

Интеллектуальная интеграция: совмещение аналоговых компонентов с ядрами микроконтроллера ARM для преодоления трудностей при проектировании встраиваемых систем

Жесткие требования к уменьшению стоимости, потребляемой мощности и габаритов, добавление новых функциональных возможностей, а также повышение точности и эффективности создают значительные трудности при проектировании встраиваемых систем будущих поколений. Один из способов решения этих проблем, недавно ставший доступным для разработчиков, заключается в интеллектуальной интеграции аналоговых компонентов с ядрами микроконтроллеров ARM. Различие между этим подходом и традиционной аналоговой интеграцией состоит в повышении достижимого уровня характеристик и оптимизации решения с учетом требований конкретной системы. Для каждой отдельной области применения имеются свои критерии оптимизации. Интеграция большого количества дискретных компонентов способствует выполнению комплекса критериев одновременно, что крайне желательно. Логично, что потенциально при совмещении компонентов можно решить многие из перечисленных задач, стоящих при проектировании встраиваемых систем. Однако простое размещение нескольких дискретных компонентов и процессора в одном корпусе не является ответом на вопрос. Настоящее решение гораздо сложнее и требует интеллектуальной интеграции.

Колин ДАГГАН (Colin DUGGAN)
Дэнис ЛАБРЕК (Denis LABRECQUE)

Интеллектуальная интеграция аналоговых и цифровых блоков

Интеллектуальная интеграция высококачественных аналоговых компонентов (усилителей, АЦП, ЦАП, источников опорного напряжения, датчиков температуры, беспроводных приемопередатчиков и т. д.) и 32-разрядных процессорных ядер компании ARM с подходящим набором цифровых периферийных модулей способна достигать целей, которые невозможно достичь при помощи дискретных решений. Для создания оптимального процессора обработки смешанных сигналов необходимо хорошо понимать систему в целом. Должны быть также доступны подходящие блоки интеллектуальной собственности (IP-модули), а также следует провести экспертизу в области их практического применения. Излишне говорить о том, что разработчики микросхем и системные инженеры, определя-

ющие набор функциональных возможностей подобных интегрированных устройств, должны отлично понимать требования к конечному приложению. Этот фактор критичен. При этом подразумевается четкое представление о требованиях на уровне печатной платы: форм-фактор, диапазоны рабочих температур, аспекты технологии изготовления, потребление мощности, стоимость, необходимые дополнительные компоненты сигнальной цепочки и пр. На рис. 1 представлены аналоговые и цифровые IP-модули, которые часто применяются в устройствах с интеллектуальной интеграцией.

Доступность подходящих IP-модулей является хорошей отправной точкой на пути к удовлетворению требований системы. Наличие такой отправной точки крайне важно для поддержания короткого цикла проектирования процессора обработки смешанных сигналов. Еще более важным фактором

является упрощение приобретения/создания и реализации самого IP-модуля производителем полупроводниковых компонентов. Этот IP-модуль затем необходимо модифицировать таким образом, чтобы он соответствовал двум частным требованиям. Первое заключается в максимизации выигрыша на уровне системы за счет оптимизации характеристик и рабочего режима в зависимости от потребностей основного целевого приложения, а второе — в оптимизации совместной работы IP-модуля с другими IP-модулями в составе процессора обработки смешанных сигналов.

И наконец, должна существовать возможность взаимодействия на уровне компаний, что позволит совместить опыт и знания разработчика системы и производителя полупроводниковых компонентов. Это позволило бы получить оптимизированный, уникальный продукт.

Области применения процессоров обработки смешанных сигналов

Есть множество областей, где применение компонента, в котором интегрированы ядро микроконтроллера ARM и высококачественные аналоговые схемы, может давать ощутимые преимущества. К ним относятся измерение температуры и давления, детектирование газов, инверторы для солнечных батарей, управление электрическими двигателями, контроль основных показателей жизнедеятельности, системы контроля в автомобильной промышленности, а также счетчики газа, воды и электричества. Мы рассмотрим две области применения, в которых интеграция оптимизированных, высококачественных аналоговых схем и ядер микроконтроллера ARM обеспечивает значительный выигрыш в стоимости, мощности, габаритах и технических характеристиках:

- Инверторы для фотоэлектрических солнечных панелей. Цели: повышение КПД, снижение общей стоимости компонентов и интеграция интеллектуальных функций для интерфейса с интеллектуальными энергосетями.
- Управление электрическими двигателями. Цели: повышение КПД, снижение затрат и повышение экологичности.

Несмотря на то, что интеллектуально интегрированные компоненты для обработки смешанных сигналов оптимизированы под конкретные конечные приложения, они также могут давать хорошие результаты при решении разнообразных смежных задач с близкими требованиями к функциональным возможностям.

Инверторы фотоэлектрических солнечных панелей

Количество электрогенераторов на основе фотоэлектрических солнечных панелей в последние пять лет ежегодно увеличивается более чем на 50%, однако их доля в общем количестве генерируемой энергии во всем мире по-прежнему очень мала в процентном отношении. В некоторых регионах стоимость электроэнергии, генерируемой солнечными фотоэлектрическими панелями, сравнялась со стоимостью электроэнергии, генерируемой с использованием углеводородного топлива, однако в большинстве стран этого не наблюдается, а ценовое равенство, в общем случае, обуславливается государственным субсидированием.

Для повышения конкурентоспособности фотоэлектрических панелей по сравнению с традиционными источниками энергии, включая природный газ, уголь и нефть, требуется уменьшить их стоимость. Наилучший способ достичь этого заключается в одновременном повышении КПД и уменьшении количества/стоимости компонентов системы. Стоимость и КПД самих панелей

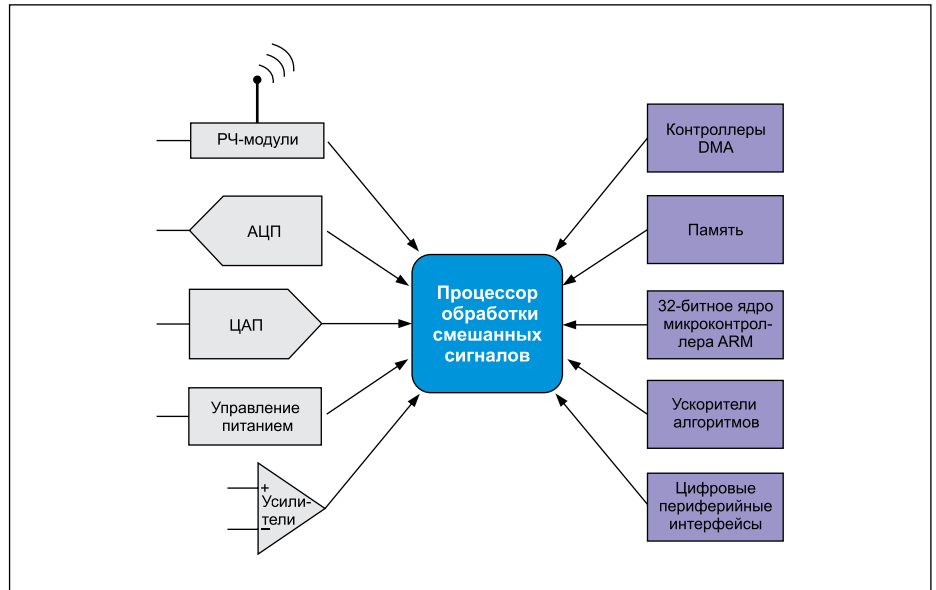


Рис. 1. Сочетание аналоговых и цифровых IP-модулей с оптимизацией с учетом требований конечных приложений

постоянно изменяются в правильном направлении, а новые технологии позволяют добиться прогресса в области инверторов фотоэлектрических панелей, которые обеспечивают интерфейс между солнечной панелью и энергосетью. К таким новым технологиям относятся, например, трехуровневые, пятиуровневые, многоуровневые топологии NPC (neutral point clamped) с высокой частотой коммутации, в которых используются быстродействующие силовые транзисторы на основе карбида кремния (SiC) и нитрида галлия (GaN).

На рис. 2 изображена двухкаскадная система инвертора фотоэлектрической солнечной панели. Солнечные панели представляют собой источник постоянного напряжения, которое для передачи в энергосеть необходимо преобразовать в переменное напряжение. Первый каскад преобразования — это преобразователь постоянного напряжения, который повышает его уровень до значения, соответствующего пиковому напряжению энергосети. Второй каскад — это преобразователь постоянного напряжения в переменное. Область, выделенная на рисунке красным цветом, включает в себя низковольтные компоненты, которые используются для управления. Их объединение в один процессор обработки смешанных сигналов позволяет достичь выигрыша на системном уровне.

Сокращение стоимости происходит за счет интеграции нескольких компонентов в одном устройстве, а также благодаря повышенному КПД этих новых топологий с высокой частотой коммутации. В результате обеспечивается уменьшение затрат на развертывание оборудования в пересчете на кВт. Дополнительное сокращение стоимости в новых топологиях, а также снижение общего размера инвертора достигаются благодаря

применению катушек индуктивности меньших габаритов.

Для этого хорошо подходят быстродействующие аналого-цифровые преобразователи (АЦП) последовательного приближения, которые обеспечивают достаточный уровень точности (эффективная разрядность — 13 бит), малое время преобразования для поддержки высокоскоростных контуров управления, а также возможность мультиплексирования входных каналов и короткую задержку (<1 мкс). В рассматриваемой системе имеется два АЦП, что позволяет осуществлять одновременную выборку значений тока и напряжения сети. Для контроля множества точек в системе АЦП должны поддерживать работу с большим количеством входных каналов — до 24 в некоторых случаях. С учетом этого требования была разработана специальная схема мультиплексирования и буферизации входных сигналов АЦП.

Для поддержки нескольких каскадов преобразования и высокоскоростных контуров управления необходимо процессорное ядро с подходящей архитектурой и высокой рабочей частотой. Процессорное ядро ARM Cortex-M4 работает с тактовой частотой более 200 МГц во всем допустимом диапазоне температур.

Фильтры SINC, показанные на рис. 2, используются совместно с внешними АЦП с гальванической развязкой. Их применение позволяет избежать характерных для трансформаторов эффектов насыщения при измерении переменного тока сети, а также индукцию постоянного тока. Традиционный метод заключается в применении датчика тока на основе эффекта Холла, однако они обладают существенно большей стоимостью по сравнению с АЦП с гальванической развязкой. Чтобы избежать увеличения числа

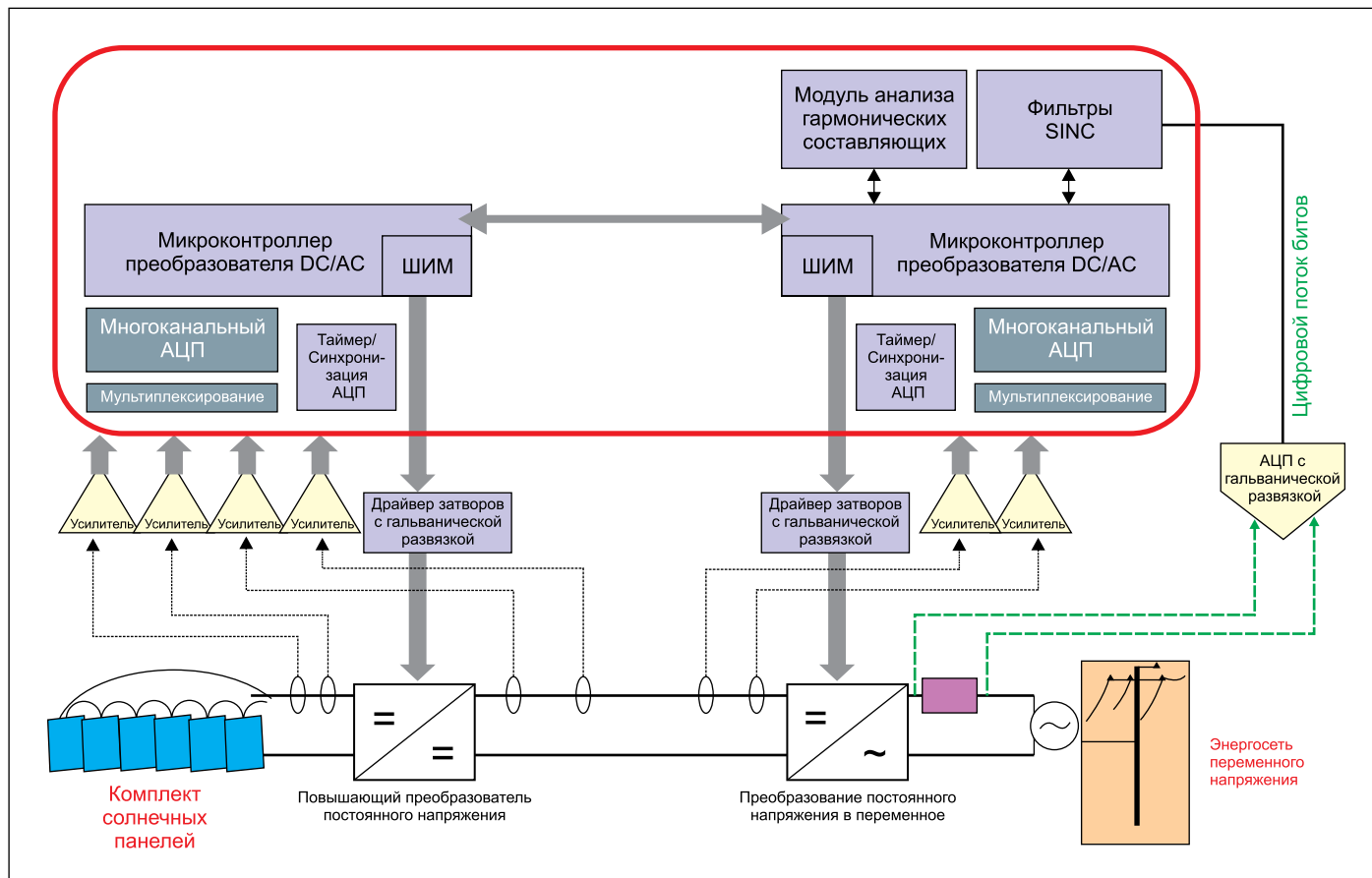


Рис. 2. Блок-схема двухкаскадного инвертора фотоэлектрической солнечной панели.
(Красным цветом выделены элементы, которые могут быть совмещены путем интеллектуальной интеграции)

необходимых компонентов, поступают следующим образом. Фильтры SINC реализуются не при помощи программируемой логики, а интегрированы в процессоре обработки смешанных сигналов. Комбинация фильтра SINC и АЦП с гальванической развязкой также обладает повышенной линейностью по сравнению с датчиками на основе эффекта Холла, что позволяет уменьшить гармонические искажения.

По мере увеличения «интеллекта» энергосети от инверторов фотоэлектрических солнечных панелей также потребуются больший интеллект. Это позволит эффективнее справляться с дисбалансом нагрузки, возникающим, когда множество источников генерируют больше энергии, чем необходимо в отдельно взятый момент времени. Вследствие этого возрастает внимание к интеллектуальной начинке систем фотоэлектрических панелей, интегрируемых в энергосеть, для стабилизации которой отдельные источники должны взаимодействовать друг с другом. Для такой интеграции следует расширить возможности измерения, управления и анализа качества электроэнергии. Помогает решать такую задачу модуль анализа гармонических составляющих, который разработан специально для контроля качества электроэнергии, отдаваемой в энергосеть. Для этих

целей необходимо вычисление целого ряда параметров, включая уровень гармонических искажений, мощность, среднеквадратическое напряжение, среднеквадратический ток, реактивную мощность (VAR), полную мощность (VA), а также коэффициентов мощности. Специализированный модуль, выполняющий подобные вычисления, способен обеспечить очень высокую точность, высвобождая вычислительные мощности ядра ARM Cortex-M4.

Применение процессоров обработки смешанных сигналов, спроектированных с учетом требований к инверторам солнечных панелей, способно дать значительные преимущества на системном уровне. Понимание тенденций рынка и глубокое знание принципов работы систем способствуют созданию продуктов с интеллектуальной интеграцией, которые обеспечивают сокращение числа компонентов при реализации топологий следующих поколений и добавление дополнительных возможностей для поддержки интерфейса с интеллектуальной энергосетью.

Управление электрическими двигателями

Наряду с повышенным вниманием к экологичным способам генерации электроэнер-

гии возрастает и потребность в увеличении эффективности ее использования. С учетом того, что 40% используемого в мире электричества приходится на электрические двигатели, возникает вопрос: «Как сделать подобные системы более «экологичными»?» Ответ заключается в повышении их КПД, что позволит сократить количество используемой электроэнергии. Результат от широкого внедрения более эффективных двигателей измеряется числами с большим количеством нулей: экономия электричества в сотнях миллиардов кВт·ч и сокращение выбросов CO₂ в атмосферу на миллионы тонн в год.

Существует два фактора, побуждающих к применению более эффективных электродвигателей. Первый — это государственное законодательство в области защиты окружающей среды. Европейским Союзом уже приняты постановления, требующие использования более эффективных двигателей, и число их будет только расти. Другой ключевой фактор — это сокращение затрат в процессе эксплуатации. В общих затратах на систему управления электродвигателем стоимость материалов составляет приблизительно 15%, а 85% — это стоимость используемой для ее работы электроэнергии. Поэтому повышение КПД позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты.

Увеличения КПД можно достичь путем применения специальных схем управления, выбором определенных типов двигателей, добавлением привода с регулируемой скоростью (adjustable speed drive, ASD) в системах, где такой тип управления не реализован, а также применением алгоритмов управления, оптимизирующих КПД. Что касается специальных архитектур и определенных типов двигателей, то в последнее время широкое распространение получили электродвигатели с постоянным магнитом. КПД таких двигателей может достигать 96%, что превышает требования высшего европейского стандарта энергоэффективности (IE3).

Процессоры обработки смешанных сигналов с интеллектуальной интеграцией способны дать выигрыш при работе ASD и реализации алгоритмов управления. Экономичное решение, включающее в себя подсистему центрального процессора (ЦП) на базе ядра ARM, генераторы ШИМ, АЦП и средства мультиплексирования, в конечном счете трансформируется в снижение общего числа компонентов в системе.

Усовершенствование алгоритмов управления может быть достигнуто путем использования прецизионных АЦП с коротким временем преобразования. Применение АЦП с эффективной разрядностью более 12 бит повышает потенциальную точность управления токами фаз. В то же время улучшать точность измерения путем увеличения задержки преобразования в этой задаче нельзя. То есть для повышения отношения сигнал/шум не следует применять усреднение результатов АЦП или работу в режиме с избыточной дискретизацией. Переменные необходимо измерять со скоростью, равной скорости движения конечного механизма (например, автоматического манипулятора). Короткое время преобразования в комбинации с высоким быстродействием ядра микроконтроллера ARM позволяет повысить скорость работы контура управления, при этом сокращается время установления и улучшается его переходный оклик. Это, в свою очередь, дает возможность повысить пропускную способность и эффективность производственного участка, обеспечивая снижение себестоимости продукции.

Как и в случае с фотоэлектрическими солнечными панелями, для управления электрическими двигателями хорошо подходят АЦП последовательного приближения. В данном случае необходимо, чтобы АЦП обладал высокой точностью и соответствовал требованиям системы без применения усреднения или режима избыточной дискретизации.

При проектировании различных IP-модулей, изображенных на рис. 3, уделялось особое внимание обеспечению хороших характеристик при их совместной работе. Результирующая измерительная система должна обладать повышенным быстродействием, быть способна собирать набор син-

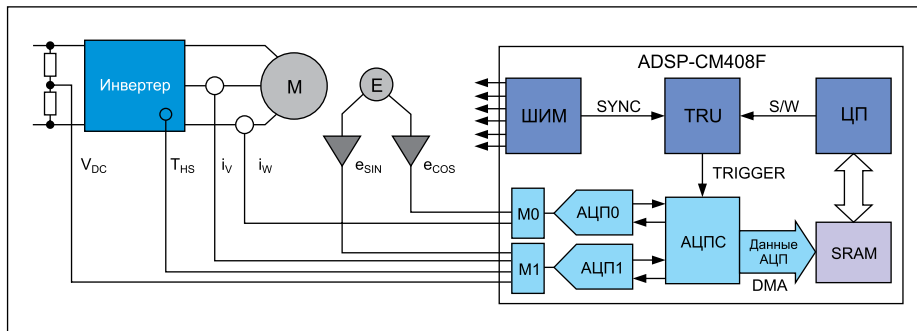


Рис. 3. Блок-схема системы управления электрическим двигателем

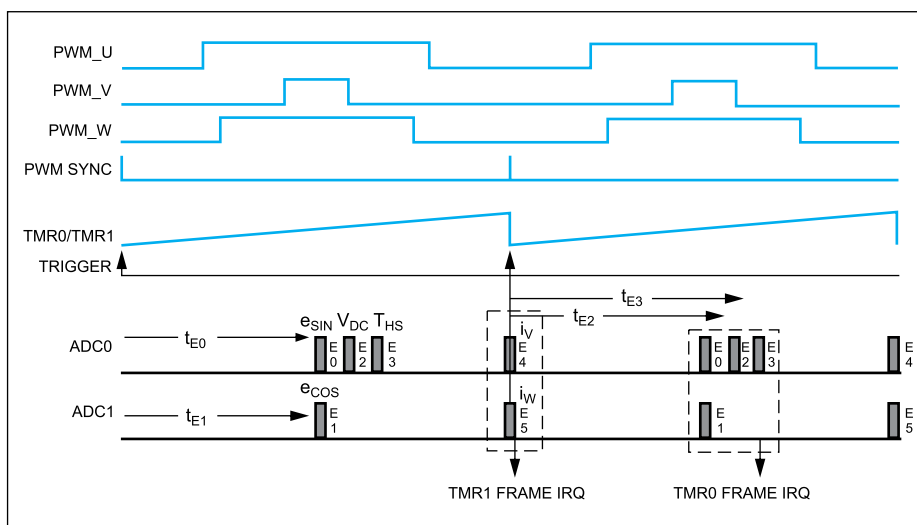


Рис. 4. Временные диаграммы для измерения пяти переменных параметров системы управления электрическим двигателем с использованием ADCC

хронизированных во времени отсчетов и эффективно пересылать их в память процессора ARM. При управлении электрическими двигателями выборку отсчетов фазных токов обмотки (phase-winding-currents) и других измеряемых параметров можно синхронизировать с конкретными моментами периода ШИМ. Полученные данные затем можно эффективно передать в память микропроцессора для последующей обработки без непроизводительных издержек. Для решения этой задачи требуется слаженная совместная работа пяти различных блоков процессора обработки смешанных сигналов.

Цикл начинается с посылки импульса ШИМ в модуль маршрутизации сигналов запуска (trigger routing unit, TRU), назначение которого состоит в соединении выходов сигнала запуска ведущих устройств с входами сигнала запуска ведомых устройств. В данном случае ведущим устройством является генератор ШИМ, а ведомым — таймер контроллера АЦП (ADC controller, ADCC). ADCC должен поддерживать большое количество прерываний и использует таймеры (TMR0/TMR1) для отсчета интервала времени между поступлением сигнала от генератора ШИМ и активацией отдельно взятого прерывания АЦП. Когда значение таймера

совпадает с моментом инициации конкретного прерывания, подается сигнал управления мультиплексором входных каналов АЦП (M0 и M1) и производится выбор каналов АЦП 0 и 1 (ADC0 и ADC1). Затем на АЦП подается сигнал запуска преобразования. Результаты преобразования пересылаются из АЦП в ADCC, а оттуда при помощи контроллера прямого доступа к памяти (DMA) в статическую память (SRAM) микроконтроллера.

На рис. 4 изображены временные соотношения между импульсами генераторов ШИМ, сигналом синхронизации ШИМ и прерываниями АЦП, которые генерируются модулем ADCC.

Для проектирования процессора обработки смешанных сигналов, ориентированного на управление электрическими двигателями, изначально существовала хорошая «отправная точка» в виде готовых IP-модулей генераторов ШИМ, модуля TRU, схем мультиплексирования и буферизации, АЦП последовательного приближения, а также контроллера DMA. Однако достижение уровня координации, необходимого для прецизионной синхронизации моментов выборки АЦП внутри периода сигнала ШИМ, потребовало определенной модификации этих блоков.

Потребность в блоке ADCC обусловлена тем, что остальные IP-блоки интегрированы на одном кристалле и их совместная работа должна быть координирована. Модуль ADCC позволяет извлекать максимальную выгоду от высокого быстродействия двух АЦП, которые имеют время преобразования, равное 380 нс.

Заключение

Продвинутая базовая технология является лишь «отправной точкой»: разработчики кристаллов должны хорошо понимать принципы работы пользовательских систем и обладать большим опытом в области проектирования, практического применения и оптимизации прецизионных аналоговых и цифровых компонентов. Кроме того, про-

изводители полупроводниковых компонентов должны иметь возможность непосредственно взаимодействовать и сотрудничать с разработчиками систем и быть заинтересованы в этом при создании новых продуктов. Только после того как подходящие IP-модули выбраны, оптимизированы с учетом конечного приложения и модифицированы для хорошей совместной работы, можно приступать к их интеграции. Примерами подобных продуктов с интеллектуальной интеграцией являются компоненты компании Analog Devices: ADuCM360, полностью интегрированная 24-разрядная система сбора данных с быстродействием 3,9 kSPS, а также процессоры обработки смешанных сигналов ADSP-CM403F и ADSP-CM408F, в которых интегрированы два прецизионных АЦП и ядро процессора ARM Cortex-M4. ■

Литература

1. Murnane M. Robust Completely Isolated Current Sense Circuit with Isolated Power Supply for Solar Photovoltaic Converters. CN-0280 Circuit Note — www.analog.com
2. Murnane M. Isolation Technology Helps Integrate Solar Photovoltaic Systems onto the Smart Grid // Analog Dialogue. 46–09. Sept. 2012.
3. O'Sullivan D., Sorensen J., Murray A. Motor Control Feedback Sample Timing Using the ADSP-CM408 ADC Controller. AN-1267 Application Note — www.analog.com
4. Melfi M. J., Evon S., McElveen R. Induction Versus Permanent Magnet Motors // Industry Applications Magazine, IEEE. Vol. 15. Issue 6. Nov.-Dec. 2009.
5. ADSP-CM402F/CM403F/CM407F/CM408F Mixed-Signal Control Processor with ARM Cortex-M4. Data Sheet. Sept. 2013 — www.analog.com