

# Микроконтроллеры серии Z8FMC16100 компании ZiLOG для управления двигателями

Хэдизард ПЕЙМАН  
Рекс ЭЛИСОН

Проанализировав динамику развития современных контроллеров управления электродвигателями и потребностей рынка, компания ZiLOG пошла по пути увеличения степени интеграции управляющего микроконтроллера. Это позволяет существенно сократить число внешних компонентов, что, в свою очередь, положительно отражается на стоимости и надежности системы управления. Инновационные решения ZiLOG, описанные в этой статье, позволяют добиться улучшения параметров запуска, регулировки скорости вращения и защиты бесщеточных двигателей постоянного тока в случае возникновения нештатных условий, например, замыкания обмоток или выводов двигателя.

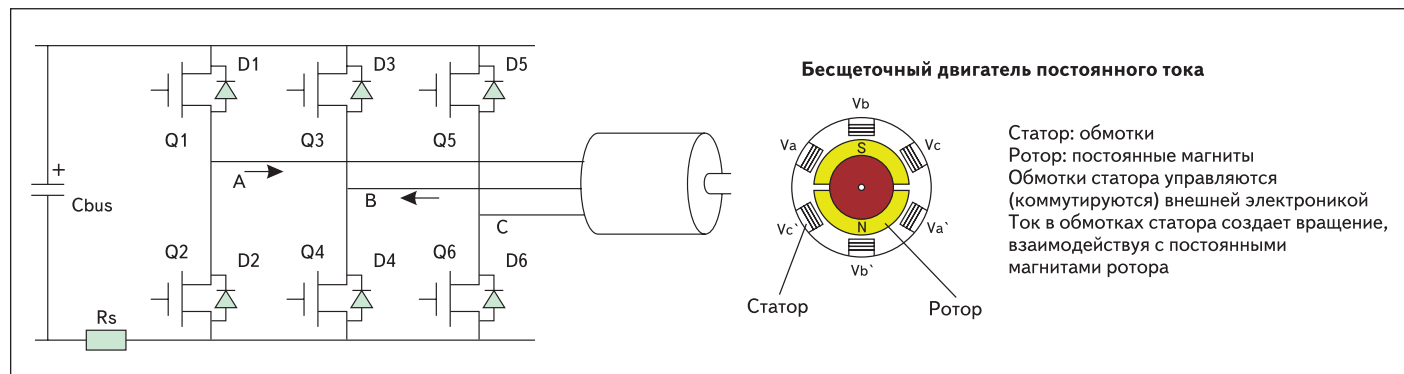
Всего пару лет назад, когда стали доступными специализированные микроконтроллеры (далее МК), считалось, что в большинство приложений непрактично встраивать электронику, необходимую для коммутации и управления бесщеточными двигателями постоянного тока (BLDC — BrushLess Direct Current). Большое число элементов и их дороговизна до сих пор препятствуют использованию управляющих двигателем МК во многих проектах. И даже с появлением специализированных МК для приложений управления двигателями их эффективность и конструкция еще далеки от идеала. Поэтому необходимо далее совершенствовать МК путем снижения количества элементов и увеличения степени интеграции полупроводникового чипа. Основная цель, которая при этом ставится, — улучшение эффективности и точностных параметров подсистемы управления двигателями. Сегодня на рынке конкурентоспособной электроники общая стоимость электронного модуля, эффективность и долговечность являются

ключевыми факторами для принятия решения о покупке. Все сказанное было учтено инженерами компании ZiLOG, которые разработали серию 8-разрядных МК Z8FMC16100 для управления двигателями. Недавно они были запущены в массовое производство и уже сейчас доступны для заказа. Эта статья рассматривает некоторые ключевые моменты разработки устройств на базе этого нового семейства микроконтроллеров.

Чтобы понять роль МК в этой категории продуктов, мы должны обсудить фундаментальные принципы функционирования BLDC-двигателей. Во-первых, такие двигатели более эффективны, чем индукционные двигатели переменного тока и универсальные двигатели с такой же номинальной мощностью. Однако управлять скоростью такого двигателя — сложная задача. Информация о положении ротора должна быть достаточно точной, а расчеты для определения того, насколько требуется ускорить или замедлить вращение, должны осуществляться «на лету», что предъявляет высокие требования

к производительности микроконтроллера. Чем быстрее способен произвести эти расчеты микроконтроллер, тем более высокая скорость двигателя может быть достигнута такой системой управления. Бесщеточные двигатели постоянного тока имеют ротор из постоянного магнита, который движется под действием вращающегося магнитного поля, создаваемого драйверами при подаче напряжения на обмотки статора с постоянной фазой. Магнитный поток статора должен быть синхронизирован с магнитным потоком ротора, поэтому необходимо иметь точную информацию о положении последнего. Позиция ротора может быть определена из противо-ЭДС фазовых обмоток, которая генерируется благодаря наличию изменяющегося во времени результирующего магнитного поля.

Цикл коммутации трехфазных бесщеточных двигателей постоянного тока с биполярными роторами осуществляется в 6 этапов. В течение каждого из этих шести этапов напряжение прикладывается к двум из трех фазовых обмоток (рис. 1). Фазовый сдвиг



напряжения имеет место в интервале  $60^\circ$ . При обесточенном состоянии каждой обмотки противо-ЭДС обмотки обеспечивает переходы через нулевой уровень. Переключенные выходные устройств в инвертирующем мосту, который коммутирует обмотки двигателя, управляется при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Путем изменения длительности импульсов, подаваемых с фиксированной частотой, напряжение на обмотках повышается или понижается, изменяя, таким образом, скорость двигателя.

## Управление временными метками и алгоритмы ФАПЧ

Большинство контроллеров в системах с обратной связью имеют компаратор для обнаружения перехода через нулевой уровень для сигналов противо-ЭДС и обнаружения ошибок, что позволяет отрегулировать выходные управляющие импульсы и, таким образом, скорректировать скорость двигателя. Альтернативным решением является вариант, при котором все необходимое для этого находится на чипе микроконтроллера. При этом отпадает необходимость использования внешнего компаратора, поскольку вместо него используется аналого-цифровой преобразователь (АЦП) совместно с таймером. Таймер дает команду АЦП для осуществления выборки противо-ЭДС. После того, как АЦП «увидит» пересечение нулевого уровня, читается счетчик таймера, и результаты помещаются в регистр. Эта техника «временных меток» эффективна в относительно простых коммутационных системах управления с обратной связью.

Измерение противо-ЭДС, расчет позиции ротора и подстройка скорости двигателя осуществляются при помощи системы ФАПЧ (рис. 2). Примечательно, что благодаря ФАПЧ позиция ротора определяется и синхронизируется с сигналом противо-ЭДС непосредственно с момента старта.

Рекс Элисон (старший инженер по применению процессоров для управления двигателями в компании ZiLOG) теоретически показал, что при работе по такому алгоритму, если отсутствуют этапы синхронизации и старта, двигатель запускается, используя только систему ФАПЧ противо-ЭДС. Кроме того, он изучил протекание токов утечки и напряжений смещения аналоговых реализаций и считает, что их может скомпенсировать микроконтроллер, измеряющий противо-ЭДС с использованием цифровой системы ФАПЧ, в тандеме с быстрым аналогово-цифровым преобразователем ZiLOG. Эта идея была протестирована, и было показано, что при отсутствии возможности позиционирования ротора в конкретной точке (что имеет место во время старта или после прерывания работы двигателя) система ФАПЧ ZiLOG позволяет осуществлять более плавный разгон и практически мгновенное реверсирование направления вращения ротора двигателя по со-

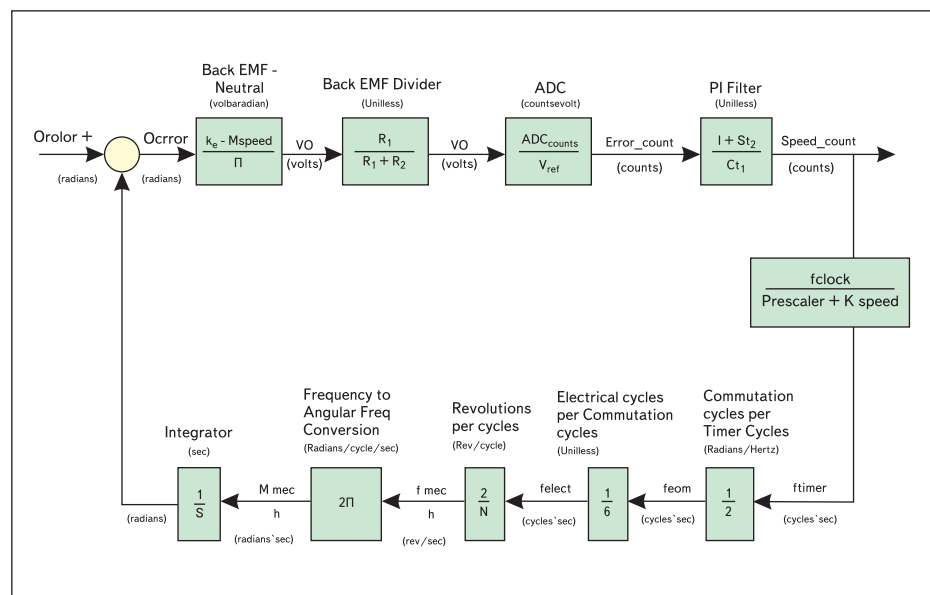


Рис. 2. Алгоритм расчета корректировки скорости двигателя с использованием петли ФАПЧ

ответствующей команде. Таким образом, Z8FMC16100 обеспечивает более надежный старт и предлагает эффективный способ мониторинга петли противо-ЭДС с помощью ФАПЧ.

## Ошибка реакции

Без тщательно продуманных мер безопасности отказ из-за перегрузки по току может повредить устройства, управляющие бесщеточным электродвигателем постоянного тока. Эти отказы — некоторые обратимые, а некоторые и нет — могут возникать из-за коротких замыканий в обмотках двигателя, из-за закороченных выводов двигателя, дефектов в приводах и механических передачах, при повреждении ротора, отказах и осечках исполнительных устройств и по многим другим причинам. Вне зависимости от причины, вызвавшей перегрузку по току, вращение двигателя должно быть остановлено. Цепи защиты должны среагировать быстро — быстрее, нежели произойдет резкая остановка всей системы. При обнаружении отказа предпочтительнее отключить ШИМ-выходы и восстановить их нормальное функционирование, когда будет устранена причина отказа. «Жесткая» остановка происходит только в том случае, если условия перегрузки по току продолжают сохраняться.

Микроконтроллеры для управления двигателями обычно имеют входные элементы, например компаратор, для обнаружения ситуаций перегрузки по току. В типовой реализации сигнал тока подается на АЦП. Однако это решение имеет присущие ему недостатки — большое время задержки до получения результата оцифровки может блокировать ШИМ. Если имеют место условия «жесткой» остановки, эта инерционность может привести к тому, что в течение следующего коммутирующего цикла не будет про-

изведена остановка, в результате может произойти необратимое повреждение.

Чтобы избежать задержки обработки, свойственной аналого-цифровым преобразователям, к блоку ШИМ напрямую подключен компаратор перегрузки по току — таким образом гарантируется, что выключение произойдет непосредственно в текущем цикле. Этот метод не только улучшает реакцию контроллера на возникновение отказа, но и свободен от недостатков, характерных для традиционных решений; то есть, если тактовый сигнал контроллера перестал функционировать, не будет риска выключения системы в ответ на перегрузку по току, как было бы при использовании системы с АЦП.

## Алгоритм обнаружения снижает временную зависимость

Контроллеры практически постоянно следят за значением тока двигателя посредством определения тока через обмотки. Они используют в качестве датчика резисторы и внешний операционный усилитель, выходной сигнал с которого подается на АЦП внутри устройства. Обычно выборки АЦП синхронизируются микроконтроллером. Затем результат оцифровки подается на процессор, который подсчитывает, каким образом должна быть отрегулирована ШИМ, чтобы скорректировать скорость, а конвертор (АЦП) отключается до следующего цикла ШИМ, после чего делает следующую выборку. По существу, работа управляется прерываниями от ШИМ.

Однако имеется другой, асинхронный путь для определения, обработки и корректировки скорости двигателя, позволяющий освободить ресурсы контроллера. Вместо подключения АЦП для каждого тактового цикла микроконтроллера в Z8FMC16100 используется другой механизм. В чип микроконтрол-

лера интегрирован операционный усилитель (это позволяет снизить количество дополнительных «обязочных» компонентов на плате). Сигнал тока от платы идет к устройству, его значение замеряется и сохраняется в памяти. Таким образом, из операции исключается нежелательная временная зависимость. Эта методика является эффективным решением задачи управления двигателем. Например, некоторые 8-разрядные вычислительные ядра несут высокие накладные расходы производительности, необходимые для обеспечения выполнения специфических функций, таких как, например, управление выводом информации на графический дисплей. В то же время при скоростях двигателя вплоть до 100 000 оборотов в минуту, средней производительности микроконтроллера для приложений токового управления двигателями более чем достаточно.

Сегодня развитие технологий управления двигателями требует проведения исследований и формулировки требований как для универсальных, так и для узкоспециализированных 8-разрядных микроконтроллеров, разрабатываемых для приложений управления двигателями. С приходом следующего поколения микроконтроллеров для управления двигателями фирмы с мировым именем (такие как ZiLOG) делают ставку на разработку передовых, конкурентоспособных системных решений с высокой степенью интеграции. Это стало возможно благодаря новым разработкам, таким как быстрое обнаружение перегрузки по току и управление отказами, надежное функционирование и определение против-ЭДС в широком диапазоне скоростей, включая весьма низкие скорости, а также плавные старт и реверсирование направления вращения. Общая стоимость системы микроконтроллеров для управления двигателями и число компонентов в конструкции можно еще снизить, если изучить запросы рынка контроллеров для управления двигателями (рис. 3). Интегрирование большего количества функций и модулей на одном чипе значительно упрощает весь про-

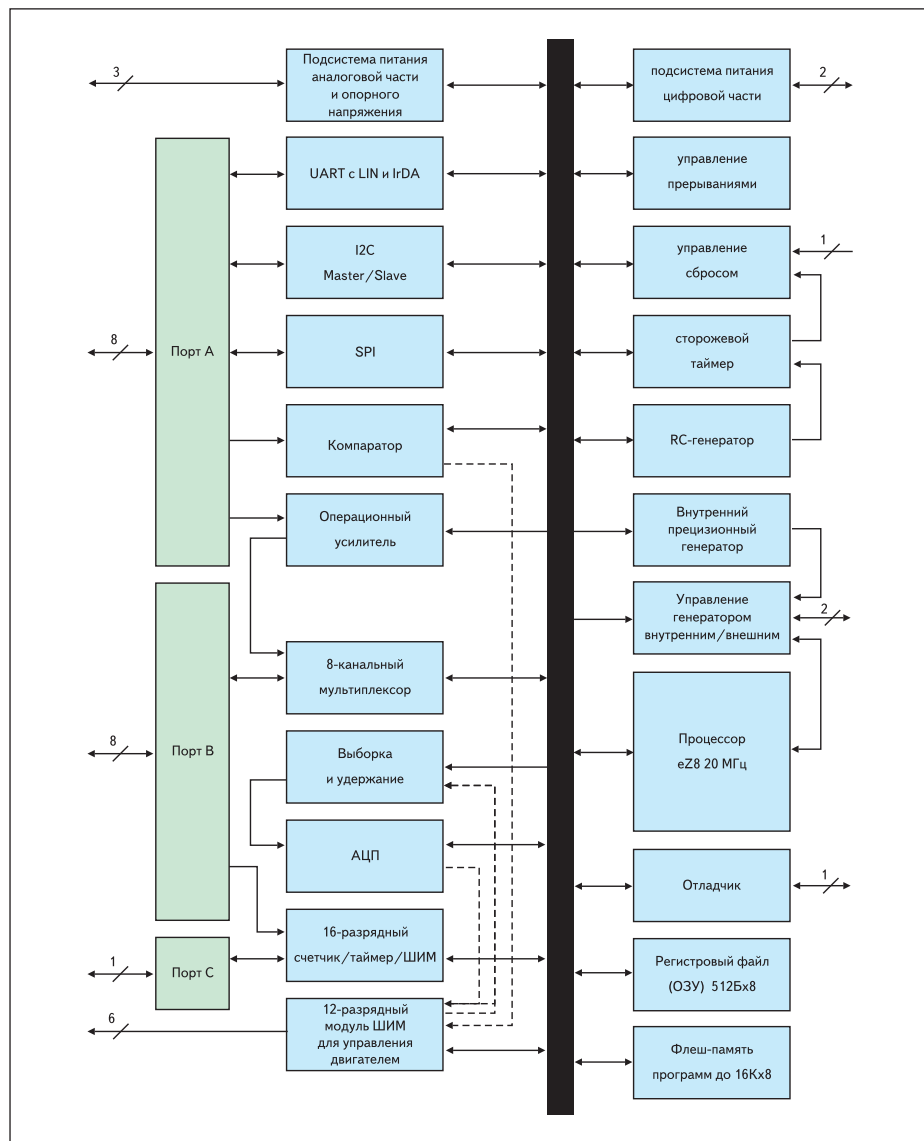


Рис. 3. Структурная схема микроконтроллеров ZiLOG семейства Z8FMC16100 для управления одно- и многофазными двигателями

цесс разработки РЭА и повышает общую надежность системы за счет снижения числа элементов на плате.

Дополнительную информацию об управлении электродвигателями можно найти по адресу [www.zilog.com/z8encoremc/](http://www.zilog.com/z8encoremc/).