

*В. А. Мозжечков, ЗАО «ПО «ТулаЭлектроПривод»,
главный инженер «ИТЦ «Привод», д. т. н., профессор*

О НЕКОТОРЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

История развития электроприводов трубопроводной арматуры насчитывает уже не один десяток лет. За этот период были разработаны и проверены практикой разнообразные конструкции электроприводов, учитывающие многочисленные и часто противоречивые требования их применения для управления арматурой.

В итоге сложилась и стала достаточно устойчивой структура электропривода трубопроводной арматуры. Ее типовыми элементами являются: электродвигатель, редуктор, ручной дублер, выключатели, сигнализирующие о достижении задаваемых положений выходного звена привода и развиваемых им крутящих моментов, датчик текущего положения выходного звена, а также электронный («интеллектуальный») модуль, реализующий широкий набор функций настройки, контроля и индикации состояния привода, приема и передачи данных, защитного отключения привода, а также местного и удаленного управления им.

Несмотря на устойчивый характер сложившейся к настоящему времени структуры приводов рассматриваемого типа, их развитие не прекращается. Главными тенденциями развития являются:

- наращивание многообразия функций, реализуемых «интеллектуальным» модулем привода,
- упрощение механики,
- повышение надежности,
- минимизация работ по техническому обслуживанию привода.

Указанные тенденции взаимосвязаны. Современное и грядущее удорожание энергоемких и материалоемких производств механических узлов и, вместе с тем, стремительное удешевление электронных модулей в сочетании с ростом их надежности и миниатюризацией заставляет конструктора максимально упрощать (минимизировать) механику привода и открывает перед ним возможности стремительно наращивать «интеллект» привода. Минимизация количества механических деталей позволяет повысить надежность привода, сократить затраты на его техническое обслуживание.

Тенденция упрощения механики прослеживается: во-первых, в замещении механических узлов позиционных и моментных выключателей электронными реле, входящими в «интеллектуальный» модуль привода, и, во-вторых, в использовании многополюсных асинхронных двигателей в сочетании с предельно простым и надежным редуктором.

Анализ современного рынка приводов показывает, что практически все ведущие производители электроприводов трубопроводной арматуры (в том числе: Rotork, Limitorque, Biffi, Auma) в основной гамме выпускаемых ими приводов используют червячный одноступенчатый редуктор в сочетании с многополюсным асинхронным двигателем. Сочетание двигателя с числом пар полюсов от 1 до 6 и червячного редуктора с передаточными числами до 100 позволяет реализовать широкий ряд скоростей выходного звена привода от 5 до 200 об/мин и диапазон развиваемых моментов от 25 до 10 000 Н·м.

При этом механика силовой передачи привода получается предельно простой и надежной: червячный редуктор

основан на применении всего лишь двух основных деталей (червяк и червячное колесо), не предъявляющих повышенных требований к точности изготовления и условиям эксплуатации.

В случаях, когда требуется передаточное число редуктора более 100, наиболее рациональным и широко применяемым в современных приводах рассматриваемого типа является планетарный редуктор. Данный тип редуктора используют многие ведущие производители в качестве модуля неполноповоротного привода, получаемого добавлением данного модуля к многооборотному приводу, а также в приводах малой мощности, где использование многополюсных двигателей становится неэффективным из-за технологических проблем изготовления их статорных обмоток.

Редукторы с более сложными кинематическими схемами (волновые и подобные им) не используются ведущими производителями приводов арматуры по ряду причин. Во-первых, выигрыш в КПД, достигаемый в таких редукторах, как правило, не окупает повышенных затрат на их изготовление (привод арматуры включается относительно редко и на непродолжительное время в сравнении, например, с приводом станка или робота, поэтому 20...30% сокращение потребления электроэнергии, обусловленное повышением КПД, не может окупить затрат на изготовление столь сложного и высокоточного механизма). Во-вторых, в определенном диапазоне мощностей приводы с редуктором волнового типа оказываются не менее, а порою и более тяжелыми. Например, взрывозащищенный «интеллектуальный» привод с червячным редуктором ICON-020/180 фирмы Biffi, имеющий максимальный крутящий момент $M_{max}=270 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и частоту вращения $=12...144 \text{ об/мин}$, весит 45 кг, а аналогичный привод «Томприн» с волновым редуктором, имеющий $M_{max}=300 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и частоту вращения $=10...36 \text{ об/мин}$, весит 65 кг. В-третьих, для привода арматуры существенно более важным критерием оценки по сравнению с КПД является надежность. Однако, волновые редукторы (редукторы подшипники и т.п.) в сравнении с червячным редуктором, содержат гораздо большее количество сложно взаимодействующих деталей, изготавливаемых с существенно более жесткими допусками (например, рабочие зубья колеса волнового редуктора должны иметь погрешность профиля не более 4 мкм и чистоту поверхности не хуже $Ra=0,17 \text{ мкм}$). Следовательно, сверхмалые искажения формы и качества поверхности деталей такого редуктора в процессе его эксплуатации (в результате износа, температурных деформаций, вибраций, дефектов смазки и т.д.) приводят к потере его работоспособности. Данное обстоятельство значительно снижает надежность данного типа механизмов.

Сложившийся и ставший фактическим стандартом набор функций «интеллектуального» модуля привода рассматриваемого типа включает в себя следующие функции:

управление приводом (включение и выключение привода от местного и дистанционного пульта на открытие и закрытие, позиционирование выходного звена по токовому сигналу управления, регулирование времени открытия и закрытия в старт/стоповом режиме),

настройка (крайних и промежуточных положений выходного вала, предельных значений движущего момента, времени останова перед включением реверса, спецификации входных и выходных дискретных сигналов, параметров функций блокировки и отключения, данных, отражаемых светоиндикаторами),

прием и передача данных (дискретных сигналов релейного управления и аналогового сигнала задания положения выходного вала, передача дискретных сигналов срабатывания путевых и моментных выключателей, токовых сигналов положения вала и величины крутящего момента, прием и передача данных посредством интерфейса RS485),

блокировки (запрет реверса без остановки на заданное время, запрет повторного включения двигателя в прежнем направлении, запрет несанкционированного задания параметров привода, байпас аварийного сигнала момента),

защитное отключение (выключение двигателя: при обрыве одной и более фаз питания, при превышении допустимого значения момента, при отсутствии движения за заданное время, при превышении заданной температуры, при потере связи в режиме удаленного управления),

индикация (крайних положений, факта и направления вращения, текущего положения выходного вала и величины движущего момента, режима работы, аварийных ситуаций, наличия электропитания),

просмотр переменных состояния, настройки и истории функционирования привода,

регистрация служебной информации и информации об истории функционирования привода,

регулирование температуры приборного отсека.

Основными тенденциями развития «интеллектуального» модуля современных приводов являются:

- наращивание многообразия поддерживаемых сетевых протоколов и средств передачи данных,
- включение функций диагностики состояний привода и арматуры,
- реализация функций адаптивного управления.

Список доступных пользователю сетевых протоколов обмена данными с «интеллектуальными» приводами, содержащий, в первую очередь, такие часто применяемые протоколы, как Modbus, Profibus, Foundation Fieldbus, в последние годы пополняется новыми протоколами, к ним, в частности, относятся DeviceNet, LonWorks и ряд других. Ряд производителей приводов допускает установку практически любого сетевого протокола по спецификации заказа. Наряду с традиционно используемыми проводными линиями связи, поддерживающими интерфейсы RS-485 (протокол Profibus и Modbus), CAN (протокол DeviceNet), IEC 61158 (протокол Foundation Fieldbus), внедряются оптические линии связи и беспроводная сетевая связь приводов между собой и с системой управления верхнего уровня, основанная на интерфейсе Bluetooth.

Развитие «интеллектуального» модуля в части функций диагностики состояний привода и арматуры предполагает контроль значений переменных и обобщенных параметров, характеризующих процесс закрытия и открытия ар-

матуры. К указанным переменным и параметрам относятся: токи и напряжения в фазах двигателя, время и скорость движения, перепады температуры двигателя, значения момента сопротивления движению и ряд других. Диагностические выводы относительно текущего состояния привода и арматуры делаются на основании анализа процессов изменения указанных выше величин во времени, дрейфов их максимальных, минимальных и среднестатистических значений, а также их отклонений от аналогичных значений, вычисляемых системой верхнего уровня на основе статистической обработки данных, получаемых от аналогичных приводов, функционирующих в составе данной производственной системы.

Реализация функций адаптивного управления приводом предполагает возможность решения «интеллектуальным» модулем задачи идентификации математической модели системы «двигатель-редуктор-арматура» на основе анализа реально получаемых законов изменения переменных, характеризующих процесс закрытия и открытия арматуры. Данная функция позволяет осуществлять автоматическую настройку и подстройку параметров регулятора, обеспечивающего позиционирование вала привода. В конечном итоге функция адаптации позволяет получать высокое быстродействие и точность позиционирования выходного звена привода для разнообразной арматуры и исключает для оператора необходимость «ручной» настройки регулятора.

Решение задачи повышения надежности современных приводов обеспечивается реализацией в «интеллектуальном» модуле широкого набора таких функций и технических решений как: защитное отключение двигателя, термостабилизация приборного отсека на уровне, исключающем накопление конденсата, применение бесконтактных датчиков, предельное упрощение механики привода за счет использования «робастных» (от англ. robust, что буквально означает грубый, т.е. малочувствительный к условиям эксплуатации и малым отклонениям формы и размеров деталей) конструкций редуктора, обеспечение повышенного уровня защиты привода от проникновения пыли и воды (как правило, это уровень IP67, IP68), использование маслозаполненного редуктора.

Минимизация потребного объема работ по техническому обслуживанию привода достигается применением в редукторе жидких смазок, имеющих все более длительный срок эффективного действия (большинство ведущих производителей объявляет об отсутствии необходимости в смене смазки за весь период расчетного срока эксплуатации привода, что составляет 10 тысяч циклов срабатываний и более).

Рационально планировать и минимизировать техническое обслуживание приводов позволяют диагностические функции «интеллектуального» модуля, а также реализуемые им функции просмотра (в том числе и удаленного) информации об истории функционирования привода, переменных состояния привода, в частности, значений крутящего момента и токов в фазах двигателя.