

Использование векторного управления электродвигателями на транспорте

Майкл Сайдл, Texas Instruments

Перевод: Игорь Матешев

Векторное управление электродвигателями, в отличие от обычных методов управления, обеспечивает точное задание скорости и момента. Это актуально для электродвигателей в автомобилях, электровелосипедах и прочих электротранспортных средствах. Обычно для векторного управления двигателем нужен датчик положения. Его наличие ограничивает возможности конструкторов и увеличивает стоимость разработки. Но можно обойтись и без него.

Лучшее решение задачи векторного управления – использование комплекса InstaSPIN-FOC от Texas Instruments, вместе с программным алгоритмом FAST. Этот комплекс начального уровня можно использовать для создания простых и надёжных конструкций двигателей с высоким КПД для любого электротранспорта.

Электромоторы стали неотъемлемой частью современных автомобилей (см. рис. 1). Сейчас на один автомобиль среднего класса приходится в среднем 10 насосов и компрессоров и около 40 электродвигателей в целом. В зависимости от списка дополнительного оборудования в автомобиле их количество может возрасти до 100 штук. Например, в машинах премиум-класса. Помимо водяных и топливных насосов, электроприводы используются для адаптивного управления подвеской, вентиляторами, компрессорами, усилителем руля, стеклоочи-

стителями и стеклоподъёмниками, шторками и т.д.

Конечно, перспективный рынок для электромоторов – это электромобили. Речь идёт не только о транспортных средствах на чистой электрической тяге (BMW i3, VW e-UP и Opel Ampera, Tesla и т.п.), но и об автомобилях с гибридными силовыми установками (с двигателем внутреннего сгорания, дополненным электродвигателем). В коммерческом сегменте электродвигатели используются, в частности, для электроавтобусов.

ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМ В АВТОМОБИЛЯХ

Электродвигатели, используемые в транспортных средствах, должны соответствовать следующим требованиям:

- высокий КПД;
- малый размер и вес;
- высокая прочность;

- надёжная работа и редкое техническое обслуживание;
- минимальный уровень шума;
- низкие производственные затраты.

Эти требования относятся как к тяговым электромоторам (например, двигателям в колёсах), так и к моторам привода насосов, вентиляторов, стеклоподъёмников или усилителя руля.

ПОВЫШЕНИЕ КПД ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Векторное управление – признанный метод повышения КПД любых электромоторов, как тяговых, так и вспомогательных, используемых в автомобилях. Векторный метод управления имеет ряд преимуществ:

- двигатели могут работать с оптимальными крутящим моментом и скоростью в любой момент времени;
- происходит точная и быстрая регулировка скоростных характеристик, что важно для устройств, часто подвергающихся динамическим изменениям нагрузки (например, для насосов или вентиляторов);
- уменьшение колебаний крутящего момента делает вращение мотора более плавным. Это, в свою очередь, уменьшает уровень шума, что на электротранспорте особенно заметно из-за отсутствия шумного двигателя внутреннего сгорания. Кроме того, более плавная работа двигателя уменьшает износ подшипников, что повышает надёжность агрегата.

С другой стороны, векторное управление имеет и ряд недостатков. Наиболее существенный из них – необходимость использования датчика положения ротора. Он может быть как физическим, так и программным – эмулирующей датчика через сложное ПО. Датчик необходим для определения точного положения ротора. Это позволяет создавать такое магнитное поле в статоре, которое обеспечит максимальный крутящий момент.

Однако из-за использования физических датчиков и программных наблюдателей затраты на создание узлов агрегатов возрастают, а также



Рис. 1. Примеры применения электродвигателей в автомобилях

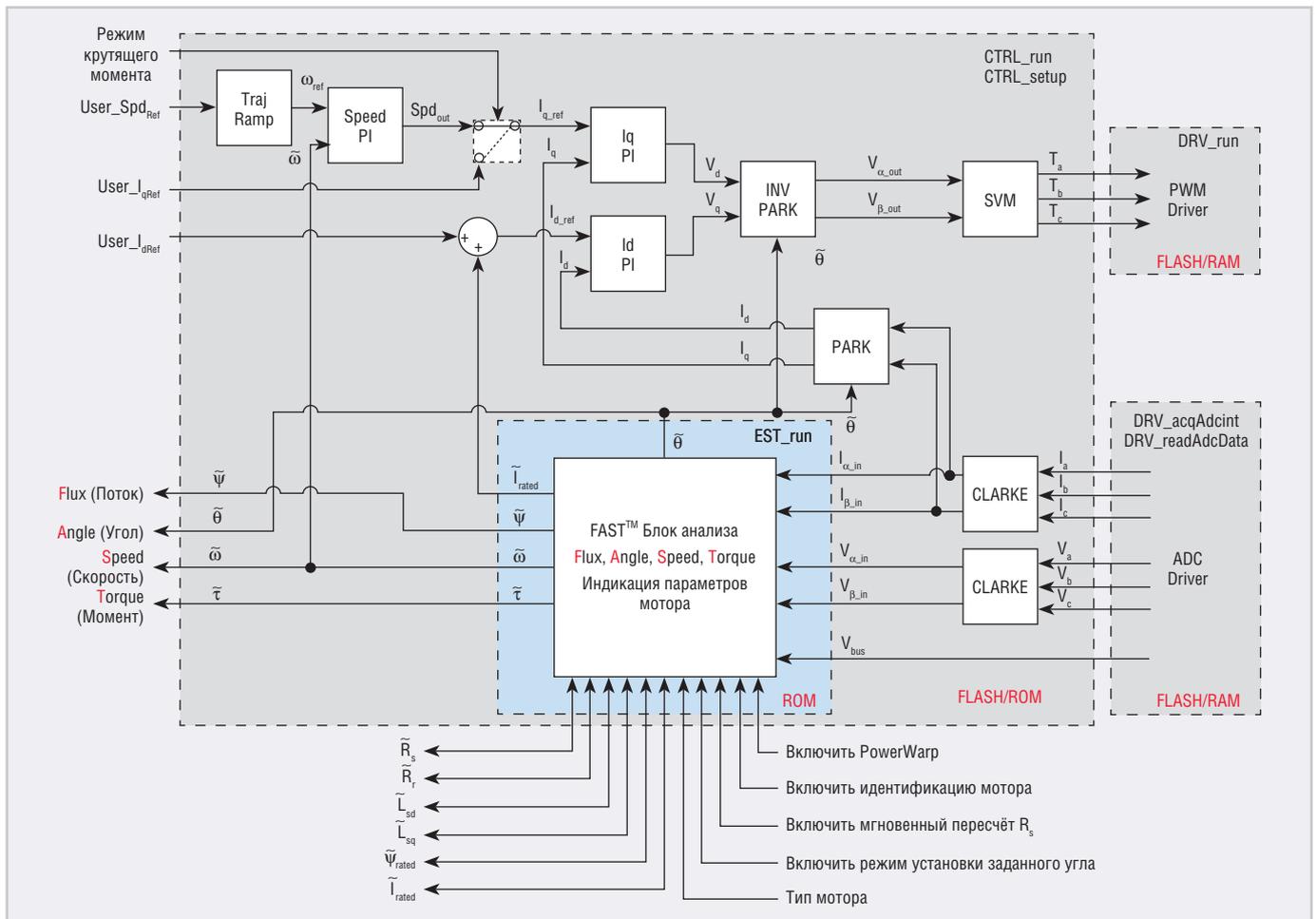


Рис. 2. Схема комплекса InstaSPIN-FOC

увеличивается частота ошибок, особенно в транспортных применениях. Согласно данным голландского производителя двигателей для электроавтобусов e-Traction, датчики векторных систем управления оказались наиболее ненадёжной частью всей силовой установки.

Традиционная реализация, в том числе с наблюдателем со скользящим режимом, требует наличия у конструкторов большого опыта. К тому же соответствующие элементы управления отличаются недостаточной стабильностью на небольших скоростях. Это особенно неприятно во время фазы ускорения и на низкоскоростных двигателях.

Комплекс InstaSPIN-FOC

InstaSPIN-FOC был разработан компанией Texas Instruments для решения задачи векторного управления без использования датчиков. InstaSPIN-FOC – комплекс, состоящий из программного алгоритма FAST (Flux, Angle, Speed, Torque, то есть поток, угол, скорость, момент), заменяющего физический датчик, и микроконтроллера

C2000 Piccolo, который имеет в своём ПЗУ все решения для векторного управления (см. рис. 2).

Благодаря InstaSPIN-FOC, FAST и C2000, разработчики могут за пару минут настроить любой тип трёхфазного синхронного или асинхронного двигателя, изменяя скорость и нагрузку. Соответствующее программное обеспечение было интегрировано Texas Instruments в ПЗУ микроконтроллера, причём его цена входит в стоимость контроллера. Texas Instruments предоставляет для разработчиков библиотеки управления электродвигателями (модули, драйверы, справочные системы и документация) в среде MotorWare на основе последних веяний в области объектно-ориентированного программирования на C и API-кодирования. Специалисты могут использовать бесплатный GUI-компоновщик для удобной разработки графической среды, которая подойдёт для лабораторных испытаний.

Кроме того, в пакет входит бесплатный инструмент моделирования InstaSPIN для интерактивного онлайн-моделирования работы InstaSPIN-FOC.

Используя параметры различных двигателей и различные сценарии нагрузки, конструкторы получают представление о функциональности InstaSPIN-FOC и FAST-алгоритма в реальных условиях.

Оптимизация любого типа электромоторов

InstaSPIN-FOC (см. рис. 3) даёт много преимуществ по сравнению с традиционными методами (например, метод с наблюдателем скользящего режима Люенбергера). В частности, комплекс позволяет легко разрабатывать надёжные электродвигатели прямого привода с низкой скоростью вращения и высоким моментом. Такие двигатели подходят для электровелосипедов, мототележек для гольфа и электромопедов. Кроме того, такие двигатели применяют в гибридных приводах и электромобилях, а также на коммерческой технике. Поскольку алгоритм FAST делает точные оценки магнитного потока, угла ротора, скорости и крутящего момента на всём временном промежутке, то зачастую можно отказаться от датчиков положения вала.

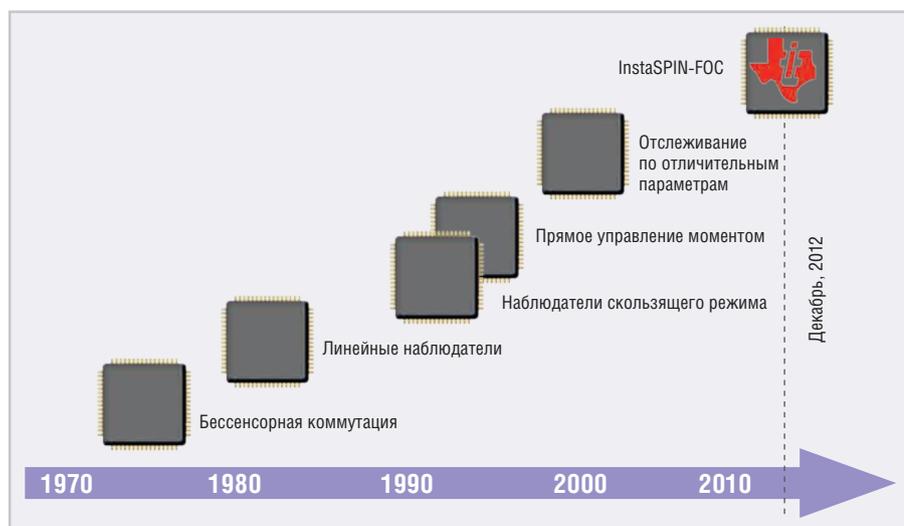


Рис. 3. Эволюция технологии бессенсорного привода

Комплекс InstaSPIN-FOC доступен для микроконтроллеров Piccolo F2806xF на 90 МГц / 32 бита с плавающей точкой и для бюджетной серии Piccolo F2802xF.

Двигатели, с которыми работает InstaSPIN-FOC:

- бесщёточные двигатели постоянного тока (BLDC);
- вентильные двигатели (PMSM);
- бесщёточные двигатели с внутренними постоянными магнитами (IPM);
- асинхронные электродвигатели переменного тока (ACIM);
- шаговые электродвигатели (скоро).

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И СОКРАЩЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА КОМПОНЕНТОВ

На энергопотребление положительно влияет и то, что информация об угле поворота оси сохраняется даже тогда, когда скорость ротора значительно ниже 60 об/мин⁻¹, когда крутящий момент максимальный, когда направление вращения меняется или когда двигатель глохнет, а затем немедленно запускается. Стартёрные режимы, заложенные в InstaSPIN-FOC, обеспечивают определение угла ротора менее чем за один электрический цикл. Это важно для автомобилей, оснащённых системой Старт/стоп, или чисто электрических транспортных средств, поскольку так двигатель запускается без каких-либо проблем.

Ещё одно преимущество состоит в том, что для InstaSPIN-FOC не нужна сложная проводка. В устройствах, где применяется механический датчик, зачастую требуется прокладка длинного экранированного кабеля. Если не обеспечить защиту от помех, то окружа-

ющие системы могут вносить в сигнал значительные искажения (шумы и т.п.).

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ И ЭЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДАХ

InstaSPIN-FOC с алгоритмом FAST и средой PowerWarp хорошо подходит для моторов с высоким крутящим моментом при низких оборотах двигателя. В частности, для электромобилей и электровелосипедов. Например, комплекс InstaSPIN-FOC для двигателей своих велосипедов использует компания Royal Dutch Gazelle. Обычные блоки управления без датчиков не могут обеспечить требуемого крутящего момента на скоростях ниже 3–4 км/ч, а InstaSPIN-FOC обеспечивает его сразу после старта. Компании Royal Dutch Gazelle, по словам её специалистов, удалось значительно сократить и сроки разработки, что стало ещё одним преимуществом решения от Texas Instruments. Благодаря этому разработчикам велосипедов удалось сосредоточиться на других задачах, в частности, на оптимизации управления батареей.

Голландская компания E-Traction производит приводы, электродвигатели и дополнительные компоненты для электрических транспортных средств (в том числе и городских автобусов). Прямой привод серии The Wheel, разработанный компанией с использованием комплекта от Texas Instruments, обеспечивает крутящий момент между 800 и 10000 Нм. Кроме того, e-Traction использует InstaSPIN-FOC для насосов, компрессоров и стартёр-генераторов на основе асинхронных двигателей, а также для синхронных двигателей в ступицах колёс.

Причина, по которой компания e-Traction выбрала InstaSPIN-FOC, в том, что комплекс позволяет обеспечить желаемый крутящий момент немедленно после запуска. К тому же практика показала, что использование системы без физического датчика положительно сказывается на её надёжности и безопасности. Да и сложных калибровок система не требует.

Электроприводы, основанные на векторном управлении без датчика, могут применяться для многих вспомогательных механизмов. К ним относятся и помощники для пожилых и инвалидов, облегчающие передвижения людей и подъём по лестницам. Они востребованы в электроскутерах, инвалидных колясках, тележках для гольфа и электрических мотоциклах. Рынок электродвигателей для таких компактных применений не меньше, чем рынок моторов для электромобилей и коммерческого электротранспорта.

INSTASPIN-FOC Motion – СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ

Электродвигатели с комплексом InstaSPIN-FOC должны эффективно и безотказно управлять скоростью, чтобы демпфировать резкие ускорения и неравномерное движение электротранспорта. Система InstaSPIN-Motion – бессенсорное решение для устройств, требующих точного контроля скорости и надёжной плавной работы. С помощью InstaSPIN-Motion жёсткость системы привода может быть настроена во всём рабочем диапазоне, с использованием полосы пропускания в качестве единственной переменной (см. рис. 4). Дополнительные области применения – устройства, в которых постоянно происходят динамические изменения.

Дополнительный компонент InstaSPIN-Motion – SpinTAC, разработанный компанией LineStream Technologies, Inc., – обеспечивает надёжное динамическое управление при любых скоростях и нагрузках электропривода. Максимальной точности SpinTAC достигает, используя момент инерции. Калькулятор инерции автоматически определяет её через обратную связь с работающим электродвигателем.

На выходе SpinTAC выдаёт три типа кривых (см. рис. 5). Использование их обеспечивает дополнительную плавность режимов: InstaSPIN-Motion подбирает скорость для получения обратной связи, которая может варьироваться от очень мягкой до очень жёсткой.

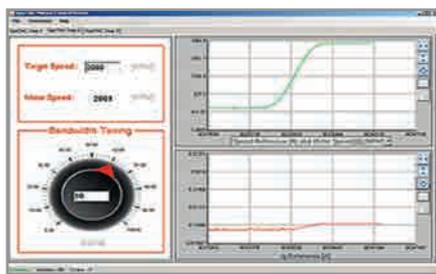


Рис. 4. Настройка жёсткости системы привода с помощью InstaSPIN-Motion

Этот единый коэффициент усиления регулятора (полоса пропускания) работает во всём диапазоне скорости и нагрузки, благодаря чему, в отличие от ПИД-регулирования по многим переменным, времени на настройку уходит меньше, поскольку эти системы часто требуют десятка (а то и больше) коэффициентов скоростей и нагрузочных коэффициентов для того, чтобы охватить весь спектр возможных динамических условий.

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТЫ ТРАНСМИССИИ

SpinTAC также упрощает переключение между передачами. В отличие от табличных алгоритмов, SpinTAC, для достижения плавного, подстраиваемого перехода между двумя передачами, использует процессор.

SpinTAC автоматически создаёт оптимальную кривую, подходящую требованиям заказчика по настройке трансмиссии и к ограничениям ускорения для типа кривой, заложенной конструкторами:

- стандартная криволинейная трапеция (постоянное ускорение, без ограничения рывка);
- S-кривая (плавное, ограниченное ускорение);
- ST-кривые, разработанные LineStream (очень плавное, постоянное ускорение).

На основании данных или кривых конструкторы могут настроить переключение между двумя передачами. Например, более плавный переход

Сигналы	Трапецевидные	S-кривые	ST-кривые
Скорость	Непрерывный	Гладкий	Гладкий
Ускорение	Ограниченный	Непрерывный	Гладкий
Рывок	Н/Д	Ограниченный	Непрерывный

Рис. 5. Три типа кривых SpinTAC

может быть реализован для самоката, предназначенного для пожилых людей, в то время как более агрессивные настройки подойдут для спортивных автомобилей, электронных скутеров или электромотоциклов.

При использовании InstaSPIN-Motion вместе с SpinTAC имитируется поведение двигателя внутреннего сгорания (плавное, постепенное увеличение крутящего момента) в электрическом транспортном средстве. В свою очередь, такая имитация упростит восприятие электромобилей водителями традиционных автомобилей.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ POWERWARP ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КПД

Алгоритм PowerWarp программного обеспечения в InstaSPIN-FOC можно использовать для повышения КПД асинхронных электродвигателей переменного тока, особенно при низких нагрузках. PowerWarp позволяет динамически сбалансировать крутящий момент и скорость, что сохранит стабильность системы управления. Принцип основан на снижении потерь в обмотке статора и ротора двигателя. Как показали испытания Texas Instruments, при использовании алгоритма PowerWarp потребление энергии асинхронными приводами переменного тока можно снизить на 28%. Это важно для электромобилей, например для Tesla (модели Tesla Motors оснащаются трёхфазными асинхронными двигателями переменного тока).

Основная экономия достигается в диапазоне частичной нагрузки. При полной нагрузке много сэкономить не удастся. Но поскольку большинство двигателей редко работают в условиях полной нагрузки, PowerWarp позволит существенно уменьшить энергозатраты.

InstaSPIN-FOC – жизнеспособная альтернатива традиционным технологиям. Особенно она пригодится конструкторам систем управления асинхронными электромоторами переменного тока. Этот тип мотора соответствует всем требованиям, предъявляемым электродвигателям для транспорта: надёжность и длительный срок службы, невысокая стоимость, экономия материалов при производстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Векторные методы управления без датчиков, в частности InstaSPIN-FOC, имеют значительные преимущества по сравнению с сенсорными решениями. Особенно это относится к сегменту электромобилей. Надёжность и максимальный крутящий момент на любых оборотах – важные факторы для электрических транспортных средств и двигателей, используемых в компрессорах, насосах и системах кондиционирования воздуха. Благодаря InstaSPIN-FOC векторное управление без датчиков стало доступным и для них.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.automotive-eetimes.com/content/using-field-oriented-control-electric-drives-vehicles.



НОВОСТИ МИРА

«МИКРОН» ОСВОИЛ МАРКИРОВКУ МЕТАЛЛА

«Микрон» завершил разработку, тестирование и начал серийное производство RFID-меток для маркировки металлических изделий. Метки выпускаются в четырёх форм-факторах для работы в высоко-

частотном и в ультравысокочастотном диапазонах.

Для нейтрализации негативного эффекта металла в УВЧ-метках был применён специальный уплотнитель из вспененного полиэтилена, который обеспечил необходимое для работоспособности метки расстояние между

антенной и металлической поверхностью изделия. В ВЧ-метках использовался ферромагнетик, препятствующий распространению электромагнитных волн. Таким образом была достигнута устойчивая работа всех типов меток, подтверждённая лабораторными испытаниями.

www.mikron.ru