

### Использование регулируемого привода

Для регулирования скорости вращения двигателей широко используются три основных типа устройств: механические вариаторы, гидравлические и электромагнитные муфты скольжения и электронные регуляторы. Основным недостатком первых двух типов устройств является наличие механически изнашиваемых элементов, которые затрудняют эксплуатацию и обслуживание приводов, особенно в загрязненных и взрывоопасных средах, а также необходимость компоновки регулирующего устройства в один агрегат вместе с двигателем и нагрузкой. Электронные регуляторы свободны от этих недостатков и поэтому находят все более широкое применение.

Электропривод включает в себя электрический двигатель, преобразователь электрической энергии (например, преобразователь частоты) и систему управления. В промышленности и быту применяются 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 прост и дешев. Однако, двигатели постоянного тока сравнительно дороги, имеют сложную конструкцию и критичный в эксплуатации щеточный аппарат. Асинхронные двигатели широко распространены, надежны, имеют относительно невысокую стоимость, хорошие эксплуатационные качества. Благодаря бурному развитию электроники и появлению недорогих преобразователей частоты стало возможным регулирование скорости вращения асинхронных двигателей в широких масштабах. 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 (Insulated Gate Bipolar Transistor – биполярный транзистор с изолированным затвором), рассчитанных на токи до нескольких килоампер, напряжение до нескольких киловольт и имеющих частоту коммутации 30 кГц и выше.

Как известно, скорость ротора асинхронного электродвигателя можно регулировать изменением частоты питающего напряжения, амплитуды питающего напряжения, числа пар полюсов статора:

$$n = 60 f / p,$$

где  $n$  – скорость ротора электродвигателя (номинальная частота – обор / мин);

$f$  – частота промышленной сети (50 Гц);

$p$  – число пар полюсов электродвигателя.

Для изменения скорости вращения асинхронного электродвигателя наиболее широко используются устройства, позволяющие менять частоту подводимого напряжения – полупроводниковые преобразователи частоты. В простейшем случае частотного регулирования управление скоростью вращения осуществляется путем изменения частоты и амплитуды напряжения трехфазного источника питания.

Существует два основных типа преобразователей частоты:

а) с непосредственной связью;

б) 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 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 приведена на рис. 1.

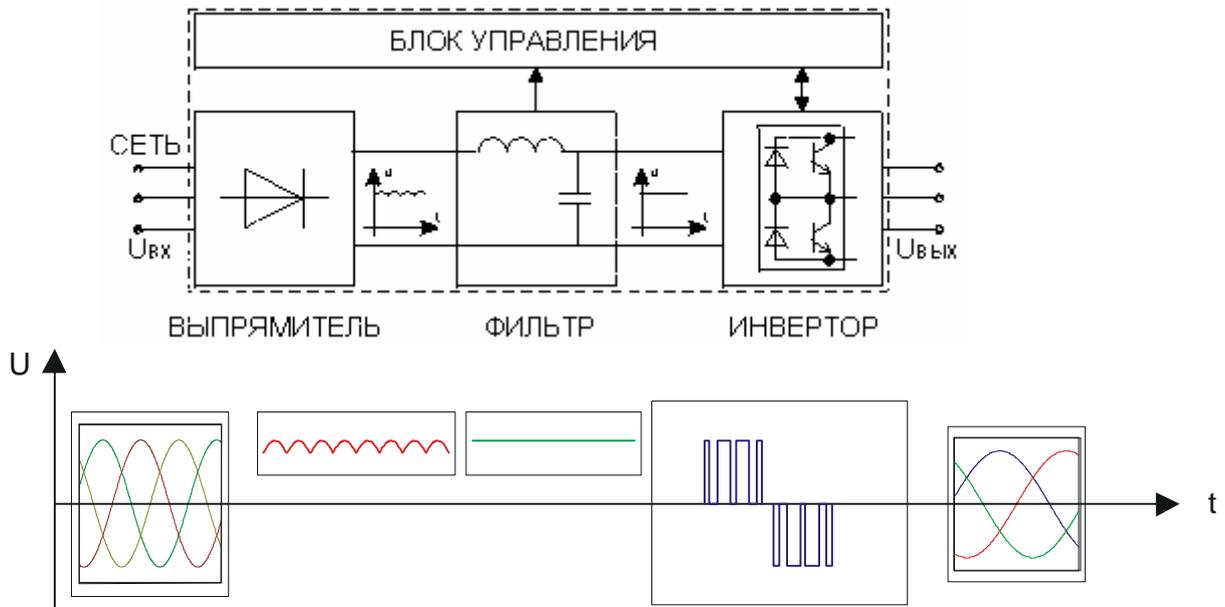


Рисунок 1 Структурная схема преобразователя

Переменное напряжение сети в нем преобразуется с помощью диодного выпрямителя, а затем сглаживается в промежуточной цепи индуктивно-емкостным фильтром. И, наконец, инвертор, выходной каскад которого обычно выполняется на основе IGBT-модулей, осуществляет обратное преобразование из постоянного тока в переменный, обеспечивая формирование выходного сигнала с необходимыми значениями напряжения и частоты. Наиболее часто в инверторах применяется метод высокочастотной широтно-импульсной модуляции (ШИМ). В этом случае выходной сигнал преобразователя представляет собой последовательность импульсов напряжения постоянной амплитуды и изменяющейся длительности, которая на индуктивной нагрузке, каковой является обмотка статора, формирует токи синусоидальной формы. Возможный диапазон регулирования частоты – от 0 до нескольких тысяч герц.

Требования к электроприводу определяются диапазоном требуемых скоростей и типом нагрузки. Зависимость между скоростью вращения и моментом сопротивления неодинакова для нагрузок разного типа (рис. 2). Многие нагрузки могут рассматриваться как имеющие постоянный момент во всем диапазоне изменения скорости. К ним относятся, например, конвейеры, компрессоры и поршневые насосы. Некоторые виды нагрузки имеют переменную механическую характеристику, для которой момент нагрузки возрастает с увеличением скорости вращения. Типичным примером устройств с такой нагрузкой являются центробежные насосы и вентиляторы, чья механическая характеристика описывается уравнением квадратичной параболы, а соотношение между производительностью и потребляемой мощностью от электросети при применении регулируемого электропривода равно:

$$P \approx k * \Omega^3,$$

где **P** – потребляемая мощность;

**k** – коэффициент пропорциональности;

**Ω** – производительность механизма (частота вращения).

Из этого следует, что даже небольшое снижение скорости электропривода может дать значительное снижение потребляемой мощности – вот почему экономия электроэнергии является главным преимуществом использования управляемого электропривода для насосов и вентиляторов. Теоретически при уменьшении производительности в два раза, потребление электроэнергии снижается в восемь раз.

Есть класс устройств (экструдеры, промышленные миксеры), у которых механическая характеристика близка к характеристике насосов и вентиляторов. Но особенность нагрузок такого типа состоит в наличии высокого пускового момента, который с увеличением скорости снижается, а затем, начиная с некоторого значения, характеристика становится квадратичной. Кроме того, существует и большое число нагрузок с совершенно уникальными механическими характеристиками. Поэтому в любом случае выбору электродвигателя и преобразователя частоты должен предшествовать этап анализа характера нагрузки и ее механической характеристики.

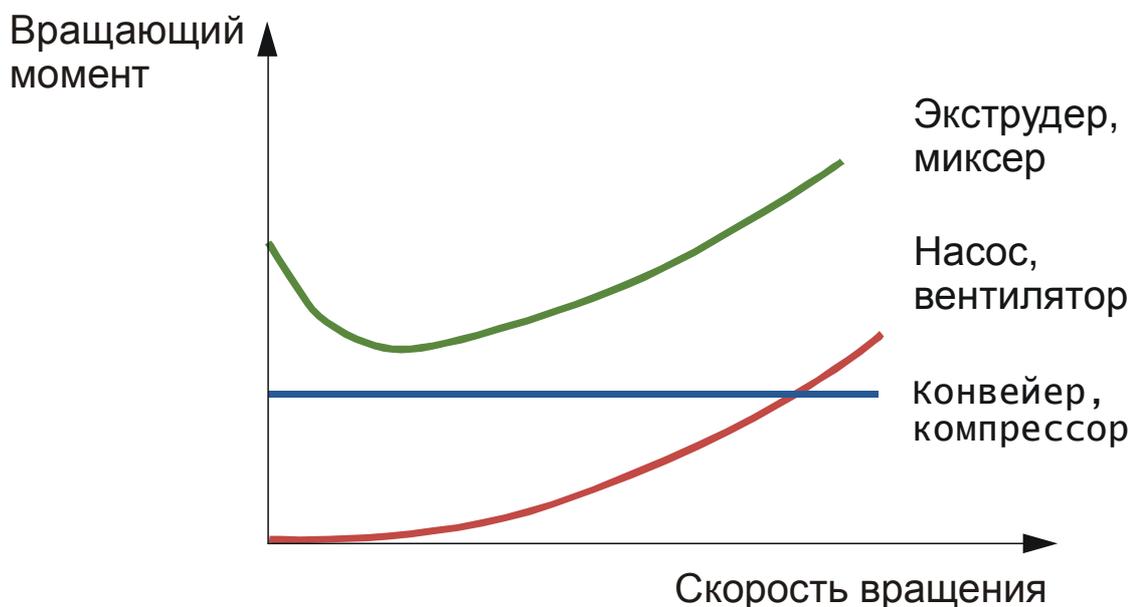


Рисунок 2. Механические характеристики типичных нагрузок

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

$$U / f = \text{const}$$

реализуется простейшими преобразователями частоты для обеспечения постоянного момента нагрузки и используется для управления синхронными 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

$$U / f^2 = \text{const.}$$

Этот режим можно также использовать для управления параллельно подключенными двигателями. 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, то для этих режимов рационально работать на пониженной частоте вращения. В этом случае КПД насоса выше, чем при работе на номинальной частоте вращения. 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 исключает гидроудары и обеспечивает стабильность давлений в трубопроводах сетей, а также минимизирует затраты на их обслуживание.

В качестве примера можно рассмотреть систему регулирования производительности насоса водопроводного хозяйства в соответствии с заданным суточным графиком водопотребления. Структурная схема системы приведена на рис. 3. Необходимое значение давления задается через аналоговый вход с помощью встроенного или внешнего потенциометра. В качестве датчика обратной связи может быть применен соответствующий датчик давления, который преобразует давление в трубопроводе в электрический сигнал 4...20 мА, поступающий на второй аналоговый вход преобразователя частоты. Задание коэффициентов усиления пропорционального, интегрального и дифференциального звеньев ПИД-регулятора осуществляется через соответствующие параметры преобразователя.

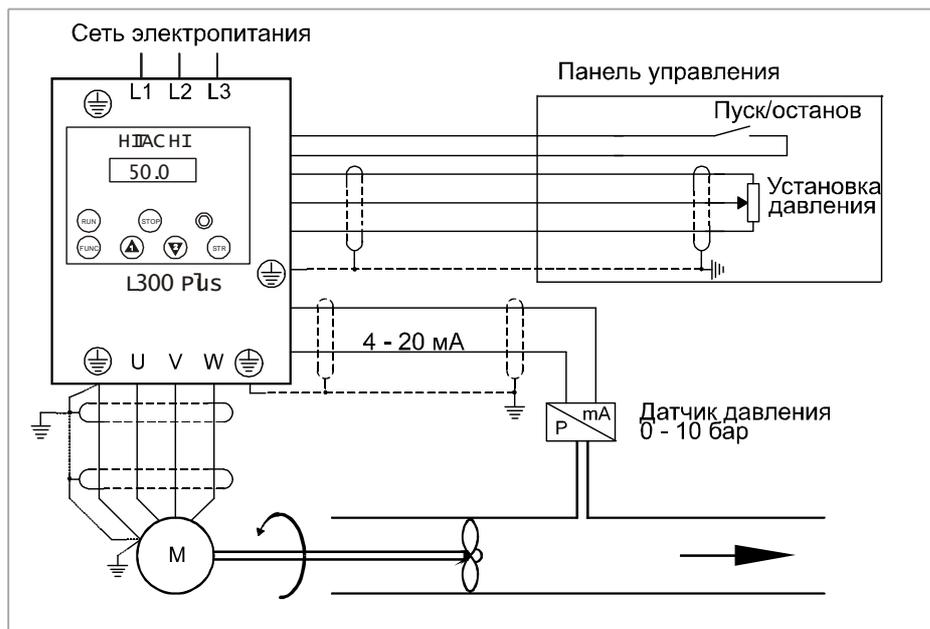


Рисунок 3 Пример использования частотно-управляемого электропривода для поддержания постоянного давления в системе водоснабжения или вентиляции.

Для небольших мощностей привода, энергосберегающие системы управления насосными агрегатами могут изготавливаться как законченное изделие в шкафу, где размещается автомат защиты, частотный преобразователь, электронный блок измерителя давления (уровня, температуры).

На рис. 4 приведена структурная схема еще одной системы – системы управления тяго-дутьевыми агрегатами котельной установки. Совместное регулирование двух агрегатов позволяет обеспечить более полное сгорание топлива в топке котла, а значит, и значительную экономию потребления энергоресурсов всей котельной установкой. В состав оборудования системы входят два преобразователя частоты, управляющие

частотой вращения вентилятора и дымососа, программируемый логический контроллер и вспомогательное оборудование. Управление преобразователями частоты осуществляется по их дискретным и аналоговым входам, а чтение основных параметров приводов – по промышленной сети с интерфейсом RS-485. Также о своем состоянии преобразователь информирует контроллер через встроенные дискретные и аналоговые выходы. Использование сетевых возможностей преобразователя в данном случае обусловлено требованиями повышенной надежности к управлению тяго-дутьевыми агрегатами котла. Выбор частоты вращения агрегатов производится контроллером по данным, получаемым от датчиков технологических параметров оборудования, а также от внешней системы управления режимами работы котельной установки, обеспечивающей подачу газа и поддержание температуры теплоносителя. Вся информация, обрабатываемая контроллером, может передаваться по промышленной сети или модему для управления с более высокого уровня.

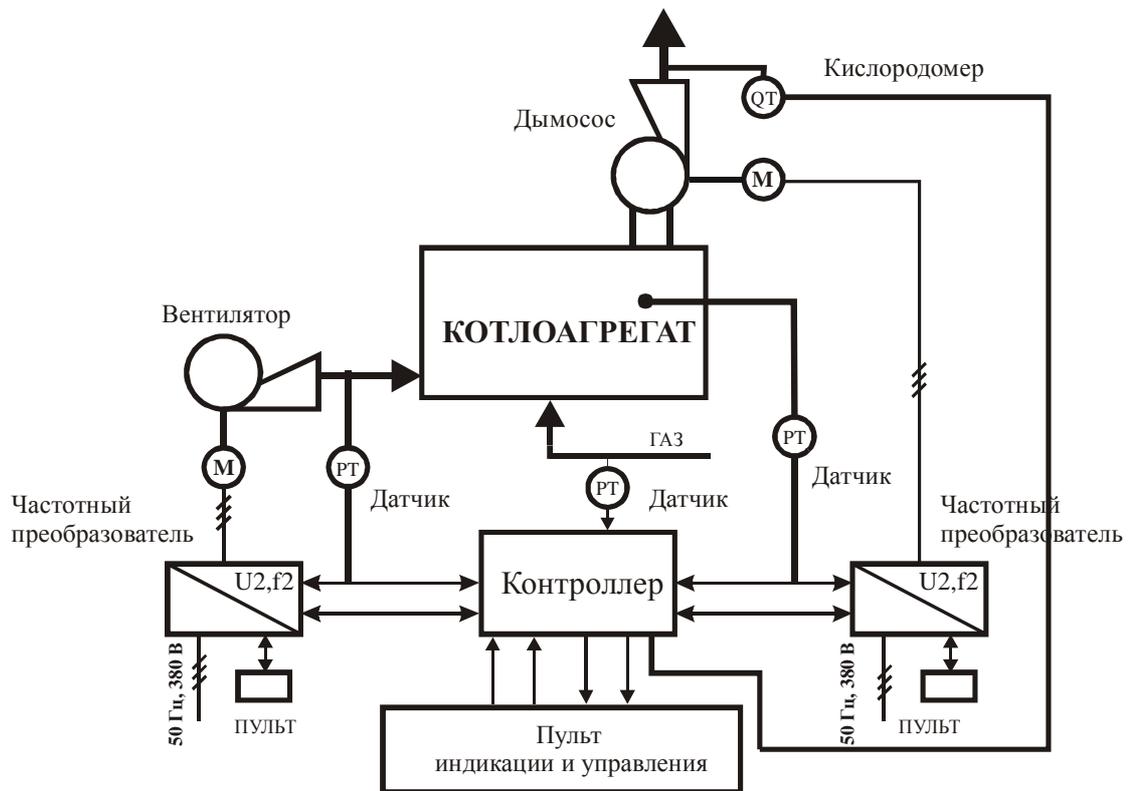


Рисунок 4. Структурная схема энергосберегающей системы автоматизированного управления (САУ ТДТК)

Представленные результаты теоретических и практических исследований предопределили необходимость широкого внедрения частотно-регулируемых приводов в различных технологических системах объектов коммунального хозяйства. Но установка только преобразователя частоты позволяет получить лишь малую часть возможного эффекта от внедрения.

Говоря об экономической эффективности, можно представить таблицу, в которой приведены сроки окупаемости систем с частотно-регулируемыми приводами, рассчитанные в процессе технико-экономического обоснования проектов (ТЭО) и полученные в результате двухлетней эксплуатации готовых систем.

Примеры энергосберегающих систем автоматизированного управления с применением частотно-регулируемых приводов реализованных АО НИИАЧермет в период с марта 2002 г. по май 2004 г.:

Наименование системы	Количество ЧП и мощность	Расчетный срок окупаемости по ТЭО	Срок окупаемости по результатам эксплуатации
система энергосберегающего управления приводами насосов технической воды на ОАО Запорожский коксохимический завод	1 x 132 кВт	0,6 года	0,8 года
система энергосберегающего управления вентилятором секционной печи ТПЦ ОАО НТЗ	1 x 132 кВт		(позволяет экономить до 100 тыс. грн. ежегодно);
автоматизированные системы управления с применением частотно-регулируемого привода и мягкого пускателя в котельных и компрессорной локомотивных депо Нижнеднепровск-Узел и Запорожье-2 ПрЖД	2 x 55 кВт + 1 x 75 кВт 2 x 11 кВт 1 x 250 кВт	1,2 года	1,1 года
система энергосберегающего управления дутьевыми вентиляторами мартеновских печей в мартеновском цехе ОАО НТЗ	3 x 55 кВт + 1 x 75 кВт	1,4 года	1,1 года

Отличительными особенностями применяемых преобразователей являются:

- совместимость со всеми типами асинхронных двигателей отечественного производства;
- высокая перегрузочная способность;
- встроенная функция ПИД-регулирования позволяет осуществлять точное регулирование любого внешнего параметра, поставленного в зависимость от скорости вращения двигателя – давления насоса, температуры в системах вентиляции, расхода, уровня и др.;
- возможность динамического торможения, преимуществом которого является выделение электрической энергии в роторе двигателя, что делает ненужным использование тормозного сопротивления, и плавный останов;
- программируемое время разгона / торможения с регулируемым темпом;
- функция ограничения тока;
- программируемая частота модуляции преобразователя;
- тепловая и электрические защиты преобразователя частоты и двигателя.

Практика применения частотных преобразователей для управления насосами и вентиляторами доказывает целесообразность не просто включения преобразователя для управления агрегатом, а создания специализированных систем управления технологическим процессом. Создание систем 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 добиться существенного уменьшения эксплуатационных расходов, улучшения условий труда и увеличения срока службы оборудования. Современные преобразователи частоты позволяют получать более двадцати параметров состояния электропривода. Соответствующая обработка этих параметров позволяет проводить глубокую диагностику, как оборудования системы, так и протекающих процессов. Появляется возможность не только реагировать на возникшую аварию, но и предупреждать её, что для объектов коммунального хозяйства значительно важнее.

Перед началом внедрения систем управления рекомендуется провести технико-экономическое обоснование, позволяющее определить не только сроки окупаемости от внедрения, но и правильно организовать технологический процесс с учетом возможностей приводов с частотным регулированием. Целесообразно использование преобразователей частоты не в качестве элементов системы управления конкретного агрегата, а как составляющих комплексных системных решений с подключением широкого набора средств автоматизации технологического процесса. Такие решения позволят получить дополнительный эффект, который заведомо больше простой экономии электрической энергии.