

AVR-микроконтроллеры: семь ярких лет становления. Что дальше?

Часть 1. Текущее положение AVR на мировом рынке микроконтроллеров и планы развития семейства в 2004 году

Предлагаем вашему вниманию цикл статей, посвященных одной из наиболее удачных 8-разрядных микроконтроллерных платформ — AVR 8-bit RISC производства Atmel Corp. Многочисленные разработчики и многие мировые производители конечного электронного оборудования по достоинству оценили высокую скорость работы и мощную систему команд AVR, наличие двух типов энергонезависимой памяти на кристалле и широкие возможности периферийных блоков, активно используя эти микроконтроллеры в своих проектах. За прошедшие семь лет становления с 1997 года кристалл «оброс» таким количеством новых идеологических и технических решений, что AVR трансформировались в качественно новый класс микроконтроллеров. Можно утверждать, что платформа AVR стала еще одним индустриальным стандартом среди 8-разрядных микроконтроллеров общего назначения. Интенсивный рост продаж AVR во всем мире и устойчивый рост их популярности, в том числе и в России, предполагает дальнейшее развитие этого направления. Знакомству и изучению тенденций развития микроконтроллеров AVR «заново», особенностей их построения и средств поддержки разработок для них посвящен данный цикл публикаций. Первая часть содержит краткий маркетинговый обзор мирового микроконтроллерного рынка и положения в нем AVR, вторая часть будет посвящена детальному описанию ядра и периферийных блоков современных AVR образца 2004 года, а третья — программным и аппаратным средствам поддержки для этих микроконтроллеров.

Игорь Кривченко

ik@efo.ru

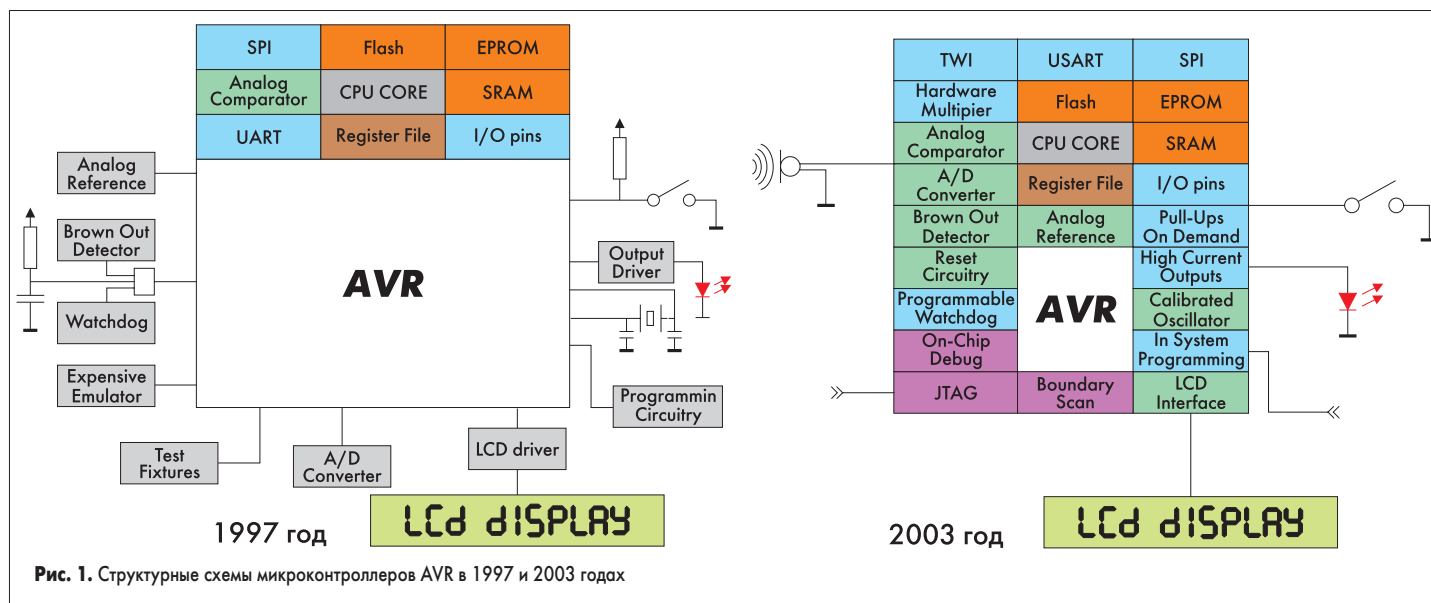
Елена Ламберт

elena@efo.ru

Микроконтроллеры AVR по праву считаются одним из самых интересных направлений, активно развиваемых корпорацией Atmel. Они представляют собой мощный инструмент для создания современных высокопроизводительных и экономичных многоцелевых контроллеров. На настоящий момент соотношение «цена — производительность — энергопотребление» для микроконтроллеров AVR по-прежнему остается едва ли не лучшим на мировом рынке 8-разрядных микроконтроллеров. Объемы продаж AVR в мире имеют стабильный рост, постоянно растет число сторонних фирм, разрабатывающих и выпускающих программные и аппаратные средства поддержки разработок для них. Области применения AVR многогранны — от простейших игрушек и интеллектуальных датчиков до сложных промышленных систем управления и контроля и современного телекоммуникационного оборудования. Семейство ин-

тенсивно развивается, усложняется, совершенствуется. Для примера, на рис. 1 приведены упрощенные структурные схемы AVR выпуска 1997 и 2003 годов.

AVR — это относительно молодой продукт корпорации Atmel. В этой линии микроконтроллеров общего назначения постоянно появляются новые кристаллы, обновляются версии уже существующих микросхем, совершенствуется и расширяется программное обеспечение поддержки. Первое официальное издание — каталог Atmel, посвященный AVR, — был датирован маем 1997 года. Второе, существенно расширенное издание каталога, вышло в августе 1999 года [1], и в него уже были включены все три семейства AVR — «tiny», «classic» и «mega». И до сих пор более «свежей» версии каталога в печатном виде не существует, постоянно обновляются и добавляются лишь технические данные в электронном виде (DataSheet), которые Atmel Corp. регулярно размещает на своей информационной



странице по AVR в Интернете (www.atmel.com) и за которыми нужно постоянно следить. На этой странице также публикуются замеченные ошибки в кристаллах (Errata Sheet), списки микроконтроллеров, планируемых к снятию с производства, а также другая полезная информация. Все внесенные изменения на сайте корпорации за последние 30 дней отражаются на странице «What's Changed» (<http://www.atmel.com/dyn/generalupdates.asp>). Также выпускается полная электронная техническая библиотека по всей продукции Atmel. Ее последняя версия (сентябрь 2003) вышла на двух CD-ROM. В дополнение к этой библиотеке для микроконтроллеров AVR ежемесячно издается отдельный диск «AVR Software and Technical Library», содержащий все существующие документы по микроконтроллерам AVR и программное обеспечение поддержки. В 2004 году корпорация Atmel планирует размещать содержимое этого CD на своем FTP-сайте.

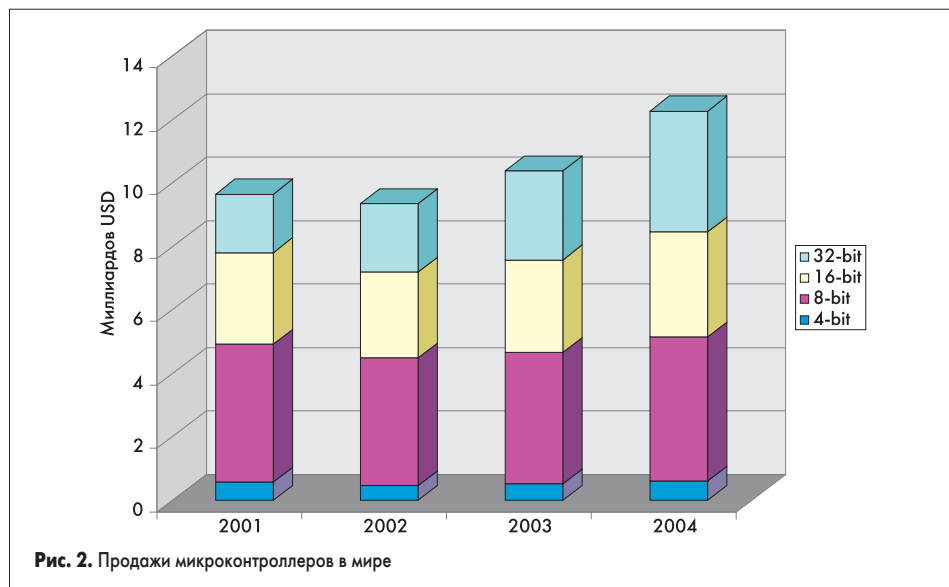
Сама идея создания нового RISC-ядра родилась в 1994 году в Норвегии. В 1995 году два его изобретателя Альф Боген (Alf-Egil Bogen) и Вегард Воллен (Vegard Wollen) предложили корпорации Atmel выпускать новый 8-разрядный RISC-микроконтроллер как

стандартное изделие и снабдить его Flash-памятью программ на кристалле. Руководство Atmel Corp. приняло решение инвестировать данный проект. В 1996 году был основан исследовательский центр в городе Тронхейм (Норвегия). Оба изобретателя стали директорами нового центра, а микроконтроллерное ядро было запатентовано и получило название AVR (Alf-Egil Bogen + Vegard Wollen + RISC). Первый опытный кристалл 90S1200 был выпущен на стыке 1996–1997 годов, а с 3 квартала 1997 года корпорация Atmel приступила к серийному производству нового семейства микроконтроллеров и к их рекламной и технической поддержке. Первый специализированный технический семинар по AVR состоялся в октябре 1997 года в городе Нетания (Израиль). Тогда в семейство AVR входило всего четыре базовых кристалла с объемами Flash-памяти программ от 1 до 8 кбайт. Первые опытные промышленные партии микросхем содержали много ошибок, технологических и архитектурных недочетов. Бывало даже, что пластмассовые корпуса микроконтроллеров иногда деформировались от перегрева кристалла, когда порты ввода-вывода «защелкивались» в линейном режиме. Множество нареканий было

к устойчивости работы AVR в условиях сильных электромагнитных помех, часто терялись содержимое ячеек EEPROM и Flash-памяти программ при проблемах с напряжением питания микроконтроллеров и так далее. Тем не менее, новая платформа все же понравилась разработчикам во всем мире, ошибки и недочеты постепенно исправлялись и, начиная с 1998 года, началось активное внедрение AVR на микроконтроллерный рынок. В 2003 году Atmel Corp. торжественно отпраздновала крупное событие — количество выпущенных микросхем с ядром AVR превысило 500 миллионов штук! Сюда вошли не только микроконтроллеры AVR, выпускаемые как стандартные изделия. В это количество включены также специализированные микросхемы Atmel: изделия ASSP (управление приводами CD/DVD, микросхемы для цифровых фотоаппаратов, для счетчиков электроэнергии, для Wireless LAN, Bluetooth, комплектов IP-телефонии, системы на кристалле FPSLIC), микросхемы USB (семейство AT43), микроконтроллеры для изделий класса Smart Cards и ряд других специальных проектов.

В связи с постоянным ростом продаж AVR увеличиваются также инвестиции в это направление. Ежегодно проводятся технические семинары для дистрибьюторов (последний состоялся на «родине» AVR в Норвегии), растет число технических специалистов, осуществляющих поддержку этого направления в Atmel Corp. Так, в 1997 году команда AVR составляла не более 10 человек, сейчас это уже свыше 100 только в Норвегии, без учета технических специалистов по AVR в двух специализированных центрах (Франция и Финляндия). Постоянно улучшается сайт компании, появилась возможность размещать дополнительную техническую документацию по направлению.

Какое место занимают микроконтроллеры AVR на мировом рынке? В настоящее время заметная часть современного рынка микроэлектроники принадлежит микроконтроллерам и микропроцессорам общего назначения. По итогам 2002 года (данные независимых исследований компаний Semico и IC



Insights) общая стоимость этой части рынка составляет \$9,35 млрд, из которых 43% приходится на микроконтроллеры с Flash-памятью программ (или Flash-микроконтроллеры). Если перевести в штуки общую стоимость Flash-микроконтроллеров, то их количество составит 28% (рис. 2).

Можно выделить две главных тенденции развития общего рынка микроконтроллеров. Во-первых, наиболее интенсивно развиваются высокопроизводительные 32-разрядные микроконтроллеры и микропроцессоры с богатыми периферийными возможностями. Рынок 4-разрядных микроконтроллеров практически стабилен и занимает не более 10% от общего объема продаж, хотя по количеству выпускаемых кристаллов на этот сегмент приходится не менее четверти всех выпускаемых в мире микроконтроллеров. Основную часть всех выпускаемых в настоящее время в мире изделий данного класса составляют микроконтроллеры разрядностью 16 и 8 бит. Во-вторых, исторически самый большой сегмент этого рынка — однократно программируемые (ОТР) и масочные микроконтроллеры — постоянно сокращается из-за быстрого развития и удешевления Flash-технологии и замещается Flash-версиями. По данным независимых исследований ожидается, что к 2007 году три четверти всех выпускаемых в мире микроконтроллеров с разрядностью от 32 до 4 бит будут иметь Flash-память программ на кристалле.

Рассмотрим подробнее 16- и 8-разрядные сегменты микроконтроллерного рынка. Мировые объемы выпуска 16-разрядных микроконтроллеров составляют на рынке 29% от его общей стоимости — \$2,71 млрд. Темпы роста данного сегмента в 2002–2004 годах оцениваются на уровне не более 10%. При этом 50% общего количества выпускаемых 16-разрядных микроконтроллеров принадлежит именно Flash-микроконтроллерам. Из основных мировых лидеров здесь можно отметить Renesas (Hitachi+Mitsubishi), Infineon, Motorola и Texas Instruments. Эти четыре компании удерживают более 70% мирового рынка 16-разрядных микроконтроллеров (по данным IC Insight).

Но наиболее интересным представляется сегмент 8-разрядных микроконтроллеров. В 2002 и 2003 годах его стоимость составляла более \$4 млрд. В каждом году этих микроконтроллеров производилось более 3,2 миллиардов штук. В данном сегменте 28% всего объема производства (в штуках) приходится на ОТР-микроконтроллеры, 45% — на масочные версии и 27% — на Flash-микроконтроллеры (34% всего сегмента по стоимости). При этом доля Flash-версий непрерывно растет и по оценкам независимых источников (Semico) составит к 2007 году до 64% общего количества выпускаемых в мире 8-разрядных микроконтроллеров. Средний прирост производства в этом сегменте планируется на уровне не менее 6–7% в год. Наиболее серьезными игроками на мировом рынке считаются Motorola (22%), Renesas (15%), Microchip (14%), ST Micro (9%) и Philips (8%) (рис. 3). Atmel находится здесь на почетном шестом

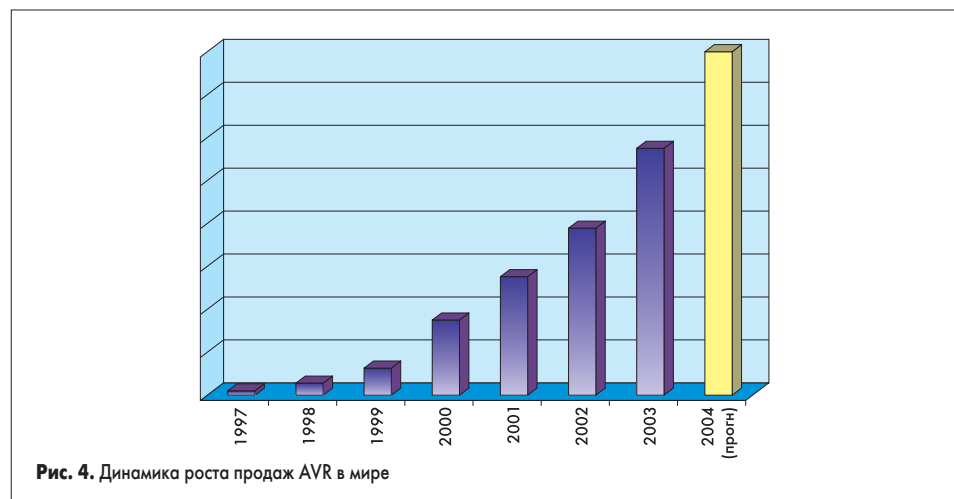
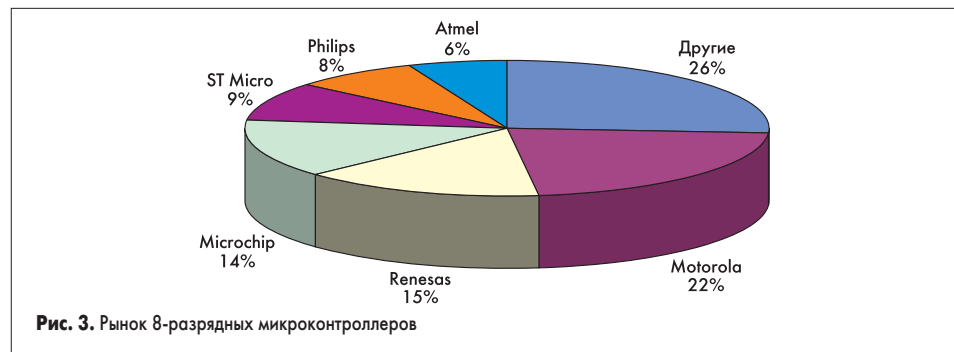
месте с 6% долей рынка, одновременно лидируя в производстве именно Flash-микроконтроллеров. По итогам 2002 и 2003 годов доля Atmel составляет здесь 27%.

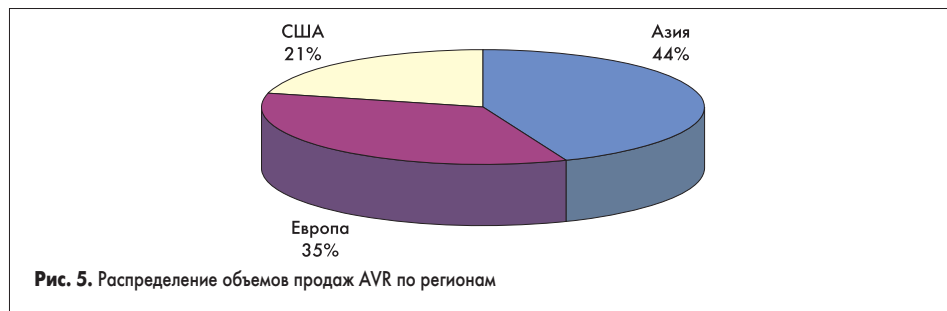
Сама корпорация расценивает занимаемое ей шестое место в мире как большой успех. Дело в том, что Atmel продолжительное время выпускает микроконтроллеры и микропроцессоры всех разрядностей от 32 до 4 бит [2], но подлинный успех к компании пришел только после принятия стратегически верного решения объединить передовую Flash-технология Atmel Corp. с популярным процессорным ядром MCS-51. Корпорация Atmel первой в мире в 1995 году реализовала электрически стираемые и программируемые Flash-микроконтроллеры семейства C51 как современную альтернативу уже существовавшим масочным версиям и дорогим перепрограммируемым кристаллам с ультрафиолетовым стиранием. Аналогичное решение было использовано и для AVR-микроконтроллеров. И Atmel Corp. сразу же вошла в группу лидеров на рынке 8-разрядных микроконтроллеров, потеснив такие известные фирмы, как Intel, Motorola, Philips и Siemens. Агрессивная ценовая политика компании довершила процесс вживания в «элиту» производителей 8-разрядных микроконтроллеров. Положение на рынке более или менее выровнялось только в 2000 году, когда остальные производители также стали выпускать Flash-микроконтроллеры. Но дело было уже сделано, и теперь Atmel Corp. имеет действительно законно заработанную долю рынка в размере 6%. Именно потому, что в этом сегменте Atmel является фигурой молодой и относительно новой, корпорация рассматривает данное положение как большой успех, кото-

рый следует укреплять и развивать. Современная Flash-технология, «ноу-хау» Atmel, является тем базисом, на котором будет происходить дальнейшее укрепление позиций компании в растущем и перспективном секторе Flash-микроконтроллеров общего назначения.

Нельзя не упомянуть и о конкурентах Atmel. Первым «без сомнения» является компания Motorola. Это крупнейший производитель микропроцессоров и микроконтроллеров различного назначения высокой надежности с разрядностью от 8 до 64 бит. В настоящее время Motorola активно развивает 8-разрядное и 16-разрядное Flash-семейства (HCS08 и HCS12 соответственно) и планирует выпустить в 2004 году 14 новых микроконтроллеров. Вторым главным конкурентом Atmel является компания Microchip. Она представляет широкий спектр 8-разрядных RISC-подобных микроконтроллеров (всего более 180 различных наименований), среди которых имеются как ОТР, так и Flash-версии. Только в 2003 году Microchip выпустила 12 новых Flash-микроконтроллеров.

У корпорации Atmel также есть собственный хороший сегмент рынка 8-разрядных микроконтроллеров. Компания Microchip традиционно доминирует на «low-end» рынке для низкостоимых приложений (разнообразные охранные системы и системы доступа), а компания Motorola несомненно занимает лидирующие позиции в 16- и 32-разрядных сегментах рынка и в автомобильном секторе приложений. В этом смысле Flash-микроконтроллеры с архитектурами AVR и C51 производства Atmel Corp. отлично вписываются в среднюю нишу, на стык между





8- и 16-разрядными микроконтроллерами, где в полной мере можно использовать все несомненные преимущества Flash-технологии. Особенно это касается, конечно, микроконтроллеров AVR. На рис. 4 показаны темпы роста объемов продаж AVR за семь лет развития этой платформы, а на рис. 5 — распределение объемов продаж AVR по регионам за 2003 год. Примечательно, что на долю Азии приходится уже 44% (в 2000 году было менее 4%!), на долю США — 21% и на долю Европы — 35% всего объема продаж. Это говорит о колоссальном успехе AVR на рынках, где традиционно доминировали NEC и OKI (Азия), Motorola и Microchip (США) и Philips/Siemens (Европа). Естественно, такими же темпами росло и производство кристаллов AVR. Только за последние три года Atmel открыла в Европе три новых фабрики по производству кремниевых пластин.

Для корпорации Atmel в настоящее время развитие и активное продвижение AVR является первостепенной задачей, самым приоритетным и инвестируемым направлением как минимум на ближайшие три года. Корпорация планирует и в дальнейшем уверенно лидировать в мировом производстве 8-разрядных Flash-микроконтроллеров, а собственную долю всего мирового рынка 8-разрядных микроконтроллеров довести до 20%. Для достижения этой очень непростой задачи Atmel Corp. собирается удвоить количество серийно выпускаемых стандартных микроконтроллеров в семействе AVR (сейчас их 20, а к концу 2004 года планируется выпускать уже 40). Одновременно планируется всемерно интегрировать усилия различных исследовательских центров. Например, новый кристалл mega128CAN11 с аппаратным модулем CAN, который появится в феврале 2004 года, разрабатывался уже совместно двумя центрами — в Финляндии и во Франции. Наконец, Atmel Corp. пла-

нирует кардинально перестроить свою информационную и рекламную деятельность, а также повсеместно пересмотреть организацию технической поддержки в регионах. Так, будет значительно увеличен и перекалиброван штат FAE для более полной поддержки региональных дистрибьюторов, и в первую очередь в Европе. Активно создается сеть независимых консультантов по специальной программе «AVR Consultant Program». Проходящее заключительную фазу тестирования, новое оборудование по усовершенствованной технологии 0,35 мкм (0,35+) на трех фабриках корпорации позволит Atmel увеличить объемы выпуска AVR минимум на 50% уже к началу 3 квартала 2004 года.

Микроконтроллеры AVR достаточно подробно описаны на русском языке в периодической технической литературе (например, [3, 4]) а также в Интернете. Сводные таблицы по всем трем семействам AVR можно найти на сайте (<http://www.efo.ru/components/atmel/tables/avr.htm>). Более подробно описанию преимуществ семейства AVR, отличительных особенностей архитектуры и периферийных узлов этих микроконтроллеров по состоянию дел на начало 2004 года будет посвящена вторая часть цикла статей. Отметим здесь лишь ключевые особенности платформы AVR 8-bit RISC:

- скоростная RISC-архитектура Гарвардского типа с регистровым файлом, одинаковая для всех AVR;
- Flash-память программ и память данных EEPROM на кристалле;
- функциональная совместимость AVR с объемом памяти программ от 1 до 128 кбайт;
- широкий диапазон напряжений питания от 1,8 до 5,5 В;
- активно развивающаяся периферия, отслеживающая мировые требования к современным микроконтроллерам;

- отличное сочетание параметров «цена — производительность — энергопотребление» для 8-разрядных микроконтроллеров.

Что же ожидает всех потребителей AVR в ближайшие два года?

Новая технология производства и ее преимущества

Atmel Corp. завершает перевод текущего производства микроконтроллеров AVR на новые проектные нормы по улучшенной технологии 0,35+. Все последние версии кристаллов AVR и так уже производятся только по новой технологии, а более ранние версии микросхем (технология 0,5 мкм) окончательно переведут на новые проектные нормы до конца 2004 года. Проектная норма 0,35+ позволяет увеличить максимальную рабочую частоту кристалла, совершенствовать уже имеющиеся периферийные блоки (например, UART превратить в USART), а также добавлять дополнительные аппаратные функции на кристалл, например, дифференциальный АЦП с усилителем на входе, интерфейс JTAG и т. д. Следует заметить, что на первом этапе перехода Atmel Corp. от 0,5 к 0,35 мкм не все особенности нового технологического процесса были полностью понятны, было много ошибок и недоработок, которые устранялись параллельно с выпуском очередных версий микроконтроллеров AVR. Поэтому, например, в DataSheet на часть новых кристаллов семейства «mega», выпускаемых по технологии 0,35 мкм первого поколения, были приведены заведомо завышенные данные по времени записи в EEPROM (до 5 мс). В настоящий момент все технологические недочеты устранены, поэтому в новых микросхемах и описаниях этот параметр будет приведен в норму — 3,4 мс. То же самое можно сказать и в отношении энергопотребления в режиме Power Down. К сожалению, DataSheet на уже выпущенные кристаллы по технологии 0,35 мкм первого поколения в ближайшее время переиздаваться не будут. Все изменения, на которые следует обратить внимание при переходе на новые версии кристаллов, отражены в специальных руководствах, которые можно найти на сайте Atmel Corp.

Возможности технологии 0,35+ позволяют в ближайшем будущем унифицировать семейства «tiny» и «mega». Все новые микрокон-

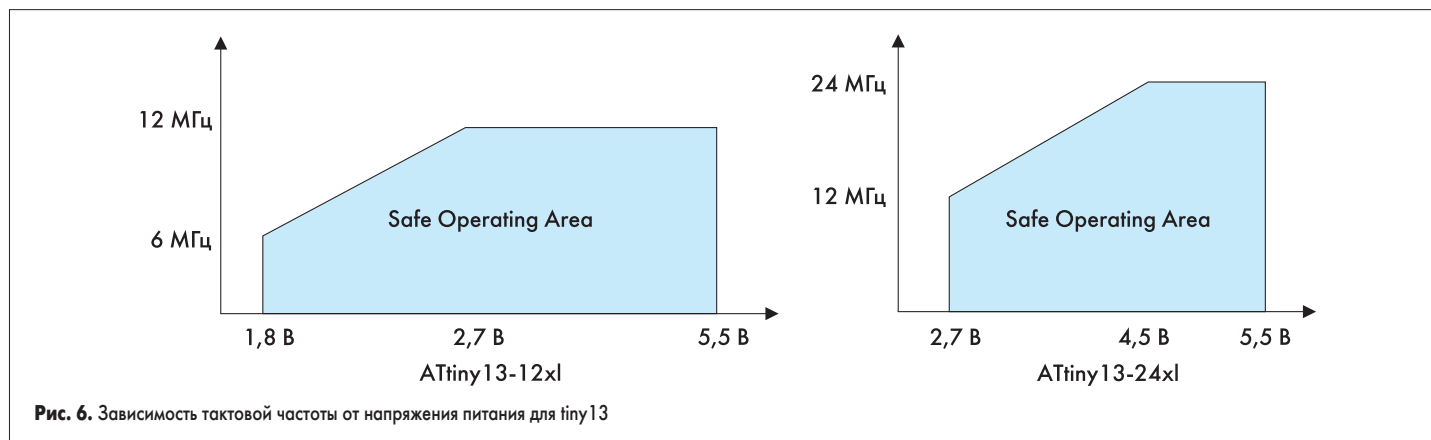


Рис. 6. Зависимость тактовой частоты от напряжения питания для tiny13

троллеры будут тестироваться только для работы в промышленном температурном диапазоне, с двумя диапазонами питающих напряжений и с характеристиками, перекрывающимися все анонсированные ранее. Это, во-первых, снизит количество наименований однотипных кристаллов и, во-вторых, позволит полностью устранить старую проблему совместимости низковольтных (3,3 В) и стандартных (5 В) версий AVR. На рис. 6 в качестве примера показаны зоны стабильной работы нового микроконтроллера tiny13 на максимальных тактовых частотах в зависимости от напряжения питания кристалла (Vcc). Отметим, что при Vcc = 1,8 В нижний порог тактовой частоты составляет уже 6 МГц, а не 1 МГц, как у предыдущих версий микроконтроллеров семейства «tiny», а верхний — 24 МГц при Vcc = 5,5 В. На рис. 6 видно, что значение максимальной тактовой частоты кристалла изменяется линейно при росте напряжения питания от 1,8 до 4,5 В. Для расчета максимальной частоты на этом интервале можно использовать формулу $F=(V_{cc}-0,9)/0,15$. Например, при Vcc = 3 В максимальное значение частоты составит 14 МГц.

Технология 0,35+ также позволит всем следующим поколениям AVR работать с таким же большим быстродействием: максимальная тактовая частота в 2004 году составит 6 МГц при 1,8 В и 24 МГц при 5 В. Эти характеристики будут стандартными для промышленного температурного диапазона (-40...+85 °С). Микроконтроллеры AVR для работы в коммерческом температурном диапазоне (0...+70 °С) больше производиться не будут.

Важной новостью является то, что по плану корпорации Atmel к середине 2005 года микроконтроллеры AVR будут тестироваться и серийно выпускаться для работы в автомобильном температурном диапазоне (-40...+125 °С). Уже сейчас новые кристаллы, выпускаемые по технологии 0,35+, могут тестироваться для работы в температурном диапазоне -40...+105 °С, но только по специальному заказу для промышленных партий.

Возможности усовершенствованной технологии 0,35+ позволяют также реализовать сверхнизкое энергопотребление кристаллов, особенно в режиме Power Down. Данная программа у Atmel Corp. носит название ULP (Ultra Low Power). Справедливости ради стоит заметить, что все современные кристаллы универсальных микроконтроллеров, производимые мировыми лидерами, имеют сходные параметры в режимах пониженного энергопотребления. Физически это определяется в основном токами утечки в ячейках Flash-памяти и, следовательно, возможностями технологии. Значения энергопотребления — критичного параметра для приложений с батарейным питанием, полученные Atmel Corp., соответствуют современным требованиям и теперь позволяют AVR успешнее конкурировать, например, с микроконтроллерами Microchip и Texas Instruments на конечном рынке.

Новые кристаллы AVR

За прошедший 2003 год анонсировано несколько новых микроконтроллеров в семей-

ствах «tiny» и «mega». Это tiny13, tiny2313 и mega128CAN11. Выпущены в серийное производство микросхемы tiny26, mega16, mega32, mega64, mega162, mega169, mega8515 и mega8535. Сняты с производства кристаллы mega103, mega323, mega161, mega163, 90S8515, 90S8535 и 90S4433. Планируются к снятию с производства микроконтроллеры 90S1200, 90S2313, 90S2323 и 90S2343. Таким образом, самое первое семейство «classic» AVR (90S) не будет далее развиваться, а будет постепенно замещаться новыми кристаллами семейств «tiny» и «mega», более совершенными, чем их «классические» предшественники.

Практически все новые кристаллы AVR являются развитием уже существующих версий и, как правило, совместимы с ними функционально и по расположению внешних выводов «снизу вверх». Для своевременной оценки возможностей и параметров новых микроконтроллеров корпорация Atmel предлагает наборы разработчика, содержащие образцы текущей и новой версий кристалла, а также всю необходимую техническую документацию, описывающую различия между ними. Эти наборы разработчика доступны для всех типов корпусов и напряжений питания микроконтроллеров AVR, но только для промышленного температурного диапазона.

Семейство «tiny» (см. табл. 1) в 2003 году пополнилось тремя новыми кристаллами: tiny13, tiny2313 и ATtiny25. Популярные микроконтроллеры tiny11 и tiny12 пока еще имеют активный статус на сайте Atmel Corp., но в печатных брошюрах корпорации указывается, что их планируется снять с производства после запуска в серию микроконтроллеров tiny13 и tiny2313, которые рекомендуется использовать для новых разработок.

Микросхема tiny13 имеет низкое энергопотребление, выпускается в 8-выводном корпусе и является развитием кристаллов tiny11 и tiny12. Микросхема tiny2313 также имеет низкое энергопотребление, но количество выводов и периферийных блоков у нее больше. Новый кристалл tiny25 является развитием популярного микроконтроллера tiny15. Он имеет скоростной модуль ШИМ, который специально разрабатывался для применения

в электронных балластах. При этом tiny25 будет выпускаться в корпусах SOIC8 и PDIP8.

Все новые микроконтроллеры семейства «tiny» имеют также блок статической памяти SRAM и модуль внутрисхемной отладки debugWIRE, о котором будет сказано ниже.

Наибольшее развитие в 2003 году получило семейство «mega» (см. табл. 2). Планируются к выпуску новые кристаллы mega48, mega88, mega168, mega256, mega329 с аппаратным контроллером жидкокристаллического индикатора и другие.

Функциональным развитием популярного микроконтроллера mega8 в 2004 году будут три новых ULP-кристалла mega48/88/168 с различными объемами Flash-памяти программ, полностью совместимые как между собой, так и с mega8 по расположению выводов. Микроконтроллеры отличает наличие модуля USART, который может быть также установлен в режим SPI «Master», усовершенствованный модуль контроля напряжения питания BOD (Brown-out Detector), который калибруется на фабрике и потребляет меньше энергии, а также встроенный RC-генератор. Новые ULP-кристаллы mega48/88/168 будут иметь существенно лучшие характеристики энергопотребления. Например, в режиме Power Down при напряжении питания 1,8 В ожидается значение тока потребления 0,1 мкА по сравнению с 0,5 мкА у mega8. Микроконтроллеры будут выпускаться для работы в двух диапазонах напряжений питания — батарейном (1,8–5,5 В) и стандартном (2,7–5,5 В).

Серийно выпускаемый микроконтроллер mega169 для носимых приложений имеет встроенный аппаратный контроллер 4×25 сегментного ЖКИ. Он тоже тестируется для работы в промышленном температурном диапазоне и для двух диапазонов напряжений питания. В 2004 году планируется производить две его «расширенные» версии, совместимые по расположению выводов и функционально — mega329 и mega649. Они будут иметь увеличенные объемы массивов памяти и пониженное энергопотребление. В дополнение к этому, также планируется выпустить полностью аналогичные кристаллы mega3290/mega6490 в корпусе TQFP100, со-

Таблица 1. Микроконтроллеры AVR семейства «tiny» в 2003–2004 годах

	tiny11	tiny12	tiny13	tiny15	tiny2313	tiny25	tiny26	tiny28
Flash, кбайт	1	1	1	1	2	2	2	2
SRAM, байт	–	–	64	–	128	128	128	–
EEPROM, байт	–	64	64	64	128	128	128	–
U(S)ART	–	–	–	–	1	–	–	–
USI	–	–	–	–	Есть	–	Есть	–
Таймер/счетчик	1	1	1	2	2	2	2	1
Каналы ШИМ	–	–	2	1	4	2	2	1
Каналы АЦП	–	–	4	4	–	4	11	–
ISP	12В	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	–
debugWIRE	–	–	Есть	–	Есть	Есть	–	–
Инженерные образцы					Доступны	Первая половина 2004		
Образцы серийной продукции	+	+	Доступны	+	Февраль 2004	Вторая половина 2004	+	+
Массовое производство	+	+	Февраль 2004	+	Май 2004	Вторая половина 2004	+	+
Типы корпуса	PDIP 8	PDIP 8	PDIP 8	PDIP 8	PDIP 20	PDIP 8	PDIP 20	PDIP 28
	SOIC 8	SOIC 8	SOIC 8	SOIC 8	SOIC 20	SOIC 8	SOIC 20	TQFP 28
					MLF 32		MLF 32	MLF 32

Красным цветом выделены новые кристаллы

Таблица 2. Микроконтроллеры AVR семейства «mega» в 2003–2004 годах

	mega48	mega8	mega88	mega8515	mega8535	mega162	mega16	mega168	mega169	mega165	mega329	mega32	mega64	mega128	mega128 CAN11	mega256	mega2560
Flash, байт	4	8	8	8	8	16	16	16	16	16	32	32	64	128	128	256	256
SRAM, байт	512	1024	1024	512	512	1024	1024	1024	1024	1024	2048	2048	4096	4096	4096	8192	8192
EEPROM, байт	256	512	512	512	512	512	512	512	512	512	1024	1024	2048	4096	4096	4096	4096
U(S)ART	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
USI	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Есть	–	–	–	–	–	–
SPI	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ТWI (I2C)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Таймер/счетчик	3	3	3	2	3	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
Каналы ШИМ	5	3	5	3	4	6	4	5	4	4	4	4	6+2	6+2	5	12+4	12+4
Каналы АЦП	8	6 или 8	8	–	8	–	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Интерфейс ЖКИ	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
debugWIRE	+	–	+	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
JTAG	–	–	–	–	–	+	+	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Инженерные образцы	Доступны		Q1–04					Q1–04		Q2–04	Q2–04				Q1–04	Q2–04	Q2–04
Образцы серийной продукции	Январь 2004	+	Q1–04	+	+	+	+	Q1–04	+	Q2–04	Q2–04	+	+	+	Q3–04	Q3–04	Q3–04
Массовое производство	Март 2004	+	Q3–04	+	+	+	+	Q3–04	+	Q3–04	Q3–04	+	+	+	Q4–04	Q4–04	Q4–04
Тип корпуса	PDIP28	PDIP28	PDIP28	PDIP40	PDIP40	PDIP40	PDIP40	PDIP28				PDIP40					
				PLCC44	PLCC44												
	TQFP32	TQFP32	TQFP32	TQFP44	TQFP44	TQFP44	TQFP44	TQFP32	TQFP64	TQFP64	TQFP64	TQFP44	TQFP64	TQFP64	TQFP64	TQFP64	TQFP100
	MLF32	MLF32	MLF32	MLF44	MLF44	MLF44	MLF44	MLF32	MLF64	MLF64	MLF64	MLF44	MLF64	MLF64	MLF64	MLF64	

Красным цветом выделены новые кристаллы

держателем уже 100 внешних выводов. Благодаря большому количеству выводов корпуса микроконтроллера, внешний ЖКИ может иметь до 4×40 сегментов. Эти же самые кристаллы будут выпускаться и как стандартные изделия, но без контроллера ЖКИ. Обозначения для них планируются следующие: mega165/325/645 и mega3250/6450. Вообще, цифра «0» в конце обозначения микроконтроллера будет соответствовать типу корпуса

Таблица 3. Микроконтроллеры AVR, планируемые к выпуску в 2004–2005 годах

Планируемое обозначение	Flash, кбайт	RAM, байт	EEP-ROM, байт	Каналов АЦП	Особенности
tiny25	2	128	128	4	Скоростной ШИМ
tiny45	4	256	256	4	Скоростной ШИМ
tiny46	4	256	256	11	Скоростной ШИМ
mega329	32	2048	1024	8	100-сегментный LCD
mega3290	32	2048	1024	8	160-сегментный LCD
mega325	32	2048	1024	8	
mega3250	32	2048	1024	8	
mega649	64	4096	4096	8	100-сегментный ЖКИ
mega6490	64	4096	4096	8	160-сегментный ЖКИ
mega645	64	4096	4096	8	
mega6450	64	4096	4096	8	
mega641	64	4096	4096	16	
mega6410	64	4096	4096	16	
mega1281	128	4096	4096	16	
mega1280	128	4096	4096	16	
mega512	512	8192	4096	16	
mega5120	512	8192	4096	16	

TQFP100, то есть кристаллу с увеличенным количеством выводов. Незадействованные выводы контроллера ЖКИ будут иметь альтернативные функции портов ввода-вывода общего назначения.

Микроконтроллеры mega256/512 являются логическим развитием своих предшественников mega64/128 и имеют больший объем памяти. Микросхемы с обозначениями mega640/1280/2560/5120 представляют собой 100-выводные версии этих кристаллов. Управление доступом к памяти программ в кристаллах mega256/512 будет осуществляться автоматически с помощью специального регистра, что должно привести к снижению быстродействия микроконтроллеров при обращении к определенной части программного кода. Кристаллы mega256/512 также будут иметь специальный регистр для дополнительного управления энергопотреблением.

Все новые кристаллы, планируемые к выпуску в 2004 году, приведены в таблице 3.

Кристаллы tiny45 и tiny46 являются развитием кристаллов tiny25 и tiny26, а mega1281 и mega641 — кристаллов mega128 и mega64 соответственно. Все новые версии микроконтроллеров будут иметь пониженное энергопотребление.

Архитектурные новшества

Как известно, серийно выпускаемые микроконтроллеры mega103L, mega64 и mega128 уже имеют примечательную архитектурную особенность, позволяющую значительно снизить энергопотребление всего кристалла в целом, когда в процессе работы возникают вынужденные паузы ожидания. В этом случае целесообразно уменьшить ток потребления процессорного ядра и периферийных блоков, как в активном режиме, так и в режиме холостого хода, понизив основную такто-

вую частоту микроконтроллера. Специальный модуль на кристалле позволяет делить основную тактовую частоту на целое число в диапазоне от 2 до 129. Включение-выключение данной функции осуществляется одной короткой командой в программе. Для дополнительного управления энергопотреблением, особенно когда микроконтроллер находится в режиме пониженного энергопотребления, все ULP-микроконтроллеры (первыми будут mega48/88/168) и все новые кристаллы семейства «mega» будут содержать специальный модуль, также управляемый программно через 8-разрядный регистр. Этот регистр имеет обозначение PRR (Power Reduction Register). Полного описания новой функции в DataSheet пока нет, тем не менее, аппаратно и модуль, и регистр реально существуют, входят в состав микроконтроллера mega169, но пока недоступны широким массам пользователей — проходят этап тестирования.

Отличительной чертой построения портов ввода-вывода у AVR является наличие трех битов контроля и управления для каждого физического вывода микросхемы: бит контроля направления передачи данных и привязки вывода к шине питания (DDR_x), бит данных (PORT_x) и бит для отображения логического уровня сигнала на физическом выводе микросхемы (PIN_x). Такая архитектура портов ввода-вывода AVR позволяет разработчику полностью контролировать процесс ввода-вывода и операции «чтение — модификация — запись». Особую значимость приобретает данная возможность AVR для реализации систем, работающих в условиях внешних электрических помех. Тем не менее в новых микроконтроллерах семейства «tiny», начиная с tiny46, будет добавлен еще один, четвертый бит для управления портами ввода-вывода. Регистр

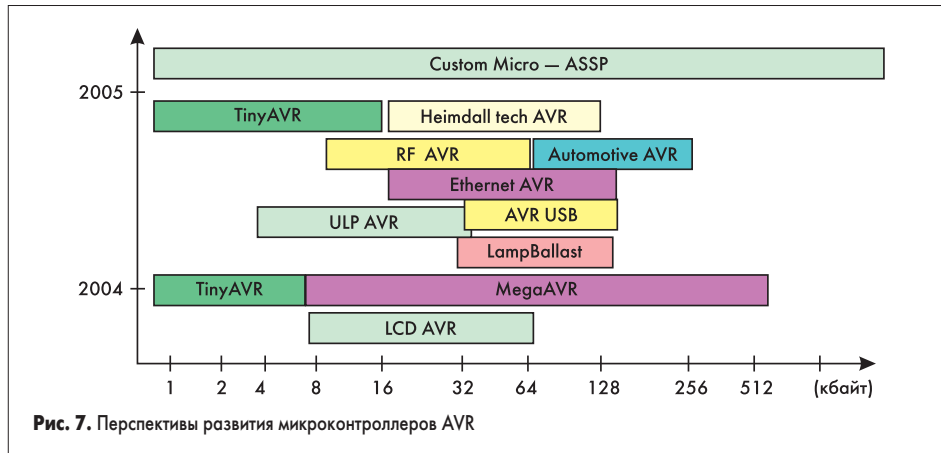


Рис. 7. Перспективы развития микроконтроллеров AVR

имеет обозначение DIDRx (Digital Input Disable Register). Это сделано для снижения энергопотребления кристалла. Дело в том, что у предыдущей версии кристалла tiny26 имеют место утечки тока на цифровом выходе, когда последний находится в высокоимпедансном состоянии, а физический вывод микроконтроллера соединен с внешними электронными компонентами. С помощью нового дополнительного регистра DIDRx можно будет полностью отключать цифровой порт ввода-вывода от физического вывода микросхемы.

Обе вышеописанные особенности новых версий AVR позволят им значительно приблизиться и даже сравниться с энергопотреблением микроконтроллеров MSP430 производства Texas Instruments в энергосберегающих режимах.

Все новые кристаллы AVR будут выпускаться с одним из двух отладочных интерфейсов: JTAG — для микроконтроллеров с объемом Flash-памяти программ от 16 кбайт и debugWIRE для микроконтроллеров с небольшим количеством выводов и размером памяти программ не более 8 кбайт.

Новый аппаратный модуль внутрисхемной отладки debugWIRE уже входит в состав микроконтроллера tiny13. Однопроводный интерфейс debugWIRE был специально разработан для младших кристаллов AVR с небольшим количеством выводов, у которых не хватало линий для полноценной поддержки JTAG-интерфейса (требующего 4 вывода) и площади на кристалле для размещения блоков JTAG и BSD. Модуль debugWIRE позволяет устанавливать неограниченное число программных точек останова в симуляторе AVR Studio и осуществлять эмуляцию всех функций микроконтроллера, за исключением сброса. Он использует один двунаправленный вывод для управления выполнением команд в процессоре и для программирования энергонезависимой памяти. При этом он является коммуникационным интерфейсом с асинхронной передачей данных между отлаживаемым кристаллом и внешним эмулятором.

Flash-память программ перепрограммируется автоматически каждый раз при установке или снятии точек останова под управлением AVR Studio через интерфейс debugWIRE. Использование точек останова, таким образом, сокращает количество возможных цик-

лов перезаписи и время хранения данных во Flash-памяти отлаживаемого кристалла.

Вывод интерфейса debugWIRE (dW) физически расположен на том же выводе, что и вход внешнего сброса (RESET). Поэтому при использовании debugWIRE функция внешнего сброса не поддерживается. При этом линии ввода-вывода не задействуются.

DebugWIRE эмулирует все функции вводов-выводов при функционировании кристалла на максимальной скорости, при остановке микроконтроллера доступ к регистрам ввода-вывода через отладчик AVR Studio осуществляется с некоторыми ограничениями (см. документацию на интерфейс debugWIRE).

Встроенный интерфейс JTAG соответствует стандарту IEEE 1149.1 и позволяет осуществлять тестирование печатной платы с помощью блока граничного сканирования, программирование энергонезависимой памяти, битов защиты и fuse-битов AVR, а также фоновую отладку приложения. Управление JTAG-интерфейсом осуществляется через 4 вывода микроконтроллера, которые составляют Test Access Port (TAP). Контроллер TAP представляет собой конечный автомат с 16 состояниями. Переход в различные состояния зависит от сигнала на выводе TMS в момент переднего фронта на выводе TCK. Вывод TMS (Test Mode Select) используется для управления конечным автоматом, вывод TCK (Test Clock) — для синхронизации интерфейса JTAG. Вывод TDI (Test Data In) представляет собой последовательный вход данных для сдвига в регистр команд или регистр данных (Scan Chains), а вывод TDO (Test Data Out) — последовательный выход данных из регистра команд или регистра данных. Сигнал TRST (Test ReSeT), который дается в стандарте IEEE 1149.1 как дополнительный, здесь не используется.

В разработке у Atmel в настоящее время находятся два новых аппаратных узла микроконтроллеров AVR. Первый — это усовершенствованный контроллер прерываний. Известно, что одноуровневая линейная система прерываний семейства AVR является их ахиллесовой пятой и, по сути, естественным тормозом для развития микроконтроллеров с большим количеством периферийных устройств и с большим объемом памяти программ. В преддверии появления целой линейки мощных кристаллов семейства «mega» с развитой

периферией, в норвежском исследовательском центре уже ведутся работы по созданию нового многоуровневого контроллера прерываний на кристалле AVR. Второй аппаратный узел представляет собой модуль управления тактированием всего кристалла AVR — как самого ядра, так и периферийных устройств. В существующих версиях AVR для выбора источника тактовой частоты используются fuse-биты, что возможно только на этапе программирования микроконтроллера. Это не всегда удобно, гораздо интереснее иметь возможность манипулировать источниками тактовой частоты в процессе работы приложения, под управлением программы. Новый аппаратный блок будет позволять динамическое переключение источника тактовой частоты внутри кристалла AVR без нарушения текущей работы последующего.

Функциональное развитие периферии

На рис. 7 приведена обобщенная диаграмма перспективных планов Atmel Corp. по развитию семейства микроконтроллеров AVR. В основном эти планы касаются увеличения объемов массивов памяти на кристалле, а также добавления принципиально новых для AVR крупных функционально законченных периферийных блоков — CAN, USB, RF, Ethernet и др.

Анонсирован к выпуску в феврале 2004 года AVR-микроконтроллер mega128CAN11 с аппаратным узлом CAN. Узел CAN имеет 15 независимых буферов входных сообщений и поддерживает скорость передачи данных до 1 Мбит/с при тактовой частоте 8 МГц. Микроконтроллер будет выпускаться в индустриальном (–40... +85 °C) и автомобильном (–40... +125 °C) температурных диапазонах и опрессовываться в корпусах TQFP64, QFN64 и BGA64. В mega128CAN11 используется такой же узел CAN, как и в микроконтроллере AT89C51CC01 разработки Temic, производимого на фабрике в г. Нант (Франция).

Разрабатывается специальный микроконтроллер семейства «mega», предназначенный для управления электронным балластом флуоресцентных ламп. Он пока позиционируется как изделие класса ASSP с предварительным обозначением «Mballast», но впоследствии Atmel Corp. планирует выпускать этот кристалл и как стандартный микроконтроллер для всех потребителей AVR.

Для специальных приложений — систем управления напряжением питания, зарядных устройств для аккумуляторов различных типов, портативных блоков питания носимых электронных устройств (сотовые телефоны, ноутбуки, плееры, PDA и пр.) — по заказу японской фирмы разрабатывается и будет производиться еще одно семейство класса ASSP со встроенным ядром AVR. Оно будет иметь обобщенное название Heimdall. Главной отличительной особенностью Heimdall является новая технология изготовления высоковольтных CMOS-ячеек, которая позволит портам ввода-вывода и процессорному ядру AVR работать при напряжении питания до 24 В.

В 2005 году планируется выпустить микроконтроллеры AVR с USB-интерфейсом

на кристалле, используя апробированный блок USB для микроконтроллера AT89C5131 разработки Temic. Также в 2005 году Atmel намеревается расширить линейку AVR с радиочастотным блоком на кристалле.

В планы развития AVR на ближайшее будущее также включен специализированный микроконтроллер с аппаратным блоком Ethernet 10/100T, включая MAC. Этот кристалл уже находится в разработке во Франции. В качестве аппаратного контроллера Ethernet выбрана известная микросхема W3100A производства корейской компании WIZnet (www.wiznet.co.kr).

Архитектурные новшества, возможные для реализации в будущем

Аналоговый компаратор входит в состав большинства микроконтроллеров AVR и имеет свой собственный вектор в общей системе прерываний микроконтроллера. При этом тип перепада, вызывающий запрос на прерывание при срабатывании компаратора, может быть запрограммирован пользователем как фронт, срез или переключение. Логический выход компаратора может быть программным образом подключен ко входу одного из 16-разрядных таймеров-счетчиков, работающего в режиме захвата. Это дает возможность измерять длительность аналоговых сигналов, а также максимально просто реализовывать АЦП двухтактного интегрирования. Но, например, если требуется с помощью встроенного аналогового компаратора построить внешний сигма-дельта АЦП, то необходимо подключать выход компаратора на один из внешних выводов микросхемы. Такая возможность дополнительной программной коммутации выхода компаратора на внешний вывод AVR будет реализована как дополнительная опция в последующих версиях кристаллов. Тем не менее «превращать» компаратор в операционный усилитель не планируется.

Встроенный в AVR аналого-цифровой преобразователь, к сожалению, не в полной мере отвечает современным требованиям к встроенным аппаратным блокам микроконтроллеров с точки зрения количества разрядов, точности и скорости преобразования. Но только совершенствованием технологического процесса здесь не помочь, требуются новые архитектурные решения как для самого ядра AVR, так и для аппаратного модуля АЦП. Поэтому вопросы создания нового встроенного АЦП с увеличенным быстродействием, в том числе и при тактировании кристалла от вспомогательной частоты 32,768 кГц, будут решаться в отдаленном будущем.

Возможно, что на кристалл AVR будет встроен и специальный аппаратный узел LVD (Low Voltage Detector), отвечающий за индикацию пониженного напряжения батареи питания. Также обсуждается вопрос о реализации аппаратного контроллера прямого доступа к памяти (DMA) на кристалле AVR. В обоих случаях все определяется потребностями конечного рынка. Если потребуется массовое производство AVR с такими блоками, то они будут выпускаться корпорацией Atmel как стандартные серийные изделия.

Аппаратные и программные средства поддержки разработок

Программные и аппаратные средства поддержки разработок для AVR всегда разрабатывались и продолжают разрабатываться параллельно с самими микроконтроллерами и корпорацией Atmel, и сторонними фирмами. Они включают в себя компиляторы, внутрисхемные эмуляторы, отладчики, программаторы и отладочные платы практически на любой вкус. Немаловажную роль играет и открытая политика Atmel Corp. в вопросах развития и распространения разнообразных доступных средств поддержки разработок. Это позволяет разработчикам и производителям электронной техники надеяться на сохранение полноценной поддержки для перспективного семейства микроконтроллеров AVR, закладываемых в новые изделия. Сама корпорация Atmel выпускает профессиональную интегрированную программную среду разработки приложений (IDE) — AVR Studio, которая распространяется свободно, недорогие стартовые наборы и эмуляторы, программатор для внутрисхемного программирования. Важной характеристикой этой продукции является то, что одно и то же отладочное средство (например, STK500) поддерживает почти все кристаллы AVR, а возможность поддержки новых, еще не выпущенных кристаллов уже заложена в отладочную плату и осуществляется путем обновления микропрограммы (firmware) платы под управлением новых версий AVR Studio.

Одной из последних разработок, которая планируется к выпуску во втором квартале 2004 года, является новая версия внутрисхемного эмулятора JTAGICE — JTAGICE mkII (читается как «mark two»), работающего под управлением AVR Studio. Он разработан для поддержки нового однопроводного интерфейса фоновой отладки debugWIRE. В режиме фоновой отладки программный код исполняется самим целевым микроконтроллером, таким образом, достигается полное совпадение временных и электрических параметров системы в отладочном и рабочем режимах. Новый JTAGICE mkII выглядит так же, как и его предшественник и будет иметь

такую же цену. Помимо управления интерфейсами debugWIRE и JTAG, эмулятор JTAGICE mkII может использоваться и в качестве внутрисхемного программатора для микроконтроллеров, имеющих на кристалле интерфейс JTAG или debugWIRE. JTAGICE mkII будет иметь возможность подключаться к компьютеру не только через COM-порт, но и через интерфейс USB.

Новый демонстрационный набор AVR Butterfly (ATAVRBFLY) на базе микроконтроллера mega169 является отладочным средством нового поколения, имеет небольшие габариты 65×45 мм (рис. 8), низкую стоимость и питается от литиевой батарейки. Набор компонентов на плате позволяет достаточно полно оценить все характеристики кристалла mega169. AVR Butterfly поставляется с прошивкой программы, которая поддерживает функции измерения температуры, напряжения от 0 до 5 В, освещенности а также проигрывание простых мелодий. Перепрограммирование кристалла осуществляется непосредственно на плате под управлением AVR Studio (рис. 9).



Рис. 8. Демонстрационная плата AVRBFly

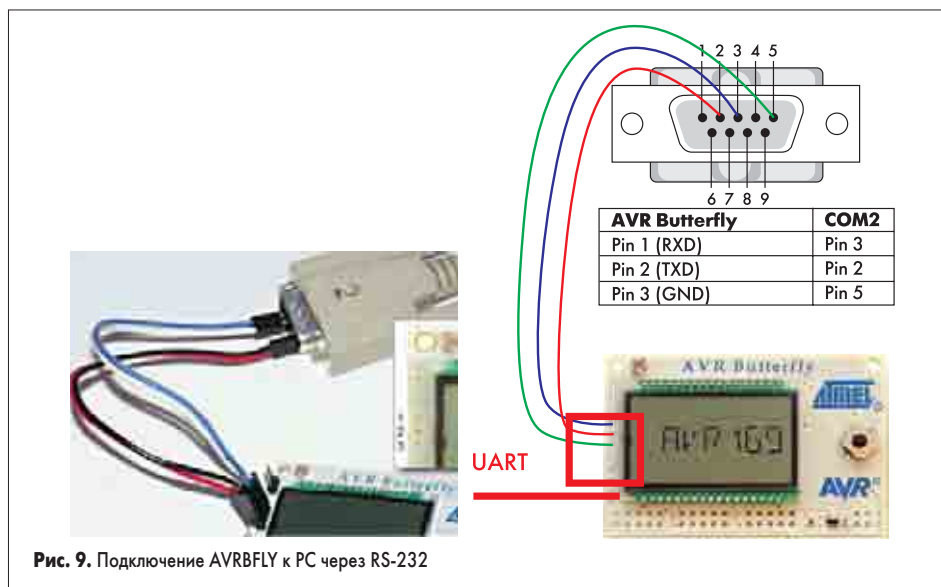


Рис. 9. Подключение AVRBFly к PC через RS-232

Для поддержки микроконтроллера mega128CAN11 с CAN-интерфейсом выпущен специальный модуль расширения ATADAPCAN01, который подключается к стандартным отладочным платам STK500 и STK501 производства Atmel (рис. 10). Модуль разработан в соответствии со стандартом Bosch CAN 2.0A/B и реализует функции, необходимые для присоединения отладочной платы STK500 к шине CAN для разработки и отладки конечного приложения.

Новый внутрисхемный эмулятор ICE40 поддерживает работу в реальном времени микроконтроллеров tiny26 и mega8. ICE40 может подключаться к компьютеру через COM-порт или через USB, позволяет осуществлять запись трассы и использовать неограниченное число программных точек останова. Для поддержки микроконтролле-

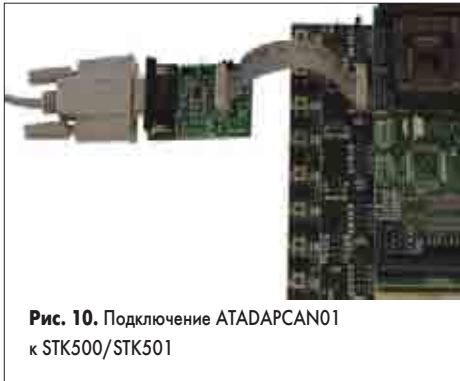


Рис. 10. Подключение ATADAPCAN01 к STK500/STK501

ров mega8515, mega8535 и tiny13 с помощью эмулятора ATICE40 выпущен также Upgrade Kit ATICE40UPGR. Последняя версия интегрированной среды разработки AVR Studio 4.08 поддерживает Upgrade Kit для ATICE40 в дополнение к совместной работе с внутрисхемными эмуляторами реального времени ICE40, ICE50 и ICE200, JTAG-эмулятором JTAGICE, а также с отладочными наборами STK500/501/502 и кабелем для внутрисхемного программирования AVRISP.

Заключение, или Почему рекомендуется использовать AVR?

Во-первых, архитектура Flash-микроконтроллеров AVR 8-bit RISC является одной из самых удачных на мировом рынке микроконтроллеров. Наличие трех типов памяти на кристалле, высокая производительность, низкое энергопотребление, отличная адаптивность к языкам программирования высокого уровня (C/C++), разнообразные периферийные модули, широкий диапазон напряжений питания и совместимость кристаллов семейства «снизу вверх»нискали заслуженное уважение и авторитет во всем мире.

Во-вторых, семейство микроконтроллеров AVR поддержано полноценным, профессиональным и доступным набором средств поддержки разработок — как аппаратных, так и программных. AVR обеспечивается также

квалифицированной технической поддержкой специалистов корпорации Atmel.

В-третьих, объемы производства и продаж AVR постоянно увеличиваются, что является гарантией их развития и соответствия мировым требованиям, предъявляемым к современным микроконтроллерам. Легкий выбор нужного универсального микроконтроллера для конкретного приложения из относительно небольшого, но сбалансированного семейства AVR, хорошая совместимость микроконтроллеров по коду и расположению выводов, отличное соотношение «цена — производительность — энергопотребление» для 8-разрядных микроконтроллеров являются хорошими аргументами для выбора платформы.

Литература

1. AVR RISC Microcontroller Data Book. Atmel Corp. 1999.
2. Кривченко И. В. Микроконтроллеры общего назначения для встраиваемых приложений производства Atmel Corp. // Электронные компоненты. 2002. № 5.
3. Гребнев В. В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel. М.: ИП Радиософт. 2002.
4. Кривченко И. В. AVR-микроконтроллеры: очередной этап на пути развития // Компоненты и Технологии. 2002. № 3.
5. AVR Technical Training. Atmel Corp. Norway. 2003.
6. www.atmel.com.