

Новая серия отечественных 32-разрядных высокопроизводительных микроконтроллеров семейства 1986 на базе процессорного ядра ARM Cortex-M3

Сергей ШУМИЛИН
shumilin.sergei@ic-design.ru

Российский дизайн-центр компании ЗАО «ПКК Миландр» давно завоевал известность как отечественный разработчик и производитель микросхем для аппаратуры специального назначения. В серийном производстве уже освоены семейство 1886 восьмиразрядных микроконтроллеров с широким набором периферии, микросхемы статической памяти объемом до 1 Мбита, аналоговые приемопередатчики интерфейсов RS 232 и 485, различные радиочастотные микросхемы и микросхемы вторичного питания.

На различных стадиях разработки сейчас находятся еще несколько новых микроконтроллеров семейства 1886, новые микросхемы статической памяти объемом до 32 Мбит и FLASH-памяти объемом до

16 Мбит, новые интерфейсные схемы. Ведется разработка 16-битного целочисленного DSP-процессора, аналога TMS320C54x. Летом 2008 года ЗАО «ПКК Миландр» заключило лицензионное соглашение с компанией ARM

Ltd (Великобритания) о приобретении 32-разрядного нового процессорного ядра ARM Cortex-M3. Сегодня только две компании освоили серийный выпуск микроконтроллеров на базе процессора ARM Cortex-M3 — это

Таблица 1. Сравнительные характеристики семейств

	Stellaris LuminaryMicro	STM32 STMicro-electronics	1986BE ЗАО «ПКК Миландр»
Процессорное ядро	ARM Cortex-M3	ARM Cortex-M3	ARM Cortex-M3
Техпроцесс, мкм	0,25	0,18	0,18
Тактовая частота, МГц	До 50	До 72	До 100*
Память программ, кбайт	До 256	До 512	До 512*
Память ОЗУ, кбайт	До 64	До 64	До 64*
Напряжение питания, В	2,25–2,75 3,0–3,6	2,0–3,6	2,0–3,6
Ток потребления, мА	До 120	До 70	До 100*
Корпус	до 100	до 132	до 108
Рабочая температура, °С	–40...+85	–40...+105	–60...+125*
Внешняя системная шина	Нет	Нет	Да
CAN	Да	Да	Да
USB	Да	Да	Да
USART	Да	Да	Да
SPI	Да	Да	Да
IC	Да	Да	Да
Ethernet	Да	Нет	Нет
АЦП, бит	10	12	12
ЦАП, бит	Нет	Нет	12
Компаратор	Да	Да	Да
ПДП	Да	Да	Да
Таймеры	Да	Да	Да
Год выпуска	2007	2008	2009

* Данные могут уточняться в ходе разработки микросхем

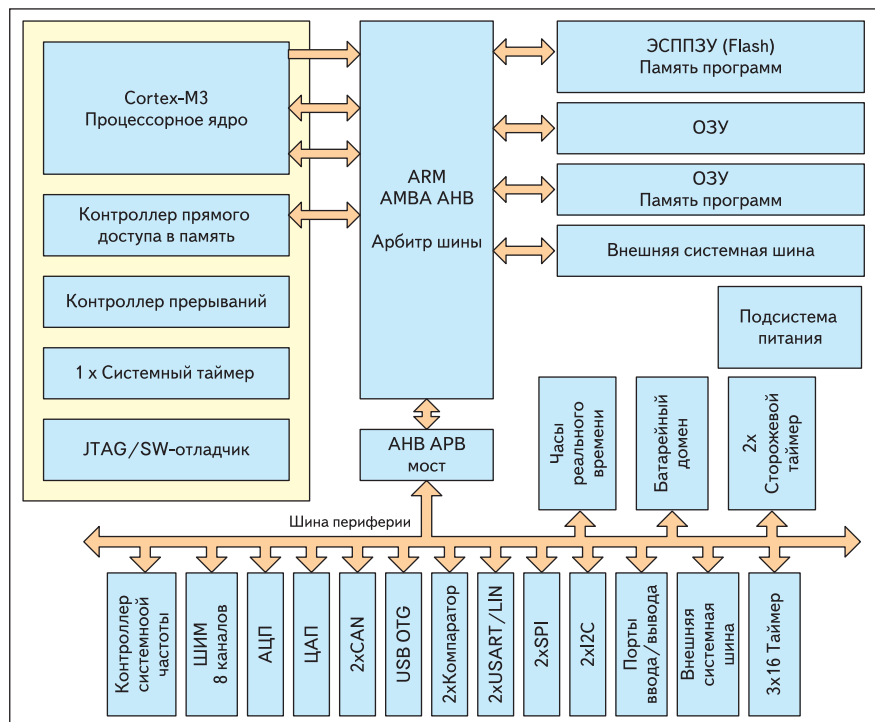


Рис. 1. Структурная схема микроконтроллера 1986BE91

STMicroelectronics (серия микроконтроллеров STM32) и Luminary Micro (серия Stellaris). Сравнительные характеристики данных контроллеров приведены в таблице 1.

Еще две компании объявили о разработке новых продуктов, основанных на данном ядре, — это NXP и Atmel. В 2009 году выйдут первые образцы микроконтроллеров новой серии 1986 на базе процессорного ядра ARM Cortex-M3 российской компании ЗАО «ПКК Миландр» (рис. 1).

Процессорное ядро

В соответствии с лицензионным соглашением с компанией ARM были приобретены исходные коды описания 32-разрядного процессорного ядра ARM Cortex-M3 на языке Verilog. Это более гибкий, но и более дорогостоящий вариант, в отличие от так называемого жесткого IP, то есть готовой топологии под заданный техпроцесс конкретной полупроводниковой фабрики, что предоставляет независимость при выборе места производства кристаллов, а кроме того, позволяет при разработке новой микросхемы реализовать ее полноценный макет на FPGA.

Приобретенное процессорное ядро ARM Cortex-M3 является дальнейшим развитием линейки процессорных ядер для встраиваемых приложений. Предыдущим самым популярным ядром этого класса был процессор ARM7TDMI. Основные отличия между данными архитектурами приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительные характеристики процессорных ядер

Параметр	ARM7TDMI-S	Cortex-M3
Архитектура	ARMv4T (фон Нейман)	ARMv7-M (Гарвард)
Система команд	Thumb/ARM	Thumb/Thumb-2
Конвейер	3 ступени	3 ступени
Прерывания	FIQ/IRQ	NMI + до 240 источников
Время перехода на обработку прерывания, цикла	24–42	12
Энергосберегающие режимы	Нет	Есть
Блок аппаратной защиты памяти	Нет	8 регионов с различными параметрами
Производительность (тест Dhrystone)	0,95 DMIPS/МГц (ARM режим)	1,25 DMIPS/МГц
Потребляемая мощность (технология TSMC 0,18 мкм), мВт/МГц	0,28	0,19
Занимаемая площадь (технология TSMC 0,18 мкм), мм ²	0,62	0,86

В Cortex-M3 в отличие от ARM7TDMI реализован подход к построению системы памяти, более близкий к гарвардской архитектуре (рис. 2), когда коды инструкций и данные извлекаются из разных видов памяти, но при этом сохранено основное свойство фон-неймановской архитектуры, а именно общая адресация всей памяти. Достигнуто это за счет разделения шин, по которым осуществляется выборка инструкций и данных. Это позволяет, находясь в одном адресном пространстве, одновременно по различным

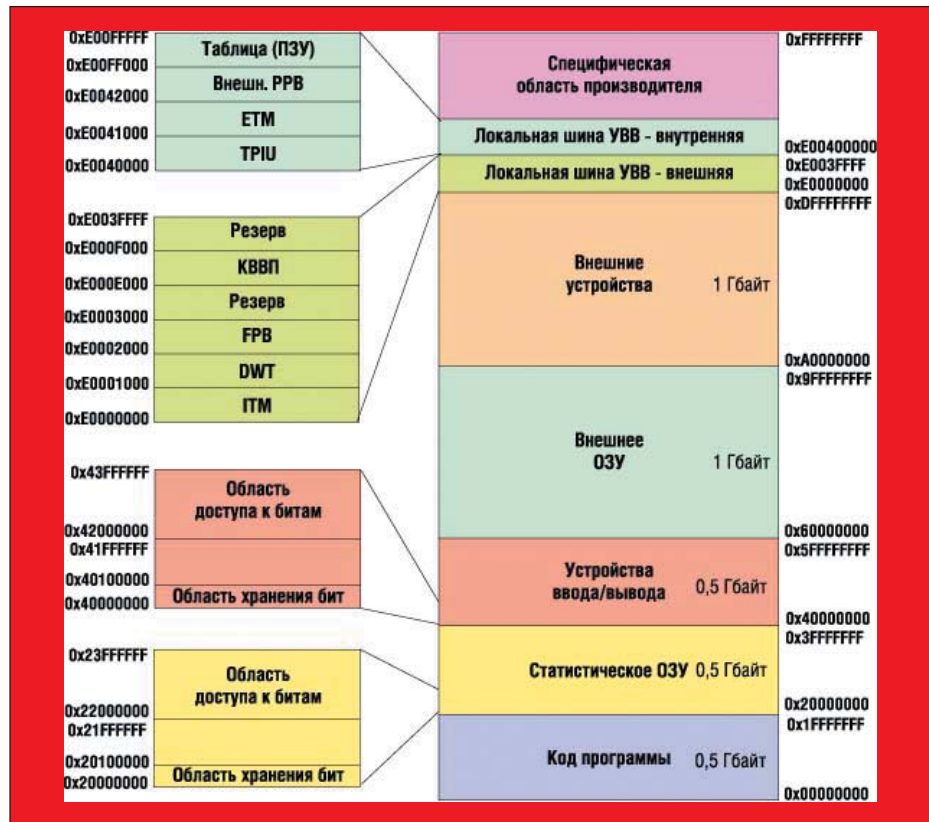


Рис. 2. Адресное пространство процессора Cortex-M3

шинам осуществить выборку кода инструкции, например, из Flash-памяти программ и необходимых операндов из статического ОЗУ. Если же по двум шинам будет осуществлено обращение в одну и ту же физическую память, например в Flash, то обращение по шине с меньшим приоритетом будет обработано позднее. Чтобы минимизировать такого рода коллизии, в процессоре заданы области расположения кода программы, статического ОЗУ и периферии.

В процессоре Cortex-M3 добавлены области доступа к битам. Теперь для того, чтобы из-

менить один бит в 32-разрядном слове памяти статического ОЗУ или какого-либо периферийного блока, не требуется осуществлять последовательность команд «чтение-модификация-запись», а можно осуществить запись или чтение одного слова в области доступа к битам и при этом будет модифицирован только один бит, отождествленный с адресом этого слова (рис. 3, 4). Это позволяет значительно сократить объем самого кода и увеличить скорость выполнения программы.

Основное отличие между ARM7TDMI и Cortex-M3 заключается в новом наборе ин-

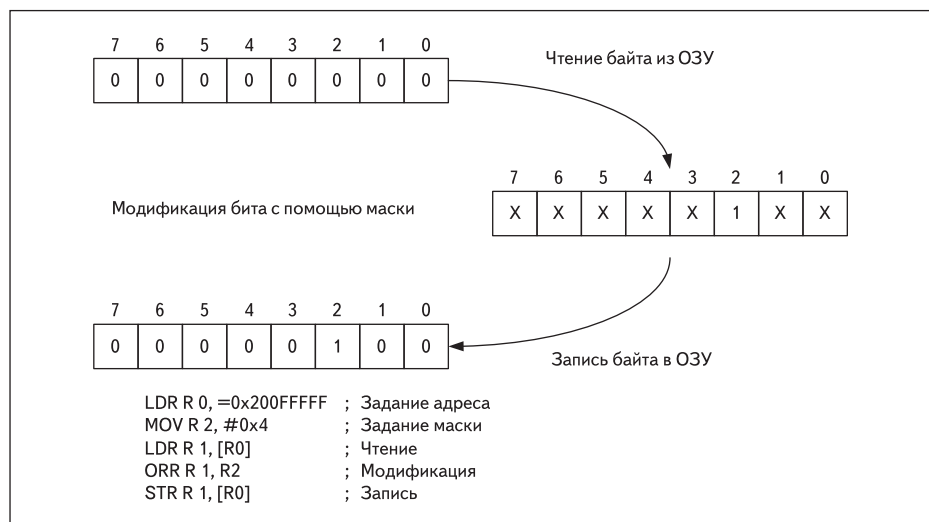


Рис. 3. Традиционный способ задания значения одного бита

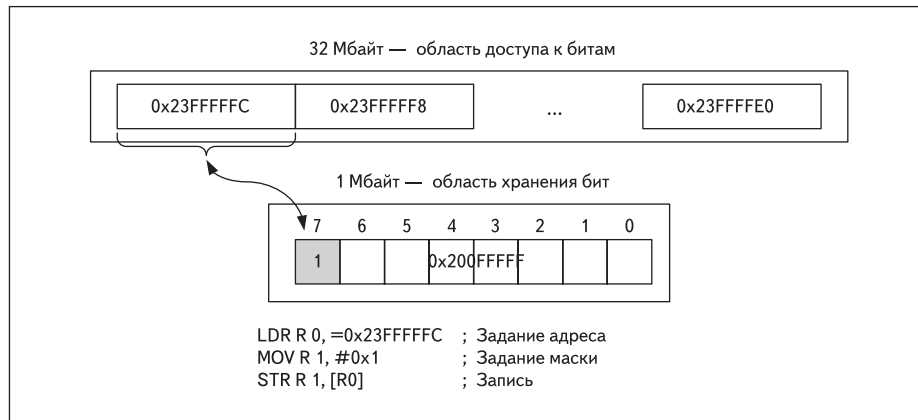


Рис. 4. Задание бита через область доступа к битам

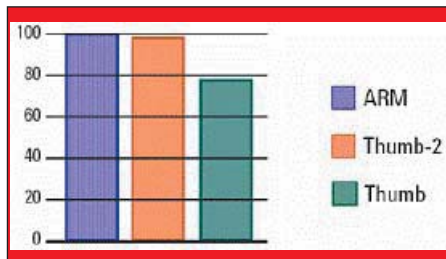


Рис. 5. Код Thumb-2 на 25% быстрее кода Thumb по результатам тестов Dhrystone



Рис. 6. Код Thumb-2 на 26% меньше кода ARM по результатам тестов Dhrystone

струкций Thumb2. Так, если ARM7TDMI мог исполнять инструкции ARM (32-битные инструкции, повышающие производительность в ущерб объему программного кода) и Thumb (16-битные инструкции малой производительности, но экономящие объем кода) и переключение между инструкциями осуществлял сам программист в зависимости от требуемых критериев оптимизации, то в Thumb-2 объединены одновременно и 16-битные, и 32-битные инструкции. Такой подход позволил реализовать более гибкий механизм проведения оптимизации программы (рис. 5).

Процессор Cortex-M3 содержит более совершенную систему прерываний (относительно ARM7), характеризующуюся задержкой вызова процедуры обработки прерывания всего лишь 12 машинных циклов (для сравнения: ARM7TDMI-S требует 24 или 42 цикла) (рис. 6). В общем случае число источников прерываний может достигать 240 при 256 уровнях приоритета. В контроллере прерываний реализован ускоренный алгоритм перехода на обработку прерывания, если оно произошло во время обработки другого прерывания, в этом случае переход может занять всего 6 циклов.

Блок защиты памяти является опциональным компонентом ядра Cortex-M3. Он позволяет повысить надежность встраиваемых систем за счет защиты критичной информации, используемой операционной системой, от действия пользовательских программ.

Доступ к встроенной отладочной системе реализован посредством порта доступа к отла-

дочной системе (DAP), который с внешней средой связывается по одному из последовательных интерфейсов: 2-выводной последовательный отладочный порт SW или стандартный 5-выводной последовательный порт JTAG.

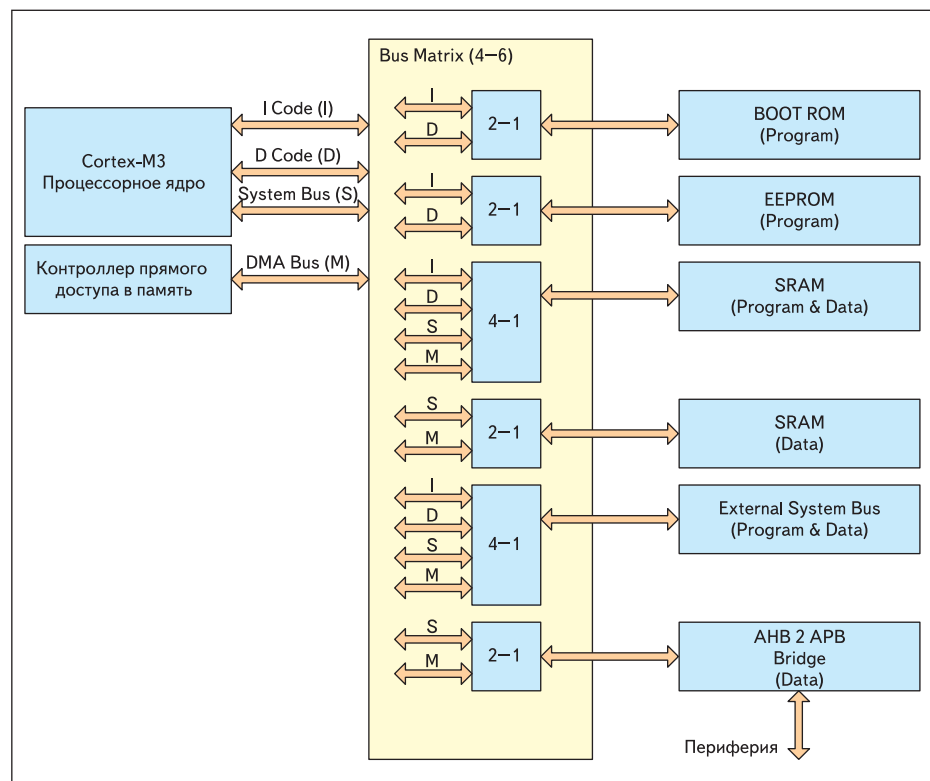


Рис. 7. Подсистема доступа к памяти

Система памяти микроконтроллера

Новый микроконтроллер содержит в своем составе различные области памяти (рис. 7):

- **BOOT ROM** — масочное ПЗУ программ объемом до 2 кбайт, предназначена для первоначального запуска микроконтроллера, программирования энергонезависимой памяти программ и хранения различных библиотечных системных функций. Доступ к памяти может быть осуществлен со стороны шин I-Code (выборка инструкций) и D-Code (выборка данных из области инструкций).
- **EEPROM** — энергонезависимая память программ объемом до 512 кбайт, предназначена для хранения основной пользовательской рабочей программы. Контроллер данной памяти осуществляет предвыборку данных, основываясь на предыдущих обращениях, а также хранит некоторое число предыдущих выбранных значений (некоторый аналог КЭШ), для того чтобы минимизировать потери от низкой скорости доступа к данной памяти по сравнению с максимальной тактовой частотой процессора. Доступ к памяти может быть осуществлен со стороны шин I-Code и D-Code.
- **SRAM Program & Data** — статическое ОЗУ с отображением в область кода и область данных объемом до 64 кбайт. Данная память предназначена для динамической загрузки исполняемых модулей программы. Эта память может быть использована для расширения ОЗУ общего назначения. Доступ

к ней может быть осуществлен со стороны шин I-Code, D-Code, System Bus (выборка операндов из ОЗУ) и DMA Bus (выборка данных контроллером DMA).

- SRAM — статическое ОЗУ общего назначения объемом до 64 кбайт. Память общего назначения, предназначена для хранения переменных в ходе вычислений. Доступ может быть осуществлен со стороны шин System Bus и DMA Bus.
- External System Bus — контроллер внешней системной шины предназначен для подключения внешней микросхем памяти и периферии. С помощью данного контроллера может быть реализована полноценная 32-разрядная внешняя системная шина с разнесенными или совмещенными шинами адреса и данных. Контроллер позволяет работать с различными внешними микросхемами памяти, такими как SRAM, SDRAM, NAND Flash и многими другими. Доступ к внешней системной шине может быть осуществлен со стороны шин I-Code, D-Code, System Bus и DMA Bus.
- ANB 2 APB Bridge — мост между системными шинами и шиной периферийных блоков, предназначен для отображения регистров периферийных блоков в общее адресное пространство микроконтроллера. Доступ к блокам может быть осуществлен со стороны шин System Bus и DMA Bus.
- Контроллер DMA — позволяет осуществить управляемую передачу пакетов данных между различными областями памяти без участия процессорного ядра.

Интерфейсы и цифровые периферийные блоки

Приобретение готового процессорного ядра позволило специалистам фирмы сконцентрироваться на разработке периферийных блоков. Микроконтроллер будет содержать полный набор получивших сейчас распространение интерфейсов: CAN, USB, UART, SPI и I²C. Периферийные блоки содержат также многофункциональные таймеры-счетчики и схемы ШИМ. Многие решения разработаны и опробованы в микроконтроллерах серии 1886 и применяются в новой линейке микросхем.

Контроллер CAN-интерфейса, реализованный в микроконтроллере 1886BE5, был сертифицирован на соответствие стандарту ISO11898-1. Так как разрабатываемый микроконтроллер позиционируется как центральный процессор сложного функционального устройства, которое может работать одновременно с несколькими сетями CAN, для этого в микроконтроллере будет реализовано два контроллера CAN-интерфейса. Это позволит реализовать две подсети или горячее резервирование одной сети. Контроллер CAN-интерфейса позволяет работать со скоростью передачи данных до 1 Мбит/с. Каждый контроллер содержит 32 буфера со-

общений с индивидуальным фильтром для принимаемых сообщений.

Интерфейс USB является в настоящее время самым популярным каналом связи различных устройств с персональным компьютером. В 2007 году фирма ЗАО «ПКК Миландр» разработала два восьмиразрядных микроконтроллера 1886BE3 и 1886BE4. В них входит контроллер USB интерфейса со скоростью Low и Full Speed.

В новом микроконтроллере будут использованы все ранее сделанные наработки, а также значительно улучшена функциональность. В частности, будет реализован USB OTG-контроллер, который сможет выступать как в роли функционального устройства, так и в роли хост-контроллера. Это позволит использовать контроллер не только для подключения устройств к персональному компьютеру, но и для присоединения к устройству других устройств, например различных флеш-накопителей.

В контроллере USB интерфейса реализованы контроллер USB HOST (с двумя оконечными точками) и USB Function (не менее четырех оконечных точек). Контроллер будет иметь два домена тактовых частот — частота процессорного ядра и частота работы USB интерфейса, чтобы при работе с USB более гибко настраивать производительность системы.

Контроллер содержит аналоговый передатчик USB интерфейса. В нем будут интегрированы управляющие резисторы подтяжки линий D+ и D- шины USB, что позволит упростить конечное устройство.

USART интерфейса получил широкое распространение в микроэлектронике. На базе данного контроллера строится большое число различного рода интерфейсов, таких как LIN, RS-232, RS-485, RS-422, IrDa, SmartCard и др. В последнее время многие из этих интерфейсов заменяются на более современные. Так, в частности, RS-232, ранее использовавшийся как основной для связи с персональным компьютером, сейчас заменяется на USB, а RS485 — на CAN. Но, несмотря на это, данный контроллер продолжают использовать в системах связи с низкими скоростями LIN, IrDa и многих других. В микроконтроллере 1986 будут реализованы два контроллера USART интерфейса с поддержкой основных протоколов, реализуемых на его базе.

Контроллер I²C интерфейса используется для связи с другими микросхемами устройства. Этот интерфейс позволяет объединить несколько устройств на одной двухпроводной шине с адресным доступом. Интерфейс используется для связи с различными микросхемами памяти, датчиками и контроллерами других интерфейсов. Для повышения помехозащищенности интерфейса выводы SDA и SCL могут быть дополнительно снабжены схемами контроля наклона фронтов и фильтрами. Компания ЗАО «ПКК Миландр» разработала подобные блоки для микросхем

1886BE2. Данные наработки будут использованы в новой микросхеме.

Контроллер SPI интерфейса используется для связи с другими микросхемами устройства. Этот интерфейс применяется для связи с различными картами памяти, что стало одним из приоритетных направлений в использовании SPI-интерфейса. Контроллеры SPI стали более адаптированы для подобного рода задач. В них появились блоки вычисления контрольных сумм и режимы многоканального использования.

Для управления различного рода подсистемами, двигателями и другими электро-механическими системами используются таймеры с функциями ШИМ и схемами регистрации событий. Более разрядные и быстрые таймеры обеспечивают более точное управление, и чем больше каналов ШИМ, тем больше конечных объектов управления.

Аналоговые блоки

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) — основной блок, используемый в системах управления и мониторинга. С его помощью осуществляется контроль аналоговых величин и преобразование их в цифровой вид, пригодный для дальнейшей математической обработки в рамках микроконтроллера. Более точный АЦП обеспечивает более точный результат для математической обработки, а значит, более точными будут итоговые результаты. Важной характеристикой является скорость преобразования данных. При оцифровке аналоговой величины быстродействие имеет большое значение. Так, например, для звуковой информации необходима скорость до 50–60 Квыб/с, для видеoinформации — уже до 1 Мвыб/с. Для увеличения числа обрабатываемых источников блок АЦП имеет несколько каналов.

Также важны характеристики интегральной и дифференциальной нелинейности, что позволяет гарантировать одинаковое качество преобразования на всем диапазоне аналоговых величин. В рамках разработки микросхемы 1886BE2 компания ЗАО «ПКК Миландр» разработала 10-битные АЦП, в рамках разработки микросхем 1886BE6 ведется разработка 12-битного АЦП.

Кроме анализа внешних источников аналоговых величин, АЦП применяется для измерения температуры кристалла, это позволяет производить подстройку различных аналоговых блоков. Не секрет, что при изменении температуры изменяются характеристики полупроводниковых приборов. Для уменьшения влияния температуры на работу схем могут применяться различные схемотехнические приемы, обеспечивающие стабильность работы при различных температурах. Но данные решения, во-первых, увеличивают объем и во-вторых — не могут обеспечить широкого температурного диапазона, в котором должна функционировать

микросхема. Поэтому в зависимости от значения датчика температуры программно производится подстройка аналоговых блоков с целью увеличения их точности.

Аналогично с задачей аналого-цифрового преобразования используется и обратное — цифро-аналоговое (ЦАП): воспроизведение звуковой и видеoinформации, управление аналоговыми устройствами, задание необходимых уровней для аналоговых подсистем устройства. Для блоков ЦАП характеристики должны быть сравнимы с блоками АЦП. В микросхеме 1886VE6 разработан 12-битный ЦАП. Данные наработки будут использоваться при разработке новой серии.

Специальные возможности

Разрабатываемая серия микроконтроллеров имеет широкий диапазон напряжения питания от 2 до 3,6 В. При этом внутреннее ядро микросхемы должно быть запитано напряжением 1,8 В. Для его получения в микроконтроллере встроен регулятор напряжения. Он не требует внешних дополнительных конденсаторов, что позволяет упростить конечное устройство и повысить его надежность. Для перевода микроконтроллера в Standby-режим регулятор может быть программно выключен.

При этом общее потребление тока будет сведено к единицам микроампер.

При переводе в Standby-режим происходит полный сброс всей цифровой части за исключением батарейного домена. Данный домен может быть запитан от отдельного источника питания и имеет крайне малое потребление. При наличии основного источника питания батарейный домен автоматически переключается на него. Как только напряжение основного источника опускается ниже границы допустимого диапазона питания, батарейный домен переключается на отдельный источник. Это позволяет сохранять ряд функций устройства при выключении питания. В частности, в батарейном домене работают часы реального времени и небольшая память для сохранения аварийных флагов. Если разработчику системы на базе нового микроконтроллера не требуются функции батарейного домена, то выводы отдельного источника могут питаться от основного источника. В этом случае при отключении основного источника произойдет отключение всей микросхемы.

Для полноценной работы микросхемы в ней реализованы датчики напряжения питания. Они используются для работы батарейного домена, а также для дополнительной настройки микросхемы. Характеристики ана-

логовых блоков зависят от напряжения питания таким же образом, как от температуры. В новой серии микроконтроллеров заложен широкий диапазон напряжений питания, и для обеспечения высокоточной работы аналоговые блоки могут быть программно подстроены под текущее напряжение питания. Программа может заранее предупредить, например, о практически севшей батарее. Таким образом, датчики напряжения питания могут быть использованы для отслеживания запаса энергии при батарейном питании.

Заключение

Выход первых образцов микроконтроллеров намечен на лето 2009 года, в настоящее время ведется макетирование микроконтроллера на базе FPGA. Соответствующие макеты ЗАО «ПКК Миландр» может предоставить заинтересованным предприятиям для первоначального ознакомления с новой серией, а также для совместной проработки и реализации новых идей в новых микросхемах. Для разработки приложений на базе новых микроконтроллеров можно использовать традиционные среды разработки в ARM-микроконтроллерах, таких как ARM RealView Development Suite или Keil uVision. ■