

Эра сенсорного управления бесщеточными электроприводами постоянного тока завершается?

ТОМАС ФРАЙТАГ (THOMAS FREITAG), менеджер продукта, Melexis

Бессенсорное управление электроприводами позволяет отказаться от применения датчиков на эффекте Холла, что, в свою очередь, позволяет уменьшить размеры, снизить стоимость, а также повысить общую эффективность системы. В статье обсуждаются особенности бессенсорной технологии управления бесщеточными электроприводами постоянного тока для автомобильных приложений. Статья представляет собой перевод [1].

Чтобы достичь высокой эффективности при управлении бесщеточными электроприводами, требуются точные данные о точках переключения. Обеспечить это можно двумя способами. В первом случае, чтобы определить положение ротора, применяют датчики на основе эффекта Холла. При таком методе конструкция электроприводов и насосов получается достаточно громоздкой и сложной, и это не считая значительных затрат на сами датчики. Более того, при реализации управления топливными насосами с использованием датчиков переключения, потребовалось бы обеспечить их изоляцию от агрессивной топливной среды, и поэтому их применение в этом случае даже не рассматривается.

Второй способ — бессенсорный — детектирует точки переключения, используя обмотки статора. Эта технология свободна от недостатков первого метода и в последние годы используется в автомобилях высокого класса, главным образом, в водяных и топливных насосах, вентиляторах системы охлаждения двигателей и в нагнетателях систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (см. рис. 1).

В первом поколении бессенсорных решений точки переключения определялись путем измерения противо-ЭДС свободно вращающейся катушки. Для приложений, чувствительных к шуму, таких как нагнетатели систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, при-

менялось синусоидальное BLDC-управление, называемое также управлением синхронными индукторными двигателями с постоянными магнитами (PMSM).

В PMSM вместо свободно вращающейся катушки используется управление с ориентацией по полю, которое называется также векторным управлением. При данном методе управления используется множество шунтовых входов, а также DSP, которые увеличивают стоимость разработки, закупки компонентов и тестирования системы до такого уровня, что синусоидальное управление электроприводами целесообразно использовать только в моделях высшего класса. Кроме того, вместе с управлением с ориентацией по полю необходимо применять схему с использованием датчиков для надежного старта и работы электропривода на низких скоростях.

На основе опыта создания первых поколений таких систем был разработан широкий спектр специализированных микросхем (ASSP) и алгоритмов управления, которые позволили распространить бессенсорную технологию управления бесщеточными электроприводами на другие приложения, снизив при этом сложность разработки и стоимость компонентов.

В качестве примера рассмотрим управление автомобильным насосом подачи топлива с контролем скорости. В так называемой механической безвозвратной системе подачи топлива (Mechanical Returnless Fuel delivery Systems — MRFS) давление топлива регулируется механически, так что электроприводы не замечают существенного изменения нагрузки, и изменение скорости нужно только для оптимизации расхода топлива и продления срока службы, а не для быстрой реакции в режиме реального времени. В этом случае достаточно использовать стандартный 6-ступенчатый режим детектирования противо-ЭДС по прохождению через нулевой уровень, или так называемый режим блокирования.

Единственной проблемой здесь остается надежный и быстрый запуск. В современных решениях все еще нередко используется предварительная установка положения ротора электропривода во время запуска. В процессе установки положения ротора бесщеточный электропривод дважды запускается в шаговом режиме, чтобы обеспечить правильное направление вращения. Запуск выполняется в режиме без обратной связи путем приложения максимально допустимого тока, чтобы скорость мотора максимально быстро возросла до уровня, когда можно зафиксировать противо-ЭДС.



Рис. 1. Водяной насос с интегрированной в него электроникой

Если в системе детектирование сигнала противо-ЭДС недоступно, то для определения положения ротора проводят измерение индуктивности катушки статора, или так называемое измерение удельного магнитного сопротивления (reluctance sensing). BLDC-контроллер MLX81200 компании Melexis способен измерять удельное магнитное сопротивление с применением фирменной бессенсорной технологии TruSense. Для малоинерционных приложений, например, для топливных насосов, контроллер MLX81200 измеряет удельное магнитное сопротивление, чтобы сократить время запуска с 200 мс до ~50 мс. Если удельное магнитное сопротивление измеряется при запуске и в процессе ускорения электропривода, то время запуска также существенно уменьшается, делая данные приложения весьма надежными.

При быстром ускорении/торможении или из-за случайных изменений давления пересечение нулевого уровня при детектировании противо-ЭДС может произойти вне диапазона измерений. Контроллер MLX81200 измеряет фазовые напряжения и на их основе экстраполирует момент пересечения нулевого уровня. Это обеспечивает надежное детектирование пересечения нуля, даже если оно происходит вне измеряемого диапазона (см. рис. 2).

Чтобы гарантировать надежную работу при весьма низких скоростях, в контроллере MLX81200 выполняется интегрирование напряжения противо-ЭДС с помощью фазовых интеграторов. При малых скоростях интегрирование напряжения приводит к усилению амплитуды сигнала противо-ЭДС, обеспечивая при этом фильтрацию каких-либо импульсных помех. Как правило, применение фазовых интеграторов позволяет снизить минимально возможную рабочую скорость электромотора в 2–4 раза с помощью классической схемы управления.

С другой стороны, при максимальных скоростях пересечение нуля может быть скрыто импульсом обратного хода. Технологии с использованием компараторов могут лишь приблизительно определить момент пересечения нуля, что ограничивает максимальный крутящий момент и приводит к росту его пульсаций. Измерения фазового напряжения позволяют точно экстраполировать момент пересечения нуля. В исключительных случаях, например, когда водяной насос работает на максимальной тяговой нагрузке, эффективность электропривода может снижаться. Тогда фазовые интеграторы позволяют ускорить работу электропривода, увеличив угол опережения в ущерб эффективности мотора, не учитывая при этом возможность маскирования импульса обратного хода.

Поскольку бессенсорная технология TruSense на зависит от диапазона измерения противо-ЭДС, обеспечивая надежное детектирование пересечения нуля, максимальная скорость электропривода также может быть увеличена путем использования перекрывающихся положений ротора электропривода. Перекрытие положений ротора может быть реализовано с помощью так называемого трапецеидального управления, которое позволяет снизить пульсации крутящего момента, акустический шум и кондуктивное излучение электромагнитных помех.

Технология TruSense может быть применена и при синусоидальном, или PMSM-управлении, когда уровень шума является критичным параметром для системы (см. рис. 3). Поскольку все больше электроприводов используются в автомобиле для оптимизации топливной экономичности, они увеличивают электрическую нагрузку на аккумулятор. Чтобы минимизировать эту нагрузку, следует использовать любую возможность для сниже-

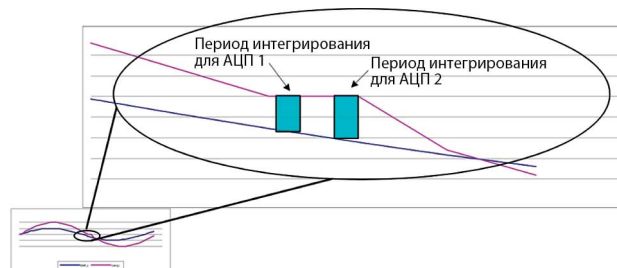


Рис. 2. Фазовое интегрирование гарантирует сопровождение пересечения нулевого уровня в условиях большой нагрузки для узкого диапазона измерений и надежную работу в режиме «по требованию» (синяя линия: напряжение противо-ЭДС, розовая линия: ток фазы)

ния минимальной рабочей скорости электропривода. Отношение минимальной к максимальной скорости вращения электропривода (RPMmin/RPMmax) называют динамическим диапазоном. В системах с использованием топливного насоса технология TruSense, реализованная в контроллере MLX81200, существенно увеличивает динамический диапазон: для технологии TruSense RPMmin/RPMmax = 5% (400 об/мин/8000 об/мин) против 22% (1800 об/мин/8000 об/мин) для обычных решений на базе DSP.

КОНТРОЛЬ ДАВЛЕНИЯ

Применение BLDC-управления в гидравлических системах позволяет отказаться от дорогих датчиков давления. На основе данных о скорости вращения и крутящем моменте электропривода с учетом температурных условий и на базе параметров насоса можно обеспечить контроль давления жидкости в системе.

Ключевой проблемой реализации гидравлических насосов с использованием бессенсорной технологии является надежный и быстрый запуск в условиях изменения нагрузки в широких пределах. Например, 500-Вт насос коробки передач должен увеличить давление до 12 бар

Бессенсорные BLDC-приложения на базе технологии TruSense

Определение положения ротора электропривода

Для управления клапанами (системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, рециркуляция отработавших газов и т.д.)

В роботизированной электромеханической коробке передач

Контроль давления (гидравлические насосы)

В масляных насосах коробки передач и т.д.

Управление пневмоподвеской, управление высотой кузова над дорогой и т.д.

Низкий уровень акустического/электромагнитного шума

Формирование тока для снижения пульсаций по питанию

Нагреватели систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, вентиляторы системы охлаждения двигателей

Насосы и вентиляторы для электромобилей/гибридных автомобилей

Режим «по требованию»

Быстрое изменение скорости и нагрузки

Широкий динамический диапазон: высокое соотношение между минимальной и максимальной скоростью

Главный водяной насос и т.д.

Базовые системы управления скоростью вращения

Механическая безвозвратная система подачи топлива, вспомогательный водяной насос, вентилятор системы охлаждения

Рис. 3. Классификация бессенсорных BLDC-приложений



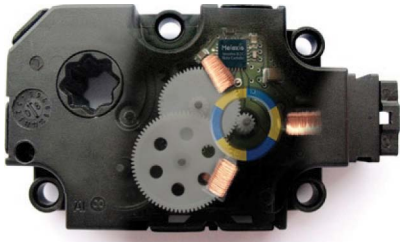


Рис. 4. Клапан системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха на базе бессенсорного BLDC-управления электроприводом с коммуникационным интерфейсом LIN

за время, не превышающее 50 мс при температуре -40°C , когда вязкость масла весьма высока, а также при максимальной температуре двигателя, когда вязкость масла существенно снижается.

Контроллер MLX81200, в котором применена бессенсорная технология TruSense, позволяет надежно реализовать эти требования.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Возможность измерения удельного магнитного сопротивления при низкой скорости вращения электропривода в сочетании с измерением противо-ЭДС на более высокой скорости позволяет современным бессенсорным BLDC-контроллерам типа MLX81200 точно отслеживать положение ротора во всем диапазоне скоростей вращения независимо от величины приложенной нагрузки. Бессенсорная технология находит применение не только в системах для управления насо-

сами и вентиляторами, но и в системах определения положения ротора.

Ключевой идеей в этом случае является использование алгоритмов бессенсорного детектирования положения ротора, расчет и настройка нужного положения актуатора, что необходимо при управлении вентилями и клапанами двигателя или при регулировке положения автомобильных кресел. В качестве примера подобных приложений можно привести также управление клапанами в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (см. рис. 4).

Передача по каналу обратной связи информации с сенсоров BLDC-электроприводов в электронный блок управления требует применения жгута из 12 проводов и столько же разъемов на плате блока управления. При этом каждый вывод разъема и каждый сенсор являются потенциальными источниками отказа в системе.

Устранение коммутационных датчиков на эффекте Холла и уменьшение размеров разъемов не только снижают стоимость, но и уменьшают размеры приводных механизмов. Заменяв сенсорные драйверы на контроллер MLX81200, можно оптимизировать стоимость приложения и его надежность, а также освободить электронный блок управления от задач управления электроприводами.

Кроме того, контроллер MLX81200 способен увеличить максимальную скорость электропривода и снизить уровень электромагнитных помех благодаря интеллектуальным методам управления, в частности, использованию перекрывающихся положений и формированию тока, о чем и шла речь выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Thomas Freitag. *The end of sensor based BLDC control?// Electronic Engineering Times Europe, May, 2011.*

СОБЫТИЯ РЫНКА

| МИКРОПРОЦЕССОРУ 4004 ИСПОЛНИЛОСЬ 40 ЛЕТ | Первый коммерческий микропроцессор Intel 4004 дебютировал 15 ноября 1971 г. Реклама в журнале Electronic News в тот день гласила: «Представляем новую эру интегрированной электроники». Процессор 4004 стал революционным изделием, поскольку в нем впервые удалось объединить необходимые элементы на одном кристалле. 4-битный микропроцессор изготавливался на 2-дюймовых пластинах по технологической норме 10 мкм. Intel 4004 выпускался в 16-выводном керамическом DIP-корпусе. Кристалл имел площадь 12 мм², содержал 2250 транзисторов и поставлялся с тремя сопутствующими микросхемами — постоянной и оперативной памятью и контроллером ввода-вывода. Первым коммерческим продуктом на основе этого компонента стал японский печатающий калькулятор Busicom 141-PF.

Ведущими разработчиками кристалла были сотрудники Intel Тед Хофф (Ted Hoff), Федерико Фаджин (Federico Faggin), Стэнли Мэйзор (Stanley Mazor), Лес Вадас (Les Vadasz) и Масатоси Сима (Masatoshi Shima), представитель компании-заказчика. Масатоси Сима разработал логический дизайн системы, состоящей из 12 микросхем, для компании Nippon Calculating Machine (впоследствии Busicom). Хофф предложил уменьшить количество микросхем, возложив основную часть функций на центральный процессор, который должен был выполнять арифметические и логические операции. В свою очередь, Фаджин сумел разместить полупроводниковые компоненты процессора на одном кристалле. 15 октября 2010 г. Фаджин, Хофф и Мэйзор получили от президента США Барака Обамы награду National Medal of Technology and Innovation за работу над Intel 4004.

В заявлении Intel говорится, что нынешние процессоры Intel Core имеют в 350 тыс. раз большую производительность, чем 4004. Каждый из транзисторов семейства Core второго поколения потребляет примерно в 5000 раз меньше энергии, чем их прародитель. Если бы процессор Intel Core второго поколения (216 мм²) был изготовлен с применением 10-мкм технологии, его размер составил бы 21 м².

Микропроцессор Intel 4004 работал на тактовой частоте 740 КГц. Тактовая частота некоторых современных процессоров достигает 3,8 ГГц. Современные кристаллы имеют несколько ядер и выполняют несколько потоков команд одновременно, оснащены встроенными функциями обработки графики и обеспечения безопасности, поддерживают различные операционные системы и позволяют создавать различные устройства. С момента появления микропроцессора 4004 цена транзистора упала примерно в 50 тыс. раз. 22-нм микропроцессоры следующего поколения, которые планируются к выпуску в будущем году, обеспечат еще большую энергоэффективность на базе трехзатворной технологии Intel.

www.elcomdesign.ru

MT-CИСТЕМ - официальный дистрибьютор TEXAS INSTRUMENTS в России

 National Products
from Texas Instruments







TEXAS
INSTRUMENTS



National
Semiconductor

Компания Texas Instruments завершила поглощение компании
National Semiconductor

Вместе МЫ добьемся **БОЛЬШЕГО!**

-  **БОЛЬШЕ** инновационных решений
-  **БОЛЬШЕ** новых продуктов
-  **БОЛЬШЕ** поддержки
-  **БОЛЬШЕ** производственных мощностей
-  и **БОЛЬШЕ** возможностей для наших клиентов



техническая поддержка • сопровождение проектов • склад

Санкт-Петербург:

Ул. Калинина, 13
Тел.: (812) 325-3685
Факс: (812) 786-8579
e-mail: info@mt-system.ru

Москва:

Красноармейская ул., д. 11, корп. 1
(ст. м. "Аэропорт")
Тел/факс: (495) 988 20 73, 988 20 74
e-mail: moscow@mt-system.ru


www.mt-system.ru

