

# 8-бит МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ

## Ваши на Все Времена

Чем больше что-то меняется, тем более оно постоянно. Эта известная истина движет рынком восьмиразрядных микроконтроллеров (МК), который оценивается в многие миллиарды долларов.

**МК вездесущи. Их можно найти всюду – от дешевых "одноразовых" игрушек до космического аппарата. С момента выпуска фирмой Intel в 1980 году прародителя семейства – микропроцессора 8051 – спрос на 8-бит устройства не снижается. Эти микросхемы постоянно совершенствуются, растет объем их встроенной памяти и расширяются возможности периферийных блоков, позволяя создавать системы, которые, возможно, никогда не удалось бы реализовать на базе микропроцессоров, внешних схем памяти и периферийных устройств.**

### ЧУДО ЦИФРОВОГО МИРА

В отличие от большинства изделий высокой технологии рынок 8-бит микроконтроллеров стабильно растет. Вокруг можно обнаружить множество этих устройств в самом разнообразном бытовом оборудовании – телевизоре, беспроводном или сотовом телефоне, видеомаягнитофоне, DVD-плеере, компьютере, в игрушках детей. Даже обычные бытовые устройства – электрический утюг, холодильник, микроволновая печь и т.п., вплоть до собачьего ошейника – не могут обойтись без МК. А в современном седане BMW745i повышенной комфортности стоимостью 70 тыс. долл. установлено около 60 микроконтроллеров, управляющих основными функциями автомобиля. Легче сказать, где их нет. По оценкам компании Semico Research, к 2010 году каждый человек ежедневно будет иметь дело с 350 микроконтроллерами, установленными в домашнем и офисном оборудовании, автомобильных системах, а также в устройствах личного пользования. И значительная часть из них может оказаться восьмиразрядными устройствами, эволюционное развитие которых привело к существенному снижению стоимости и увеличению степени интеграции (или сложности) таких микросхем. Современный 8-бит МК размером от десяти- до двадцатипятицентовой монеты содержит столько же компонентов, сколько 23 года назад размещалось на 20 чипах. Согласно данным другой аналитической компании – Gartner Dataquest, мировой объем продаж 8-бит МК в 2001 году достиг 5,5 млрд. долл., что равно почти половине всех доходов от продаж микроконтроллеров – 10,9 млрд. долл. Популярности 8-бит МК способствует множество факторов: низкая стоимость (от 0,6 до 2,5 долл. за микросхему при закупке крупных партий), малая потребляемая мощность, большой выбор периферийных устройств.

М.Гольцова

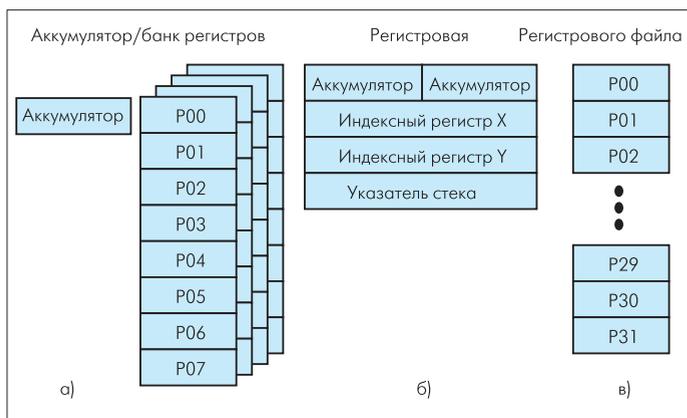
Немаловажное значение имеют и их восемь разрядов. Многие разработчики привыкли к действиям с 1-байтовыми словами, считая их "более чем адекватными" для выполнения не зависящих от времени задач. Хотя 8-бит МК хорошо показали себя и при работе в реальном времени: в 1998 году при полете на "Шаттле" старейший космонавт Земли 77-летний Джон Гленн носил монитор, контролирующий температуру его тела и оснащенный 8-бит МК фирмы Microchip Technology. Стоил МК около 1 долл.

### В ТЕСНОТЕ, ДА НЕ В ОБИДЕ

Конечно, непосредственное соперничество 8-бит МК с 32-бит устройствами задача малоперспективная. Но зачастую применение нескольких 32-бит МК в системе приводит к значительному ее удорожанию, поэтому сегодня все чаще можно встретить оборудование с несколькими совместно работающими 8-бит микросхемами. Такое включение и помогает 8-бит МК выигрывать конкурентную борьбу с более мощным соперником. Совместная работа нескольких 8-бит процессоров в системе имеет много достоинств. Использование архитектуры с распределенными 8-бит МК облегчает выполнение гарантийных обязательств: гораздо дешевле заменить неисправную дешевую микросхему, чем всю дорогостоящую систему. Вот почему в бытовых телескопах стоимостью 0,8–3,5 долл. фирмы Meade Instruments для управления функциями слежения за объектом и фокусировки используется несколько (до 10) подчиненных 8-бит МК, соединенных с главным 8-бит МК. Многоконтроллерные архитектуры весьма перспективны для построения систем с многочисленными или специальными датчиками. Число портов ввода/вывода 32-бит контроллера может быть ограничено, и для поддержки дополнительных портов потребуются дополнительные устройства. А ввод в систему лишнего 8-бит МК позволяет увеличить не только число портов ввода/вывода, но и ее производительность. При этом потребляемая мощность будет меньше, чем у устройства большей разрядности. Конечно, вместо множества МК малой разрядности можно применить 32-бит контроллер, осуществляющий централизованное управление. Но цена такой системы окажется выше, а надежность, вероятнее всего, – ниже. И хотя 8-бит МК уступает 32-бит контроллеру по быстродействию, отклик обоих МК примерно одинаков, поскольку 8-бит контроллеру не нужно выполнять разнообразные прикладные и сервисные задачи, как в однопроцессорной системе.

### КРИТЕРИИ ВЫБОРА

На мировом рынке представлено более тысячи разнообразных МК, выпускаемых более чем 20 производителями. В целом МК по архитектуре можно отнести к трем основным классам. В первый входят



**Рис. 1. Архитектуры 8-бит МК фирм а) Intel и Microchip Technology (аккумулятор/банк регистров), б) Motorola (регистровая), в) Atmel (регистровый файл)**

устройства с "нестареющей" архитектурой микроконтроллеров 8051 фирмы Intel или PIC фирмы Microchip Technology (рис. 1а). Для выполнения требуемых операций достаточен 8-разрядный аккумулятор и блок регистров (обычно их восемь), как правило, объемом 8 байт. МК такой архитектуры поставляют многие фирмы, обрамляя их разнообразными периферийными устройствами, необходимыми для выполнения конкретных функций.

Пример МК второго класса – микросхемы семейства 68Нхх фирмы Motorola, содержащие набор специализированных регистров (рис. 1б). Их "предком" можно считать почтенный процессор 6800. В МК такой архитектуры для упрощения многобайтовых операций два 8-бит аккумулятора могут быть объединены в один 16-бит. И, наконец, яркие представители МК третьего класса – контроллеры семейства AVR фирмы Atmel с RISC-подобной архитектурой (рис. 1в). У контроллеров этого класса большой банк регистров и нет специализированного аккумулятора. В отличие от других микроконтроллерных архитектур, оперирующих потоками 8-бит команд, к многочисленным регистрам МК этого класса легко получают доступ 16-бит команды.

Но не архитектурой единой определяется выбор изделия. Немаловажную, а иногда и определяющую роль играет его обрамление

– периферийные устройства. Специализированные периферийные связанные блоки, поддерживающие сети I<sup>2</sup>C, CAN и LIN, привели к появлению систем с распределенными МК. И это не единственные сетевые средства, поддерживаемые современными 8-бит контроллерами. Сегодня можно встретить МК платформы с небольшими стеками программ TCP/IP, с последовательными и Ethernet-интерфейсами. 8-бит МК, конечно, не способен одновременно обрабатывать сотни запросов Web-сервера, но его производительность вполне достаточна для обслуживания пары Web-броузеров при проверке статуса системы или изменении конфигурации системы с заходом на Web-страницу. Сегодня производители уже не отвергают и возможность создания 8-бит МК для работы в оборудовании беспроводных сетей стандартов IEEE 802.11b и Bluetooth.

В стремлении как можно полнее удовлетворять растущие потребности разработчиков аппаратуры поставщики МК сегодня предлагают огромное число разнообразных микросхем с различными сочетаниями памяти, числа выводов и периферийных устройств (аналоговых или цифровых). Появились МК с так называемой фиксированной периферией: микроконтроллерное ядро, объединенное с ПЛИС. Некоторое удорожание таких МК в сравнении со стандартными контроллерами компенсируется расширением их функциональных возможностей и обеспечиваемой ими гибкостью проектирования. Зачастую выбор такого микроконтроллера может быть основан на его возможных будущих применениях: производительность и ресурсы восьмиразрядного контроллера могут быть больше, чем нужно для данного конкретного применения в данное конкретное время. В дальнейшем его предельные возможности легко реализуются, особенно если учесть, что в большинстве современных 8-бит микросхемах используется репрограммируемая флэш-память. Гибкость МК с флэш-памятью освобождает заказчиков от необходимости разрабатывать специализированные чипы и, тем самым, от неперриодических технических затрат, присущих таким микросхемам. Зачастую МК с флэш-памятью используются для первоначальной "обкатки" программы с последующим переходом к более дешевым МК с ПЗУ. Это позволяет ускорить продвижение изделий на рынок, облегчает их эксплуатационные испытания и модернизацию. В результате, хотя пока доля МК с другими типами памяти в общем объеме их продаж (по стоимости) составляет

**Характеристики перспективных 8-бит МК**

Фирма	Семейство или тип МК	Частота процессора, МГц	Разрядность шин (адресной/данных), бит	Длина команд, бит	Рабочее напряжение, В	Потребляемая мощность на максимальной частоте, мВт	Тип памяти	Тип корпуса	Цена (при закупке 10 тыс. шт.), долл.
Cypress Micro-systems	CY8C25xxx/26xxx	93,7 кГц–24 МГц	16, 8	8, 16, 24	(3,3–5,0)±10%	20 мА	4-, 8- или 16-байт программная флэш, 128- или 256-байт СОЗУ, 512-байт регистры конфигурации или управления вводом/выводом	8-выводной PDIP, 20/28/48-выводные PDIP/SSOP/SOIC, 48-выводной QFP	1,76–3,53 (при закупке 1000 шт.)
Infineon	C868	40	–	8	2,5 (ядро) 3,3 (порты)	–	8-Кбайт ПЗУ/ОЗУ, 512-байт ОЗУ	P-D50-28-1 P-TSSOP-38-1	<2
Microchip Technology	PIC12	0–20	14/8	12/14	2–5,5	10	768–3584-байт ПЗУ/ОПЗУ/флэш, 25–128-байт СОЗУ, 16–128-байт ЭСРПЗУ	8-выводной DIP/SOIC/CERDIP/DFN	0,8–2,0
	PIC18F	40	21/8	12/14	2–5,5	В режиме ожидания потребляемый ток 0,1 мкА	8-Кбайт программная флэш, 512-байт ОЗУ, 256-байт ЭСРПЗУ	18-выводной PDIP, SOIC, 20-выводной SSOP, 28-выводной PDIP, SOIC, QFN и 44- и 40-выводной PDIP, TQFN, QFN	1,8–3,5
	rPIC	4	14/8	12	2,5–5,5	<10	1536-байт ЭСРПЗУ41-байт ОЗУ	18–20-выводные CERDIP/SSOP/SOIC	1,94–2,09
Motorola	Nitron 68HC908	8	16/8	8	2,7–5,5	7 мА	1,5–4-Кбайт флэш, 128-байт ОЗУ	8–16-выводные DIP/SOIC, 16-выводной TSSOP	0,7
Triscend	E5	До 40	32/8	8	3,3/5	В режиме полного отключения питания ток менее 50 мкА	СОЗУ до 64 Кбайт	128/208-выводной QFP484-выводной BGA	4,8–18,75

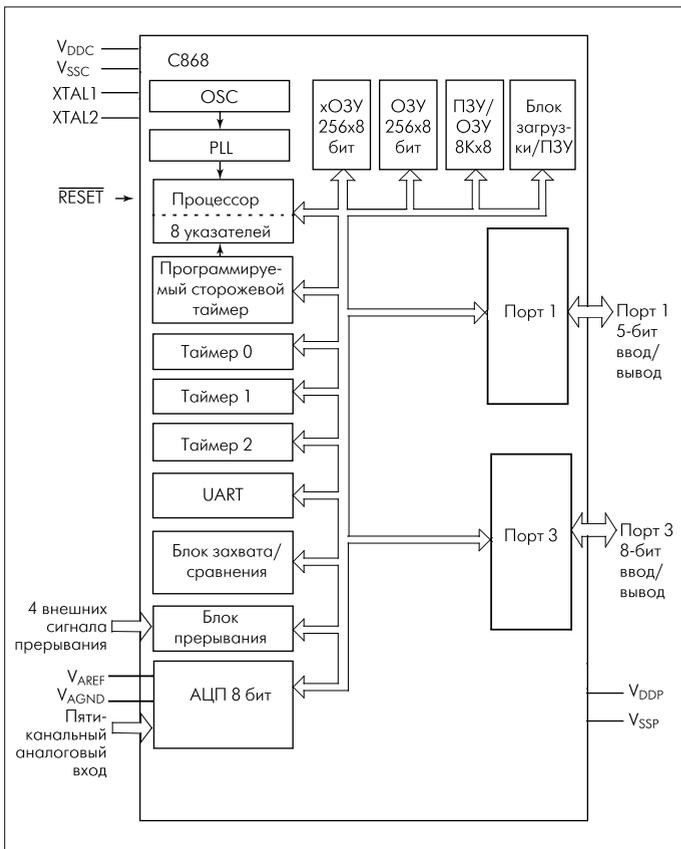


Рис.2. Блок-схема микроконтроллера серии C868

почти 50%, более 75% новых изделий выполняются с флэш-памятью.

До последнего времени средства проектирования в основном работали с программами на языке ассемблера. Но времена меняются. ОС, подобные системам фирм CMX и Keil Software, значительно облегчают проектирование сложных устройств, особенно при объеме памяти МК больше 64 Кбайт. Увеличение емкости памяти способствует переходу к языкам высокого уровня, таким как Си, позволяющим повысить эффективность кода, упростить сопровождение и переносимость программ. И Си не единственный язык высокого уровня программирования МК. Для программирования многих встроенных систем уже используются Java и Forth. Например, фирма Parallax выпускает многочиповый носитель с 8-бит МК фирмы Ubicom, 32-Кбайт СОЗУ и 32-Кбайт флэш-памятью, реализующий ограниченный набор программ целочисленных арифметических действий на языке Java. А средства проектирования SwiftX фирмы Forth пригодны для разработки 8-бит МК, обеспечивая присущую программам на языке Си переносимость, а также многозадачность и возможность непосредственного прерывания.

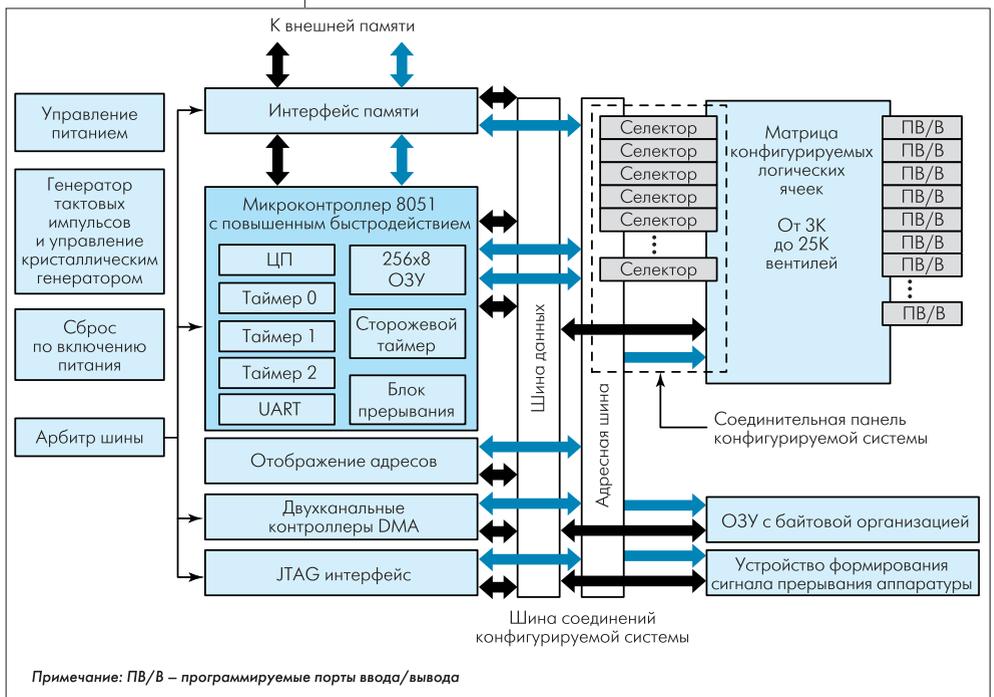
Решение о применении в системе того или иного контроллера обычно

зависит от требуемого информационного обмена: 8-бит МК целесообразно использовать в системах с малым обменом данными. Но даже если он должен быть большим, применение 8-бит МК допустимо, а для координации работы системы на его основе зачастую достаточен 16-бит или 32-бит процессор младшей модели. К тому же, мультипроцессорная система может быть выполнена на 8-бит МК с разнообразными ресурсами, причем один контроллер может иметь аналоговое обрамление, а другой – цифровое. Появление МК с внутрисхемными эмуляторами, средствами программирования на языках высокого уровня и ЭСРПЗУ/флэш-памятью значительно облегчило задачу успешной разработки и программирования требуемых изделий. И здесь разработчик сталкивается с новой проблемой – проблемой выбора нужного МК. А выбирать есть из чего (см. таблицу).

**БОГАТСТВО ВЫБОРА**

Среди МК первого класса отметим микроконтроллеры серии C868 фирмы Infineon, входящие в семейство C800 и полностью совместимые со стандартным МК 8051 (рис.2). Тактовая частота контроллеров может перестраиваться в диапазоне 6,25–40 МГц, для чего в них предусмотрен встроенный ФАПЧ-синтезатор с программируемым делителем. Время выполнения команды – 300 нс (на тактовой частоте 40 МГц). Микросхемы серии в основном работают с программой, хранимой в ПЗУ (МК типа C868-1R) или ОЗУ (МК типа C868-1S). Организация обоих ЗУ – 8Kx8 бит. Кроме того, в чип МК входят два ОЗУ емкостью 256 байт каждое (возможна поддержка внутрисистемного программирования), три 16-бит таймера/счетчика, одно- или семиканальный высокопроизводительный ШИМ-генератор (CAPCOM6E), пятиканальный 8-бит АЦП, UART-интерфейс и два универсальных двухтактных порта ввода/вывода (восьми- и пятиразрядный). CAPCOM6E позволяет решать все критические во времени задачи аппаратными средствами, процессорное ядро выполняет команды пользователя.

МК серии C868 предназначены для драйверов бытового и промышленного оборудования, актуаторов, источников питания, балластного сопротивления осветительных ламп.



Примечание: ПВ/В – программируемые порты ввода/вывода

Рис.3. Блок-схема конфигурируемой системы-на-кристалле семейства E<sub>2</sub>

В конце 2002 года фирма STMicroelectronics выпустила встраиваемые микроконтроллеры семейства  $\mu$ PSD3200 на основе 8051-ядра и запатентованной архитектуры программируемого в системе прибора. МК семейства содержат два банка флэш-памяти и СОЗУ большого объема, а также программируемую логику с флэш-памятью. При разработке МК этого семейства фирма ставила задачу увеличения объема флэш-памяти и ОЗУ, с тем чтобы обеспечить непрерывно растущие потребности в использовании программных средств на языке Си, дружественных пользователю, но "объемных", пользовательских интерфейсов, а также повысить скорость передачи и записи данных. Флагман семейства – микроконтроллер  $\mu$ PSD3234A – имеет две независимые группы блоков флэш-памяти объемом 256К и 32 Кбайт, 8-Кбайт СОЗУ и программируемую логику с 16 макроячейками (более 3000 вентиляей). Наличие двух групп блоков флэш-памяти и специального регистра команд обеспечивает работу контроллера с данными одной группы и одновременное стирание и обновление данных другой. Функцию распределения памяти выполняет встроенное специализированное программируемое логическое устройство, способное назначать любому сегменту ОЗУ или флэш адрес любой страницы или группы памяти. Особенность семейства – распределение памяти между кодовым пространством и пространством данных практически в любой пропорции. Программируемая логика заменяет внешние связующие логические микросхемы и позволяет реализовывать функции конечного автомата, сдвигового регистра и счетчика, интерфейса клавиатуры или панели управления и т.п. В число периферийных устройств МК  $\mu$ PSD3234A входят USB-интерфейс, два UART-канала, четыре 8-бит ШИМ-генератора, четыре 8-бит АЦП, I<sup>2</sup>C-интерфейс типа "главный-подчиненный", канал данных системы отображения, контрольные блоки, такие как сторожевой таймер и детектор падения напряжения, и до 50 универсальных выводов входа/выхода. Напряжение питания микросхем – 5 и 3,3 В.

Встраиваемые МК семейства  $\mu$ PSD3200 предназначены для систем, требующих обработки большого объема кода и/или данных, таких как периферийные устройства кассовых терминалов, считыватели чеков/карт, термомпринтеры, сканнеры штрих-кода, контроллеры торговых автоматов. Они могут использоваться и в системах безопасности зданий, устройствах сигнализации и контроля доступа, в промышленных системах управления, портативном GPS-оборудовании, таксофонах и контрольно-измерительной аппаратуре. Поставляются МК в 51- и 80-выводных плоских корпусах типа TQFP.

А встраиваемые микросхемы конфигурируемых 8-бит систем-на-кристалле семейства E5 фирмы Triscend объединяют на одном чипе ядро стандартного высокопроизводительного микроконт-

роллера 8051 и реконфигурируемые периферийные блоки (рис.3). Пять микросхем семейства содержат программируемые логические ячейки (более 3800 вентиляей и 300 программируемых входов/выходов), специализированное СОЗУ (емкостью до 64 Кбайт), три 16-бит таймера, 32-бит сторожевой таймер (возможны дополнительные таймеры), специализированную конфигурируемую систему шин (в том числе 32-бит адресную шину и 8-бит шину данных со скоростью прямого доступа к памяти до 40 Мбайт/с, до 316 программируемых портов ввода/вывода). С помощью программных средств проектирования фирмы FastChip разработчик может легко создать вариант микроконтроллера с оптимизированными для выполнения требуемых функций характеристиками. Поэтому МК семейства весьма перспективны для построения быстропродвигаемых на рынок высокоспециализированных систем.

Особенность популярных 8-бит МК PICmicro-семейства фирмы Microchip Technology – RISC-процессорное ядро. В семейство входят более 140 МК – от контроллеров серии PIC12 в восьмивыводных корпусах до последних моделей PIC18F, выполненных по NanoWatt технологии, позволяющей разработчикам полностью управлять потребляемой системой мощностью, и серии rPIC микроконтроллеров, объединенных с ВЧ-передатчиком на частоту 315/433 МГц. В результате МК серии rPIC отвечают требованиям

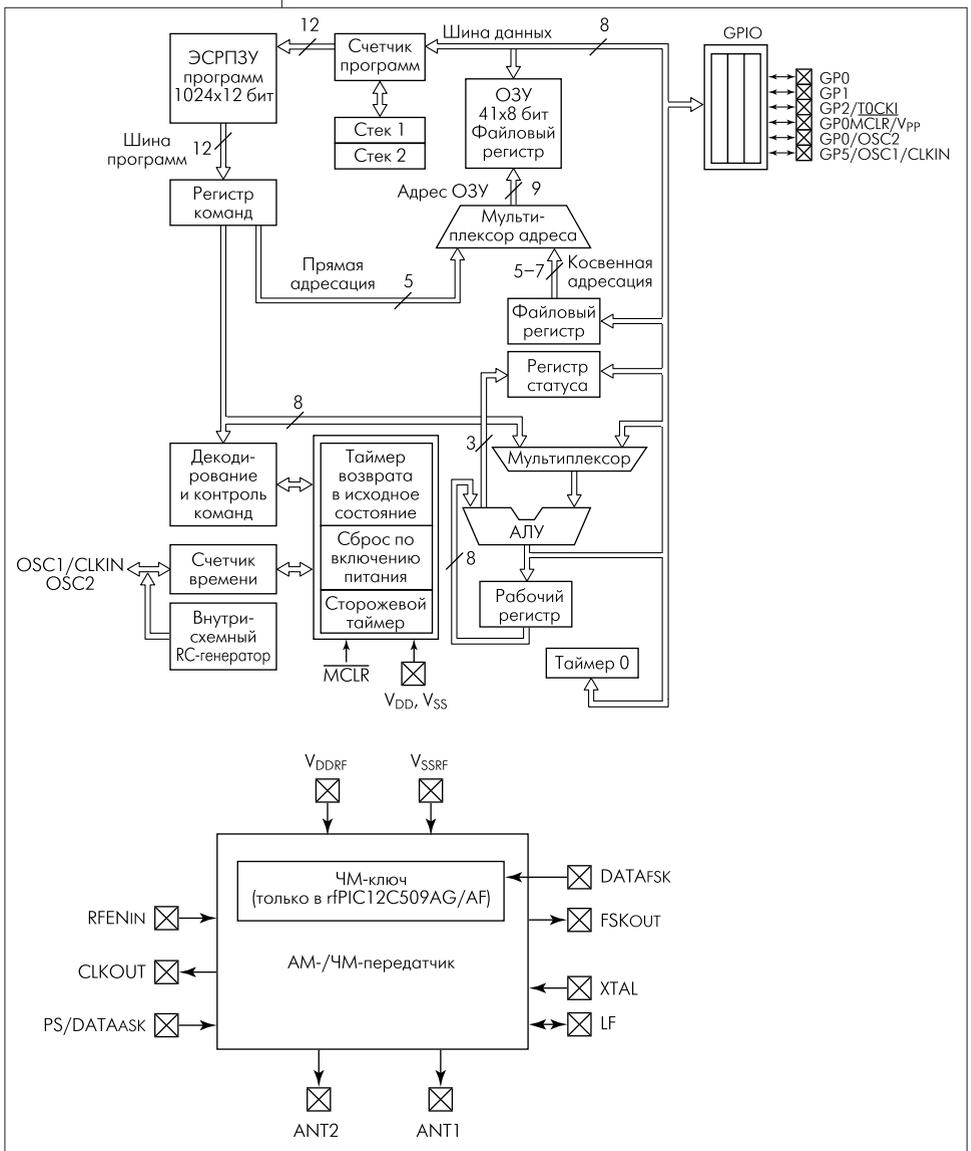


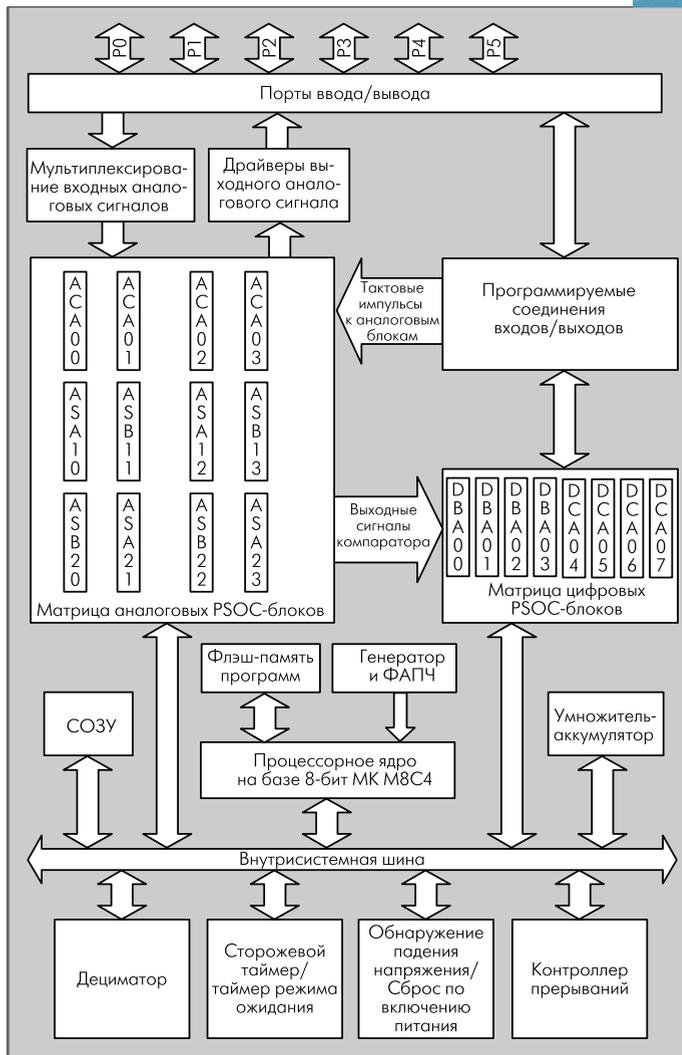
Рис.4. Блок-схема МК с ВЧ-передатчиком типа rPIC12C509AG/509AF

Федеральной комиссии по средствам связи США и Европейского комитета по радиосвязи. Микроконтроллеры младших серий семейства по коду и разводке совместимы с МК следующих серий, что облегчает переход к более сложным устройствам. В 8-бит МК PIC семейства предусмотрена возможность реализации разработанной фирмой Microchip технологии внутрисхемного последовательного программирования, позволяющей записывать программу после монтажа микросхемы на плату.

МК серии PIC12 предоставляют разработчикам широкий выбор изделий – от чисто цифровых до устройств с 8/10-бит АЦП, ЭСПЗУ, 8/16-бит таймером, ШИМ-генератором, сторожевым таймером с собственным RC-генератором, программируемой защитой кода, модулями USART/SCI-интерфейсов, подчиненным параллельным 8-бит портом, детектором понижения напряжения. Области их применения самые разнообразные – от зубочисток, фенов, пылесосов до промышленного автоматизированного оборудования и медицинской аппаратуры.

Новейшие МК PIC18FXX20 (шесть МК с флэш-памятью), входящие в серию PIC18, совместимы по коду и разводке выводов с МК фирмы в 18-, 28- и 40-выводных корпусах, что позволяет разработчикам аппаратуры использовать программные и аппаратные средства уже имеющихся систем проектирования и, тем самым, снизить общие издержки проектирования и обеспечить своевременный выход на рынок. МК серии выполнены по усовершенствованной NanoWatt-технологии и содержат: 13-канальный 10-бит АЦП; ШИМ-модуль с одним, двумя и четырьмя выходами, автоматическим останом и перезапуском; USART-модуль, поддерживающий стандарты RS-485, RS-232; программируемый 16-уровневый модуль детектирования падения напряжения и выхода из режима пониженного потребления. Кроме того, МК серии содержат гибкую схему синхронизации с шестью "программно контролируемые" режимами управления питанием. Схема обеспечивает выполнение команд в реальном времени, а также управление скоростью их выполнения, уменьшая тем самым уровень потребляемой системой мощности. И еще МК содержит сторожевой таймер на малый ток и блок обнаружения неисправностей внешнего генератора тактовых импульсов. Предусмотрена также возможность двухскоростного выхода из режима сброса или ожидания. Используются МК этой серии в "разумных" датчиках (дыма, утечки газа, больничных идентификационных бирках, системах безопасности, устройствах управления напряжением), портативном оборудовании, ВЧ-управляемой аппаратуре, устройствах контроля работы батарей и контроля температуры.

Первые МК rfPIC-серии (в которую должны войти 10 микросхем) – rfPIC12C509AG/509AF – представляют собой 20-выводные микроконтроллеры семейства PICmicro с AM и AM/ЧМ передатчиком, соответственно. Помимо ВЧ-передатчика МК содержат шесть выводов входа/выхода, семь специализированных регистров, двухуровневый стек памяти, 8-бит таймер реального времени/счетчик с 8-бит программируемым прескалером, сторожевой таймер, драйвер СИД-индикатора (рис.4). Работают они с 33 однословными командами, которые, за исключением команд перехода программы, выполняются за один цикл (1 мкс на частоте 4 МГц). В передатчике использован ГУН с фазовой подстройкой частоты, что обеспечивает работу с узкополосным приемником и тем самым увеличение дальности передачи и помехоустойчивости. МК и ВЧ-передатчик на кристалле не соединены, генераторы этих двух устройств работают независимо один от другого. МК новой серии предназначены для: домашнего малогабаритного бытового оборудования; клавиатуры ПК; систем управления кондиционерами, ор-



**Рис.5. Блок-схема динамически реконфигурируемого МК семейства CY8C25xxx/26xxx фирмы Cypress**

сительными устройствами, игрушками; беспроводных датчиков (температуры, дыма, давления и т.п.); охранных систем.

Средства проектирования фирмы MPLAB ICD2 обеспечивают дешевое программирование флэш-памяти микросхемы и отладку с применением пользовательского графического интерфейса.

Рассматривая современные МК, нельзя не упомянуть новое семейство Nitron, выпущенное лидером на рынке 8-бит микроконтроллеров (24% мировых продаж в 2001 году) – фирмой Motorola. Выполненные на базе архитектуры широко распространенной серии HC08 и 0,5-мкм флэш-памяти, эти МК – одни из самых дешевых на сегодняшний день. Они содержат двухканальные 16-бит таймеры с возможностью захвата и сравнения, четырехканальный 8-бит АЦП, сторожевой таймер, детектор падения напряжения, схему непосредственного управления СИД-индикатором. МК нового семейства находят самое широкое применение – от периферийных систем ПК до автомобильной электроники, бытовой техники, систем безопасности.

Но даже после того, как выбран нужный МК и начата разработка системы, многочисленные возникающие проблемы могут привести конструктора к выводу, что его выбор оказался далеко не лучшим. Чтобы избежать этого, Cypress Microsystems в середине 2001 года выпустила семейство 8-бит МК типа CY8C25xxx/26xxx, выполненных на базе контроллера M8C с гарвардской архитектурой и динамически реконфигурируемыми встроенными периферийными блоками (programmable-system-on-chip – PSOC). Всего МК семейства

содержит 12 аналоговых и восемь цифровых 8-бит блоков (рис.5). На базе цифровых блоков можно реализовать функции таймеров, счетчиков, контроллеров, последовательных связанных портов, ШИМ, генераторов псевдослучайных чисел и др., на базе аналоговых блоков – АЦП, усилители с программируемым усилением, программируемые фильтры, ЦАП и др. PSOC-приборы могут динамично переключать аналоговые и цифровые блоки для выполнения многочисленных функций, благодаря чему появляется возможность замены множества МК, выполняющих фиксированные функции, программно конфигурируемым контроллером. Все микросхемы семейства, кроме восьмивыводного МК, содержат источники тока для поддержки питания от одной батареи.

С помощью программных PSOC-средств проектирования конструктор может программировать и репрограммировать чипы несколькими щелчками мыши. После того, как пользователь определил нужные функции периферийных блоков, программные средства автоматически генерируют хранимые в регистрах установочные параметры, а также программный интерфейс приложения и программу обслуживания прерываний. Инструментальные средства могут включать и компилятор на языке Си стоимостью 145 долл., и внутрисхемный эмулятор стоимостью 150 долларов.

Переход в системе от 8-бит МК к 32-бит контроллеру обычно требует существенного изменения программного обеспечения, даже если используется язык высокого уровня Си. Это объясняется различием архитектур периферийных блоков. Не так обстоят дела с МК серии KX1 фирмы NEC Electronics. Все МК серии имеют одинаковые встроенные периферийные устройства с одинаковой архитектурой, включая регистры интерфейса. Просто у 32-бит МК больше вычислительных возможностей. В число периферийных блоков входят 8- и 16-бит таймеры, сторожевой таймер, ШИМ, последовательные порты ввода/вывода, поддержка UART/SPI/I<sup>2</sup>C, восьмиканальные 8/10-бит АЦП и ЦАП.

Потенциал 8-бит микроконтроллеров безграничен, а конкуренция со стороны моделей большей разрядности сдерживает рост их цен. Потребности в 8-бит аппаратных и программных средствах не снижаются. Так что в будущем можно ожидать появления изделий со все меньшими габаритами и все большими функциональными возможностями.

Electronic Design, June 24, 2002, p.42-52  
Фирменные материалы

**Новый тип флэш-памяти.  
Квантово-размерные структуры могут  
дать ей вторую жизнь**

Работы Токийского университета и фирмы Advanced Micro Devices, о которых было доложено на конференции IEDM 2002 года, показали возможность формирования с помощью существующих материалов и процессов квантово-размерных структур с разрешением, намного превосходящим возможности литографического оборудования. В обоих исследованиях эти структуры предназначались для захвата носителей заряда в области между затвором и каналом обычного МОП-транзистора. Что важно, обе группы разработчиков использовали в качестве материала, в котором формируется структура ловушки, кремний, а не изучаемые сегодня для следующего поколения флэш-памяти сегнетоэлектрические, магниторезистивные (фирма Sharp Laboratories America) и халькогенидные (STMicroelectronics) материалы, а также нитриды (Masconix) и обогащенные кремнием оксиды (консорциум IMEC). Исследования этих материалов дали многообещающие результаты, но, все-таки, это – новые, не достаточно хорошо изученные материалы. Вот почему доклады представителей Токийского университета и фирмы AMD вызвали живой интерес участников конференции.

Проблема флэш-памяти, несмотря на ее высокую, намного превосходящую ожидаемую, робастность, – возникновение отказов после нескольких операций стирания или быстрая потеря данных по мере достижения минимальных размеров менее 65 нм. В определенном смысле флэш-память – квантовый прибор, поскольку запись и стирание данных в нем происходят в результате туннелирования электронами тонких оксидных пленок, приводящего к формированию затвора с плавающим потенциалом. Но масштабы эффекта в современных приборах, требующих воздействия нескольких тысяч или даже миллионов туннелирующих электронов, по стандартам квантовой электроники огромны. Теоретически существует возможность создания приборов со столь малыми размерами элементов, что захват даже небольшого числа электронов приводил бы к изменению энергетической структуры канала и порогового напряжения транзистора, т.е. идея создания ячейки памяти с очень малыми значениями времени записи и стирания данных вполне осуществима. И если уровень изменения порогового напряжения будет достаточно велик для его регистрации, такие устройства окажутся совместимы с существующими схемами. Реализовать память на основе этого принципа и попытались специа-

листы Токийского университета и фирмы AMD, хотя подходы у них разные. Японские ученые методом осаждения из паровой фазы при низком давлении выращивали поверх туннелируемого оксидного слоя между электродом затвора и каналом обычного полевого транзистора "россыпь" кремниевых нанокристаллов (размером около 8 нм). Затем их положение фиксировалось путем наращивания оксидного слоя большей толщины. Нанокристаллы формировали квантово-размерные ловушки, способные захватывать отдельные электроны и тем самым влиять на значение порогового напряжения. Но создать функционирующую схему памяти удалось лишь после того, как разработчики поняли, что с уменьшением толщины оксида под нанокристаллами их влияние на пороговое напряжение усиливается, и при толщине оксида 5–10 нм захват электронов небольшим числом нанокристаллов приводит к ощутимому изменению этого напряжения.

Аналогичный результат получили и специалисты фирмы AMD, но с помощью совершенно другой структуры. В ее основе лежат результаты работы по созданию так называемой поликремниевой нанопроволоки, представляющей собой нить поликремния чрезвычайно малого сечения, огибающую края затвора обычного МОП-транзистора. Подобно нанокристаллам в японской разработке, нанопроволока размещается между тонким нижним оксидным слоем и верхним оксидом несколько большей толщины. При этом разработчики обнаружили, что при толщине нанопроволоки около 2 нм можно реализовать ячейку флэш-памяти. Поскольку для формирования проволоки таких малых размеров требуются лишь операции травления, осаждения и диффузии, при изготовлении флэш-памяти с квантово-размерной структурой не возникает проблема недостаточно высокого разрешения процесса литографии. Изменение порогового напряжения, достаточное для регистрации, возникает, по данным разработчиков, уже при захвате около 1000 электронов. Время записи данных весьма мало, причем для приборов фирмы AMD, в отличие от схем Токийского университета, характерна высокая "сохранность" данных.

Сообщения на конференции свидетельствуют о том, что, возможно, наиболее перспективной структурой следующего поколения флэш-памяти станет квантово-размерная. И возможность формирования ее на базе кремния, а не экзотических материалов, – хорошая новость для разработчиков, а тот факт, что ячейки памяти внешне подобны ячейкам обычной МОП-памяти, обещает свести к минимуму проблемы для схемотехников.

Electronic Engineering Times, Dec.13, 2002.