

# Краткий обзор микроконтроллеров семейства MSP430 компании Texas Instruments

Микроконтроллеры MSP430 — это процессоры для обработки смешанных (аналоговых и цифровых) сигналов (Mixed Signal Processor — MSP), обладающие сверхнизким энергопотреблением. Наиболее очевидное преимущество малого потребления проявляется в мобильных устройствах. Низкое энергопотребление позволяет реализовать идею одноразового питания, когда на протяжении всего срока эксплуатации изделия используется один незаменимый источник. При этом источник питания устанавливается на фабрике, и исключается возможность поломки мобильного устройства в случае неправильной его замены. Эта идея применима для производства измерительных приборов, спортивного оборудования, портативных медицинских устройств. Кроме того, необходимо учитывать еще одно преимущество малого энергопотребления — сверхмалое электромагнитное излучение (EMI).

Игорь ГУК  
gii@scanti.ru

Компания Texas Instruments (TI) предлагает три семейства микроконтроллеров (MCU) для различных областей применения. На рис. 1 показано позиционирование данных семейств относительно производительности и разрядности.

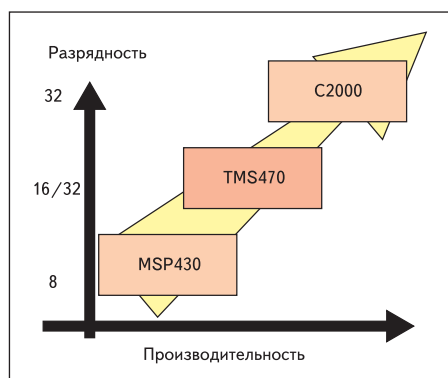


Рис. 1. Основные семейства микроконтроллеров компании Texas Instruments

Семейство C2000 предназначено для приложений, где необходимы высокопроизводительные 32-разрядные микроконтроллеры, а также сигнальные процессоры начального уровня. В первую очередь — это системы управления двигателями и источники питания. Процессоры данного семейства могут обеспечить пиковую производительность до 150 MIPS.

Процессоры семейства TMS470 основаны на архитектуре ARM7TDMI и первона-

чально предназначались для реализации 32(16)-разрядных решений в автомобильных приложениях. Однако теперь семейство позиционируется как процессоры общего применения для решения широкого круга задач при проектировании промышленного оборудования, например при разработке медицинской техники, терми-

налов автоматической продажи, удаленных точек доступа.

Семейство MSP430 нацелено в первую очередь на реализацию 8- и 16-разрядных решений с ультранизким энергопотреблением. Предлагаемая линейка процессоров данного семейства предусматривает ряд стандартных решений для реализации ма-

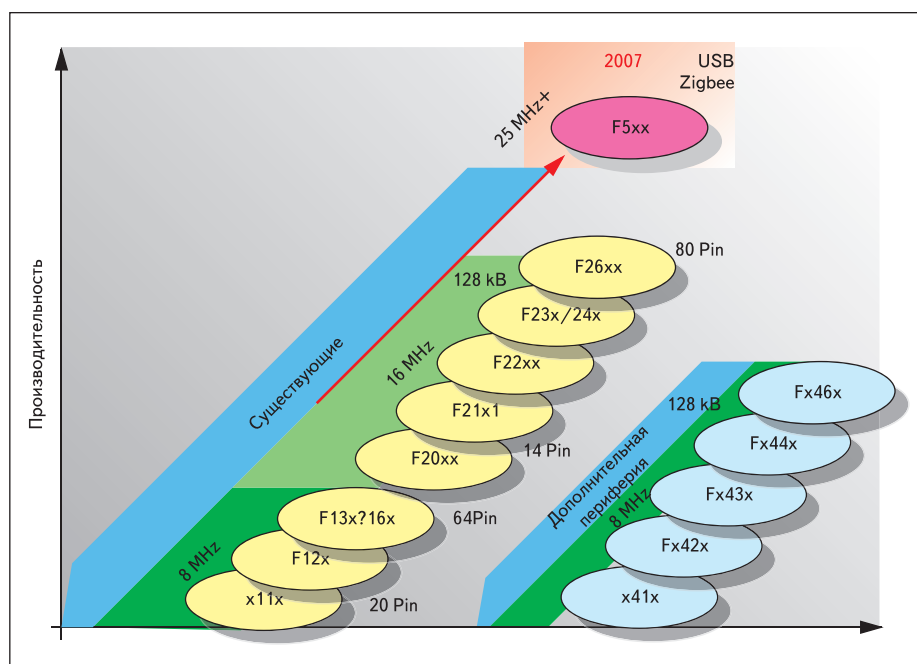


Рис. 2. Основные типы микроконтроллеров MSP430

**Таблица 1.** Краткая характеристика микроконтроллеров MSP430x1xx

Тип	Кол-во выводов	Flash/RAM	Таймеры	Интерфейсы	BOR	Дополнительно
F11x1	20	4K/256	A3			Comp_A
F11x2	20	8K/256	A3		x	ADC10
F12x	20	8K/256	A3	UART		Comp_A
F12x2	20	8K/256	A3	UART	x	ADC10
F13x	64	16K/512	A3, B3	UART		ADC12
F14x	64	60K/2K	A3, B7	(2)UART		ADC10, MPY
F15x	64	32K/1K	A3, B3	UART, I2C	x	ADC12, (2)DAC, (3)DMA
F16x	64	60K/10K	A3, B7	(2)UART, I2C	x	ADC12, (2)DAC, (3)DMA

Все чипы включают сторожевой таймер (WDT) и базовую систему синхронизации (BCS)

лопотребляющих и портативных приборов. Семейство характеризуется сверхнизким энергопотреблением и минимальной стоимостью (от \$0,49).

Сегодня микроконтроллеры со сверхнизким потреблением MSP430 — это всемирноизвестная и популярная серия устройств, включающая более 100 различных модификаций, имеющих Flash-память от 1 до 128 кбайт и количество выводов от 14 до 100, что позволяет подобрать идеальное решение для различных приложений. Распределение основных типов микроконтроллеров показано на рис. 2.

Модификация MSP430x1xx была представлена в 2000 году и изначально позиционировалась как MCU с ультранизким энергопотреблением. Микроконтроллеры F1xx включают процессоры, начиная от чипов начального уровня C1101, стоимостью \$0,49 и имеющих только ROM, до высокоинтегрированных устройств F16xx, обладающих Flash-памятью до 60 кбайт, памятью RAM до 10 кбайт, несколькими 12-разрядными АЦП (или ADC), 12-разрядными ЦАП (или DAC) и контроллером ПДП (прямой доступ к памяти, или DMA). Данные микроконтроллеры обеспечивают сверхнизкое потребление, производительность до 8 MIPS и могут работать в диапазоне питающих напряжений от 1, 8 до 3,6 В. Сегодня все чипы класса F1xx производятся в больших количествах. Они рекомендуются для новых разработок, однако создание новых модификаций F1xx не планируется. Предполагается плавный переход на микроконтроллеры клас-

са F2xx. Краткая характеристика процессоров MSP430x1xx представлена в таблице 1.

В настоящее время модификация MSP430x1xx является наиболее популярной. На рис. 3 показана функциональная схема микроконтроллеров MSP430F16x/15x. Данные чипы полностью совместимы с более ранними модификациями, такими как F14x/13x. Они производятся

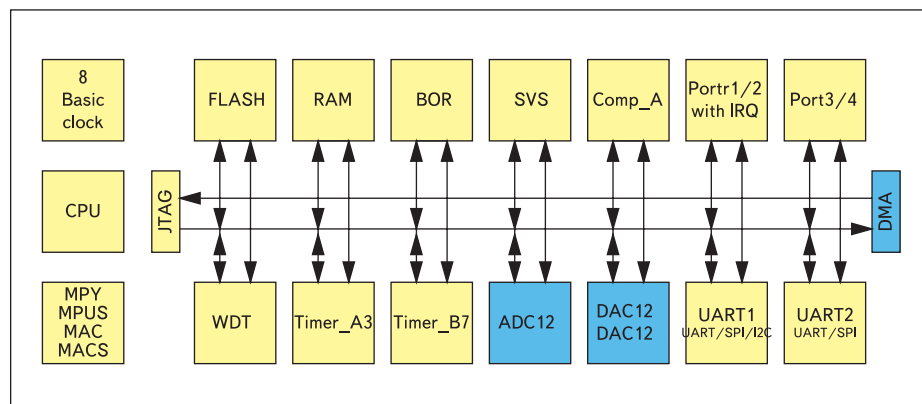
**Таблица 2.** Краткая характеристика микроконтроллеров MSP430F4xx

Тип	Кол-во выводов	Flash/RAM	Таймеры	Интерфейсы	LCD	Дополнительно
F41x	64	32K/1K	BT, A3		96	Comp_A
FW42x	64	32K/1K	BT, A3, A5		96	Scan I/F, Flow Meter
F42x0	48	32K/512	BT, A3		56A	SD16, DAC12
F42x	64	32K/1K	BT, A3	UART	128	SD16
FE42x	80	32K/1K	BT, A3	UART	128	ESP430, E-Meter
F43x	64	132K/1K	BT, A3, B3	UART	128	ADC12
FG43x	80	60K/2K	BT, A3, B3	UART	128	ADC10, DAC12, DMA, (3)0A
FE44x2*	100	32K/1K	BT, A3, B3	(2)UART	160A	(4)SD16, MPY32
F44x	100	60K/2K	BT, A3, B7	UART	160	ADC12, MPY32
FG46xx	100	120K/8K	BT, A3, B7	UART, USCI	160A	ADC12, (2)DAC12, (3)DMA, (3)0A

Все чипы включают сторожевой таймер (WDT) и улучшенную систему синхронизации (FLL+)

\* Разрабатываемые микроконтроллеры планируются к производству в ближайшее время

в корпусе с 64 выводами. На чипе есть контроллер ПДП, который может осуществить передачу данных от АЦП к ЦАП без участия центрального процессора. Имеется BOR, обеспечивающий защиту от перепадов напряжения.



**Рис. 3.** Функциональная схема микроконтроллеров MSP430F16x/15x

Кроме того, реализован расширенный интерфейс UART0, который может быть сконфигурирован для работы в режиме FC, UART и SPI.

Модификация MSP430F4xx предлагается для решения специфических прикладных задач, таких как реализация контрольного и измерительного оборудования. Процессоры F4xx строятся на базе F1xx путем добавления дополнительных модулей, например драйверов LCD-экранов, более точных модуляторов, 16-разрядных дельта-сигма АЦП, операционных усилителей и т. д. Чипы F4xx рекомендованы для новых разработок, кроме этого, планируется расширение данной линейки микроконтроллеров. Перечень характерных модификаций данных микроконтроллеров приведен в таблице 2.

Линейка чипов F4xx предлагает устройства, имеющие специфические модули, оптимизированные для построения таких устройств, как измерители температуры, водяные расходомеры (MSP430FWxxx), e-метры (MSP430FExxx) и глюкометры (MSP430FGxxx).

К тому же имеются модули периферии, отвечающие за подключение LSD-индикаторов, реализующие высокоточные дельта-сигма АЦП. Данные микроконтроллеры постоянно пополняются новыми чипами с разнообразными наборами периферии.

В середине 2006 года запланирован выпуск чипов MSP430FG461x, предназначенных для портативных медицинских приборов. Высокая интеграция FG461x позволит строить законченные решения на одном чипе.

В процессорах FG461x реализована новая архитектура MSP430X, которая поддерживает прямую адресацию до 1 Мбайт памяти. Архитектура MSP430X полностью совместима с MSP430: все существующие библиотеки могут быть использованы без каких-либо ограничений. Расширенный способ адресации позволяет базовому набору команд MSP430 работать без дополнительной страничной адресации во всем объеме 1 Мбайт памяти, что положительно влияет на сокращение разме-

ра программного кода и повышение его производительности в целом.

Кроме того, в чипах FG461x применяется улучшенная система синхронизации (FLL), увеличено количество таймеров, реализован драйвер LCD, позволяющий повысить контрастность изображения независимо от питающего напряжения, улучшена работа сторожевого таймера. В чип встроен новый модуль часов реального времени, поддерживающих отсчет секунд, минут, часов, дней и месяцев. Все это приводит к снижению стоимости изделий на базе данного микроконтроллера, а также к повышению надежности в целом.

Модификация MSP430F2xx обеспечивает практически двукратное повышение производительности по сравнению с F1xx, при этом потребление снижено в два раза! Микроконтроллеры F2xx — идеальное решение для реализации новых устройств со сверхнизким потреблением, а также для проведения редизайна изделий, построенных на базе F1xx. Выпуск F2xx начался в 2005 году и будет продолжен в течение еще достаточно длительного срока. В таблице 3 приведены основные характеристики наиболее востребованных чипов из данной линейки.

Помимо повышения производительности и снижения потребляемой мощности по сравнению с ранними чипами MSP430F1xx, микроконтроллеры MSP430F2xx включают расширения, направленные на снижение полной стоимости системы и улучшение ее надежности. Это позволяет подобрать оптимальное решение для широкого круга задач.

Значительное расширение линейки микроконтроллеров F2xx намечено провести в течение 2006 и 2007 гг. Процессоры F2xx будут включать чипы, совместимые как по выводам, так и функционально с F1xx. Они обеспечат большую производительность, меньшее потребление и более широкий набор периферийных модулей. Запланировано производство и уникальных модификаций F2xx с новыми возможностями:

- внешние интерфейсы типа USCI (USART/SPI/I2C/IrDA);
- большой размер памяти (Flash до 120 кбайт);
- более низкое напряжение программирования Flash-памяти;
- улучшенная система синхронизации (LLF);
- высокочастотный тактовый генератор (XT);
- улучшенный сторожевой таймер (WDT+);
- начальный загрузчик с защитой от взлома;
- расширенный температурный диапазон и т. д.

Несмотря на огромное количество усовершенствований и дополнений, процессоры F2xx полностью совместимы с набором команд MSP430.

Высокая интеграция процессоров F2xxx и их сверхнизкое энергопотребление позволяет реализовать устройства с минимальным количеством навесных компонентов, то есть реализовать идею однокриповых устройств с одноразовыми незаменимыми источника-

Таблица 3. Краткая характеристика микроконтроллеров MSP430F2xx

Тип	Кол-во выводов	Flash/RAM	Таймеры	Интерфейсы	Дополнительно
F20x1	14	2K/256	A2		Comp_A
F20x2	14	2K/128	A2	USI	ADC10
F20x3	14	2K/128	A2	USI	SD16
F21x1	204	8K/256	A3		Comp_A
F22x4	38/40	32K/1K	A3, B3	USCI	ADC10, (2)OPA
F22x2*	38/40	32K/1K	A3, B3	USCI	ADC10
CC430F2xx*	48	32K/1K	A3, B3	USCI+CC1100	ADC10, (2)OPA
F23x0*	40	32K/1K	A3, B3	USCI	Comp_A, MPY
F24xx*	64/80	120K/8K	A3, B7	(2)USCI	ADC12, MPY
FG46xx	64/80	120K/8K	A3, B7	(2)USCI	ADC12, MPY, (2)DAC12, (3)DMA

Все чипы включают сторожевой таймер (WDT) и улучшенную систему синхронизации (BCS+)

\* Разрабатываемые микроконтроллеры планируются к производству в ближайшее время

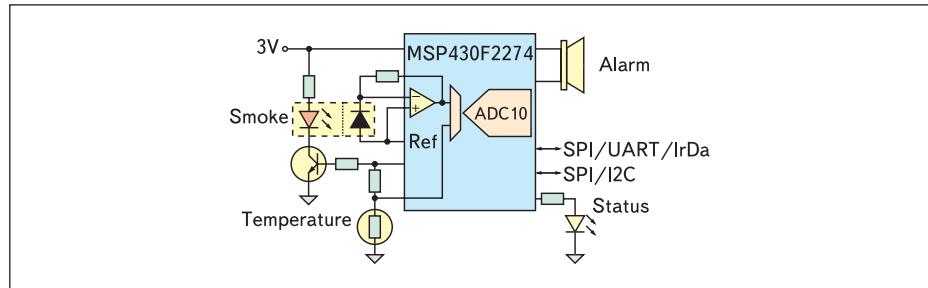


Рис. 4. Пример реализации датчика дыма на базе MSP430F2274

ми питания. Пример такого устройства показан на рис. 4. Это датчик дыма и температуры, построенный на базе MSP430F2274.

В качестве индикатора дыма используется пара диодов IR-LED, измеряющих отраженный свет, величина которого определяется наличием дыма. Один из двух встроенных операционных усилителей чипа F2274 используется как преобразователь сопротивления для фотодиода. Температура измеряется терморезистором с отрицательным температурным коэффициентом. Встроенный АЦП производит измерения напряжений, соответствующих датчикам дыма и температуры. Если присутствует дым либо повышена температура сверх допустимого предела, происходит запуск программы обработки аварийной ситуации.

Работает датчик в режиме ожидания (LPM3), все компоненты, кроме внутреннего генератора и таймера, выключены. При переполнении таймера датчик переходит в активный режим и проводит измерения. Таймер переполняется один раз в 8 секунд.

Производство модификации MSP430x5xx планируется в конце 2006 года. Чипы F5xx, полностью совместимые с существующими MSP430, будут иметь еще больший объем памяти, производительность и более разнообразную периферию. Подробная информация по характеристикам F5xx будет доступна ближе к осени 2006 года.

Семейство MSP430 сегодня предлагает различные решения для рынка радиоустройств

со сверхнизким потреблением. После приобретения фирмы Chipcon компания TI может претендовать на одно из ведущих мест в этой области. Так, планируется к производству ряд новых устройств на базе решений от Chipcon и микроконтроллеров MSP430.

Уже сегодня доступны решения для технологии ZigBee на 2,4 ГГц. Предлагаемые модули построены на базе микроконтроллера MSP430F1612 и чипа CC2420 от компании Chipcon. Более подробную информацию о данном предложении можно найти по адресу [www.airbeewireless.com](http://www.airbeewireless.com).

В конце текущего года компания TI также намерена предложить на рынок новое изделие CC430F2xxx. Этот чип включает микроконтроллер MSP430F22x4 и модуль CC1100. Данное устройство может использоваться для реализации дешевых удаленных датчиков.

Как отмечалось выше, главная особенность микроконтроллеров MSP430 — сверхнизкое энергопотребление. Архитектура этих микроконтроллеров специально разработана для реализации приложений, в которых необходимо минимизировать энергопотребление. Даже режим их функционирования направлен на уменьшение энергозатрат и продление жизни батарейных источников питания. Почти все время процессор находится в режиме ожидания и потребляет всего 0,8 мкА, лишь при производительности 1 MIPS в активном режиме энергопотребление возрастает до 250 мкА, при этом переход из ожида-

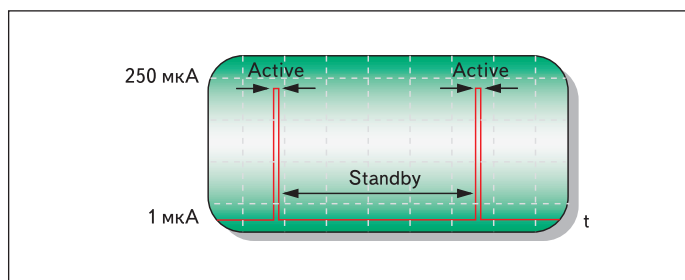


Рис. 5. Режим функционирования MSP30

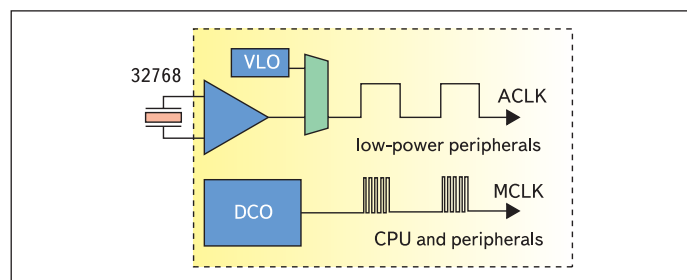


Рис. 7. Система тактирования микроконтроллера MSP430

ния в активный режим осуществляется менее чем за 1 мкс. Примерный режим функционирования изделий на базе микроконтроллеров MSP430 показан на рис. 5.

Микроконтроллер MSP430 является первым, где используется встроенный модуль защиты от провалов напряжения с нулевым потреблением (zero-power brown-out reset — BOR). На рис. 6 показана типичная ситуация, иллюстрирующая, что происходит с уровнем напряжения при подключении батареи питания.

Модуль BOR производит сброс (reset) MCU в случае, если напряжение питания VCC имеет провалы меньше номинального уровня, но выше нулевого. Так как BOR имеет нулевое потребление, он работоспособен практически в любых режимах.

Модуль BOR, реализованный у конкурентов, имеет потребление в диапазоне 10–50 мкА и его рекомендуется отключать в режиме малого потребления, что не очень практично, поскольку провалы напряжения происходят и в режимах с малыми токами потребления. Для обеспечения максимальной надежности модуль BOR должен функционировать всегда. Поэтому все существующие модификации MSP430 — F2xx, F4xx, F16x, F15x, F1xx2, а также все будущие MSP430, имеют и будут иметь модуль BOR с нулевым потреблением!

Эффективная 16-разрядная RISC-архитектура процессоров MSP430 позволяет значительно уменьшить размер кода и повысить эффективность обработки сигналов по сравнению с современными 8-разрядными MCU.

Набор интеллектуальных периферийных модулей, предназначенных для обработки смешанных сигналов, включает АЦП разрядностью от 10 до 16 бит, компараторы, ЦАП, драйверы для LCD-индикаторов и супервизоры питания. Интеллектуальной периферия названа потому, что может выполнять ряд операций без участия ядра процессора, что позволяет снизить энергопотребление чипа в целом. Кроме того, интеллектуальная периферия повышает скорость выполнения программного кода за счет его компактности.

Применяется несколько тактирующих генераторов (рис. 7) для обеспечения как низкого энергопотребления, так и высокой производительности «по требованию».

Микроконтроллер MSP430 имеет гибкую систему тактирования, которая использует один внешний 32 кГц кварц для низкочастотного вспомогательного генератора (Auxiliary Clock — ACLK) без дополнительных компонентов. Вспомогательный генератор включен в режиме ожидания (LPM3) и обеспечивает работу MSP430 в реальном времени. Имеется дополнительный внутренний гене-

ратор на 12 кГц с очень низким энергопотреблением (very-low power oscillator — VLO), который в семействах MSP430F2xx/F5xx может использоваться как источник ACLK. В режиме ожидания (LPM3) микроконтроллеры MSP430 обычно потребляют меньше 1 мкА.

В качестве источника опорного колебания для центрального процессора (CPU) и быстродействующих внешних устройств используется встроенный высокочастотный генератор (digitally controlled oscillator — DCO). Его конструктивное решение таково, что DCO включается и готов к работе меньше чем за 1 мкс без промежуточных шагов. Это позволяет «моментально» выполнять высокопроизводительные приложения — никакого «длинного», или 2-ступенчатого, запуска для DCO. К тому же DCO программно конфигурируется, и тактовая частота может быть выбрана в соответствии с требованиями прикладных программ.

При реализации устройств на базе MSP430 можно использовать только внутренние генераторы DCO и VLO, без дополнительных внешних компонентов. Высокочастотный встроенный генератор может быть использован и в высокопроизводительных приложениях.

При использовании MSP430, обладающих низким энергопотреблением, небольшим корпусом и высокостабильными модуляторами, очень важным преимуществом является наличие встроенного эмулятора.

Применение встроенного эмулятора дает огромное преимущество при разработке современных приложений. Встроенный эмулятор находится непосредственно на чипе MSP430, постоянно отслеживает работу всех модулей микроконтроллера и доступен через стандартный разъем JTAG, не используя дополнительных системных ресурсов.

Теперь, с момента создания нового устройства, разработчики имеют возможность проектировать и отлаживать программный код в реальном времени, используя аппаратные точки остановки и пошаговую отладку непосредственно на целевой плате.

Встроенная эмуляция особенно важна для систем обработки смешанных сигналов, которые должны корректно работать с небольшими по амплитуде аналоговыми сигналами. Очень трудно проводить отладку при помощи отдельной схемы эмулятора, так как

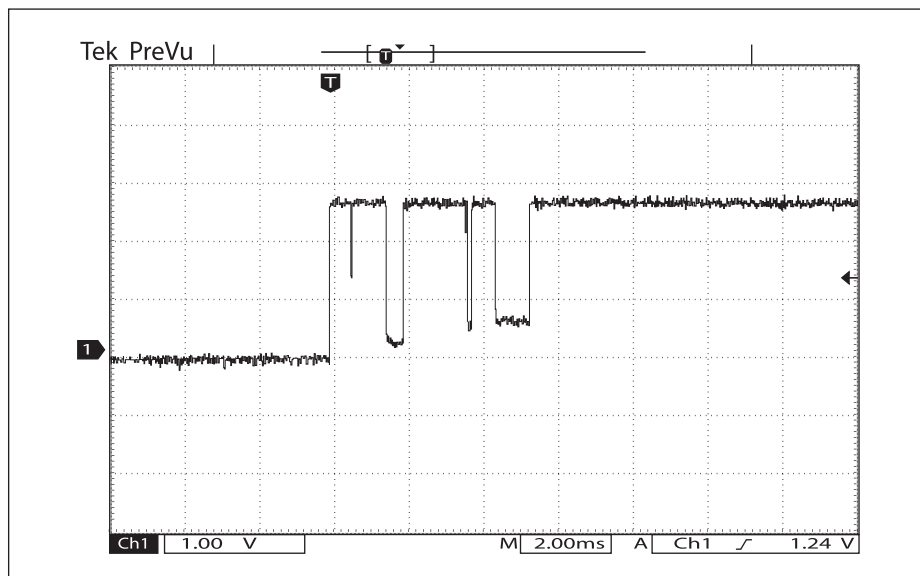


Рис. 6. Осциллограмма питающего напряжения при подключении источника питания

возникает проблема взаимовлияния цифровых сигналов в соединительных проводниках. Эта проблема полностью отсутствует при использовании встроенного в микроконтроллер эмулятора.

Гибкое объединение программируемой Flash-памяти, встроенного эмулятора и единого пользовательского интерфейса значительно облегчает разработку изделий. И, что очень важно, позволяет в любой момент внести коррективы в отлаживаемый код. Применение встроенного эмулятора ускоряет реализацию проекта, уменьшает количество ошибок и снижает конечную цену продукта. Необходимо отметить, что доступ к порту JTAG может быть отключен при помощи невосстанавливаемых плавких предохранителей.

Микроконтроллеры MSP430 используют единое адресное пространство для кода, данных и периферийных устройств (рис. 8). Реализован механизм прямого, без каких-либо ограничений, доступа к программному коду и данным в любом месте адресного пространства, которое включает Flash, ROM, RAM и периферийные устройства. Вся память Flash и RAM может быть адресована побайтно (8 бит) или пословно (16 бит).

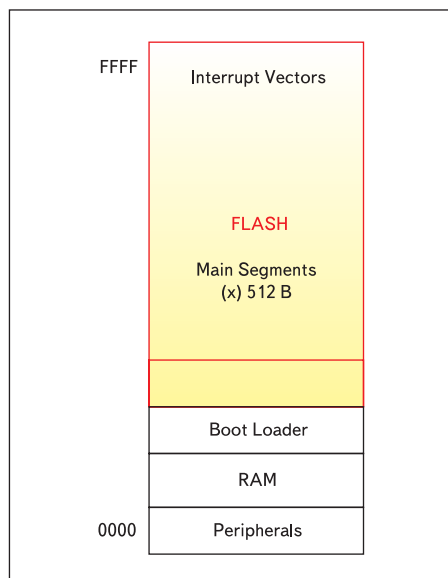


Рис. 8. Карта памяти микроконтроллеров MSP430

Адреса периферийных модулей собраны ниже 0x200. Ко всем периферийным устройствам может применяться полный набор команд и все способы адресации.

Главный раздел (main memory segments) Flash разбит на сегменты размером 512 байт. Существует также небольшой дополнительный информационный сегмент (information memory segment). Единственное различие между главным разделом и информационным сегментом — их размер, а программный код и данные могут располагаться где угодно. Общее количество сегментов в главном разделе Flash зависит от типа устройства,

в примере на рис. 8 показан раздел размером 4 кбайт, имеющий восемь сегментов.

Память Flash работает при напряжении 1,8–3,6 В. Программирующее (стирающее) напряжение равно 2,7 В (для F2xx оно уменьшено до 2,2 В). Flash может быть стерта и повторно запрограммирована 100 000 раз при гарантированном времени хранения программы и кода до 100 лет. Время программирования 60 кбайт Flash составляет 2 секунды.

Есть три метода программирования Flash: использование внутрисхемного программирования через интерфейс JTAG, использование программы начальной загрузки (Bootstrap Loader — BSL) или перепрограммирование в ходе выполнения пользовательских приложений. Программа начальной загрузки расположена в секции ROM и всегда доступна по интерфейсу UART со скоростью 9600 бод.

Алгоритм программирования Flash очень прост и синхронизируется аппаратными средствами. Для обеспечения безопасности Flash не может быть запрограммирована или стерта, если при обращении к управляющим регистрам не задан пароль. Когда происходит программирование или стирание памяти, выполнение программы, записанной во Flash, приостанавливается. Затем выполнение программы возобновляется со следующей команды или любого разрешенного прерывания, которое произошло в течение операции автоматического программирования (стирания).

Ядро микроконтроллера MSP430 (рис. 9) имеет ограниченный набор команд (RISC), является 16-разрядным и оптимизировано для реализации самых современных и передовых методов программирования.

Архитектура процессора обеспечивает гибкую 16-разрядную адресацию и однократные регистровые операции. Устранено одно из типичных узких мест контроллеров — наличие единственного аккумулятора. Регистры ядра (CPU), включая программный счетчик, указатель стека, регистр статуса и 12 рабочих регистров, являются полностью доступными.

Современный ограниченный набор инструкций (Reduced Instruction Set — RISC) для CPU микроконтроллера включает только 27 простых команд и определяет 7 моделей адресации. Во всем адресном пространстве — Flash, RAM, периферия и CPU-регистры — используются одинаковые инструкции и модели адресации. Все инструкции имеют как 16-, так и 8-битовые форматы. Микроконтроллеры MSP430 обеспечивают ортогональное проектирование, поскольку все инструкции и модели адресации выполняются последовательно во всех областях памяти.

В CPU интегрирован генератор констант (constant generator) для автоматического формирования шести наиболее часто используемых величин. Это позволяет уменьшить размер кода за счет непосредственного вложения значения констант в код программы.

Для обеспечения работы в режиме реального времени и сохранения кодового простран-

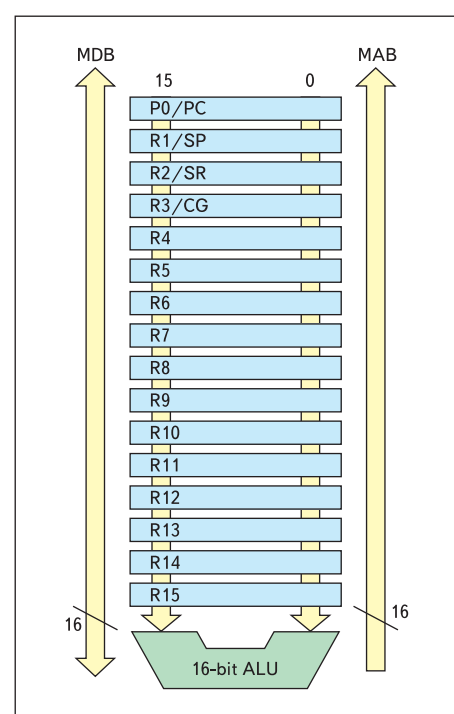


Рис. 9. Структура ядра микроконтроллеров MSP430

ства реализован полный набор команд для операций прямой пересылки «память-память». При этом нет необходимости использовать промежуточные регистровые операции.

Микроконтроллеры MSP430 уже сейчас обеспечивают производительность до 16 MIPS, а в ближайшее время планируется изготовить чипы с еще большим быстродействием.

В результате всех схемотехнических решений получился 16-разрядный, со сверхнизким потреблением, высокопроизводительный процессор, обеспечивающий компактный и эффективный код.

Сегодня многие приложения разрабатываются на языках высокого уровня, таких как Си. Для получения высокоэффективного Си-кода самое главное — компилятор. Для построения хорошего компилятора необходимы ортогональный набор инструкций и как можно больше рабочих регистров, которые желательно использовать без каких-либо ограничений. Компилятору также необходим стек для передачи параметров и хранения промежуточных результатов. Все перечисленные факторы и определили основные требования, заложенные в архитектуру MSP430. Эти требования кратко перечислены ниже.

Ортогональный набор инструкций (Orthogonal instruction set). Набор команд микроконтроллера MSP430 содержит всего 27 инструкций, однако каждая из них может применяться без ограничений при любом режиме адресации для всего адресного пространства. Это позволяет при помощи небольшого компактного набора команд реализовать даже для очень сложных приложений простые и ясные коды, имеющие небольшую

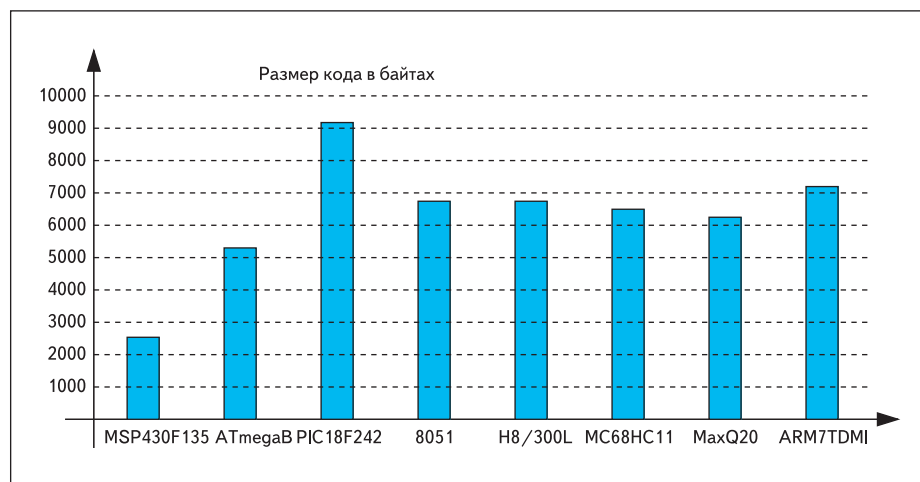


Рис. 10. Сравнительная характеристика размера кода

стоимость и обеспечивающие низкое энергопотребление CPU. Размер программного кода, который позволяет получить предлагаемый набор команд, по отношению к ряду современных компиляторов других производителей показан на рис. 10.

Большое количество регистров (High register count). Дополнительно к программному счетчику и указателю стека имеется 12 полнодоступных 16-разрядных идентичных регистров общего назначения.

Отсутствие страничной адресации (Page free). Архитектура MSP430 позволяет осуществлять прямую адресацию в пределах 64 кбайт адресного пространства.

Стековая обработка (Stack processing). Указатель стека допускает полную адресацию

при помощи регистров общего назначения с возможностью проведения любых манипуляций с данными, находящимися в стековой области RAM.

Удобство реализации переходов (Usability of jumps). Определено восемь однословных команд для реализации условных переходов в пределах +512.

Три модели адресации (symbolic, absolute и immediate) позволяют выполнять элементарные операции «память-память» с полным набором инструкций. Эти модели адресации очень важны для построения компактного кода и увеличения производительности.

Пословная и побайтная обработка (Byte and word processing). Любая инструкция может быть использована с 16- и 8-и разрядными

типами данных. Данное свойство особенно полезно при реализации обработки таблиц, так как позволяет реализовывать эффективную обработку информации.

Генератор констант (Constant generator). Генератор констант автоматически генерирует шесть наиболее часто используемых констант аппаратно.

Низкие токи утечки выводов портов. При подключении внешних сигнальных цепей выводы портов имеют токи утечки меньше 50 нА. Для примера: обычные MCU имеют токи утечки порядка 1–10 мкА.

Внутрисхемная эмуляция. Реализация внутрисхемной эмуляции (in circuit emulator — ICE) позволяет значительно снизить трудоемкость разработки и отладки программного кода, а также дает очень мощный инструмент тестирования уже готового изделия.

Для реализации технологии ICE в каждом чипе MSP430 предусмотрен встроенный отладочный модуль, не использующий ресурса процессора и имеющий доступ ко всем элементам чипа. Через интерфейс JTAG этот отладочный модуль подключается к ПК, где разработчик имеет возможность считывать и контролировать основные параметры микроконтроллера в реальном времени. Для подключения чипов к ПК предназначено специальное устройство — эмулятор.

Компания TI предлагает несколько отладочных наборов, включающих эмулятор, отладочную плату с микроконтроллером и программное обеспечение для разработки и отладки программного кода.

Одним из таких наборов является eZ430-F2013. Его внешний вид показан на рис. 11. Он очень компактен, дешев (20\$), подключается к ПК по USB-интерфейсу и обеспечивает достаточно широкие возможности по начальному освоению микроконтроллеров MSP430F20xx. В набор входят все необходимые программные инструменты для полнофункциональной разработки программного кода.

Комплект eZ430-F2013 включает две крошечные отладочные платы: непосредственно эмулятор и съемную плату с микроконтроллером и светодиодом. Эмулятор подключается к порту USB. Связь с микроконтроллером осуществляется по JTAG-интерфейсу, причем новые микроконтроллеры MSP430F20xx используют 2-проводный JTAG-интерфейс (рис. 12).

Компания TI предлагает и более функциональные отладочные средства. Например, отладочный комплект FET (Flash Emulation Tool). В набор входит эмулятор, отладочная плата с сокетом, соединительные кабели для USB- и JTAG-интерфейсов. Этот комплект представлен на рис. 13.

В качестве программного инструмента для всех наборов может быть использована отладочная среда IAR Kickstart, поставляемая на CD-диске. Ее вид после запуска показан на рис. 14. Данный инструмент включает Си-компилятор, ассемблер, компоновщик,



Рис. 11. Отладочный комплект начального уровня eZ430-F2013

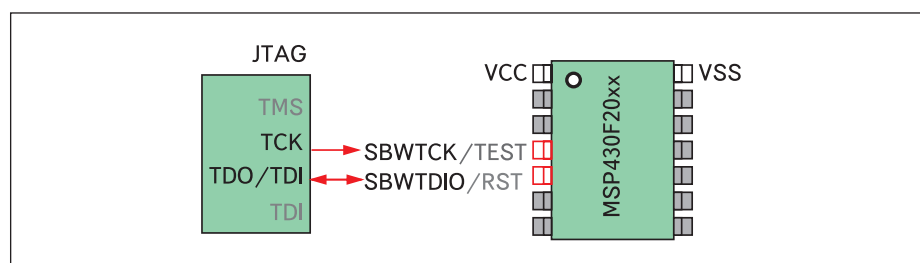


Рис. 12. Двухпроводной JTAG-интерфейс

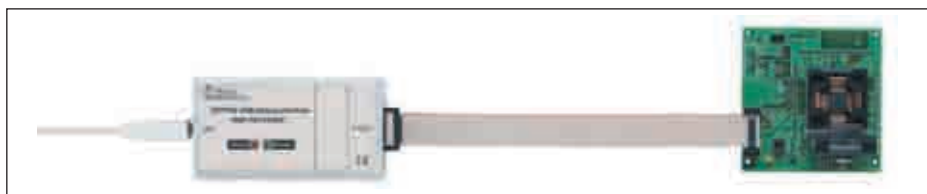


Рис. 13. Отладочный комплект начального уровня FET

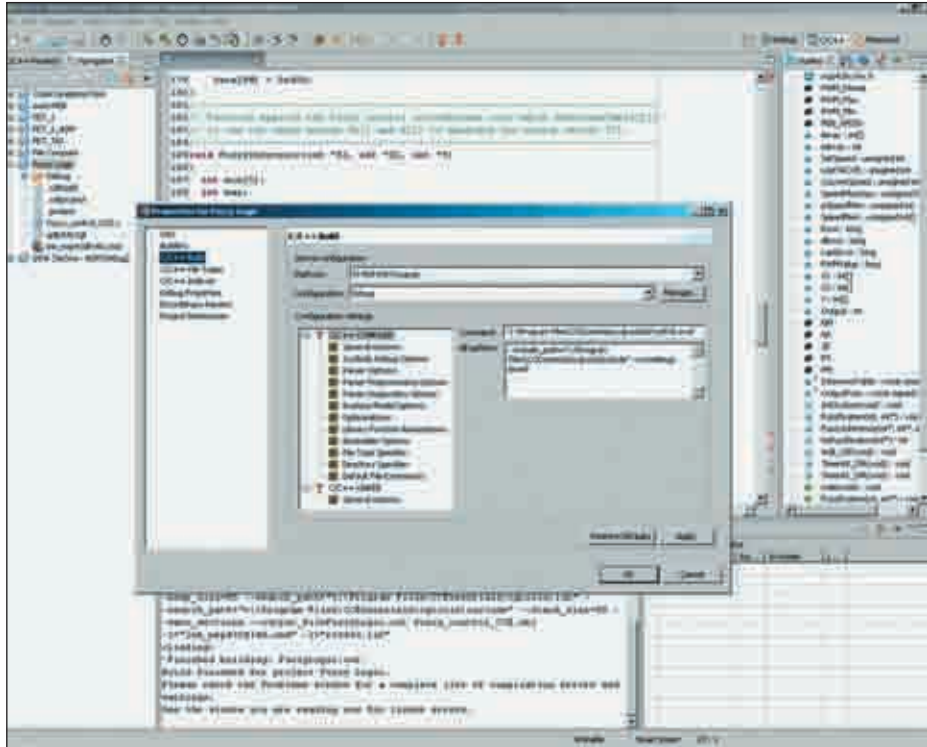


Рис. 14. Отладочная среда IAR Kickstart

отладчик, текстовый редактор. Он позволяет производить все необходимые операции по разработке и отладке программного кода. Дает широкие возможности по визуальному контролю работы микроконтроллера непосредственно в разрабатываемом устройстве. Правда, необходимо отметить, что версия, поставляемая с дешевым отладочным комплектом, имеет ограничения по максимальному размеру кода. На пер-

вых порах, когда проходит знакомство с процессором, это не является проблемой. Но в дальнейшем рекомендуется приобрести полнофункциональную версию продукта.

На этом краткий обзор микроконтроллеров MSP430 закончен. Для получения более полной информации можно обратиться на сайт компании Texas Instruments [www.ti.com/msp430](http://www.ti.com/msp430).