

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

Внедрение энергосберегающих технологий сегодня – это не дань моде, особенно для нашей огромной северной страны. Энергосберегающих технологий много, эффективность их зависит от множества факторов. В этой статье рассматриваются возможности, которые дают нам преобразователи частоты (ПЧ). Словосочетание «преобразователи частоты» многим кажется знакомым уже давно: есть преобразователи частоты на 200 или 400 Гц для электропитания специализированного электроинструмента, преобразователи для получения высоких скоростей вращения электропривода и другие. Для того чтобы сразу можно было понять, о каком преобразователе частоты идет речь, правильнее говорить о частотно-регулируемом электроприводе асинхронных электродвигателей. В настоящее время подавляющее большинство управляемых электроприводов строится на базе асинхронных электродвигателей и преобразователей частоты, где преобразователь частоты выполнен по такой схеме: неуправляемый выпрямитель – автономный управляемый инвертор напряжения – то есть сначала электрическая энергия сети преобразуется в постоянный ток, а потом инвертор создает трехфазный электрический ток переменной частоты. Различают два основных принципа управления преобразователями частоты.

К первому принципу относится система скалярного управления, часто называемая частотным управлением, основной задачей которой является формирование фазных напряжений на основании заданных значений амплитуды и частоты, получаемых путем широтно-импульсной модуляции (ШИМ) инвертора, огибающие которых и представляют собой трехфазное напряжение для питания асинхронного электродвигателя. Данный принцип является наиболее простым способом реализации частотного управления и благодаря относительно низкой стоимости широко используется для привода механизмов, не предъявляющих высоких требований к качеству регулирования скорости. В первую очередь, это относится к электроприводам насосов, вентиляторов, компрессоров. Данный класс механизмов обладает широкими потенциальными возможностями энерго- и ресурсосбережения, которые успешно реализуются при внедрении указанного типа преобразователей.

Ко второму принципу систем управления относятся система векторного управления, обеспечивающая характеристики асинхронного электродвигателя, близкие к характеристикам привода постоянного тока. Эти свойства системы достигаются за счет разделения каналов регулирования потокосцепления и скорости вращения электродвигателя, не достижимого при использовании скалярного управления. При построении указанных систем используется векторное представление физических величин. Преобразователи, использующие данный принцип управления, имеют сравнительно высокую стоимость и применяются в механизмах с повышенными требованиями к качеству регулирования скорости, например приводы в станках, лифтах, кранах. Хотя при наличии хороших датчиков обратной связи (датчиков положения, скорости) в большом числе случаев с этими

задачами могут справиться и преобразователи скалярного принципа управления. Следует также отметить, что существует четкая тенденция к отказу от датчиков скорости и к разработке алгоритмов определения состояния двигателя по измеренным фазным токам и напряжениям, что ведет к снижению стоимости и повышению надежности системы.

Новым направлением в области разработки высококачественных систем управления являются системы с прямым управлением моментом. Основная идея управления заключается в том, что на каждом шаге расчета определяется оптимальное состояние инвертора напряжения по значению момента и потока статора, из системы исключается широтно-импульсный модулятор как отдельное звено. Система реализует векторное регулирование скорости, математический аппарат которого основан на дифференциальных уравнениях динамики асинхронного двигателя и векторных соотношениях. Метод одинаково корректен как для переходных, так и для установившихся процессов, что существенно повышает динамический диапазон работы системы, приводит, например, к отсутствию провалов скорости при скачках нагрузки. Задача контура скорости - задать мгновенное положение вектора тока, необходимое для поддержания заданной скорости. Задача контура тока – обеспечить реальное положение и амплитуду вектора тока равными заданным значениям.

Момент переключения инвертора не привязан к ШИМ, а зависит от реальной ошибки вектора тока. Определяющим в работе контура является критерий выбора состояния инвертора при переключениях и позволяет:

- минимизировать частоту переключений инвертора при малой амплитуде ошибки;
- уменьшить кратковременно возникающую большую токовую ошибку за минимальное время при минимальном количестве коммутаций инвертора.

Данный метод управления током имеет существенные преимущества по сравнению с ШИМ-управлением. Он позволяет строить более скоростные системы, мгновенно реагирующие на возмущающие воздействия, и одновременно рассеивать меньше энергии в силовых ключах по сравнению с методом ШИМ. Например, заявлено, что привод обрабатывает 100%-ный скачок задания на момент за время, не превышающее 2 мс, что является естественным пределом асинхронного двигателя. В большинстве случаев ПЧ с таким типом управления позволяет отказаться от датчика скорости, так как встроенный вычислитель скорости оценивает частоту вращения вала двигателя 40000 раз в секунду с точностью 2 об/мин.

Опыт работы показывает, что в подавляющем большинстве решаемых на сегодняшний день задач достаточно преобразователя частоты со скалярным принципом управления и ШИМ-модуляцией инвертора, а иногда достаточно использовать устройства плавного пуска (УПП) или, как их еще называют, мягкие пускатели.

## Варианты использования частотно-регулируемого электропривода АД

Возможности, открывающиеся при использовании преобразователя частоты в качестве регулирующего устройства для электропривода, выполненного на асинхронном электродвигателе, безграничны. Одной из главных тенденций развития современного электропривода является использование его в целях сбережения энергетических ресурсов и экологии. Следует отметить, что использование преобразователей частоты в качестве регулируемого электропривода создает свои преимущества за счет автоматического изменения параметров системы в зависимости от условия работы часто меняются и пределы изменений достаточно широки. Система регулируемого электропривода управляется микроконтроллером с достаточно солидным программным обеспечением, позволяющего задавать параметры регулирования в зависимости от необходимых условий работы механизма. В этой связи расширяется область применения регулируемого электропривода не сферах высоких технологий, но и там, где до настоящего времени традиционно использовался простой нерегулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. При этом важным становится повышение энергетической эффективности существующих электроприводов, позволяющих решать технологические задачи при минимальных затратах.

Наиболее простой вариант использования ПЧ, когда одним преобразователем управляется один электродвигатель, например электродвигатель лифта, станка-качалки, дымососа котла и т.д. В данном случае преобразователь подключается непосредственно к одному электродвигателю и руководит его работой в зависимости от заданных параметров и получаемой от датчиков информации. При этом эффект от работы электропривода определяется снижением расхода электроэнергии и повышением качества регулируемого технологического параметра, который чаще всего и определяет качество продукции. При таком варианте использования ПЧ удельная стоимость преобразователя на 1 кВт мощности максимальна и решение об установке ПЧ, как правило, принимается по необходимости регулирования технологических параметров, хотя расчеты показывают, что составляющая экономии электроэнергии часто позволяет окупить затраты на установку ПЧ менее чем за один год и далее приносить чистую экономию.

Если на объекте расположено несколько электроприводов, работающих во взаимосвязанном режиме, то целесообразно рассмотреть установку преобразователя в комплексе с системой управления электроприводов – так называемую станцию управления электроприводами. Типовая станция управления (СУ) включает в себя:

- шкаф управления, в котором размещаются коммутационная аппаратура, частотный преобразователь, дополнительный программируемый логический контроллер (при необходимости решать сложные задачи управления), аппаратура защит и сигнализации;
- датчики контролируемых параметров и исполнительные механизмы системы управления.

Типичным примером такого варианта использования ПЧ является станция управления группой насосов, когда диапазон регулирования по расходу изменяется в широких пределах и, в зависимости от расхода, работает один, два или три насоса, обеспечивая заданный уровень давления. Используя имеющиеся резервные мощности встроенного в преобразователь частоты микроконтроллера, средствами программного обеспечения в станциях управления, изготавливаемых на Ижевском радиозаводе, реализована возможность управления группой электродвигателей на два или три насоса. При этом управление может осуществляться в любом заданном режиме: при малых расходах заданное давление обеспечивается автоматически регулируемой работой одного насоса, при увеличивающемся расходе контроллер (ПЧ) управляет работой коммутационной аппаратуры, подключая второй и, при необходимости, третий насос, обеспечивая заданный уровень давления, постоянное регулирование, исключение гидравлических ударов. Программным способом можно регулировать ресурс работы каждого насосного агрегата с переключением через заданные промежутки времени.

При более сложных схемах регулирования, когда требуются контроль и регулирование по нескольким параметрам, Ижевским радиозаводом разрабатываются и изготавливаются программируемые логические контроллеры на самых современных микропроцессорах фирм Atmel, Texas Instruments, по согласованному с заказчиком техническому заданию. Применение программируемых логических контроллеров позволяет создавать полностью автоматизированные объекты, включать их в схемы АСУ ТП, SCADA-системы, при этом качественно менять сам принцип производства, получая при этом максимальный экономический эффект.

### **Оценка экономической эффективности от внедрения преобразователей частоты**

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 объем экономии зависит от многих факторов, характерных для данной конкретной установки. Однако существуют большое количество типовых решений, применяемых в народном хозяйстве, например системы отопления и горячего и водоснабжения на центральных тепловых пунктах (ЦТП). Московским энергетическим институтом (МЭИ) разработана методика оценки экономической эффективности применения частотного электропривода в системах водоснабжения зданий, разработана Инструкция по расчету экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода, согласованная с Главгосэнергонадзором и утвержденная Минтопэнерго. Указанная методика взята за основу разработанной в МЭИ компьютерной программы по оценке экономической частотно-регулируемого электропривода насосов.

Теоретические вопросы экономии электроэнергии достаточно хорошо отражены в литературе. Однако в некоторых статьях и рекламных проспектах типа: «Вы можете сами посчитать экономию вашей электроэнергии при использовании ПЧ» – формулы для расчета экономии электроэнергии вызывают недоумение. Более того, зачастую сами авторы пишут, что расчетная экономия составляет, скажем, 20% а фактическая оказывается больше (30-40%)! Основная ошибка заключается в том, что для расчета экономии, во многих проспектах используется следующая формула:

$$N_1 - N_2 = r \cdot g \cdot Q (H_1 - H_2)$$

где:  $Q$  – расход,  $H$  – напор,  $N$  – мощность потребляемая электродвигателем.

То есть снижение потребляемой мощности пропорционально потере напора при дросселировании. Однако здесь не учтено то, что при снижении напора насоса частотным регулированием меняются характеристики и самого насоса – при варианте убиранию сопротивления в сети. Правильнее для вычисления величины снижения потребляемой мощности пользоваться законами подобия насосов (для насосов среднего и низкого давлений с пологой характеристикой, типичных в сетях тепловодоснабжения), а именно:

$$H_1 / H_2 = n_1^2 / n_2^2,$$
$$N_1 / N_2 = n_1^3 / n_2^3,$$

где:  $n$  – частота вращения.

То есть снижение потребляемой мощности пропорционально снижению оборотов двигателя в кубе. Пример показывает, что даже в системах с постоянным расходом можно получить эффект от применения ПЧ.

Существуют, даже среди специалистов тепловодоснабжения, распространенное, но ошибочное мнение, что применение частотного регулирования при правильно подобранных характеристиках насоса никакой экономии электроэнергии дать не может. Да, такое возможно при неправильной выбранной величине уставки давления для преобразователей частоты, суммарное потребление электроэнергии насосом с ПЧ может не дать экономию. Очень важно чтобы величина уставки давления соответствовала минимальному напору при максимальном расходе. Если поставить датчик давления непосредственно у потребителя, то при уменьшении расхода у потребителя автоматически снижается необходимый напор, т.е. заданный параметр регулирования для ПЧ будет формироваться  $Q$ - $H$  характеристикой сети.

Из вышеизложенного по оценке экономической эффективности от внедрения ПЧ для насосных станций можно сделать следующие выводы:

1. Суммарное снижение потребления электроэнергии при использовании преобразователей частоты может достигать 50% и даже при идеально подобранных насосах, работающих на сеть с переменным расходом.
2. Для обеспечения максимального эффекта экономии от применения ПЧ необходимо предварительно провести обследование и изучение сети. Сейчас это достаточно просто – есть пе-

реносные ультразвуковые расходомеры, позволяющие быстро и точно определить фактические характеристики сети и насосного агрегата.

3. Все здесь сказанное относится к работе сетей с правильным подбором насосов. Как правило, насосы для сети подбираются с «запасом», запас при применении ПЧ не теряется, при нештатном увеличении расхода ПЧ с таким насосом обеспечит и нештатный режим.

4. После внедрения ПЧ на электродвигателе насосного агрегата необходимо заново производить настройку и регулировку работы сети для максимального снижения потребления электроэнергии, в противном случае экономический эффект от внедрения ПЧ будет неполным.

Для оценки экономической эффективности от применения преобразователей частоты в любом случае необходимо организовать установку приборов учета электрической энергии и произвести замеры электропотребления до установки ПЧ и после его установки. Кроме установки ПЧ нужно провести все необходимые регулировки и настройки в работе системы.

Важнейшим показателем в конкуренции на рынке сегодня является соотношение качество-цена. Затем рассматриваются и другие показатели, такие как габариты, дизайн, наличие сервисной службы и т.п., но на первом месте стоит качество. При построении преобразователей частоты для асинхронных двигателей используются современные управляемые полупроводниковые приборы высокой надежности (биполярные транзисторы с изолированным затвором – IGBT-транзисторы). Элементы силовой электроники в основном и определяют сегодня качество и ценовые показатели, в структуре цены они составляют до 70% от стоимости ПКИ.

Специалисты прогнозируют высокие темпы снижения цены на IGBT-транзисторы, и преобразователи частоты будут еще более доступными для потребителей, масштабы их внедрения уже в ближайшие годы станут массовыми. Как показывает опыт высокоразвитых стран, другой альтернативы у нас просто нет.

*По материалам ОАО «Ижевский радиозавод»*