

COLDFIRE: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

ИГОРЬ ШАГУРИН, д.т.н., проф., руководитель лаборатории микропроцессорных систем кафедры микро- и нанoeлектроники, МИФИ

В статье рассказывается о микропроцессорах и микроконтроллерах ColdFire, их производительности, функциональных особенностях и преимуществах по сравнению с другими 32-разрядными микропроцессорами и микроконтроллерами для встраиваемых приложений.

В 1994 г. компания Motorola, являвшаяся одним из лидеров на рынке производства полупроводниковых приборов, начала выпуск нового семейства 32-разрядных микропроцессоров, которое получило название ColdFire (условное обозначение MCF5xxx). Целью его разработки было создание процессоров с более высокой производительностью и с меньшей стоимостью, чем микропроцессоры семейства MC68xxx, которые были в то время основной продукцией Motorola в классе высокопроизводительных микропроцессоров. Для достижения этой цели процессоры проектировались с использованием ряда принципов RISC-архитектуры. Особенностью семейства ColdFire является использование команд переменной длины: 2, 4 или 6 байт. Благодаря этому микропроцессоры MCF5xxx требуют меньшего объема памяти программ по сравнению с традиционными RISC-процессорами, для которых характерна фиксированная (обычно 32-битная) длина команд. В то же время процессоры ColdFire имеют такую же регистровую модель пользователя, как семейство MC68xxx, реализуют набор команд и способы адресации этого семейства. Таким образом, реализуя удобный для пользователя широкий набор команд и способов адресации, характерных для RISC-процессоров, семейство ColdFire обеспечивает высокую производительность (выполнение в каждом такте одной и более операций), свойственную RISC-процессорам [1].

Компания Freescale Semiconductor, организованная в 2003 г. на базе Сектора полупроводниковых компонентов компании Motorola, продолжила выпуск этого семейства, значительно расширив его номенклатуру. В настоящее время в его состав входят более 90 моделей микропроцессоров и микроконтроллеров, имеющих широкий спектр характеристик и ориентированных на использование в аппаратуре различного назначения.

ПРОЦЕССОРНЫЕ ЯДРА COLDFIRE

Процессорное ядро CFPU (ColdFire Processor Unit), используемое семейством MCF5xxx (Motorola ColdFire 5xxx), имеет ряд модификаций. В современных моделях используются модификации V1, V2, V3, V4, у которых есть свои архитектурные особенности и сферы применения.

Ядро ColdFire V2, применение которого началось в 1994 г., является базовым вариантом для семейства MCF5xxx. В современных моделях используется модифицированный вариант этого ядра V2e, который обеспечивает аппаратную реализацию команд деления и выполнение группы команд «умножение — сложение — накопление» (MAC-операции: Multiplication with Accumulation), позволяющих эффективно реализовать процедуры цифровой обработки сигналов (ЦОС). Данное ядро использует 32-разрядную шину данных и 24-разрядную шину адреса, обеспечивающую адресацию памяти емкостью до 16 Мбайт. В ядре V2e организован четырехступенчатый конвейер выполнения команд, который позволяет в каждом такте получить результат выполнения очередной операции. Таким образом, средняя производительность процессорного ядра в MIPS (миллионов операций/с) практически соответствует его тактовой частоте в МГц. Это ядро используется в большинстве моделей микроконтроллеров и в ряде моделей микропроцессоров ColdFire.

Ядро V1 представляет собой упрощенный вариант ядра V2, используемый в семействе совместимых 8- и 32-разрядных микроконтроллеров Flexis, выпуск которых начался в 2006 г. Это ядро не выполняет команды деления (процедура деления реализуется программно с помощью компилятора) и MAC-операции. Ядра V3 и V4 ориентированы на применение в высокопроизводительных микропроцессорах. В большинстве моделей семейства используются модифицированные варианты ядер V3e и V4e, реализующие

команду деления и расширенный набор MAC-операций — EMAC. В этих ядрах используется 32-разрядная шина данных и 32-разрядная шина адреса, обеспечивающая адресацию до 4 Гбайт памяти.

В ядре V3e организован 6-ступенчатый конвейер выполнения команд с использованием статического предсказания направлений ветвления, обеспечивающий получение в каждом такте результата выполнения очередной операции. В ядре V4e, применение которого началось в 2000 г., реализован 9-ступенчатый конвейер выполнения команд. Динамический механизм предсказания направления ветвления по результатам предыдущих команд позволяет сократить до минимума количество перезагрузок конвейера при операциях условных переходов. Исполнительный конвейер этого ядра обеспечивает одновременное выполнение двух операций, при этом процессор в среднем получает за один такт результаты 1,5 операций. Такая архитектура названа «ограниченно суперскалярной». Уже имеются сообщения о разработке следующей версии ядра — V5, которая имеет полностью суперскалярную архитектуру и должна обеспечить более высокую производительность. Однако пока отсутствует информация о выпуске на базе этого ядра новых моделей микропроцессоров ColdFire.

Ядра ColdFire имеют два режима функционирования:

- режим супервизора;
- режим пользователя.

При этом обеспечивается разделение системных ресурсов, которое позволяет организовать отдельные сегменты памяти для хранения программ, данных и организации стека, используемых операционной системой (супервизор) и прикладными задачами (пользователи).

Процессорные ядра ColdFire содержат 16 32-разрядных регистров общего назначения и выполняют широкий набор команд с использованием раз-

нообразных способов адресации операндов: регистровая, косвенно-регистровая со смещением и индексированием, прямая, относительная, непосредственная. Реализуются различные варианты операций пересылок, включая пересылки «память–память», арифметические операции, включая деление и вычисление остатка, основные логические операции И, ИЛИ, НЕ, Исключающее ИЛИ, битовые операции, многоразрядные сдвиги, а также набор необходимых операций управления программой: условные и безусловные переходы, вызовы подпрограмм, прерывания.

Набор MAC-операций реализуется с использованием дополнительного 32-разрядного аккумулятора ACC. При этом выполняются две основные операции:

MAC-сложение $\rightarrow ACC +$

$+ [(Rx \times Ry) \ll n] \rightarrow ACC,$

MAC-вычитание $\rightarrow ACC -$

$- [(Rx \times Ry) \ll n] \rightarrow ACC,$

где Rx, Ry — регистры общего назначения, а произведение $(Rx \times Ry)$ сдвигается на заданное количество разрядов. Операции могут выполняться над целыми или дробными числами, возможно использование «арифметики с насыщением». Одновременно с выполнением этих операций может производиться загрузка из памяти содержимого регистра общего назначения Rz, которое будет использовано в следующей MAC-операции. Обеспечивается возможность организации кольцевых массивов, выбираемых из памяти данных.

При выполнении расширенного набора операций EMAC используются четыре 32-разрядных аккумулятора и обеспечивается получение 48-разрядного результата. Кроме одиночных MAC-операций с загрузкой или без загрузки регистра Rz реализуется одновременное выполнение парных операций MAC-сложения и/или MAC-вычитания с использованием различных аккумуляторов — таким образом достигается ускоренное выполнение процедур цифровой обработки сигналов.

На базе ядер V1 и V2e выпускается большая номенклатура микроконтроллеров, которые имеют внутреннюю флэш-память емкостью 32...512 Кбайт и работают с тактовой частотой 50...80 МГц. На базе ядер V2e, V3e, V4e производятся микропроцессоры, которые не содержат внутренней флэш-памяти, используя внешнюю память, и работают с тактовой частотой до 266 МГц. На рисунке 1 проиллюстри-

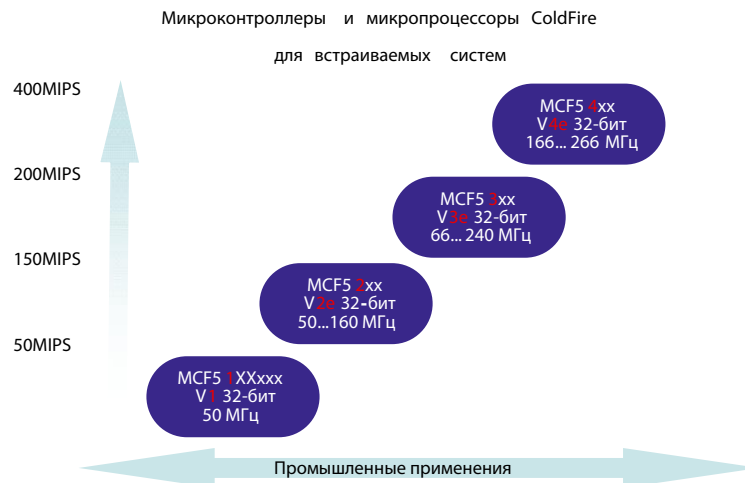


Рис. 1. Производительность микроконтроллеров и микропроцессоров ColdFire с использованием различных ядер

рована производительность микроконтроллеров и микропроцессоров ColdFire, достигаемая при использовании различных процессорных ядер. Как следует из приведенных данных, обеспечивается производительность 50...400 MIPS (миллионов операций в секунду), что позволяет реализовать на основе семейства ColdFire большой набор промышленных приложений.

Следует отметить, что кроме применения в микроконтроллерах, ядро V1 может быть использовано в качестве сложнофункционального блока при разработке систем, реализуемых на базе FPGA [2]. Компанией IPextreme разработана IP-модель этого ядра для реализации на FPGA семейства Cyclone III (Altera). Предлагаемая модель обеспечивает выполнение деления и MAC-операций. Для подключения к процессорному ядру различных периферийных устройств используется стандартная шина AMBA. При реализации этого ядра на FPGA, производимых с технологическими нормами 0,13 мкм, обеспечивается тактовая частота 150 МГц. Для формирования ядра требуется 43 тыс. эквивалентных вентилях, что составляет всего несколько процентов от общих ресурсов FPGA этого семейства.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ СЕМЕЙСТВА COLDFIRE

Наиболее многочисленную группу составляют микроконтроллеры MCF52xxx, использующие процессорное ядро V2e. В эту группу входят 33 модели, которые отличаются максимальной тактовой частотой Ft, объемом внутренней памяти и составом периферийных модулей. Все микроконтроллеры этой группы используют напряжение питания 3,3 В, имеют рабочий диапазон температур $-40...85^{\circ}\text{C}$. Основные характеристики этих микроконтроллеров приведены в таблице 1.

В состав микроконтроллеров входит широкий набор интерфейсных моду-

лей. Для параллельного обмена данными используются порты ввода-вывода, количество которых составляет для разных моделей от 6 до 12. Большинство моделей содержит три универсальных асинхронных приемника-передатчика UART, один или два интерфейса межсхемного обмена I²C и буферизованный последовательный периферийный интерфейс QSPI (Queued Serial Peripheral Interface), который отличается от обычного интерфейса SPI наличием буферов типа FIFO для принимаемых и передаваемых данных емкостью по 32 байта, что позволяет избежать потерь информации в процессе обмена. Для реализации стандартных шинных протоколов обмена данными в состав ряда моделей включены контроллеры шин USB, CAN. Подключение к сетям Ethernet обеспечивается с помощью контроллеров FEC (Fast Ethernet Controller), которые позволяют производить обмен данными со скоростями до 10...100 Мбит/с.

Набор таймерных модулей включает 16- и 32-разрядные таймеры, имеющие по 4 канала, каждый из которых может работать в режиме захвата или совпадения. Для 16-разрядных таймеров реализуется также режим формирования сигналов с широтно-импульсной модуляцией PWM (Pulse-Width Modulation). Кроме того, контроллеры этой группы имеют два или четыре таймера для реализации периодических прерываний PIT (Programmable Interrupt Timer). Все контроллеры данной группы имеют четыре таймера для периодической организации прямого доступа к внутренней памяти данных. В составе большинства моделей имеется также таймер формирования сигналов реального времени RTC (Real Time Clock), который питается от отдельного источника напряжения, обеспечивая непрерывный контроль текущего времени.

Все модели данной группы содержат 8-канальный 10- или 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь,

обеспечивающий минимальное время преобразования 1,2 мкс и позволяющий одновременно измерять значения напряжения на двух входах. В составе данной группы имеются также микроконтроллеры со специфическими особенностями. Модели MCF5214/16 и MCF5280/81/82 ориентированы на использование совместно с внешней динамической памятью емкостью до 16 Мбайт. Для этого в состав этих моделей введен контроллер синхронной динамической памяти SDRAM и четырехканальный контроллер прямого доступа к памяти DMA. Для повышения производительности при работе с внешней памятью эти контроллеры имеют внутреннюю кэш-память емкостью 2 Кбайта, которая может использоваться как кэш команд, кэш данных или общий кэш команд-данных. В состав моделей MCF52255C, MCF52259C включен аппаратный блок криптографического преобразования данных ENC, который позволяет реализовать ряд стандартных алгоритмов криптографического кодирования: DES, 3DES, AES, MD5, SHA-1. Эти модели содержат также генератор случайных чисел.

В 2006 г. компания Freescale Semiconductor начала производство совместимых 8- и 32-разрядных микроконтроллеров семейства Flexis, что позволяет пользователям существенно упростить процедуру перехода к применению в их продукции более высокопроизводительных 32-разрядных процессорных ядер. В состав семейства входят модели, полностью идентичные по тактовой частоте, объему внутренней памяти, набору периферийных устройств и другим характеристикам, но отличающиеся типом используемого процессорного ядра: 8-разрядное ядро S08, применяемое в семействе микроконтроллеров HC9S08, или 32-разрядное ядро ColdFire V1 [3]. При этом совместимость программного кода обеспечивается при программировании на языке C с использованием единой среды разработки CodeWarrior IDE, версия 6.0. Рабочий диапазон температур микроконтроллеров этого семейства составляет -40...85°C.

В настоящее время выпускается ряд серий микроконтроллеров семейства Flexis, в которых используется модификация V1 процессорного ядра ColdFire. Их основные характеристики приведены в таблице 2. Микроконтроллеры этой группы имеют достаточно широкий набор интерфейсных модулей (два SCI, два SPI, два I²C), один или два аналоговых компаратора АС, многоканальные 12-битные АЦП, возможности подключения клавиатуры с помощью 8-разрядных портов, иницирующих запросы прерывания КВІ (Key-Board Interrupt), таймер реального времени RTC.

Таблица 1. Микроконтроллеры с ядром ColdFire V2e

Модель	Макс. Ft, МГц	Флэш, Кбайт	ОЗУ, Кбайт	Таймеры	Число вх/вых	Последоват. порты	АЦП	Другие возможности
MCF5211	66, 80	128	16	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	44	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	PWM, PIT — 2
MCF5212	66, 80	128	32	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	44	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	PWM, PIT — 2
MCF5213	66, 80	256	32	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	56	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	CAN, PWM, PIT — 2
MCF5214	66	256	64	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	142	UART — 3, I ² C, QSPI	10-бит, 8 кан.	CAN, PIT — 4, K — SDRAM
MCF5215	66	512	64	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	142	UART — 3, I ² C, QSPI	10-бит, 8 кан.	CAN, PIT — 4, K — SDRAM
MCF52100	66, 80	64	16	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	44	UART — 3, I ² C — 2, QSPI	12-бит, 8 кан.	RTC, PWM, PIT — 2
MCF52110	66, 80	128	16	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	56	UART — 3, I ² C — 2, QSPI	12-бит, 8 кан.	RTC, PWM, PIT — 2
MCF52210	66, 80	64	16	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	46	UART — 3, I ² C — 2, QSPI	12-бит, 8 кан.	USB, RTC, PWM, PIT — 2
MCF52211	66, 80	128	16	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	52	UART — 3, I ² C — 2, QSPI	12-бит, 8 кан.	USB, RTC, PWM, PIT — 2
MCF52212	50	64	4	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	35	UART — 2, I ² C — 2, QSPI	12-бит, 8 кан.	USB, RTC, PWM, PIT — 2
MCF52213	50	128	8	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	35	UART — 3, I ² C — 2, QSPI	12-бит, 8 кан.	USB, RTC, PWM, PIT — 2
MCF52221	66, 80	128	16	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	46	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	USB, RTC, PWM, PIT — 2
MCF52223	66, 80	256	32	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	52	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	USB, RTC, PWM, PIT — 2
MCF52230	60	128	32	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	76	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, RTC, PIT — 2
MCF52231	60	128	32	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	76	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, CAN, RTC, PIT — 2
MCF52232	50	128	32	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	43	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, RTC, PIT — 2
MCF52233	60	256	32	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	76	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, RTC, PIT — 2
MCF52234	60	256	32	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	76	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, CAN, RTC, PIT — 2
MCF52235	50	256	32	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	76	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, CAN, RTC, PIT — 2
MCF52236	50	256	32	32-бит, 4 кан. 16-бит, 4 кан.	43	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, CAN, RTC, PIT — 2
MCF52252	80	256	32	16-бит, 4 кан.	64	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, USB, RTC, PWM
MCF52252C	66	256	32	16-бит, 4 кан.	64	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, USB, CAN, RTC, PWM
MCF52254	80	512	64	16-бит, 4 кан.	64	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, USB, RTC
MCF52254C	66	512	64	16-бит, 4 кан.	64	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, USB, CAN, RTC, PWM
MCF52255C	80	512	64	16-бит, 4 кан.	64	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, USB, CAN, RTC, PWM, ENCR
MCF52256	80	256	32	16-бит, 4 кан.	96	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, USB, RTC, PWM
MCF52256C	66	256	64	16-бит, 4 кан.	96	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, USB, CAN, RTC, PWM, PWM
MCF52258	80	512	64	16-бит, 4 кан.	96	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, USB, RTC, PWM
MCF52258C	66	512	64	16-бит, 4 кан.	96	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, USB, CAN, RTC, PWM
MCF52259C	80	512	64	16-бит, 4 кан.	96	UART — 3, I ² C, QSPI	12-бит, 8 кан.	FEC, USB, CAN, RTC, PWM, ENCR
MCF5280	66, 80	—	64	32-бит, 4 кан. 16-бит, 8 кан.	150	UART — 3, I ² C, QSPI	10-бит, 8 кан.	FEC, USB, PIT — 4, K — SDRAM
MCF5281	66, 80	256	64	32-бит, 4 кан. 16-бит, 8 кан.	150	UART — 3, I ² C, QSPI	10-бит, 8 кан.	FEC, USB, PIT — 4, K — SDRAM
MCF5282	66, 80	512	64	32-бит, 4 кан. 16-бит, 8 кан.	150	UART — 3, I ² C, QSPI	10-бит, 8 кан.	FEC, USB, PIT — 4, K — SDRAM

В состав серии CE входят микроконтроллеры с низким энергопотреблением. Микроконтроллеры этой серии работают при напряжении питания 1,8...3,6 В, при этом обеспечивается максимальная тактовая частота ядра Ft = 50 МГц в диапазоне напряжений 3,6...2,1 В и Ft = 20 МГц в диапазоне 1,8...2,1 В. При максимальной рабочей частоте 50 МГц ток питания микроконтроллеров не превышает 27 мА, а при выключенных периферийных устройствах и тактовой частоте 32 КГц потребляемый ток не превышает 50 мкА. Обеспечивается несколько вариантов энергосберегающих режимов, при этом потребляемый ток в режиме ожидания составляет 1 мкА и ниже.

Серия JM предназначена для приложений, использующих интерфейсы CAN и USB. В состав микроконтроллеров этой серии включен также блок криптографического преобразования данных ENC, реализующий алгоритмы DES, 3DES, AES, MD5, SHA-1 и генератор случайных чисел. Серия AC ориентирована на приложения, связанные с управлением двигателями. Для этого используется 24-канальный 12-битный АЦП и два дополнительных 16-битных таймерных модуля FTM (Flex Timer Module), каналы которых могут синхронизироваться для совместного выполнения функций управления.

Микроконтроллеры этой серии содержат также сторожевой таймер.

В состав микроконтроллеров серии CN включен FEC — контроллер сети Ethernet. Особенностью микроконтроллеров серии EM является использование модифицированного ядра V1, которое выполняет набор MAC-операций. Микроконтроллеры этой серии содержат быстрый 16-разрядный АЦП и контроллер многострочного ЖК-дисплея размерностью до 288 символов.

ВСТРАИВАЕМЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРЫ СЕМЕЙСТВА COLDFIRE

Микропроцессоры семейства ColdFire ориентированы на использование во встраиваемых системах, поэтому они интегрируют на кристалле большую номенклатуру периферийных модулей. Т.к. максимальная частота функционирования современной флэш-памяти не превышает 80...90 МГц, то для повышения производительности систем встраиваемые микропроцессоры не содержат внутренней флэш-памяти, а используют внешнюю динамическую память SDRAM и внутреннюю кэш-память емкостью от единиц до десятков Кбайт. Благодаря этому достигается значительное повышение тактовой частоты — до 266 МГц (для микроконтроллеров с флэш-памятью не более 80 МГц).

Поэтому все микропроцессоры семейства ColdFire имеют выход на 32-разрядную системную шину (32 разряда данных и 32 разряда адреса) и содержат контроллер внешней динамической памяти SDRAM и блок прямого доступа к памяти DMA, обеспечивающий быструю загрузку внутреннего ОЗУ по нескольким каналам внешнего доступа (2, 4 или 16 каналов).

Кэш-память, которая входит в состав всех микропроцессоров семейства, имеет различные варианты реализации. Большинство моделей содержит программируемую кэш-память C(I/D), которая может использоваться либо как кэш команд CI, либо как кэш данных CD, либо как общий кэш команд-данных CU. Некоторые модели содержат только кэш команд CI или общий кэш CU. В большинстве микропроцессоров на базе высокопроизводительного ядра V4e имеются отдельные кэши команд и данных.

В состав всех микропроцессоров входят часы реального времени RTC и сторожевой таймер WDT. Большинство микропроцессоров использует два напряжения питания: 1,5 В — для ядра и 3,3 В — для периферийных каскадов. В ряде моделей требуется дополнительное напряжение 2,5 В для организации интерфейса с внешней динамической памятью.

Таблица 2. Микроконтроллеры с ядром ColdFire V1 (семейство Flexis)

Модель	Макс. Ft, МГц	Флэш, Кбайт	ОЗУ, Кбайт	Таймеры	Число вх/вых	Последоват. порты	АЦП	Другие возможности
MCF51QE32	50	32	8	16-бит, 6 кан. 2×16-бит, 3 кан.	54	SCI — 2, I ² C — 2, SPI — 2	12-бит, 20 кан.	KBI — 2, AC — 2
MCF51QE64	50	64	8	16-бит, 6 кан. 2×16-бит, 3 кан.	54	SCI — 2, I ² C — 2, SPI — 2	12-бит, 20 кан.	KBI — 2, AC — 2
MCF51QE128	50	128	8	16-бит, 6 кан. 2×16-бит, 3 кан.	до 70	SCI — 2, I ² C — 2, SPI — 2	12-бит, 20 кан.	KBI — 2, AC — 2
MCF51JM32	50	32	16	16-бит, 6 кан. 16-бит, 2 кан.	до 66	SCI — 2, I ² C — 2, SPI — 2	12-бит, 12 кан.	KBI, AC, RTC, CAN, USB, ENC
MCF51JM64	50	64	16	16-бит, 6 кан. 16-бит, 2 кан.	до 66	SCI — 2, I ² C — 2, SPI — 2	12-бит, 12 кан.	KBI, AC, RTC, CAN, USB, ENC
MCF51JM128	50	128	16	16-бит, 6 кан. 16-бит, 2 кан.	до 66	SCI — 2, I ² C — 2, SPI — 2	12-бит, 12 кан.	KBI, AC, RTC, CAN, USB, ENC
MCF51AC128	50	128	16	2×16-бит, 6 кан 16-бит, 2 кан	до 70	SCI — 2, I ² C, SPI — 2	12-бит, 24 кан.	KBI, AC — 2, CAN, RTC
MCF51AC256	50	256	32	2×16-бит, 6 кан 16-бит, 2 кан	до 70	SCI — 2, I ² C, SPI — 2	12-бит, 24 кан.	KBI, AC — 2, CAN, RTC
MCF51CN128	50	128	24	2×16-бит, 3 кан.	до 70	UART — 3 I ² C — 2 SPI — 2	12-бит, 12 кан.	KBI — 2, FEC, RTC
MCF51EM128	50	128	32	16-бит, 6 кан. 16-бит, 1 кан. 2×8-бит, 1 кан.	до 70	SCI — 3 I ² C SPI — 2	16-бит, 4 кан.	LCD, KBI, RTC
MCF51EM256	50	256	32	16-бит, 6 кан. 16-бит, 2 кан. 2×8-бит, 1 кан.	до 70	SCI — 3 I ² C SPI — 2	16-бит, 4 кан.	LCD, KBI, RTC

Группа встраиваемых микропроцессоров, использующих процессорное ядро V2e, содержит 20 моделей, основные характеристики которых приведены в таблице 3. В состав моделей входит большой набор периферийных устройств, большинство из которых аналогично используемым в микроконтроллерах этого семейства. Однако в некоторых моделях используются дополнительные типы устройств в соответствии со спецификой применения этих микропроцессоров.

Микропроцессоры серии MCF5227x ориентированы на применение во встраиваемых системах с жидкокристаллическими дисплеями размером до 600×800 пикселей, имеющими сенсорный экран. Поэтому в их состав входит ЖКД-контроллер с 12-битным (в модели MCF52274) или 18-битным (в модели MCF52277) разрешением цветов. В этих моделях используются также синхронный последовательный интерфейс SSI и DSPIC — модифицированный вариант последовательного интерфейса SPI, который работает по

запросу внешних устройств в режиме прямого доступа к памяти. Интерфейс DSPIC служит для быстрого обмена данными между микропроцессором и внешними устройствами, например видеопамятью.

В микропроцессорах серии MCF523x используется дополнительный таймерный процессор eTPU (enhanced Time-Processing Unit), обеспечивающий прием и выдачу сигналов в реальном масштабе времени по 16 или 32 каналам. Его применение расширяет возможности управления различными устройствами системы. Микропроцессоры серии MCF524x предназначены для применения в различных аудиосистемах. Они содержат 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь, аудиодекодер, реализующий протокол IIS, и контроллер проигрывателя компакт-дисков. В их составе имеется также контроллер жесткого диска, обеспечивающий интерфейс по протоколу ATA или IDE.

Модель MCF5272 имеет расширенные возможности коммуникационного обмена данными. Кроме Ethernet-

контроллера FEC, в его составе имеется контроллер PLIC (Physical Level Interface Controller), реализующий на физическом уровне стандартные протоколы сетевого обмена с временным разделением каналов GDI/IDL и позволяющий обеспечить программную реализацию протокола HDLC. В составе моделей MCF5235, MCF5275, MCF5275L содержатся блоки криптографического преобразования данных ENC, реализующие алгоритмы MD5, SHA-1, и генератор случайных чисел. Температурный диапазон функционирования для данной группы микропроцессоров составляет -40...85°C. Высокопроизводительные микропроцессоры семейства ColdFire реализуются на базе ядер V3e, V4e, за исключением моделей MCF5307, MCF5407, которые являются родоначальниками соответствующих серий и используют более ранние версии процессорных ядер V3, V4. Основные характеристики этих микропроцессоров приведены в таблице 4.

На базе ядра V3e выпускаются две серии высокопроизводительных микропроцессоров, работающих с так-

Таблица 3. Встраиваемые микропроцессоры с ядром ColdFire V2e

Модель	Макс. Ft, МГц	Кэш, Кбайт	ОЗУ, Кбайт	Таймеры/PWM	Число вх/вых	Последоват. порты	АЦП	Другие возможности
MCF5206e	40, 54	4К — СI	8	16-бит, 2 кан.	-	UART — 2, I ² C	—	DMA — 2к.
MCF5207	166	8К — C(I/D)	16	32-бит, 4 кан.	30	UART — 3, I ² C, QSPI	—	DMA — 16 к., PIT — 2
MCF5208	166	8К — C(I/D)	16	32-бит, 4 кан.	50	UART — 3, I ² C, QSPI	—	DMA — 16 к., PIT — 2, FEC
MCF52274	120	8К — C(I/D)	128	32-бит, 4 кан./4 кан., 16-бит	47	UART — 3, I ² C, DSPIC	12-бит, 8 кан.	DMA — 16 к., PIT — 2, USB, CAN, SSI, WDT, LCD — К
MCF52277	160	8К — C(I/D)	128	32-бит, 4 кан./4 кан., 16-бит	56	UART — 3, I ² C, DSPIC	12-бит, 8 кан.	DMA — 16 к., PIT — 2, RTC, USB, CAN, SSI, RTC, WDT, LCD — К
MCF5232	80, 100, 150	8К — C(I/D)	64	32-бит, 4 кан.	79	UART — 3, I ² C, QSPI	—	DMA — 4 к., PIT — 4, RTC, CAN, eTPU — 16 к.
MCF5233	80, 150	8К — C(I/D)	64	32-бит, 4 кан.	79	UART — 3, I ² C, QSPI	—	DMA — 4 к., PIT — 4, RTC, CAN — 2, eTPU — 32 к.
MCF5234	80, 150	8К — C(I/D)	64	32-бит, 4 кан.	81	UART — 3, I ² C, QSPI	—	DMA — 4 к., PIT — 4, RTC, CAN, eTPU — 16 к.
MCF5235	80, 150	8К — C(I/D)	64	32-бит, 4 кан.	81	UART — 3, I ² C, QSPI	—	DMA — 4 к., PIT — 4, RTC, CAN — 2, eTPU — 16 к., ENC
MCF5249L	120	8К — CI	96	16-бит, 2 кан.	49	UART — 2, I ² C — 2, QSPI	12-бит, 6 кан.	DMA — 4 к., RTC, IDE, ATA, IIS, CD — ROM,
MCF5249	140	8К — CI	96	16-бит, 2 кан.	64	UART — 2, I ² C — 2, QSPI	12-бит, 6 кан.	DMA — 4 к., RTC, IDE, ATA, IIS, CD — ROM,
MCF5251	140	8К — CI	128	16-бит, 2 кан.	60	UART — 3, I ² C — 2, QSPI	12-бит, 6 кан.	DMA — 4 к., RTC, CAN — 2, USB, IDE, ATA, IIS, CD — ROM,
MCF5253	140	8К — CI	128	16-бит, 2 кан.	60	UART — 3, I ² C — 2, QSPI	12-бит, 6 кан.	DMA — 4 к., RTC, CAN — 2, USB, IDE, ATA, IIS,
MCF5270	100	16К — C(I/D)	64	32-бит, 4 кан.	78	UART — 3, I ² C, QSPI	—	DMA — 4 к., PIT — 4, WDT, FEC
MCF5271	100	16К — C(I/D)	64	32-бит, 4 кан.	78	UART — 3, I ² C, QSPI	—	DMA — 4 к., PIT — 4, WDT, FEC, ENC
MCF5272	66	16К — C(I/D)	4	32-бит, 4 кан./3 кан., 8-бит	48	UART — 2, QSPI	—	DMA — 2 к., WDT, FEC, PLIC
MCF5274L	133, 166	16К — C(I/D)	64	32-бит, 4 кан./4 кан., 8-бит	53	UART — 3, I ² C, QSPI	—	DMA — 4 к., PIT — 4, WDT, FEC, USB,
MCF5274	133, 166	16К — C(I/D)	64	32-бит, 4 кан./4 кан., 8-бит	74	UART — 3, I ² C, QSPI	—	DMA — 4 к., PIT — 4, WDT, FEC — 2, USB,
MCF5275L	133, 166	16К — C(I/D)	64	32-бит, 4 кан./4 кан., 8-бит	53	UART — 3, I ² C, QSPI	—	DMA — 4 к., PIT — 4, WDT, FEC, USB, ENC
MCF5275	133, 166	16К — C(I/D)	64	32-бит, 4 кан./4 кан., 8-бит	74	UART — 3, I ² C, QSPI	—	DMA — 4 к., PIT — 4, WDT, FEC — 2, USB, ENC

товой частотой до 240 МГц и выполняющих 1 команду за такт, обеспечивая среднюю производительность до 211 MIPS. В серию MCF532x входят модели, которые содержат контроллер полноформатного ЖК-дисплея в стандарте SVGA. Отметим, что наряду с моделью MCF5328 в составе этой серии выпускается ее модификация MCF53281, которая содержит блок, обеспечивающий поддержку технологии VoIP — передачу голоса по IP-сетям. В серию MCF537x входят модели со стандартным набором периферийных блоков, причем модели с нечетными номерами имеют в своем составе блок криптографической кодировки данных ENC. Все модели данной группы функционируют в температурном диапазоне -40...85°C.

Более многочисленная номенклатура микропроцессоров выпускается на базе ядра V4e, которое работает на тактовой частоте до 266 МГц. При этом за счет ограниченной суперскалярности этого процессорного ядра

достигается средняя производительность до 410 MIPS — в два раза выше, чем в микропроцессорах с ядром V3e. Все микропроцессоры этой группы имеют в своем составе блок управления памятью MMU, который реализует страничную адресацию виртуальной памяти емкостью до 240 байт (1 Кбайт) с размерами страниц 4 Кбайт, 8 Кбайт, 1 Мбайт или 16 Мбайт. Все модели с нечетными номерами содержат блок криптографической кодировки данных ENC с расширенным набором реализуемых алгоритмов шифрования — DES, 3DES, AES, MD5, RC4, SHA-1, SHA-256, а также имеют внутренний генератор случайных чисел. Большинство микропроцессоров данной группы содержит контроллер стандартной периферийной шины PCI.

Микропроцессоры серий MCF5447x и MCF5448x содержат блок обработки чисел с плавающей точкой, который выполняет набор арифметических операций в соответствии со стандартом IEEE-754 над вещественными

числами одинарной (32 бита) и двойной (64 бита) точности. В состав этих микропроцессоров входят четыре программируемых последовательных контроллера PSC, которые могут реализовать функции интерфейсов UART, USART и IrDA (передача данных по инфракрасному каналу). Для быстрого обмена данными с внутренним ОЗУ в режиме прямого доступа в микропроцессорах этих серий имеется буферизованный последовательный интерфейс DSPI.

Микропроцессоры серии MCF5445x функционируют в температурном диапазоне 0...70°C или -40...85°C, серии MCF5447x — в диапазоне 0...70°C, серии MCF5448x — в диапазоне -40...85°C.

СРЕДСТВА ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ОТЛАДКИ

Микроконтроллеры и микропроцессоры семейства ColdFire содержат набор внутренних средств, которые обеспечивают достаточно широкие возможности тестирования и отладки.

Таблица 4. Высокпроизводительные встраиваемые микропроцессоры с ядрами ColdFire V3/V3e и V4/V4e

Модель	Макс. Ft, МГц	Кэш, Кбайт	ОЗУ, Кбайт	Таймеры/ PWM	Число вх/вых	Последоват. порты	Другие возможности
MCF5307	66, 90	8K — CU	4	16-бит, 2 кан.	16	UART — 2	DMA — 4 к., RTC, WDT
MCF5327	240	16K — C(I/D)	32	32-бит, 4 кан./ 2 кан., 16 бит	64	UART — 3, I ² C, QSPI	DMA — 16 к., PIT — 4, USB, LCD — SVGA, RTC, WDT
MCF5328 (81)	240	16K — C(I/D)	32	32-бит, 4 кан./ 4 кан., 16 бит	94	UART — 3, I ² C, QSPI	DMA — 16 к., PIT — 4, FEC, USB, LCD — SVGA, RTC, WDT, (VoIP)
MCF5329	240	16K — C(I/D)	32	32-бит, 4 кан./ 4 кан., 16 бит	94	UART — 3, I ² C, QSPI	DMA — 16 к., PIT — 4, FEC, USB, CAN, LCD — SVGA, RTC, WDT, ENC
MCF5372/73	180	16K — C(I/D)	32	32-бит, 4 кан./ 4 кан., 16 бит	46	UART — 3, I ² C, QSPI	DMA — 16 к., PIT — 4, FEC, RTC, WDT, (ENC)
MCF5372L/73L	240	16K — C(I/D)	32	32-бит, 4 кан./ 4 кан., 16 бит	62	UART — 3, I ² C, QSPI	DMA — 16 к., PIT — 4, FEC, USB, RTC, WDT, (ENC)
MCF5407	166, 220	16K — CI 8K — CD	32	16-бит, 2 кан.	16	UART, USART, I ² C	DMA — 4 к., RTC, WDT,
MCF54450/51	180, 240	16K — C(I/D)	32	32-бит, 4 кан.	93	UART — 2, I ² C, DSPI	DMA — 16 к., FEC, USB, SSI, RTC, WDT, (ENC), MMU
MCF54452/53	200, 266	16K — C(I/D)	32	32-бит, 4 кан.	132	UART — 3, I ² C, DSPI	DMA — 16 к., FEC — 2, USB, SSI, PCI — K, RTC, WDT, (ENC), MMU
MCF54454/55	200, 266	16K — C(I/D)	32	32-бит, 4 кан.	132	UART — 3, I ² C, DSPI	DMA — 16 к., FEC — 2, USB, SSI, PCI — K, ATA — K, RTC, WDT, (ENC), MMU
MCF54470/71	200	32K — CI 32K — CD	32	32-бит, 4 кан.	93	PSC — 4, I ² C, DSPI	DMA — 16 к., FEC — 2, RTC, WDT, (ENC), MMU + FPU
MCF54472/73	200	32K — CI 32K — CD	32	32-бит, 4 кан.	77	PSC — 4, I ² C, DSPI	DMA — 16 к., FEC, USB, PCI — K, RTC, WDT, (ENC), MMU + FPU
MCF54474/75	266	32K — CI 32K — CD	32	32-бит, 4 кан.	93	PSC — 4, I ² C, DSPI	DMA — 16 к., FEC — 2, USB, SSI, PCI — K, RTC, WDT, (ENC), MMU + FPU
MCF54480/81	166	32K — CI 32K — CD	32	32-бит, 4 кан.	93	PSC — 4, I ² C, DSPI	DMA — 16 к., FEC — 2, USB, RTC, WDT, (ENC), MMU + FPU
MCF54482/3	166	32K — CI 32K — CD	32	32-бит, 4 кан.	77	PSC — 4, I ² C, DSPI	DMA — 16 к., FEC, USB, PCI — K, RTC, WDT, (ENC), MMU + FPU
MCF54484/5	200	32K — CI 32K — CD	32	32-бит, 4 кан.	93	PSC — 4, I ² C, DSPI	DMA — 16 к., FEC — 2, USB, PCI — K, RTC, WDT, (ENC), MMU + FPU

Большинство моделей содержит тестовый порт, который позволяет производить тестирование и отладку систем в соответствии со стандартом JTAG (IEEE 1149.1). Особенностью данного семейства является реализация режима отладки BDM (Back-Ground Debug Mode). В данном режиме процессор работает под управлением внешнего отладочного устройства (персонального компьютера), с помощью которого производятся необходимые процедуры контроля и модификации содержимого регистров и ячеек памяти, контроль внутреннего состояния процессора при выполнении текущей программы, выполнение программы с остановками в контрольных точках.

Следует отметить, что компания Freescale Semiconductor и ряд других поставщиков предлагают для этого семейства большой набор средств программирования и отладки. Компания Freescale Semiconductor выпускает большой набор оценочных плат стоимостью 300—850 долл. и демонстрационных наборов стоимостью 100—350 долл. для значительного числа моделей семейства ColdFire. Аналогичные изделия выпускают компании AXIOM, Phytex, P&E Microcomputer Systems, SofTec и ряд других производителей.

Комплекс интегрированных средств программирования-отладки, включающий компиляторы, симуляторы, отладчики, поставляется компаниями Freescale Semiconductor, Avocet Systems, Altium, Green Hills Software, IAR, Wind River Systems и др. Компания Freescale Semiconductor предлагает пользователям интегрированную среду разработки Code Warrior (CW), версия v7.0, которая обеспечивает возможности программирования для всех моделей семейства ColdFire с ядрами V2, V3, V4. При этом комплект CW Special с ограничениями по функциям и объему программного кода имеется в свободном доступе, стоимость рабочих комплектов составляет от 395 (базовый комплект CW Basic) до 1995 долл. (полный комплект CW Professional). В свободном

доступе имеется также вариант операционной системы реального времени Freescale MQX для семейства ColdFire. Операционные системы реального времени (RTOS) для данного семейства предлагаются также компаниями ENEA, Green Hills Software, Wind River Systems и рядом других. В свободном доступе имеются средства программирования для семейства ColdFire, распространяемые по лицензии GNU.

Необходимую информацию о предлагаемых аппаратных и программных средствах программирования/отладки можно найти на сайтах компаний-производителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывает проведенный обзор, микропроцессоры и микроконтроллеры семейства ColdFire имеют ряд существенных достоинств [4]:

- расширенный набор команд и способов адресации, включая MAC-операции и операции над числами с плавающей точкой, удобный и эффективный для создания системных и пользовательских программ;
- высокая производительность, которая достигает 76 MIPS для микроконтроллеров с флэш-памятью и 410 MIPS для встраиваемых микропроцессоров;
- большой объем внутренней памяти — ОЗУ емкостью до 128 Кбайт, флэш-память емкостью до 512 Кбайт (для микроконтроллеров); возможности подключения быстродействующей внешней памяти SDRAM емкостью до 4 Гбайт (для микропроцессоров);
- широкая номенклатура моделей, ориентированных на применение в электронной аппаратуре различного назначения;
- наличие в составе семейства моделей с низким энергопотреблением, которые перспективны для использования в системах с ограниченными энергоресурсами;
- большой набор внутренних периферийных устройств, включающий все основные виды интерфейсных блоков и шинных контроллеров, различные варианты таймерных модулей, 12-разрядные АЦП, контроллеры ЖК-дисплеев и ряд других специализированных контроллеров;
- возможности криптографического кодирования данных с использованием ряда стандартных алгоритмов.

При поставке промышленных партий (объем 10 тыс. шт.) стоимость микроконтроллеров MCF51xx (ядро V1) составляет 2—5 долл., микроконтроллеров MCF52xx (ядро V2e) — 4—18 долл. (для большинства моделей — менее 10 долл.). Стоимость встраиваемых микропроцессоров при поставке таких же партий составляет 5—25 долл.

По совокупности перечисленных характеристик семейство ColdFire занимает одно из лидирующих мест среди 32-разрядных микропроцессоров и микроконтроллеров, ориентированных на использование во встраиваемых приложениях. В настоящее время различные модели этого семейства широко используются в системах промышленной автоматики, медицинской и офисной технике, периферийных устройствах компьютерных систем, контрольно-измерительном и телекоммуникационном оборудовании, торговых терминалах, сложной бытовой аппаратуре. Продолжается интенсивное развитие этого семейства, что расширяет перспективы его применения в новых разработках встраиваемых систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шагурин И.И. *Современные микроконтроллеры и микропроцессоры Motorola*. — М.: Горячая линия — Телеком, 2004.
2. www.ip-extreme.com/corestore.
3. Соколов М. *Новое поколение 8- и 32-разрядных микроконтроллеров с ультранизким энергопотреблением*// *Электронные компоненты*, 2007, №10—11.
4. www.freescale.com/coldfire



ЗАО «ПКК Миландр»

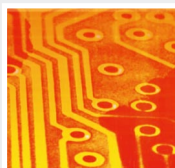
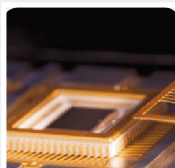
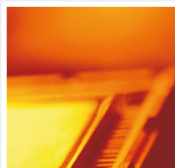
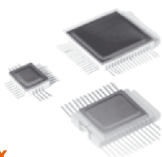
Производитель микросхем двойного и специального назначения (ВП, ОТК, безкорпусное исполнение) в том числе:

- поставка отладочных средств (программные и аппаратные)
- постоянная техническая поддержка (консультация специалистов, обучение, сотрудничество в разработке)

Разработка интегральных микросхем

Сертификация и испытание микросхем (иностранного производства)

Поставка импортных и отечественных электронных компонентов



www.milandr.ru

Адрес:
124498, Москва,
Зеленоград
проезд 4806, д.6

телефон/факс:
+7(495)601-95-45
+7(495)981-54-33
+7(495)739-02-81