

Приводной механизм перемен

Управление электродвигателями на основе встроенного сигнального процессора
Ильпо Руохонен

Когда люди ступают на эскалатор, его движение от этой дополнительной нагрузки не замедляется, но увеличивается мощность привода с тем, чтобы скорость оставалась постоянной. От приводов промышленного оборудования и насосов также требуется поддержание заданных скоростей или вращающих моментов независимо от изменяющихся условий. Это

нельзя обеспечить только за счёт свойств самих двигателей и нужно применять системы управления двигателями (приводы). Важным показателем таких систем управления является их быстродействие. Сколько времени надо, чтобы среагировать и компенсировать изменение параметра? Прогресс в микропроцессорных технологиях позволил не только ускорить прохождение

данных в системах управления, но и реализовать всё более сложные математические и логические зависимости. Разработанный компанией АББ принцип непосредственного управления вращающим моментом (НУКМ) основывается на применении мощных цифровых сигнальных процессоров, обеспечивающих очень высокие быстродействие и точность этого управления.

Непосредственное управление вращающим моментом (НУКМ) – это способ управления, при котором быстродействие электронных устройств управления скоростью электродвигателей (приводы переменного тока) может быть сделано весьма высоким. При применении асинхронных электрических машин характеристики привода по скорости и вращающему моменту могут быть доведены почти до теоретически достижимых.

Используемый для НУКМ алгоритм управления реализуется на микроконтроллере, встроенном в привод. Первое коммерческое применение

компанией АББ такой технологии относится к 1995 г., после чего эта технология быстро стала преобладающей для приводов переменного тока, особенно в случаях, когда определяющим или критичным является качество управления. Чтобы лучше понять точки соприкосновения теории управления и прогресса встроенных систем, обратимся к истории непосредственного управления вращающим моментом.

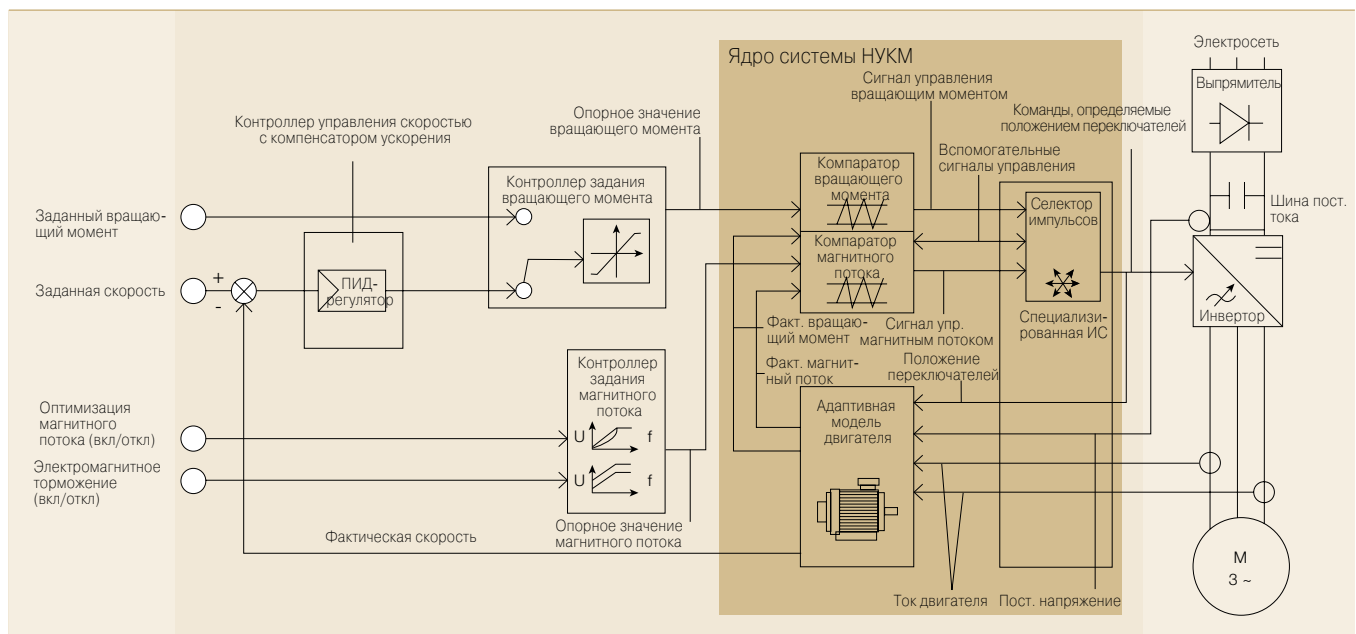
Рождение новой технологии

Основная функция регулируемого привода (РП) – управление потоком энергии от источника

до места её потребления через вал электродвигателя. Передаваемая через вал энергия за единицу времени (т.е. мощность) определяется двумя физическими величинами: скоростью вращения и вращающим моментом. Поэтому управление потоком энергии есть управление этими величинами.

На практике управляют одной из этих величин (управление вращающим моментом или управление скоростью). Если привод работает в режиме управления вращающим моментом, от нагрузки зависит скорость вращения вала привода, если

Блок-схема системы управления вращающим моментом.



Технологии встроенных систем

Завод «Ideaplast» (Италия) с одношнековым экструдером (часть головки экструдера и валки для намотки плёнки).



Стабильная работа конвейера – главная задача автоматика в пекарне. Пекарня «Fazer» в Финляндии.



Станция повышения давления в Питерсаари, Финляндия. Приводы насосов с НУКМ и интеллектуальным управлением.



в режиме управления скоростью, от нагрузки зависит вращающий момент на валу привода. Существует соотношение, связывающее вращающий момент на валу двигателя и действующие значения тока двигателя и магнитного потока в нём. Идея непосредственного управления вращающим моментом заключается в том, чтобы воздействовать на магнитный поток в двигателе. Подобным же образом осуществляется управление в приводах постоянного тока. В противоположность этому в традиционных приводах переменного тока управление производится изменением частоты и амплитуды питающего напряжения.

Можно сделать так, что вектор магнитного потока будет управлять величиной приложенного к двигателю напряжения. Однако при этом требуется применение широтно-импульсной модуляции и модулятора соответствующего типа. Каскад модулятора вносит запаздывание и поэтому снижает быстродействие.

Время реакции при НУКМ настолько мало, что для регулируемых приводов наступили новые времена. Например, привод с НУКМ идеален в случае защиты от перегрузок и ударных нагрузок.

Тот факт, что НУКМ не требует модулятора, и является одной из причин того, что быстродействие при этом способе управления гораздо выше (по сравнению с традиционным управлением вектором магнитного потока). Более того, при НУКМ не требуется обратная связь по скорости. Однако требуется более глубокое знание теории электрических машин для вычисления вращающего момента и магнитного потока двигателя.

Прорыв возможен благодаря ЦСП

Теоретически преимущество НУКМ было известно и раньше, но реализацию этого способа управления пришлось отложить до тех пор, пока прогресс встроенных устройств не сделал возможным выполнение первичных циклов управления с достаточно большой частотой. Обычные микропроцессоры, применяемые в персональных компьютерах, не обеспечивают достаточно быстрой обработки данных. Потребовалось появление цифровых сигнальных процессоров (ЦСП), чтобы НУКМ стало возможным. Первые такие процессоры были созданы для нужд телекоммуникации, но нашли применение и в управлении приводами. В современных приводах с НУКМ действующее значение вращающего момента

на валу двигателя вычисляется не реже 40000 раз в секунду (т.е. не реже, чем каждые 25 мкс). Отсюда и чрезвычайно быстрая реакция на изменение нагрузки на валу двигателя, а также на изменения в скорости вращения и вращающем моменте, заданные пользователем.

Современные приводы меньше по размерам, лучше по быстродействию, эффективности и надёжности, нежели приводы предыдущего поколения. И всё это благодаря прогрессу встроенных технологий.

Время реакции при НУКМ настолько мало, что для регулируемых приводов наступили новые времена. Например, привод с НУКМ идеален в случае защиты от перегрузок и ударных нагрузок. Кроме того, высокое быстродействие управления вращающим моментом означает возможность применения усложнённых алгоритмов для демпфирования механических вибраций там, где в принципе возможен механический резонанс. Подобным же образом в приводе с НУКМ возможно практически мгновенно обнаружить исчезновение нагрузки (например, при обрыве приводного ремня) и тем самым предотвратить опасное развитие ситуации. Можно привести и другие примеры того, как высокое быстродействие НУКМ позволяет защитить и двигатель, и приводимый им механизм.

В то время, как в приводах малой мощности для не слишком ответственных применений используются более простые способы управления (например, векторное управление без датчика), НУКМ предпочтительнее использовать в более ответственных случаях, где для оптимальности характеристик требуется очень высокое быстродействие. В силу того, что мощные приводы – это значительное вложение средств, во всех таких приводах, производимых компанией АББ, независимо от назначения, используется именно НУКМ.

Другие применения НУКМ

С появлением НУКМ мало что осталось улучшить в технологии регулируемых приводов: не стало преобразователя частоты, ограничивавшего быстродействие РП (не считая самого двигателя). И исследования были переключены на поиски других применений НУКМ, в результате чего открылись новые, захватывающие перспективы.

Одна из них – применение НУКМ для электродвигателей с постоянными магнитами. Принцип действия их не нов, но они не находили широкого применения в промышленности до тех пор, пока магнитные материалы для таких двигателей не получили достаточного развития.

С 1987 г. существуют магниты на основе боридов железа и неодима, затем в состав композиции не раз вносились изменения, прежде чем механические и магнитные характеристики этих магнитов позволили использовать их в производстве двигателей. Дальнейшее совершенствование магнитных материалов позволило приступить к выпуску мощных двигателей с постоянными магнитами.

В результате форма кривой фазного тока остаётся практически синусоидальной и не содержит помех.

Такой двигатель является синхронным, по принципу действия отличающийся от асинхронного. Специально для него компания АББ создала модификацию системы НУКМ. У такой комбинации есть несколько преимуществ. Двигатели с постоянными магнитами (ДПМ) соответствуют стандартным типоразмерам ИЕС и вполне могут применяться вместо асинхронных двигателей. Но непосредственное управление вращающим моментом таких двигателей позволяет управлять более точно без применения датчиков вращения, а также получить значительный вращающий момент при малых оборотах. В результате из бу-

магоделательных машин, например, исчезли редукторы. Применение приводов ДПМ+НУКМ может привести к существенной экономии средств: меньше компонентов (передач, муфт, датчиков вращения), проще разработка, меньше габариты и уровень шума, дешевле обслуживание, выше коэффициент готовности и к. п. д. Многие из этих преимуществ вытекают из развития способа непосредственного управления вращающим моментом и из достижений в области встроенных устройств управления. Бумагоделательные машины были первым практическим применением приводов ДПМ+НУКМ, а сейчас такие приводы уже можно встретить в силовых установках судов и в ветрогенераторах.

Другое применение НУКМ – во входных каскадах схемы привода. После некоторой модификации узел НУКМ был использован компанией АББ в источнике питания, который подключался к сети и обеспечивал питание инверторного каскада. За счёт применения НУКМ удалось создать привод, обладающий очень низким уровнем гармонических искажений.

Традиционные приводы получают питание через пассивный диодный мост, подключенный к силовой сети. Но дело в том, что наличие нагруженного диодного моста приводит к искажениям формы напряжения в сети, что может повлиять на другое оборудование, подключенное к этой же сети. Поэтому такие искажения, порождаемые нагрузкой (приводом), необходимо снижать. Весьма эффективным решением в этом случае является использование привода с, так называемым, активным входным каскадом, для управления которым применяется НУКМ. Устройство питания привода с НУКМ контролирует фазный ток и подавляет низкочастотные нелинейные искажения. Высокочастотные искажения удаляются простым фильтром. В результате форма кривой фазного тока остаётся практически синусоидальной и не содержит помех.

Классические решения основываются на увеличении каналов в импульсном блоке питания, 12 – или 24-канальных инверторных преобразователях и применении громоздких фазосдвигающих трансформаторов. Активному входному каскаду с НУКМ такие трансформаторы не требуются и конструкция получается гораздо более компактной. Приведённые примеры иллюстрируют важную тенденцию: прогресс в электронике привёл к увеличению вычислительных возможностей и объёма памяти встроенных систем в приводах. Это в свою очередь привело к появлению нового способа управления – непосредственного управления вращающим моментом (НУКМ). А преимущества НУКМ вызвали расширение области его применения и появление новых функциональных возможностей. Современные приводы меньше

В современных офисах много оборудования, чувствительного к искажению формы напряжения в сети питания. Приводы с НУКМ, практически не создающие гармонических искажений, идеальны для работы в такой среде.



по размерам, лучше по быстродействию, эффективности и надёжности, нежели приводы предыдущего поколения. И всё это благодаря прогрессу встроенных технологий.

Управление двигателями

Существуют две основные разновидности систем управления электродвигателями. Системы с замкнутым контуром регулирования имеют датчики текущего состояния двигателя как источники информации обратной связи для алгоритма управления. Системы с разомкнутым контуром регулирования проще, поскольку датчики обратной связи не нужны. Но и точность таких систем ниже. А можно ли без датчиков обратной связи получить такую же точность регулирования, как и в замкнутых системах? Да, можно, и это делается системой НУКМ компании АББ, в которой текущее состояние двигателя предсказывается математически. Точность и воспроизводимость характеристик сравнимы с таковыми для замкнутых систем, но быстродействие – на порядок выше.

Ильпо Руохонен

ABB Oy

Хельсинки, Финляндия

ilpo.ruohonen@fi.abb.com