

Энзус Мюррей

СОВМЕЩЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВУМЯ ДВИГАТЕЛЯМИ ОБЛЕГЧАЕТ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИБОРОВ



Ранее векторное управление давало возможность применять компактные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов. Теперь, благодаря управлению двумя двигателями с помощью одного контроллера, можно упростить электронные блоки электроприводов и уменьшить их себестоимость. О том, как это сделать на практике, рассказано в материале руководителя направления *iMOTION* группы технологий энергосберегающих технологий компании *International Rectifier*.

В наше время для повышения эффективности использования энергии и улучшения технических характеристик устройств, производители бытовых электроприборов принимают на вооружение синхронные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов (ПМ) с регулируемой скоростью. Изготовители промышленных приводов давно оценили высокий КПД и удельную мощность двигателей с ПМ, но только последние достижения в области электронного управления позволили обеспечить их широкое применение, в

том числе и производителями бытовой техники.

Векторное управление (ВУ) с использованием только обратной связи по постоянному току, обеспечиваемой единственным шунтом, снижает стоимость системы, делая ее привлекательной для применения в приводах электроприборов. Синусоидальное управление двигателем обеспечивает плавную регулировку момента вращения, что способствует снижению акустического шума. Это позволяет применять ВУ для вентиляторов, насосов, стиральных машин и су-

шильных аппаратов, где низкий шум и высокий КПД являются важными параметрами. Некоторые приборы, такие как кондиционеры и моечно-сушильные агрегаты, для оптимизации производительности должны управлять скоростью двух двигателей независимо. Традиционно в таких системах для управления двигателями применяются отдельные процессоры, синхронизируемые по последовательному интерфейсу.

С другой стороны, оборудование и систему в целом можно значительно упростить, если один блок управления будет контролировать оба двигателя. Недавно анонсированная платформа управления приборами одновременно управляет двумя двигателями переменного тока с ПМ, используя только обратную связь по постоянному току. В ней применяется

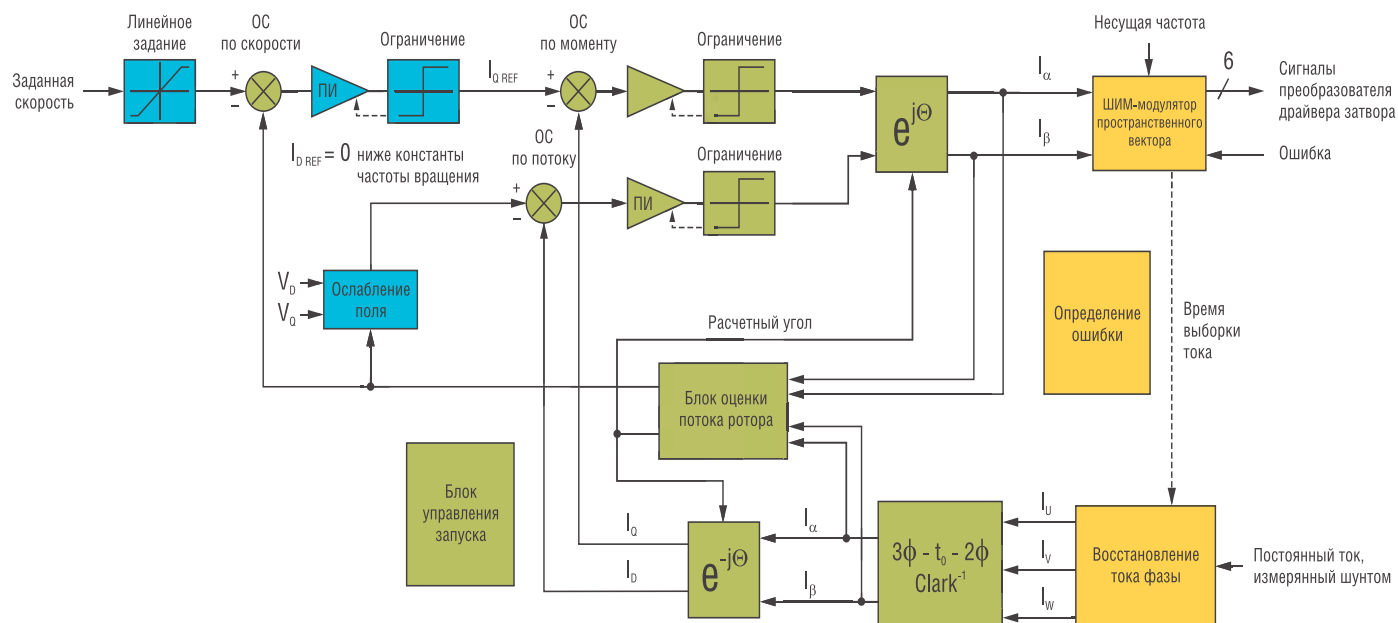


Рис. 1. Блок-схема системы определения углового положения ротора

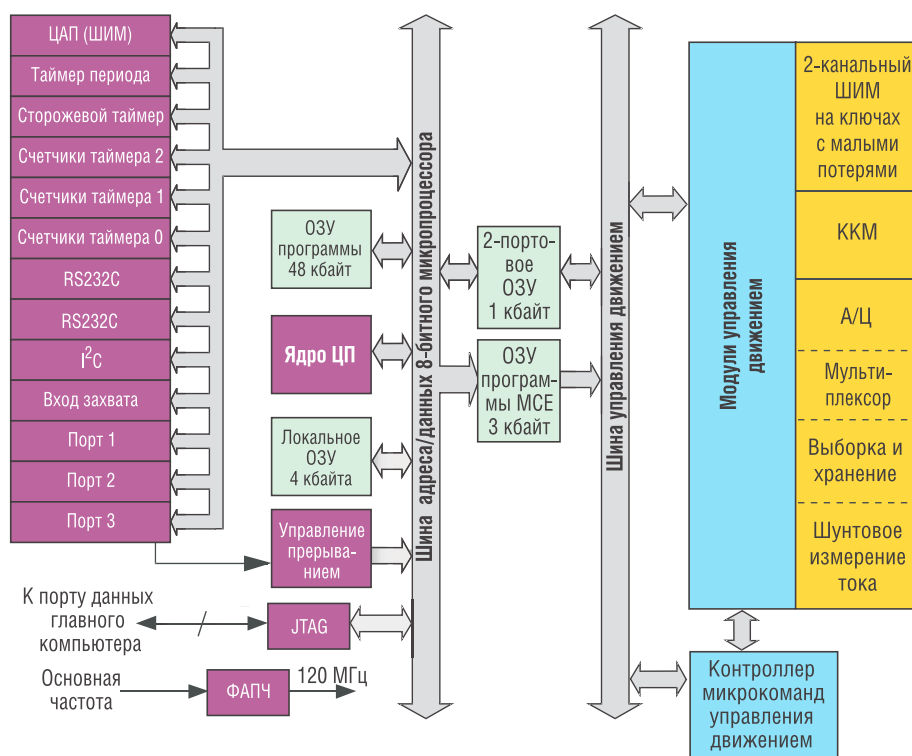


Рис. 2. Микросхема совмещенного управления двумя двигателями, включающая 8-разрядный микроконтроллер

ИС, реализующая алгоритм ВУ, что сводит к минимуму время на проектирование и делает возможным быстрое освоение таких приводов производителями бытовых электроприборов.

Управление двигателями без использования датчиков

В системах промышленных приводов с измерением положения ротора датчиками положения или вращающимися трансформаторами (резольверами), ВУ является широко распространенным методом. Чтобы достичь максимального момента вращения, алгоритм токового управления с обратной связью по скорости использует положение угла ротора для синхронизации токов двигателя с потоком ротора. Усовершенствованные алгоритмы оценки положения ротора [1] (рис.1) в системах управления приборами исключают необходимость применения прецизионных датчиков положения.

Алгоритм оценки определяет положение потока ротора с ПМ, основываясь на модели двигателя, используя значения напряжения и тока обмотки. Применение такого метода целесообразно, так

как магниты ротора однозначно определяют положение потока. Ток обмотки измеряется в звене постоянного тока. Значения тока фиксируются соответствующей схемой аналого-цифрового преобразования с заданным интервалом времени, основываясь на знании состояния преобразователя.

Блок-диаграмма системы на рис. 1 показывает, что входными сигналами для модели потока ротора, на основе которой вычисляются угловое положение ротора и скорость, являются значения тока и выходные напряжения обмоток привода. Контуры управления потоком и моментом максимизируют момент в нижнем диапазоне скоростей, а также обеспечивают высокое быстродействие посредством ослабления поля.

В первом поколении электроприводов с ВУ эти функции обеспечивались набором аналоговых и цифровых компонентов. В наши дни в большинстве таких систем используются высокоскоростные сигнальные или RISC-процессоры, которые реализуют данный алгоритм на одном кристалле. Переход к программной реализации обеспечил преимущество в гиб-

кости и аппаратной простоте, но, с другой стороны, поставил перед проектировщиками систем электроприводов важную задачу разработки программного обеспечения.

Генерация программного кода рассматриваемого алгоритма управления осуществляется на нескольких этапах. Сначала системный инженер переводит описание схемы управления в набор дифференциальных уравнений, отображающих каждую из функций управления. На следующем этапе инженер-программист переводит дифференциальные уравнения в код языка Си, который определяет инструкции, выполняемые процессором. Данный процесс подвержен ошибкам, что увеличивает время разработки и, если код недостаточно структурирован и документирован, длительность отладки программного обеспечения.

Поставщики сигнальных и RISC-процессоров обеспечивают поддержку производителей приводов, предоставляя полный комплект программ ВУ, что помогает сократить время проектирования. Это стало возможным благодаря достаточно развитой технологии векторного управления, и поэтому структура алгоритма четко определена. Тем не менее, особых улучшений в реализации программного обеспечения в данный момент нет, так как больше нет необходимости в гибкости структуры алгоритма.

Проектировщики систем управления могут реализовывать алгоритм ВУ аппаратно, применяя цифровые заказные схемы и программируемые вентиляционные матрицы.

На первом этапе процесс проектирования не очень отличается от программной реализации. Вместо использования кода на языке Си, разработчик аппаратуры переводит дифференциальные уравнения в код языка описания аппаратуры Verilog, определяющий связи между логическими элементами.

Для обеспечения гибкости такой проект определяет и хранит параметры управления системой в управляющих регистрах, но структура алгоритма реализуется аппаратно в цифровых заказных интегральных схемах. Такой подход распространен в системах переда-

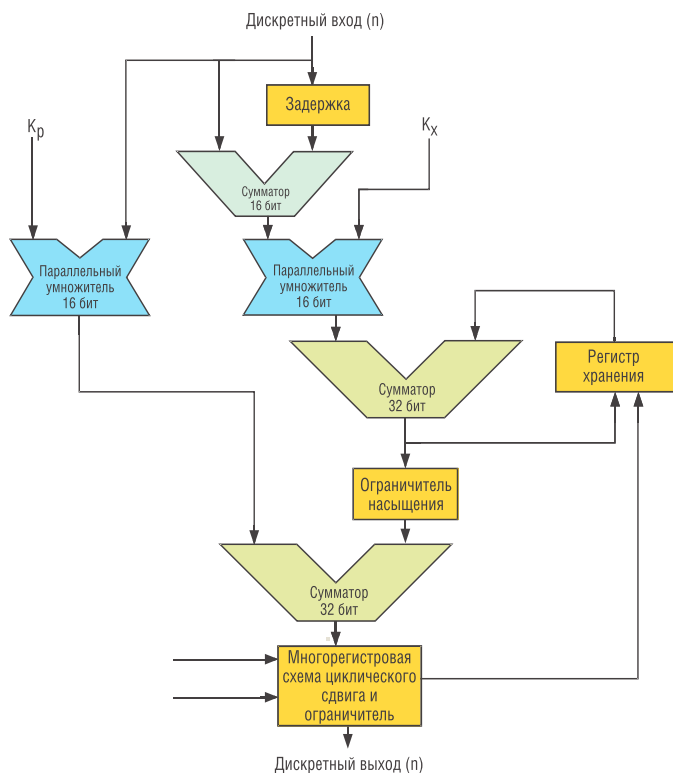


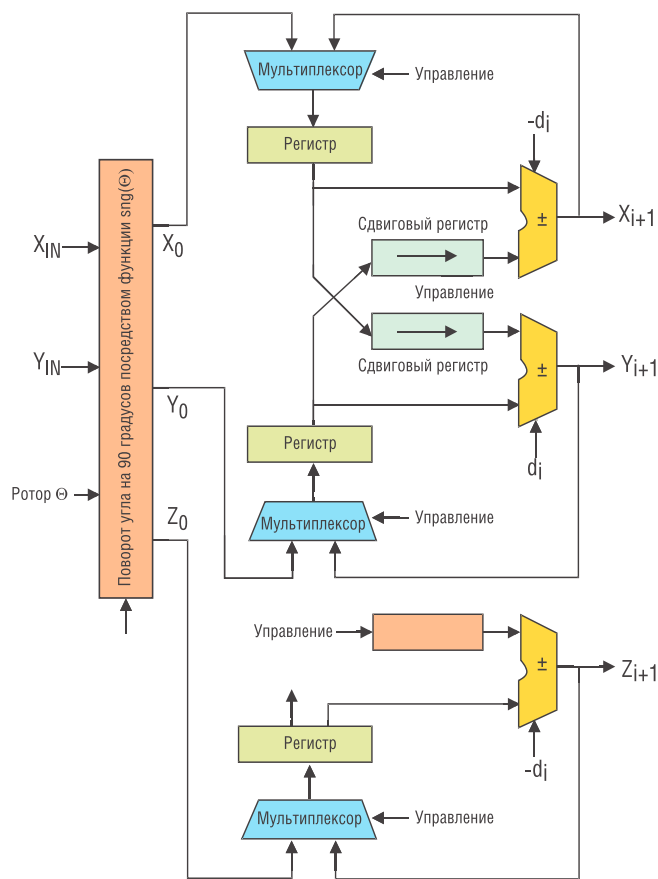
Рис. 3. Программная реализация ПИ-компенсатора

чи данных, где требуется высокая скорость обработки информации. Существует целый ряд заказных ИС управления двигателями, реализующих алгоритм ВУ и другие функции управления движением. Преимущество такого решения не только в увеличении скорости выполнения, но также в значительном снижении времени проектирования системы.

Альтернативный метод, который обеспечивает процессор управления движением МСЕ (motion-control engine), объединяет высокую производительность специализированных схем и гибкость программируемого процессора. [2] Этот метод особенно эффективен, так как алгоритм ВУ использует ряд стандартных функций, встречающихся многократно в описании схем управления, таких как усилители ошибок, пропорционально-интегральные (ПИ) компенсаторы и вращатели вектора. МСЕ состоит из библиотеки функций аппаратного управления

двигателем, которые контроллер последовательности команд эффективно соединяет посредством назначения адресов памяти ввода-вывода для соответствующих периферийных систем.

Инженеру в области систем управления нет необходимости переводить описание схемы управления в набор дифференциальных уравнений, потому что в библиотеке МСЕ имеется полностью оптимизированная реализация заказных схем. Вместо этого он использует средства редактирования схем, чтобы графически обозначить описание схемы управления, указывая связи стандартных функций библиотеки управления движением. Графический компилятор переводит описание схемы управления в команды контроллера последовательности МСЕ, который устанавливает связи между функциями аппаратного управления. Компилятор назначает адрес в области ОЗУ, выделенной МСЕ для хранения переменных пара-



Примечание: функция sng возвращает цифровое значение, определяемое полярностью + или -. Ноль считается плюсом

Рис. 4. Программная реализация алгоритма CORDIC

метров алгоритма, определяемых узлами управления. Команды контроллера последовательности МСЕ определяют каждый блок функции управления наряду с адресами памяти для входных и выходных переменных. Так как МСЕ хранит эти команды в памяти, он обладает такой же гибкостью, как и сигнальный или RISC-процессор.

Частота коммутации ШИМ определяет время выполнения алгоритма, частоту выборки АЦП и скорость обновления выходного напряжения. Библиотека компонентов МСЕ содержит сведения о модуляторе пространственного вектора и входах АЦП, но эти элементы появляются в схеме управления только однажды, потому что они соответствуют физическим выводам входа и выхода.

С другой стороны, такие управляющие функции библиотеки МСЕ, как вращатель вектора или ПИ-компенсатор, могут применяться в алгоритме управления многократно, так как МСЕ хранит

их входные и выходные параметры в памяти данных. Каждая реализация функции библиотеки занимает пространство памяти данных, размещая в ней переменные и команды МСЕ, поэтому размер памяти ограничивает сложность алгоритма. Каждая реализация функции требует определенного количества тактов системы при каждом ее выполнении, поэтому общее количество тактов, потребляемое контуром управления, должно быть меньше, чем количество тактов в периоде ШИМ.

Вычислитель угла ротора и контуры управления по току занимают около 1400 тактов задающего генератора системы, что соответствует циклу 11 мкс при максимальной частоте генератора 128 МГц. В данном случае допустимо управлять двумя двигателями одновременно с периодом ШИМ 50 мкс, что соответствует частоте коммутации 20 кГц. Конечно, чтобы управлять двумя двигателями, ИС должна содержать два ШИМ-модулятора пространственного вектора и дополнительный аналоговый вход для выборки тока еще одного контура обратной связи по постоянному току. На рис. 2 показана ИС управления двумя двигателями со встроенным

МСЕ и ядро блока микропрограммного управления кодом прикладного уровня. Преимущество такого решения в том, что оно отделяет выполнение медленных системных функций микроконтроллера от исполнения процессором МСЕ высокоскоростных алгоритмов управления двигателем.

Функции библиотеки МСЕ

Ключевым фактором в обеспечении высокой скорости выполнения управляющего алгоритма является эффективность реализации функций библиотеки МСЕ. Два важных элемента управления обратной связью – ПИ-компенсатор и блок вращения вектора – служат примером функций библиотеки. Чтобы оптимизировать полезную площадь кристалла, а также повысить эффективность использования периода тактовых импульсов без ухудшения надежности и безотказности, требуется реализация на заказных ИС.

Реализация популярного ПИ-компенсатора (рис. 3) на заказных ИС основывается на передаточной функции в непрерывном временном интервале:

$$G_{PI}(s) = K_p + \frac{K_I}{s}$$

Преобразование данного выражения для дискретной системы отсчета приводит к системе дифференциальных уравнений, которые определяют реализацию специализированных ИС:

$$\begin{aligned} P(n) &= K_p \times \text{Вход}(n) \\ I(n) &= I(n-1) + K_I \times (\text{Вход}(n) + \text{Вход}(n-1)) \\ \text{Выход}(n) &= P(n) + I(n) \end{aligned}$$

Сумматор интегрального элемента имеет 32-разрядное разрешение, обеспечивающее требуемую точность обработки низкоуровневых входных сигналов, но на выходе результат масштабируется в 16-разрядную переменную. Блоки защиты от переполнения предотвращают насыщение интегратора, когда сигнал на выходе достигает физических ограничений системы.

Блок вращения вектора является функцией двумерной матрицы, которая преобразует напряжения между вращающейся и стационарными системами отсчета. Правое вращение имеет синусоидальную и косинусоидальную составляющие:

$$\text{Вращение прав.}(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

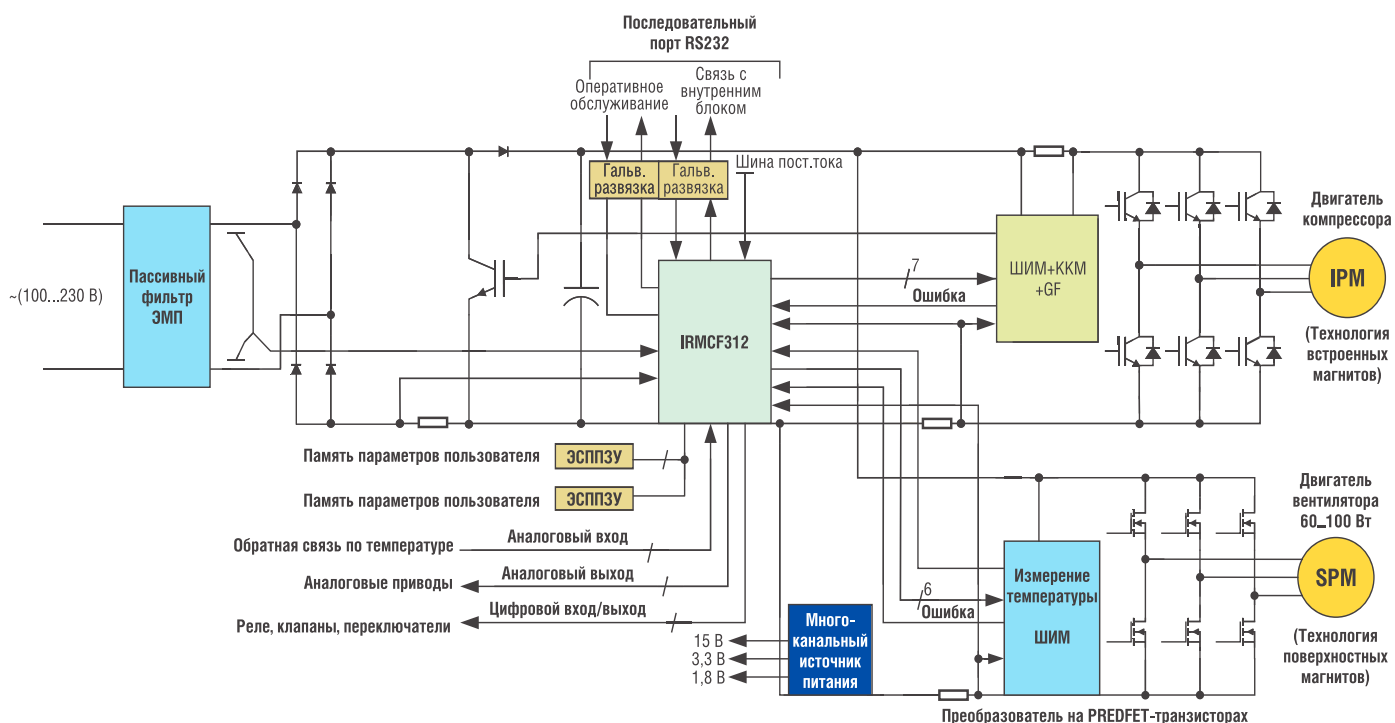


Рис. 5. Практическая реализация управления двумя двигателями с помощью одной микросхемы

Различные тригонометрические тождества могут упростить расчеты элементов матрицы, сведя их к решению простой синусоидальной функции в диапазоне от 0 до 90 градусов. Тем не менее, вычисление этого элемента будет сильно зависеть от аппаратной реализации. В некоторых решениях на микроконтроллерах отсутствие функции быстрого перемножения вынуждает разработчиков программного обеспечения использовать простые таблицы соответствия. В случае применения сигнальных или RISC-процессоров, реализующих однотактную команду умножения, синусоидальная функция вычисляется посредством разложения в ряд Тейлора.

Функция вращения вектора, известная как алгоритм CORDIC, разработана специально для реализации на специализированных ИС. Метод заключается в сведении вычисления к последовательности простых операций сложения, вычитания и сдвига, обеспечивая 12-разрядную точность за 13 тактов (рис. 4). [3] Такой метод вычислений в 10 раз быстрее, чем раз-

ложение в ряд Тейлора на 32-разрядном RISC-процессоре.


Упрощение управления двигателем

Несмотря на то, что возможно использование множества конфигураций, рис. 5 демонстрирует выгоду, которая возможна при управлении двухдвигательной системой с помощью одиночной ИС управления. Кроме избавления от ненужной избыточной мощности еще одной ИС, предназначенной для управления вторым двигателем, возможно сложное согласование между двумя двигателями. Например, в случае неисправности одного двигателя, в частности, короткого замыкания или блокировки, второй двигатель мог бы быть почти мгновенно обесточен системой защиты, которая предотвратила бы задержки, связанные с интерфейсом связи с централизованной системой управления.

Другой пример: для оптимизации работы систем кондиционирования скорости двигателя компрессора и вентилятора испарителя

должны быть согласованы. Система управления задает скорости двигателей посредством прямой записи в регистры МСЭ, не прибегая к сложному взаимодействию между множеством ИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Murray, Aengus, «Sensorless Motor Control Simplifies Washer Drives,» Power Electronics Technology, June 2006, pp. 14-16, 18, 20-21.
2. Takahashi, Toshio, «Motion Control Engine for Advanced Motion Control Application – A New Architecture Microcontroller Proposal».
3. Andranka, R., «A Survey of CORDIC Algorithms for FPGA Based Computers», proceedings of ACM/SIGDA 6th International Symposium on FPGAs, 1998, Monterey, Calif. 

По вопросам получения технической информации, заказа образцов и поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.
E-mail: power.vesti@compel.ru.

International IR Rectifier Надежные 1200-вольтовые ИС для электроприводов

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ЗАЩИТА



Certified ISO 9001 by



www.compel.ru