

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С П-АЛГОРИТМАМИ

О.В. Крюков (ООО "Интермодуль")

Рассмотрены структуры и особенности аппаратной реализации современных автоматизированных электроприводов в различных АСУТП. Представлены новые П-алгоритмы, обеспечивающие реализацию интеллектуальных функциональных возможностей локальных систем автоматизации в промышленности.

Потребительские свойства локальных систем автоматизации, основу которых составляют преимущественно электроприводы, определяются их характеристиками и набором функциональных возможностей. Структурные и алгоритмические принципы формирования электроприводов как объектов управления и регулирования многообразны и определяются конкретными прикладными задачами. Современная элементная база электромашиностроения, силовой электроники и микропроцессорной техники позволяет комплексно и оптимально реализовать возрастающие требования ТП и исполнительных механизмов.

Автоматизированный электропривод является сложной функционально взаимозависимой по элементам системой, которая формализуется совокупностью матриц дифференциальных, разностных и алгебраических уравнений [1]. Отличительной особенностью структурообразования электропривода является наличие следующих элементов (рис. 1):

- простого и эффективного асинхронного двигателя (АД), оптимизированного по конструктивным и энергетическим показателям, по динамике и надежности;
- преобразователей частоты на полностью управляемых приборах (ПЧ), определяющих регулировочные характеристики, а также энергетические потери привода;
- датчиков электрических, механических и технологических параметров регулирования, обеспечивающих требуемую точность стабилизации координат в замкнутой системе;
- микропроцессорной системы управления (МПСУ) с функциями непосредственного регулирования выходных координат, формирования векторных законов ШИМ-управления, диагностики и защиты, взаимодействия с АСУТП верхнего уровня иерархии.

Каждый элемент системы в связи с историческими и организационными особенностями применения прошел значительный путь индивидуального совершенствования, теоретически обоснован и оптимизи-

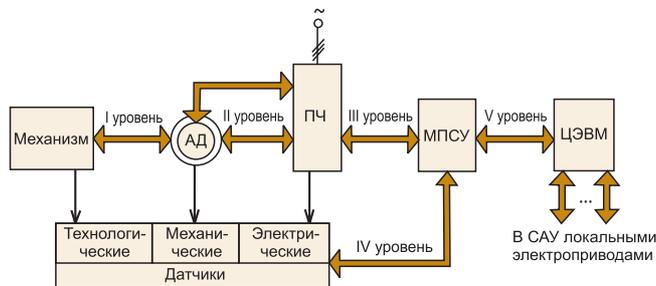


Рис. 1. Структура интеллектуального электропривода

рован по наиболее важным для него критериям. В результате при синтезе всей мехатронной системы форма и способы представления внешней информации для взаимодействия различных элементов привода значительно отличаются, и наилучшая интерфейсная адаптация их всегда была важнейшим направлением развития и оптимизации электроприводов.

Совершенствование аппаратных средств силовой электроники и микропроцессорной техники стимулирует развитие функциональных и сервисных возможностей электроприводов. Все элементы и интерфейсы автоматизированного электропривода в последние годы получили значительное развитие. Среди основных направлений разработок для силового (энергетического) канала электропривода следует выделить следующие.

1. Создание мехатронных модулей, в которых двигатель интегрирован в конструкцию механизма (электрошпиндель, мотор-колесо, поворотный стол), а также модулей движения различных типов (линейные, поворотные, многоосевые) и изделий типа Motor Control. При этом обеспечивается прямое управление моментом механизма без промежуточных устройств и реализация новых типов электроприводов, например, вентильно-индукторного двигателя.

2. Развитие интегрированных электромеханических устройств, в которых функционально и конструктивно объединены электродвигатели с электрическими преобразователями. Расширение парка силовых "интеллектуальных" модулей ПЧ позволяет адекватно решать проблемы монтажа, паразитных индуктивностей и защиты. Сейчас применяются: тиристоры (SCR) в ПЧ до 20 МВт, напряжением до 15 кВ; запираемые тиристоры (GTO, IGCT, SGCT) в высоковольтных ПЧ до 6 кВ; биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) в ПЧ до 3,2 МВт и напряжением до 6 кВ; силовые полевые транзисторы (MOSFET) в ПЧ до 10 кВт. В диапазоне мощностей от единиц до сотен кВт наиболее широкое применение находят двухзвенные ПЧ с автономными инверторами тока и напряжения, которые обеспечивают практически синусоидальный ток в обмотках статора двигателя и широкий диапазон выходных частот. Использование матричного ПЧ в цепях электропривода приводит к дальнейшему существенному улучшению технических характеристик совместимости электропривода и сети, повышению диапазона регулирования системы в различных режимах.

Однако наиболее значимые достижения по интеллектуализации электроприводов получены в области аппаратных средств и алгоритмического обеспечения

микропроцессорных систем управления. Основными направлениями развития специализированных микропроцессорных средств являются:

- рост производительности встроженных микроконтроллеров за счет совершенствования структуры центрального процессора и увеличения тактовой частоты; увеличение объема памяти программ и данных; модификация системы команд под требования потребителя;
- интеграция на кристалле микроконтроллера большого числа периферийных устройств, обеспечивающих интерфейс с силовой частью объекта управления и датчиками; реализация архитектуры мультипроцессорных распределенных систем управления;
- совершенствование характеристик нечетких контроллеров и нейрокомпьютеров.

Бурное развитие микропроцессорных средств обеспечивает возможность построения электроприводов с функциями прямого векторного управления координатами с решением большинства задач управления программным способом и интеграцию в АСУТП. Интеллектуальный электропривод наряду с основными локальными задачами (регулирование координат и воспроизведение требуемых законов движения) обеспечивает обмен с оператором и верхним уровнем управления (АСУТП), контроль и диагностику как собственно электропривода, так и приво­димого им в действие механизма.

На базе совершенствования и повышения эффективности электроприводов расширяются и технологии их применения в следующих направлениях:

- методов и алгоритмов цифрового управления координатами электропривода, обеспечивающих улучшение его динамических и эксплуатационных свойств, в том числе с прогнозированием координат;
- адаптивного управления, в том числе и с применением нечетких (fuzzy-) регуляторов;
- самообучающихся систем, в том числе и с использованием искусственных нейронных сетей в качестве обучаемых контроллеров.

Универсальные и специализированные микроконтроллеры применяются практически во всех разработках электроприводов, в том числе и в системах общепромышленного применения с интеграцией в АСУТП. При этом многие проблемы синтеза систем управления в настоящее время рассматриваются иначе, разрабатываются новые алгоритмы, позволяющие реализовать законы регулирования практически любой сложности, обеспечить новые потребительские свойства, такие как адаптацию под новые или изменяющиеся условия применения, самонастройку и оптимизацию регуляторов, контроль, диагностику и удобное для пользователя дистанционное или местное управление. Большое внимание уделяется точности математического описания процессов в электроприводе, в том числе с учетом насыщения магнитной цепи двигателя (особенно двигателей с изменяемым магнитным сопротивлением).

Значительное развитие получили принципы построения систем управления с наблюдателями (идентификаторами) состояния, представляющими собой динамическую модель объекта управления, корректируемую по отклонениям измеряемых переменных. Использование наблюдателей позволяет существенно улучшить качество управления привода, реализовать "бездатчиковое" регулирование в сложных динамических системах за счет автоматической идентификации параметров электропривода в процессе его функционирования.

Для преодоления (компенсации, парирования, подавления) неопределенностей различного вида предлагаются следующие пути построения интеллектуальных систем:

- развитие традиционных частотных методов при построении робастного управления, которое разработано для линейных задач с распространением на "гладкий" класс нелинейных объектов со стохастической динамикой;
- применение адаптивных систем управления с параметрическими законами, которые отличаются "негрубой" сходимостью алгоритмов;
- применение методов искусственного интеллекта на основе СУБД и экспертных систем при построении и реализации "грубых" регуляторов.

Нейросетевые и нечеткие структуры обладают аппроксимирующим свойством и даже структурным подобием. Поэтому применение систем с нечеткими регуляторами позволяет получить стабильность динамических характеристик в условиях ограниченной неопределенности и действующих возмущений, значительное упрощение структур регуляторов, комбинирование нечетких алгоритмов с традиционными для усиления эффективности последних.

Для управления процессами, модель которых не может быть однозначно получена, используются следующие способы реализации интеллектуальных электроприводов:

- векторный принцип управления с глубокой обратной связью, обеспечивая инвариантное движение системы при всех возможных изменениях случайных и неконтролируемых (стохастических) возмущений;
- введение в контур регулирования или диагностирования нечеткого (fuzzy-) регулятора с генетическими алгоритмами и нейронных сетей, используемых при функционировании сложных, плохо организованных объектов и многопараметрических систем;
- адаптивное управление с использованием эталонной модели для структурной и параметрической оптимизации процессов с переменными параметрами и автоподстройки САР.

Данные способы относятся к интеллектуальным принципам управления, позволяющим реализовать ИТ- алгоритмы управления электроприводами при неполных сведениях об объекте и при нестабильности параметров. Рассмотрим примеры реализации данных алгоритмов.

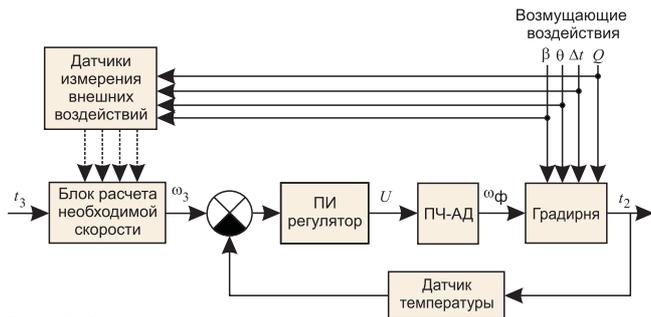


Рис. 2. Инвариантная система с регрессионными алгоритмами

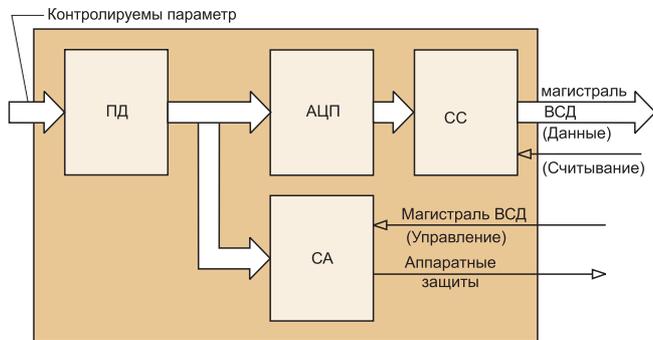


Рис. 3. Интеллектуальный датчик диагностирования и прогнозирования

Инвариантные алгоритмы. В практике электропривода большинство механизмов и процессов функционируют в условиях, при которых момент нагрузки, скорость и многие технологические параметры не остаются постоянными, а значительно изменяются во времени. Это обусловлено как факторами технологического характера (особенностями кинематики системы, колебаниями нагрузки и переходными режимами), так и иными внешними воздействиями (природными, метеорологическими, рельефными), которые носят преимущественно случайный характер.

Наиболее характерными примерами производственных механизмов со случайными возмущениями являются различные локальные системы, входящие в комплекс АСУТП [2]:

- насосы и вентиляторы брызгальных и пленочных градирен, входящих в водооборотные системы охлаждения производственного оборудования;
- аппараты воздушного охлаждения газа после его компримирования в газоперекачивающих агрегатах компрессорных станций;
- системы воздушного отопления промышленных и административных зданий с регулированием подачи теплоносителя через калориферы;
- воздуходувки котлоагрегатов, оснащенных топкой "кипящего слоя";
- теплообменники с паронагревателями, вентиляторы и транспортеры барабанных и трубных сушилок с поддержанием параметров продуктов с точностью $\pm 1\%$ и т.п.

Так как скорость вращения электропривода вентиляторов задается в условиях одновременного слу-

чайного изменения всех параметров, для получения стабильных параметров необходимо:

- получить и обработать достоверную информацию с соответствующих датчиков;
- вычислить оптимальную скорость вращения по аналитическим регрессионным алгоритмам;
- скорректировать ее с учетом стабилизирующей обратной связи по выходной координате (рис. 2).

Для рассмотренной структуры инвариантного управления электроприводом вентилятора градирни разработано прикладное ПО GRADIRNY, которое является частью программно-аппаратного комплекса АСУТП водооборотными системами. Регрессионные алгоритмы реализованы на объектно-ориентированном языке Visual Basic с использованием программной среды разработки ADAMView. ПО функционирует в ОС Windows NT и предназначено для мониторинга и управления с рабочего места оператора на ПК аппаратной частью комплекса автоматизации водооборота предприятий.

Лингвистические алгоритмы прогнозирования отказов. Несмотря на достаточно высокие показатели общей надежности современных электроприводов, к ним предъявляются требования по обеспечению необходимых для ТП и ответственных производств уровня ремонтпригодности и наработки на отказ. Устройства диагностирования и прогнозирования верхнего уровня в этом случае могут быть универсальными, а устройства нижнего уровня сравнительно просты и индивидуальны для каждого типа привода. В устройствах нижнего уровня целесообразно объединить следующие функции: первичный датчик измеряемого параметра (ПД) и схему анализа (СА), которая дает на выходе информацию о том, вышел или нет данный параметр за установленные границы (рис. 3).

На выходе датчиков присутствует информация о контролируемом параметре с разной степенью точности (например – 001 – недопустимо низкое значение, 010 – слишком низкое, 100 – норма, 110 – слишком высокое, 111 – недопустимо высокое). Интеллектуальные датчики обладают достаточно высокой надежностью и могут быть унифицированы [2, 3]. Сфера применения таких датчиков не ограничивается оперативной диагностикой. С их помощью можно прогнозировать аварийные режимы и обнаруживать дефектные узлы, а также обеспечивать аппаратные средства защиты электропривода. Верхний уровень диагностирующего автомата выполняет простой набор функций опроса и выдачи соответствующей итоговой информации. Ввиду простоты программной реализации такого алгоритма функции диагностирования реализуются на простейших микроконтроллерах. Однако более практичной функцией является прогнозирование состояния для недопущения аварийных режимов в АСУТП.

В основе построения прогнозирующей системы лежит принцип экспертной системы. Экспертные данные необходимы в качестве эталона для оценки

текущего состояния системы. *Генетический алгоритм* реализует одновременно две системы: компенсирующую САР и экспертную. Работа первой заключается в прогнозировании аварийных режимов и недопущении их путем превентивного изменения (уменьшения, ограничения, отключения) соответствующих параметров. Работа экспертной системы заключается в прогнозировании на основе статистических данных с сигнализацией, оповещением и советом оператору о том, как надо действовать в текущей ситуации.

Данный подход синтеза средств диагностирования и прогнозирования позволяет комбинировать диагностику узлов системы и интегрировать в одной системе свойства регулирования, диагностирования, прогнозирования и экспертной системы. Для прогноза в режиме РВ целесообразно использовать алгоритмы нечеткой логики, которая все шире используется в практике прогнозирования. Для составления алгоритма прогнозирования используется предварительная фазсификация текущих входных (измеряемых) переменных и их скоростей изменения. По полученным лингвистическим величинам текущего значения параметра и скорости его изменения определяется прогнозируемое значение этого параметра через определенный временной интервал [3].

Алгоритмы автоматической наладки. В процессе ввода в эксплуатацию и функционирования систем электропривода необходимо осуществить самонастройку многочисленных контуров регулирования. Это связано с разбросом параметров элементов привода, отличием их от каталожных, наличием внешних и внутренних эффектов, неучтенных в расчетах. Настройка каждого цифрового регулятора на действующей установке требует больших материальных и временных затрат, участия высококвалифицированных специалистов-наладчиков, что, однако, не гарантирует получения оптимального результата. Не менее важно и сохранение оптимальной настройки всех контуров регулирования в процессе постоянной эксплуатации, несмотря на существующие непредвиденные изменения свойств объекта или процесса. Для приводов, обслуживаемых, как правило, мощные энергоемкие механизмы, это диктуется требованиями предельного энергосбережения и надежного безаварийного функционирования в продолжительном режиме работы.

Поэтому в сервисные возможности интеллектуальных электроприводов входит режим автоматизированной настройки параметров регулирования с помощью ПО, позволяющего значительно упростить процедуру и повысить качество настройки и адаптации к изменяющимся параметрам ТП. Причем наладка и переналадка системы регулирования может производиться в условиях непрерывного функциони-

рования механизма с выносного пульта наладчика без дополнительных аппаратных затрат. Настройка САР электроприводов является итерационной процедурой, для реализации которой используются два способа: с использованием информации предыдущих шагов и "цикл в цикле" [4]. В первом случае после включения регулятора в работу при некоторой первоначальной настройке в него вводится синусоидальный сигнал с частотой, равной частоте резонанса, и оценивается вектор частотной характеристики объекта. Задавшись фиксированными значениями коэффициентов модели, определяют другие коэффициенты и находят новые оптимальные настройки регулятора. Далее процесс настройки повторяется до получения оптимальных коэффициентов регулятора.

Анализируя перспективы развития и использования современных электроприводов в России, можно прогнозировать значительное увеличение потребности в них, связанное с необходимостью модернизации и создания нового технологического оборудования с улучшенными техническими показателями. Применение интеллектуальных силовых модулей и развитых микропроцессорных средств с ПО на основе ИТ-алгоритмами позволяет:

- идентифицировать параметры электропривода, осуществлять самонастройку регуляторов, адаптацию к изменению параметров, развитую диагностику, что делает электропривод контролируемым;
- реализовать новые способы управления и прогнозирования на базе фаззи-логики, нейронных сетей и генетических алгоритмов, что делает электропривод обучаемым;
- использовать информационный обмен и сетевые технологии, позволяющие обеспечить связь между отдельными модулями электропривода и с системами управления более высокого уровня, что делает электропривод интеллектуальным.

Список литературы

1. *Крюков О.В.* Микропроцессорное управление машинами двойного питания: монография /Нижегород. гос. техн. ун-т. Нижний Новгород. 1999.
2. *Крюков О.В., Киянов Н.В.* Электрооборудование и автоматизация водоборотных систем предприятий с вентиляторными градирнями: монография / Нижегород. гос. техн. ун-т. Нижний Новгород. 2007.
3. Патент РФ №30444 на ПМ. Устройство лингвистического диагностирования отказов асинхронного электропривода // Крюков О.В., Епишин Д.В., Крылова М.В. Приоритет 23.12.2002г. МПК G05B 23/02. Оpubл. БИ №18 от 27.06.2003 г.
4. Патент РФ №30443 на ПМ. Автоматизированная система настройки микропроцессорных регуляторов асинхронного электропривода // Крюков О.В., Красильников С.И., Зуйков А.В. Приоритет 23.12.2002г. МПК G05B 13/02. Оpubл. БИ №18 от 27.06.2003 г.

Крюков Олег Викторович — канд. техн. наук, технический директор ООО "Интермодуль".

Контактные телефоны: (831) 2-184-183; 2-189-203; 2-784-781; 2-784-808.

[Http://www.intermodul.ru](http://www.intermodul.ru) E-mail: o.kryukov@intermodul.nnov.ru, info@intermodul.nnov.ru