

РЕГУЛИРУЕМЫЙ БЕЗДАТЧИКОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В БЫТОВОЙ ТЕХНИКЕ

ПЕТЕР БАЛАЗОВИЧ (PETER BALAZŽOVIČ), инженер по применению, Freescale Corporation

В связи с возрастающими требованиями к бытовой технике по энергосбережению, функциональности и снижению стоимости на рынке появляются новые решения по управлению электродвигателями. В статье рассмотрен метод векторного управления электродвигателя без датчика, использующий высокоэффективный и недорогой специализированный контроллер компании Freescale. Статья представляет собой перевод [1].

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время требования к защите экологии, расходу воды и энергосбережению всё в большей степени затрагивают рынок домашней бытовой техники. Действующие международные и национальные стандарты и нормативные документы требуют выполнения соответствующих норм в новых поколениях бытовой техники, особенно в стиральных, сушильных, посудомоечных машинах и холодильниках.

Для решения этой задачи компанией Freescale было предложено решение на базе цифрового сигнального контроллера (digital signal controller — DSC), которое сочетает производительность DSP с функциональностью и простотой использования микроконтроллеров на одном кристалле. Гибкий набор периферии таких приборов позволяет разработчику реализовывать различные функции, такие как стандартные алгоритмы работы электропривода, усовершенствованные алгоритмы управления, сложные измерения сигналов обратной связи, компенсация коэффициента мощности и связь с внешними устройствами.

Применение электроприводов с регулируемой скоростью вращения даёт возможность использовать более сложные управляющие программы, что позволяет улучшить характеристики устройств и увеличить общую эффективность потребления энергии. Таким образом, бытовая техника, оборудованная приводом с регулируемой скоростью вращения и интеллектуальной системой управления, превосходит по своим возможностям устройства без электронного управления приводом и улучшает характеристики домашней аппаратуры, содержащей электроприводы с фиксированной частотой вращения.

Обычно в электроприводах бытовой техники используется фиксированная, заранее установленная частота вращения, или их питание осуществляется от сети переменного тока без

дополнительных электронных схем управления.

Однофазные асинхронные электродвигатели с питанием от сети переменного тока используются довольно широко, поскольку обладают рядом достоинств — низкой стоимостью, надёжностью и прочностью. Однако наряду с преимуществами они имеют также существенные недостатки, такие как низкий КПД и неэффективное управление частотой вращения. Эти недостатки затрудняют совершенствование систем управления асинхронными электродвигателями, что препятствует реализации на их основе функций, необходимых и привлекательных для покупателей, а также ограничивает возможность устройств. В отличие от однофазных асинхронных электродвигателей, электроприводы с регулируемой скоростью вращения отвечают требованиям по энергосбережению за счёт точного контроля крутящего момента и улучшения общей эффективности устройства.

Эффективность бытовой техники зависит от режимов её работы. В холодильнике обычная система управления осуществляет включение и выключение компрессора и поддерживает, таким образом, температуру в заданном диапазоне. Стиральная машина работает в двух основных режимах: вращение барабана во время стирки и центробежная сушка. Во время стирки электропривод работает с низкой скоростью и высоким крутящим моментом; во время сушки электропривод короткий период времени работает с высокой частотой вращения.

ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Существует несколько категорий электродвигателей для применения в бытовой технике: асинхронные электродвигатели, электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов и вентильные реактивные электродвигатели. Общая эффективность

устройства определяется эффективностью электронного привода и электродвигателя.

Обычно для регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей необходимо изменять частоту и напряжение. Этот метод управления известен как метод постоянного отношения напряжения к частоте. Эффективность управления скоростью асинхронного электродвигателя может быть улучшена с помощью метода векторного управления. Эта технология требует точных данных о частоте вращения, полученных с помощью датчика скорости или положения, помещённого на роторе электродвигателя. Однако дополнительный внешний датчик, а также разъем и кабель увеличивают стоимость системы.

В электродвигателях с возбуждением от постоянных магнитов магнитный поток создается ими, а не обмоткой статора. Замена электромагнитного возбуждения постоянными магнитами имеет несколько преимуществ. Самым очевидным из них является отсутствие потерь на возбуждение и, следовательно, электродвигатели с постоянными магнитами имеют большую удельную мощность, чем аналогичные электродвигатели постоянного тока. Электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов не имеют механического коммутатора; их удельная мощность превышает этот показатель для асинхронных электродвигателей из-за отсутствия тока, наведённого магнитным полем. Это позволяет достичь общей эффективности 90%, в то время как однофазные асинхронные электродвигатели имеют КПД лишь 70%. К сожалению, электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов нельзя запустить с помощью подачи питания от сети переменного тока на статорную обмотку. Несмотря на это, синхронные электродвигатели с постоянным возбуждением являются весьма привлекательным решением для применения в домашней технике.

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ

По оценкам экспертов, при оптимизации энергопотребления с помощью электронного управления электродвигателя общая рассеиваемая мощность может быть снижена до 30%.

Контроллер для электроприводов с регулируемой частотой вращения представляет собой систему, управляющую скоростью вращения электродвигателей переменного тока путем регулировки частоты электрического тока, питающего электродвигатель. Электроприводы с регулируемой частотой вращения обеспечивают работу электродвигателей во всем диапазоне скоростей.

Как показано на рисунке 1, полная система электропривода с регулируемой частотой вращения включает фильтр электромагнитных помех, входной выпрямитель, источник питания постоянного тока, контроллер для управления электродвигателя (в данном случае DSC компании Freescale), схему согласования сигналов, инвертор напряжения и драйвер.

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

Наиболее широко распространенным методом, используемым для управления, преимущественно асинхронных электродвигателей, является метод скалярного управления без обратной связи. Скалярное управление — это метод управления, основанный на регулировании частоты питающего напряжения, причем отношение

питающего напряжения к частоте остается постоянным. Этот метод не требует большой вычислительной мощности, поэтому можно использовать 8-разрядный микроконтроллер. Большим преимуществом этого метода является то, что в нём не используются датчики, так как алгоритм управления не требует информации об угловой скорости или положении ротора. Недостатком является зависимость скорости от крутящего момента. Из-за этого электродвигатели со скалярным управлением имеют слишком большие габаритные размеры, чтобы обеспечить необходимый крутящий момент при изменении нагрузки. Кроме того, при скалярном управлении эффективность системы оказывается недостаточной, происходит ухудшение коэффициента мощности, а уровень акустического шума слишком высок. При таком методе управления энергетическая эффективность системы может снизиться до 50% от максимально достижимого теоретического значения.

Необходимо обеспечить как можно лучшие динамические параметры и максимальный диапазон рабочих скоростей электродвигателя. По сравнению со скалярным управлением, такой метод как векторное управление (или управление ориентацией поля — Field Oriented Control) асинхронных электродвигателей способен обеспечить гораздо лучшие характеристики электропривода. Это метод исключает большинство недостатков метода постоянного отношения напряжения к частоте.

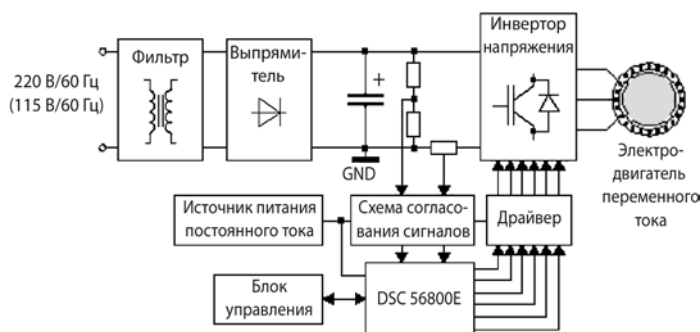


Рис. 1. Структурная схема электропривода с регулированием частоты вращения

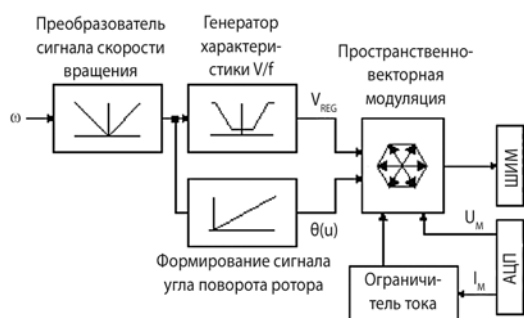


Рис. 2. Структурная схема векторного управления скоростью электродвигателя

Используемые при векторном управлении синхронные регуляторы координатного тока стали промышленным стандартом при инверторной стабилизации тока. Обратная функция преобразования системы координат Парка ($\alpha\beta/dq$) вычисляет значения токов и напряжения статора в системе координат, синхронизированной с полем вращающегося ротора. Такой подход предпочтителен, так как все электрические переменные имеют установившиеся значения во вращающейся системе координат. Это позволяет использовать простой пропорционально-интегральный регулятор (ПИ-регулятор) для обеспечения нулевой статической погрешности. Схема векторного управления скоростью электродвигателя показана на рисунке 2.

С помощью внутренней токовой петли рассчитывается прямое и квадратурное напряжение статора, необходимое для формирования требуемой величины тока крутящего момента и магнитного потока. Функции Парка ($dq/\alpha\beta$) преобразуют эти значения напряжения в трёхфазное переменное напряжение статора в стационарной системе координат. Токи электродвигателя являются синусоидальными; за счёт этого сглаживается крутящий момент, что минимизирует акустический шум и механическую вибрацию. Внешний контур скорости регулирует величину крутящего момента, который прямо пропорционален квадратурному току и позволяет поддерживать требуемую угловую скорость. Для расширения эффективного диапазона рабочих скоростей относительно базовой скорости добавлена специальная цепь ослабления магнитного потока, которая управляет зависимостью тока статора от магнитного потока.

УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ БЕЗ ДАТЧИКА

Для работы электродвигателя переменного тока в режиме векторного управления важно синхронизировать частоту приложенного напряжения с положением магнитного поля ротора. Это осуществляется с помощью режима управления без использования датчика, когда алгоритм вычисления скорости и положения заменяет показания датчика.

Метод управления электродвигателем с постоянным магнитом без датчика обеспечивает новые возможности электропривода и, в то же время, улучшает надёжность и поддерживает высокий уровень характеристик без увеличения стоимости системы. Домашняя техника должна быть менее шумной, более эффективной, компактной и легкой, а также обладать разнообразными функциональными возможностями при низкой стоимости.

Алгоритмы управления можно разделить на две основные группы: те, которые используют магнитный выступ на роторе для отслеживания положения ротора, и те, которые определяют положение ротора на основе расчётной модели электродвигателя.

В случае холодильника контроллер может обеспечивать ускорение компрессора до требуемой частоты вращения в течение нескольких секунд и регулировать скорость в пределах 1% от требуемого значения. Мягкий запуск компрессора снижает уровень шума. Пониженная скорость работы минимизирует температурные циклы в холодильном отделении и улучшает качество охлаждения продуктов.

В стиральных машинах неравномерность расчётной скорости и крутящий момент нагрузки являются важной информацией, необходимой для распределения нагрузки в процессе стирки. Неравномерность скорости используется для расчёта нарушения баланса нагрузки перед началом цикла вращения барабана, что улучшает механическую надёжность стиральной машины.

КОНТРОЛЛЕРЫ СЕМЕЙСТВА MC5680XX

Компания Freescale предлагает для управления электродвигателем решение на основе ядра [DSC 56800E](#), которое обеспечивает выполнение всех необходимых контрольных функций, включая пространственно-векторную модуляцию, векторное управление, контроль цепей тока, магнитного потока и угловой скорости. Цифровое управление улучшает надёжность за счёт уменьшения количества дискретных элементов и обеспечивает оптимальные алгоритмы работы электродвигателя. Схема векторного управления скоростью электродвигателя без датчика, которая была рассмотрена выше, может быть реализована на базе контроллера [DSP56F82](#)¹. Все программы управления можно создать с помощью оптимизированного языка ассемблера с вызовами из C с частично числовым представлением.

Контроллеры семейства MC56F80xx снабжены следующими блоками периферии.

- Один ШИМ-модуль с ШИМ-выходами и входами ошибки, построенный по отказоустойчивой схеме с включением времени простоя и поддерживающий режимы как выравнивания сигнала по центру, так и по краю.

- 12-разрядные АЦП, поддерживающие два одновременных процесса преобразования; АЦП- и ШИМ-модули могут быть синхронизированы.

- Один специализированный 16-битный счетверённый модуль таймера реального времени.

- Один интерфейс SPI.

- Один интерфейс SCI с пассивными функциями LIN-шины.

- Один порт I²C.

- Встроенный стабилизатор напряжения 3,3...2,5 В для питания логики и памяти.

- Встроенный модуль сброса при включении питания и генерирования прерывания при низком напряжении питания.

- Мультиплексированные линии ввода/вывода общего назначения.

- Сторожевой таймер.

- Внешний вход для аппаратного сброса.

- Встроенный модуль JTAG/OnCE для отладки приложения независимо от скорости работы процессора.

- Синтезатор частоты на основе ФАПЧ для формирования тактового сигнала ядра контроллера со встроенным релаксационным генератором.

Система использует блок АЦП для оцифровки аналоговых сигналов обратной связи (напряжение, ток) для последующей обработки. Запуск АЦП синхронизирован с флагом перезагрузки блока ШИМ, однако моменты времени выборки зависят от реального ШИМ-сигнала. Такая система допускает многократные преобразования аналоговых величин тока и напряжения в пределах одного ШИМ-цикла.

Модуль ШИМ способен формировать асимметричный рабочий ШИМ-цикл с выравниванием по центру. Это позволяет получить реконструкцию трехфазного тока в условиях большой нагрузки.

Счетверённый таймер является весьма гибким модулем, обеспечивающим все требуемые сервисы, связанные с контролем времени. В данном при-

ложении требуются два канала счетверённого таймера:

- первый канал — для синхронизации ШИМ и АЦП;

- второй канал — для цепи управления системной скоростью (период 1 мс).

В данном приложении обеспечивается связь с центральным пультом управления по изолированному последовательному каналу. Такая система способна осуществлять загрузку в контроллер информации о скорости и передавать данные о скорости и крутящем моменте электродвигателя в центральный контроллер бытового устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время домашняя техника требует усовершенствованной технологии электропривода, которая позволит улучшить характеристики продуктов следующего поколения. Этой цели служит метод векторного управления электропривода без датчика, который, из-за исключения использования в системе механических датчиков, позволяет снизить стоимость конечного продукта.

Такой метод управления может быть реализован с помощью недорогого DSC на базе ядра 56800E компании Freescale, который сочетает преимущества как микроконтроллера, так и DSP. Результаты, полученные при испытаниях с применением этой технологии, свидетельствуют о том, что улучшение характеристик устройств можно получить и для других приложений, использующих электропривод, например таких как насосы, вентиляторы, сушильные аппараты и т.д. Контроллеры MC56F80XX, разработанные специально для систем управления электродвигателями, могут быть интегрированы во многие типы домашней техники, особенно в те, к которым национальные и международные стандарты предъявляют серьёзные требования по энергосбережению.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Variable Speed Motor Control with Sensorless Functionality in Home Appliances*, By Peter Balazovic//www.industrial-europe.com.

ПОЛЕЗНЫЕ ССЫЛКИ

1. [Получить консультацию по продукции Freescale.](#)

¹Техническую документацию на [DSP56F82](#) см. на компакт диске