системы управления преобразователя специализированных интегральных схем ASIC.

Векторное управление без датчиков обратной связи по скорости позволяет обеспечивать динамические погрешности, характерные для регулируемого привода с замкнутой обратной связью. Однако полное управление моментом при скорости, близкой к нулевой, невозможно без обратной связи по скорости. Такая обратная связь становится необходимой и для достижения погрешности регулирования менее 1%. Контур обратной связи при этом легко реализуется с помощью самого преобразователя частоты.

Вместе с тем режим векторного управления не может быть использован для синхронных или реактивных синхронных двигателей, для группы двигателей, чья номинальная мощность меньше половины мощности преобразователя частоты или превышает его.

В широкодиапазонных, высокочастотных и быстродействующих электроприводах станков, роботов и транспортных средств применяют сложные системы векторного управления, которые позволяют:

- развивать высокий момент на низких оборотах;
- задавать двигателю очень большое ускорение;
- осуществить подхват двигателя при кратковременном пропадании питающего напряжения без опрокидывания инвертора;
- осуществлять пропуск нежелательных для механизма скоростей (например, связанных с механическими проблемами резонанса).

Механизмы, где рекомендуется применять преобразователи частоты с векторным управлением: краны, лифты, подъемные механизмы, электротранспорт, буровые станки, экскаваторы, высокоточные системы позиционирования, станки с ЧПУ, металлообрабатывающие станки, бумагоделательные машины, машины многоцветной печати, робототехника, экструдеры, мельницы, центрифуги, штамповочные прессы и т.д.

Для кранов. В отличие от большинства электроприводов производственных механизмов крановый электропривод, как правило, не имеет наперед заданного цикла, Режим его работы зависит от многих факторов, а нагрузка и знак ее изменяются в весьма широких пределах. Векторное управление позволяет осуществлять плавный частотный разгон всех механизмов крана с управляемым ускорением, плавное регулирование скорости в большом диапазоне при различных значениях и направлениях нагрузки, дотяжку и точную остановку механизмов; работу главного механизма в режимах подъема, силового спуска с глубоким регулированием скорости, с ограничением динамического момента и тока электродвигателей.

Для лифтов применение систем с векторным управлением позволяет отойти от использования обычных двухскоростных асинхронных электродвигателей и перейти к использованию высокоскоростных электродвигателей, осуществлять "мягкие" пуско-тормозные режимы; с высокой точностью останавливать лифтовую кабину. Все это влечет за собой повышение комфортности пассажиров.

В буровых механизмах ротор приводит во вращение длинную упругую колонну труб. Векторное управление позволяет уменьшать динамические нагрузки в трубах при заклинивании долота, оперативно уменьшать количество оборотов двигателя и, при необходимости, реверсировать направление вращения двигателя. Это сбережет от механических разрушений не только электродвигатель, но и дорогостоящую колонну труб.

Для станков векторное управление позволяет применять электроприводы как на механизмах главного движения с циклическими режимами работы и с высокими темпами разгона, торможения, реверсирования, так и на механизмах подачи с достижением высокой точности позиционирования, например, шпинделя шлифовального станка. Благодаря векторному управлению можно осуществить пропуск частот, на которых робота станка нежелательна, качественно регулировать скорость в огромном диапазоне и ограничить момент нагрузки.

Экструдеры, мельницы, миксеры, центрифуги. Характерной особенностью этих механизмов является большой пусковой момент, составляющий 150-200%. Раньше это решалось с помощью управляемых электроприводов постоянного тока. Однако ввиду повышенной стоимости самих электродвигателей и сложности их обслуживания, наличия токопроводящей пыли в окружающем воздухе и широкого диапазона рабочих температур их применение становится проблематичным. Применение систем с векторным управлением позволяет перейти к недорогим асинхронным электродвигателям, развить требуе-

мый начальный момент и преодолеть влияние больших сил трения.

Насосные и вентиляционные системы. К категории механизмов, у которых начальный момент зависит от скорости и имеет квадратичную зависимость, относятся центробежные насосы и вентиляторы.

Благодаря квадратичной характеристике U/f и возможности ее динамического выбора, преобразователь позволяет управлять насосами и вентиляторами с наибольшей эффективностью приближаясь к их естественной характеристике и тем самым сокращая потери энергии.

Необходимо также более подробно отметить уже упоминавшуюся ранее функцию динамического выбора характеристики U/f. При снижении нагрузки на валу двигателя и, соответственно, уменьшении тока статора преобразователь снижает напряжение на статоре двигателя, сохраняя частоту неизменной. Благодаря снижению напряжения уменьшаются потери энергии в статоре двигателя, а значит, и общие потери энергии в приводной системе становятся ниже. При возрастании нагрузки на валу двигателя процесс протекает в обратной последовательности и ПЧ возвращается на номинальную характеристику.

Наличие программируемого **ПИД-регулятора** (т.е. с интегрированием по пропорционально-интегрально-дифференциальному закону) позволяет организовать автоматический контроль за аналоговым сигналом, приходящим с датчика (давления, температуры, уровня) обратной связи. Программируемые релейные выходы позволяют организовать работу насосной станции в веерном режиме, что позволяет уменьшить мощность насосов за счет увеличения их количества; постоянно контролировать количество включенных насосов, что существенно уменьшает расход электроэнергии и увеличивает ресурс насосов. Необходимо отметить также наличие пропускаемых частот, настраиваемых пользователем, позволяющих избежать резонанса в механизме и двигателе. Из функций, полезных при управлении насосами и вентиляторами, следует также отметить возможность "подхвата" вращающегося двигателя и возможность автоматического перезапуска его при исчезновении питания или рестарта при аварийном отключении. Преобразователь может *перезапускаться до 10 раз* с задержкой перед включением от 5 до 25 с, что достаточно для подавляющего большинства насосов и вентиляторов.

Преобразователи могут комплектоваться дополнительным внешним фильтром радиочастот, применение которого позволяет ПЧ с запасом отвечать самым жестким требованиям по электромагнитной совместимости (ЭМС). Совокупность качеств преобразователя частоты делает его незаменимым для управления центробежными насосами и вентиляторами, а наличие разнообразных модулей расширения позволяет создавать на его базе локальные системы управления и/или интегрировать ПЧ в уже существующие системы управления.

Энергетические потери и вид регулирования

Потери энергии в технологическом процессе зависят от технологической нагрузки, определяемой потребителем, и потерь напора на оборудовании насосной станции, которые определяются гидравлическим сопротивлением элементов схемы. Для организации технологического процесса с минимальными энергетическими потерями необходимо в первую очередь снизить потери напора между трубопроводом насосного агрегата и сетью потребителей.

Кроме того, в процессе функционирования в зависимости от режимов работы системы может меняться давление перед насосом, создаваемое источником водоснабжения. Измерение этого давления также отражается на величине давления в сети потребителей.

Такой характер взаимосвязи параметров требует установки в системе дроссельных регулирующих элементов - регулирующих клапанов (иногда их функцию выполняют напорные задвижки агрегатов). Эти элементы создают дополнительное гидравлическое сопротивление и позволяют обеспечить стабильное давление в сетевом трубопроводе. При использовании дроссельных элементов происходит распределение напора на элементах системы.

На величину потерь при дроссельном регулировании влияет не только регулирующий элемент: чаще всего на этапе проектирования выбирается насосный агрегат с определенным запасом напора, а при замене насосных агрегатов новое оборудование может иметь несколько завышенные характеристики. Кроме того, диапазон изменения входных давлений (перед всасывающим патрубком насосного агрегата) оказывает влияние на величину давления за насосным агрегатом. Все эти обстоятельства приводят к тому, что потери энергии в ходе технологического процесса становятся достаточно большими, достигающими 45 и более процентов от номинальной мощности агрегата.

Для решения задачи минимизации потерь, связанных с регулированием давления в сети, необходимо исключить дополнительные гидравлические сопротивления на участке от насосного агрегата до сетевого трубопровода, т.е. необходимо полностью открыть всю запорно-регулирующую арматуру. Это можно сделать, если процесс регулирования давления передать насосному агрегату. Теория работы нагнетателей (насосов и вентиляторов) доказывает, что изменение частоты вращения привода нагнетателя изменяет его напорные характеристики, кроме того, напор создаваемый нагнетателем, пропорционален квадрату частоты вращения агрегата. Изменение напорных характеристик насосного агрегата при изменении частоты вращения показано на рис. 2, на котором кривая 1 соответствует номинальной (при номинальной частоте вращения привода) напорной характеристике, а кривые 2-4 - напорным характеристикам при пониженной частоте вращения.

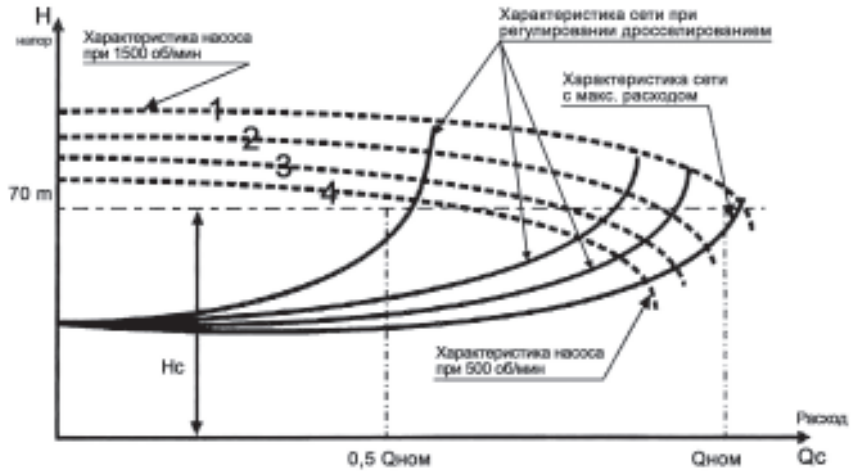

Рис. 2. Напорные характеристики

Если организовать работу привода насосного агрегата таким образом, чтобы он при изменении параметров технологического процесса (расхода в сети и давления на входе агрегата) изменял частоту вращения, то в итоге можно без существенных потерь энергии стабилизировать давление в сети потребителей. При таком способе регулирования исключаются потери напора (нет дроссельных элементов), а значит, и потери гидравлической энергии.

Способ регулирования давления в сети путем изменения частоты вращения привода насосного агрегата снижает энергопотребление еще и по другой причине. Собственно насос как устройство преобразования энергии имеет свой коэффициент полезного действия -

отношение механической энергии, приложенной к валу, к гидравлической энергии, получаемой в напорном трубопроводе насосного агрегата. Характер изменения коэффициента полезного действия насоса в зависимости от расхода жидкости Q при различных частотах показан на рис. 3.

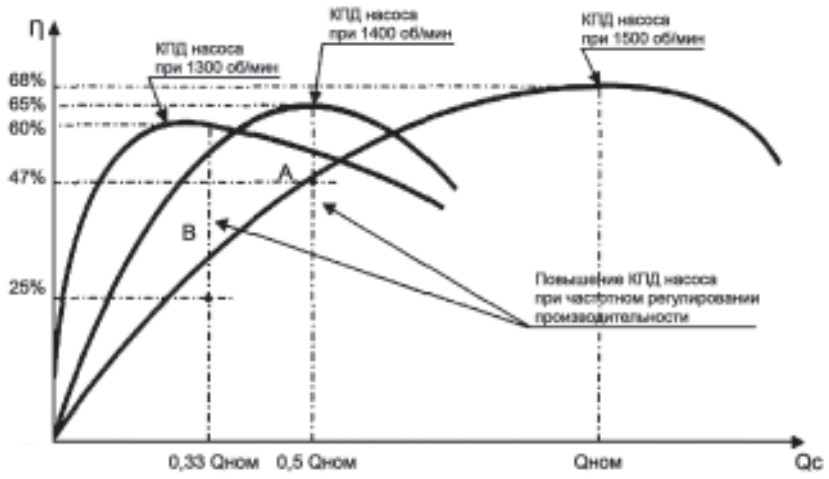

Рис. 3. Зависимость КПД насоса от расхода жидкости при различных частотах вращения

В соответствии с теорией подобия максимум коэффициента полезного действия с уменьшением частоты вращения несколько снижается и смещается влево. Анализ требуемого изменения частоты насосного агрегата при изменении расхода в сети показывает, что с уменьшением расхода требуется снижение частоты вращения. Если рассмотреть работу агрегата для расхода меньше номинального (рис. 4, вертикальные линии А и В), то для этих режимов рационально работать на пониженной частоте вращения, В этом случае КПД насоса выше, чем при работе на номинальной частоте вращения. Таким образом, снижение частоты вращения в соответствии с технологической нагрузкой позволяет не только экономить потребляемую энергию на исключении гидравлических потерь, но и получить экономический эффект за счет повышения коэффициента полезного действия самого насоса - преобразования механической энергии в гидравлическую.

Применение частотного регулирования приводов позволяет существенно уменьшить и эксплуатационные затраты, связанные с обслуживанием агрегатов и систем. Например, снижение перепада давления между всасывающим и напорным патрубками насосного агрегата увеличивает срок службы сальниковых уплотнений, практически исключая гидроудары, и обеспечивает стабильность давлений в трубопроводах сетей, а также минимизирует затраты на обслуживание.

Насосная программа

Некоторые преобразователи частоты имеют возможность управлять несколькими насосами (вентиляторами) работающими на одну нагрузку, это так называемая "насосная программа". Суть в следующем: преобразователь осуществляет частотное регулирование одним двигателем, а когда не хватает его мощности, дает команду на подключение следующего двигателя. Для исключения броска давления у частотно-регулируемого двигателя, на время пуска дополнительного двигателя, снижают обороты. Таким образом можно управлять группой насосов (вентиляторов). Дополнительные двигатели можно включать напрямую к сети, а можно и через устройство плавного пуска.

Режимы торможения электродвигателя и способы останова

Самый простой способ останова - выбег электродвигателя. Двигатель отключается от питающей сети и останавливается по инерции. При этом время до полного останова не

регулируется и определяется инерционными свойствами двигателя и его нагрузки.

Регулируемое время торможения обеспечивает генераторный способ, заключающийся в том, что преобразователь с необходимой скоростью уменьшает выходную частоту до требуемого значения. При этом двигатель превращается в генератор, преобразующий кинетическую энергию вращения в электрическую. В зависимости от типа выпрямляющего устройства энергия возвращается в первичную сеть либо накапливается в контуре преобразователя частоты. Во втором случае и в случае нагрузки с большим моментом инерции для рассеивания энергии может потребоваться применение внешнего тормозного сопротивления, подключение которого при возникновении опасного перенапряжения в промежуточном контуре преобразователя осуществляет специальная контролирующая схема. Таким образом, преимуществом генераторного торможения является предсказуемое время и плавность останова, высокий тормозной момент. Недостаток же заключается в том, что энергия выделяется в преобразователе, поэтому в случае быстрого останова или большого момента инерции нагрузки для избежания перегрева встроенного резистора контура постоянного тока преобразователя необходимо использование внешнего сопротивления.

Для того чтобы осуществить торможение постоянным током, или, иными словами, динамическое торможение, с обмотки статора двигателя снимают переменное напряжение и на одну или две фазы подают постоянное напряжение. При этом магнитное поле будет вызывать вначале замедление, а затем и удержание ротора в неподвижном состоянии. Преимуществом динамического торможения является выделение электрической энергии в роторе двигателя, что делает ненужным использование тормозного сопротивления, и плавный останов. Но поскольку выходная частота преобразователем не контролируется, то время торможения становится величиной неопределенной. Эффективность торможения в этом случае по сравнению с генераторным методом составляет 30...40%.

При комбинированном способе торможения используется комбинация двух описанных способов, т.е. но переменную составляющую выходного напряжения преобразователя накладывается постоянная составляющая. Этот способ торможения сочетает в себе преимущества обоих электрических способов торможения и позволяет эффективно тормозить электродвигатель за короткое время выделения тепла в преобразователе.

Высоковольтные ПЧ

Нельзя обойти стороной эти устройства. Казалось бы, всё то же самое, только напряжение другое. На самом деле не всё так просто. Для устройств питанием 6 кВ, нужны силовые модули на напряжение примерно 18 кВ. Конденсатор в звене постоянного тока примерно на 10 кВ. Такой элементной базы сегодня просто нет, приходится применять параллельно-последовательное соединение. А это влияет на надежность, цена увеличивается не пропорционально. Поэтому сейчас находят применение, наряду с применением высоковольтных преобразователей, двух трансформаторные схемы, т.е. с 6 кВ ставится понижающий трансформатор до 0,4 или 0,7 кВ, потом частотный преобразователь на это напряжение и потом повышающий трансформатор до 6 кВ. Потребитель может и не знать об этом, ему предлагается комплект оборудования под названием Высоковольтный преобразователь частоты на 6 кВ. Недостаток этого метода, при большой глубине частотного регулирования - низкая частота плохо проходит через трансформатор, рассчитанный на 50 Гц, а высокая несущая частота напряжения, от широтно-импульсной модуляции вызывает значительные потери в трансформаторе. Нужен или специальный трансформатор для частотного регулирования, или глубина регулирования должна быть не более 10-15%. Обязательно нужен синусный фильтр между ПЧ и трансформатором, габариты и цена которого соизмеримы с параметрами трансформатора. Интересное решение предлагает группа ученых из МЭИ, они предлагают ставить только понижающий трансформатор, потом набор частотных преобразователей, как бы модулей низкого (0,4 кВ) напряжения. Каждый модуль согласованно запитывает обмотки специально разработанного вентильно-индукторного двигателя. Каждый модуль свою обмотку. Конструкция двигателя получается не сложнее обычного асинхронного двигателя, габариты меньше, соответственно цена всего комплекта оборудования, включая двигатель, меньше стандартного высоковольтного преобразователя частоты. Кроме того при выходе из строя одного из модулей, всё продолжает работать, с потерей части мощности, что не возможно в первых двух вариантах.

Системный подход

Практика применения частотных преобразователей и устройств плавного пуска для управления насосами и вентиляторами доказыва-

ет целесообразность не просто включения преобразователя для управления агрегатом, а создания специализированных систем управления технологическим процессом. Именно такой подход позволяет получить экономический эффект не только от снижения потребляемой из сети электрической мощности, но и добиться существенного уменьшения эксплуатационных расходов, улучшение условий труда и увеличение срока службы оборудования. Современные преобразователи частоты позволяют получать более 20 параметров состояния электропривода. Соответствующая обработка этих параметров позволяет проводить глубокое диагностирование как оборудования системы, так и протекающих процессов. Появляется возможность не только реагировать на возникшую аварию, но и предупреждать ее, что для энергетических объектов значительно важнее.

Создание системы с частотно-регулируемыми приводами, в которых управление частотой осуществляется наряду с контролем целого комплекса различных технологических параметров, позволяет снизить не только потребление электрической энергии, но и обеспечивает экономию потребления энергоресурсов всей системы.

Оценка экономической эффективности применения частотно-регулируемого привода.

Определение экономической эффективности, которую можно получить от внедрения преобразователей частоты, является насущной проблемой. Потребителю хотелось бы до приобретения ПЧ иметь гарантии, что средства будут израсходованы не зря, общие утверждения о том, что экономия электроэнергии составит 30-80%, требуют подтверждения. К сожалению, универсальной методики на все случаи применения ПЧ нет и быть не может, так как объём экономии зависит от многих факторов характерных для данной конкретной установки. Однако существует большое количество типовых решений применяемых в народном хозяйстве, например, системы отопления и горячего водоснабжения на центральных тепловых пунктах (ЦТП). Московским энергетическим институтом (МЭИ) разработана методика оценки экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода в системах водоснабжения зданий, разработана "Инструкция по расчёту экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода", согласованная с Главгосэнергонадзором и утверждена Минтопэнерго.

Автор пользуется методикой расчета составленной с учетом "Методических рекомендаций по оценке инвестиционных проектов", утвержденных Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике №ВК 477 от 21.06.1999 г. и "Методических рекомендаций по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте", утвержденных указанием МПС РФ от 31.08.1998 г. №В-1024у.

Опыт применения частотно-регулируемого привода показывает, что реальная экономия, зачастую, получается даже больше расчетной - 50-60 и даже 80% экономии. А окупаемость внедрения частотных преобразователей наступает от 2 месяцев до 2 лет. Чем мощнее

двигатель, тем меньше срок окупаемости частотно-регулируемого привода.

Заключение

Применение частотно-регулируемых приводов для насосов и вентиляторов в технологических процессах позволяет снизить энергопотребление технологическим оборудованием. Перед началом внедрения рекомендуется провести технико-экономическое обоснование, позволяющее определить не только сроки окупаемости от внедрения, но и правильно организовать технологический процесс с учетом возможностей привода с частотным регулированием. Целесообразно использование преобразователей частоты и устройств плавного пуска не только в качестве элементов системы управления конкретного агрегата, но и как составляющие комплексных системных решений с подключением широкого набора средств автоматизации технологического процесса. Такие решения позволяют получить дополнительный эффект, который заведомо больше простой экономии электрической энергии.