

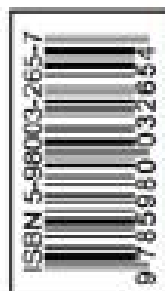
Библиотека Инженера



Семенов Б. Ю.

Микроконтроллеры MSP430

первое знакомство



Архитектура

Программаторы

Система команд

Средства разработки

Практика применения



Найдена для спонсорства!

УДК 621.31
ББК 32.96-04
С 30

Б. Ю. Семенов

Микроконтроллеры MSP430: первое знакомство. — М.:
СОЛОН-ПРЕСС, 2010. — 128 с.: ил. — (Серия «Библиотека
инженера»)

ISBN 5-98003-265-7

Книга посвящена микроконтроллерам серии MSP430, которые производятся фирмой Texas Instruments. Едва ли удастся найти конкурента этим микроконтроллерам по величине потребляемого тока и производительности, если речь идет о разработке автономных малогабаритных приборов с низковольтным батарейным питанием. Книга в доступной форме поможет разобраться с архитектурой и системой команд MSP430, сориентирует читателя в многообразии «софта» для разработки программного обеспечения, расскажет о способах «прошивки» памяти MSP430, о существующих программаторах. Приведенные схемы, печатные платы и сборочные рисунки позволят собрать несколько несложных программаторов flash-памяти MSP430 самостоятельно.

Книга адресована инженерам, начинающим работать с микроконтроллерами, студентам радиотехнических специальностей вузов, специалистам, занимающимся обслуживанием и ремонтом электронной аппаратуры, радиолюбителям, а также всем тем, кто интересуется перспективной электронной техникой.

Авторский сайт в Интернете находится по адресу <http://www.radioland.mrezha.ru>. После выхода этой книги из печати на нем появятся рисунки печатных плат в формате Sprint Layout 3.0 и другие дополнительные материалы по MSP430.

КНИГА — ПОЧТОЙ

Книги издательства «СОЛОН-ПРЕСС» можно заказать наложенным платежом (оплата при получении) по фиксированной цене. Заказ оформляется одним из двух способов:

1. Послать открытку или письмо по адресу: 123242, Москва, а/я 20.
2. Оформить заказ можно на сайте www.solon-press.ru в разделе «Книга — почтой».

Бесплатно высылается каталог издательства по почте.

При оформлении заказа следует правильно и полностью указать адрес, по которому должны быть высланы книги, а также фамилию, имя и отчество получателя. Желательно указать дополнительно свой телефон и адрес электронной почты.

Через Интернет вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-ПРЕСС», считав его с адреса www.solon-press.ru/kat.doc.

Интернет-магазин размещен на сайте www.solon-press.ru.

По вопросам приобретения обращаться: **ООО «АЛЬЯНС-КНИГА КТК»**

Тел: (495) 258-91-94, 258-91-95, www.abook.ru

Сайт издательства «СОЛОН-ПРЕСС»: www.solon-press.ru

E-mail: solon-avtor@coba.ru

ISBN 5-98003-265-7

© Семенов Б. Ю., 2010

© Макет и обложка «СОЛОН-ПРЕСС», 2010

Глава 1. Что понадобится в первую очередь

В этой главе читатель познакомится с внутренним устройством микроконтроллеров семейства MSP430, с номенклатурой производимых на сегодняшний момент микросхем, с их электрическими параметрами, основными функциональными характеристиками и конструктивным исполнением.

1.1. Что такое — MSP430?

Как это ни покажется странным, но 16-разрядная RISC-архитектура MSP430 была впервые представлена фирмой Texas Instruments в 1996 году, а это значит, что сегодня, по прошествии достаточного количества времени, можно четко сказать, какую нишу заняла данная линейка программируемых компонентов на рынке электронных изделий. Изначально данные микроконтроллеры (МК) предназначались для применения в электронных устройствах с низковольтным батарейным или аккумуляторным питанием, что сделало их незаменимыми в разработке автономных датчиков. Это и неудивительно, ведь потребление микросхем составляет порядка 2 мкА при питании напряжением 2,2 В и тактовой частоте 4 кГц и порядка 250 мкА — при тактовой частоте 1 МГц. В дежурном режиме (sleep mode) микроконтроллер может потреблять 0,7...1,6 мкА. Даже при напряжении питания 3,3 В, а также максимальной тактовой частоте 8 МГц типовая величина тока потребления не превышает 2,8 мА. По оценкам специалистов, применение этих микроконтроллеров позволяет обеспечить автономную работу портативных устройств в течение 10...15 лет без смены гальванических элементов.

Еще одна интересная особенность данного семейства МК — тактирование от генератора с «часовым» кварцевым резонатором 32,768 кГц. В составе микроконтроллеров имеется PLL-устройство, позволяющее умножать тактовую частоту до величины в несколько мегагерц. Дополнительное функциональное удобство, получаемое при таком способе формирования тактирования, — переход из режима пониженного потребления в рабочий режим с

любой тактовой частотой. Если микроконтроллер находится в состоянии ожидания выполнения задачи, энергопотребление снижается, но периферийные устройства продолжают работать, и это способствует быстрому выходу МК на рабочий режим при поступлении в ядро данных для обработки.

Успех того или иного типа МК у потребителя на сегодняшний момент в значительной степени зависит от разнообразия встроенных периферийных устройств, их комбинации в одном кристалле. В каких-то случаях разработчику может понадобиться простой вариант, содержащий один-два таймера и пару портов ввода-вывода, в других случаях — посложнее, с 12-разрядным аналогово-цифровым преобразователем (АЦП), компаратором, стандартным последовательным портом ввода-вывода, таймером-счетчиком, таймером-формирователем широтно-импульсного сигнала (ШИМ), контроллером жидкокристаллического дисплея на 96 или 160 сегментов. Микроконтроллеры MSP430 предоставляют разработчику такую возможность выбора.

Выбор может также осуществляться по объему внутренней памяти. В составе самого «нижнего» МК имеется 1 кбайт постоянной (немодифицируемой) памяти ROM, 128 байт оперативной (модифицируемой) памяти RAM, и стоит такой МК около \$1 (пример — MSP430F1101). Верхнюю границу памяти МК серии MSP430 определить сложно, так как она расширяется выходом новых модификаций. Читателю рекомендуется ориентироваться на величины 60 кбайт памяти ROM и 2 кбайт памяти RAM при стоимости всего кристалла около \$10 (пример — MSP430F1491).

Семейство микроконтроллеров MSP430 в настоящее время можно условно разделить на три крупных группы: кристаллы с маркировкой MSP430x1xx представляют собой базовую группу; кристаллы с маркировкой MSP430x3xx — расширенное семейство со встроенным контроллером ЖКИ, и, наконец, кристаллы MSP430x4xx имеют «на борту» контроллер ЖКИ индикатора с расширенными возможностями. Символом «х» в данном случае обобщены разные модификации микроконтроллеров. Совсем недавно появились сообщения о том, что фирма-производитель выпустила на рынок новую линейку MSP430F20xx с измененным тактовым генератором типа VLO, позволяющую достичь потребление тока около 0,5 мкА в режиме ожидания. Правда, конструктивно эта линейка слишком миниатюрна — корпуса микроконтрол-

леров размером 4×4 мм с 14 выводами. Анонсирована также линейка MSP430FG46xx с расширенной flash-памятью до 120 кБ.

Следует также обратить внимание читателя на то, что при изучении оригинальной технической документации ему могут встретиться упоминания не только о семействе MSP430, которое фирма-производитель называет *квалификационным изделием* (qualified product), которое сопровождается технической документацией и качество которого гарантируется фирмой. Опытные партии микроконтроллеров (prototype product) имеют наименование PMS430, документация на них помечается грифом «предварительно», а сами кристаллы выпускаются партиями не более 10000 шт. Опытные партии серии PMS в некоторых источниках называются *отладочными кристаллами*, так как они имеют многократно программируемую EEPROM-память и используются для отладки программного обеспечения однократно программируемых кристаллов серии MSP430Pxx. Еще один тип кристаллов — экспериментальный (experimental product) — не тестируется фирмой-производителем на соответствие нормативной документации и производится партиями не более 500 шт. Экспериментальные кристаллы маркируются MSX430.

Система обозначений микроконтроллеров MSP430 (production code), применяемая Texas Instruments, показана на рис. 1.1.

Еще одно преимущество микроконтроллеров MSP430 — чрезвычайно простая в освоении система команд. Причем предоставляемые пользователю средства разработки программного обеспечения позволяют работать как в классическом ассемблерном коде, так и на языках высокого уровня (например, на Си).

Но мало написать хорошую программу, необходимо, особенно начинающему, попробовать эту программу в работе с конкретным «железом», отладить как программу, так и электронную схему. Чтобы облегчить выполнение такой задачи, фирма-производитель MSP430 выпускает так называемые Starter Kits (стартовые наборы), в комплект которых входят: печатная плата с установленным микроконтроллером, ЖКИ-индикатором, кнопками, контактными разъемами для подключения других электронных компонентов. Еще одно направление отладочных средств — эмуляторы — также производятся Texas Instruments. Комплект MSP-FET430 (flash emulation tool) стоимостью \$100 позволяет эмулировать микросхемы посредством интерфейса JTAG 1149.1 или последовательного интерфейса. Программное обеспечение для работы со стартовыми

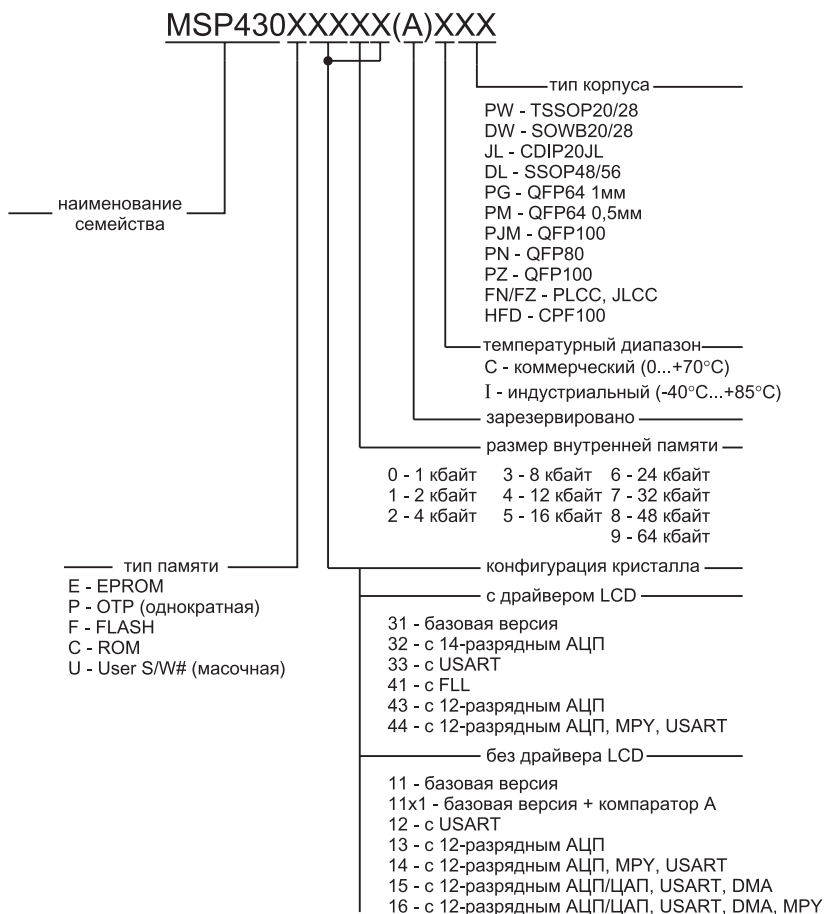


Рис. 1.1. Система обозначений MSP430

наборами и эмуляторами распространяется свободно и его можно скачивать с сайта фирмы-производителя. Существуют также эмуляторы, поставляемые другими фирмами и отличающиеся расширенными функциональными возможностями. Эти продукты стоят денег, порой немалых, поэтому начинающему работать с данным МК профессионально лучше ориентироваться на бесплатное программное обеспечение, не говоря уже о радиолюбителях.

Что еще потребуется для работы с микроконтроллером? Конечно, необходим программатор внутренней памяти МК, который позволит собственно «прошить» созданную программу в память,

«оживить» микроконтроллер. Мы уже упомянули о наличии в составе микросхем интерфейса JTAG и последовательного интерфейса, с помощью которых и может быть запрограммирована внутренняя память. Имеются несложные варианты программаторов, которые читатели смогут изготовить за несколько часов, а также автономное программное обеспечение. Обо всем этом мы расскажем в этой книге, а сейчас приступим к знакомству с архитектурой MSP430.

1.2. Знакомство с архитектурой MSP430

В этом разделе для автора возникает достаточно сложная задача — в каком ключе продолжать начатый рассказ? Ведь книгу могут читать как люди, имеющие достаточно большой опыт в области микроконтроллеров, так и начинающие, кто очень хотел бы освоить приемы работы с ними, но пока для них все МК, что называется, «на одно лицо». Соответственно, стиль подачи материала должен быть разным. Будем считать, что «крутые» профессионалы, скорее всего, обратятся к справочнику или сразу разыщут оригинальную документацию на сайте фирмы-производителя, поэтому ориентируемся на тех людей, кто о микроконтроллерах, по крайней мере, слышал, что-то знает или даже немного работал с ними. Для начинающих же полезными окажутся по ходу текста комментарии и элементарные подробности, на которых автор акцентировал внимание исключительно из-за того, чтобы всем было понятно, о чем идет речь.

Итак, архитектура MSP430. Именно с архитектуры необходимо начинать знакомство с новым типом микроконтроллеров, так как она — уникальна для каждого семейства. Изучая архитектуру, опытный разработчик сразу может оценить возможности данного типа МК, перспективы использования его в своих разработках. Хотя имеются и общие черты, а также можно проследить, откуда «растут ноги» у той или иной архитектуры, что можно считать ее предшественницей. Для MSP430 такой «предтечей» является широко известная архитектура PDP11, реализованная в отечественных вычислительных машинах ДВК, «Электроника-60», «БК-0010», ныне ставших достоянием истории.

На рис. 1.2 показана структура кристалла из «линейки» MSP430. Буква «F» в обозначении, как мы уже знаем, говорит о том, что

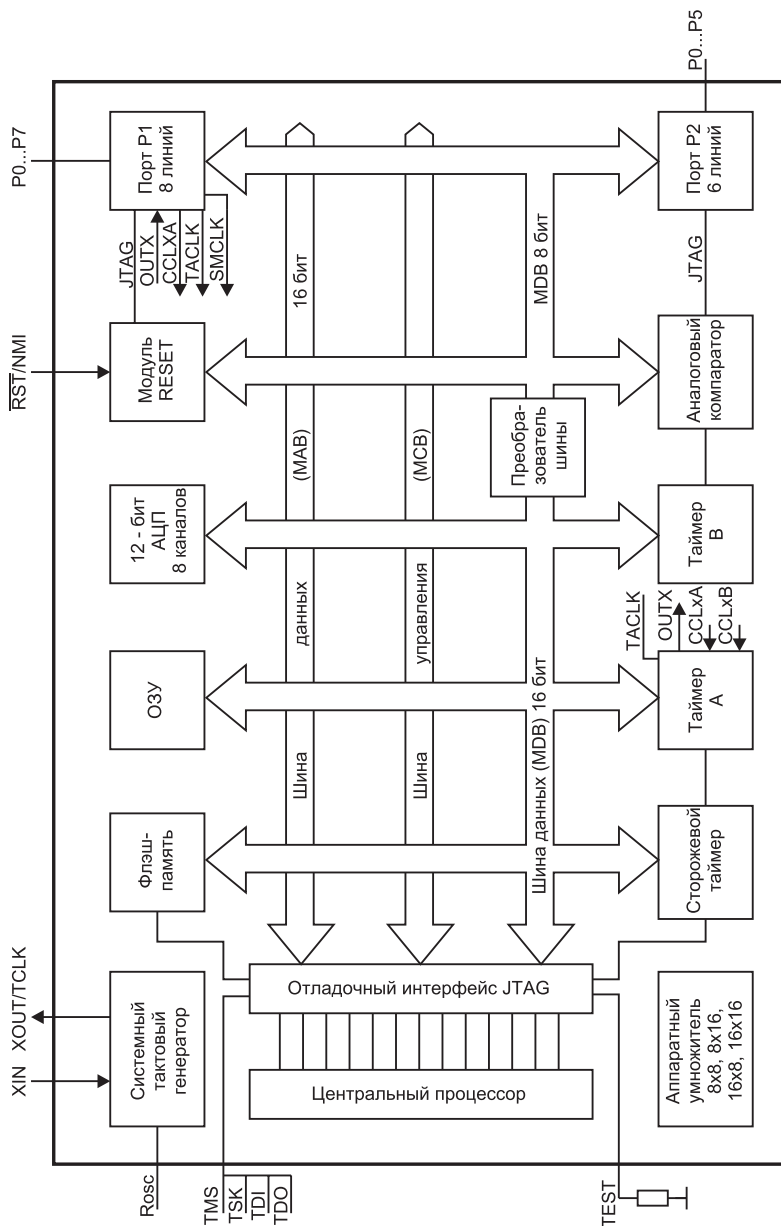


Рис. 1.2. Структура MSP430Fxxx

микроконтроллер имеет встроенную flash-память, которая может быть электрически перепрограммирована многократно. Микроконтроллеры с масочным, однократно программируемым внутренним ПЗУ и ПЗУ с ультрафиолетовым (УФ) стиранием использовать очень неудобно, поэтому мы о них говорить более не будем.

Итак, структура MSP430 использует 16-битную организацию RISC-типа, которая может производить операции не только над байтами, но и над словами (напомним, что машинное слово состоит из двух байт). Центральный процессор идентичен для всех представителей семейства и состоит из трехступенчатого конвейера инструкций, 16-разрядного арифметико-логического (ALU) устройства, 16 внутренних регистров, четыре из которых используются как счетчик команд (PC), указателя стека (SP), регистра состояния (SR) и генератора констант (CG). Счетчик команд предназначен для фиксации текущего адреса выполняемой команды, указатель стека хранит данные о так называемой стековой памяти, о которой мы будем в дальнейшем рассказывать, регистр состояния сохраняет результаты выполнения команд. Генератор констант формирует наиболее часто используемые целые числа (0000h, 0001h, 0002h, 0004h, 0008h, 0FFFh), дополняя набор из 27 основных команд еще 24-ю, которые эмулируются ядром. Эмулированные команды не замедляют процесс обработки данных, но в ряде случаев позволяют немного сократить программный код, поскольку генератор констант является регистром центрального процессора. Остальные 12 регистров могут быть использованы на усмотрение, однако производители рекомендуют зарезервировать регистры R4 и R5 для отладочных целей. ALU выполняет простейшие арифметические (сложение, вычитание, сравнение, логические «И», «ИЛИ», «исключающее ИЛИ») операции. В составе микроконтроллеров модификаций MSP430F14x и MSP430F44x имеется также узел, осуществляющий 16-разрядное аппаратное умножение, однако производится эта операция не в ALU, а в периферийном устройстве. Умножитель имеет два 16-разрядных регистра для помещения операндов и три регистра — для размещения результата умножения. Умножать можно как комбинации 16-разрядных чисел, так и комбинации 8-разрядных и 16-разрядных чисел. Поддерживается умножение со знаком (MPYS) и беззнаковое умножение (MPY), знаковое умножение с накоплением (MACS) и беззнаковое умножение с накоплением (MAC).

Чтобы микроконтроллер мог извлекать из памяти данные, производить над ними операции и вновь размещать их в памяти, разработчики всегда закладывают определенный механизм адресации операндов, то есть данных, над которыми производятся в данный момент операции. Предусмотрено семь способов адресации для операндов-источников и четыре — для операндов-приемников. Время выполнения команд занимает от 1 до 6 тактов системного генератора, причем операции типа «регистр-регистр» выполняются всего за 1 такт. Самое большое время занимают двухоперандные команды с абсолютным способом адресации — 6 тактов. Более конкретно о способах адресации мы поговорим позже.

Интересной особенностью микроконтроллеров семейства MSP430 является совмещение в одном адресном пространстве памяти программ, памяти данных и регистров периферийных устройств. Это означает, что одни и те же команды могут быть использованы как для работы с памятью, так и с периферийными устройствами.

Внутренняя память типа flash может быть перепрограммирована даже тогда, когда микроконтроллер установлен непосредственно в устройстве, в котором ему и предназначено работать. Напряжение программирования памяти генерируется самим микроконтроллером, поэтому операция по «перепрошивке» может осуществляться даже в варианте батарейного питания. Память микроконтроллера сегментирована и состоит из нескольких сегментов по 512 байт (основная память), 1—2 сегментов объемом 128 байт (информационная память), а также специального загрузочного ПЗУ, в котором хранится программа загрузчика основной памяти МК с помощью процедуры последовательного доступа. Чтобы «перепрошить» МК в устройстве, необходимо «загрузить» в ОЗУ микроконтроллера программу и выполнять ее именно из этой области памяти — в момент перепрограммирования основная память станет недоступной. В сегментах информационной памяти, расположенной по адресам 01000h...0107Fh и 01080h...010FFh, могут быть сохранены особо важные константы.

Достаточно удобно наличие внутри микроконтроллера так называемого супервизора питания, формирующего сигнал системного сброса при снижении питающего напряжения ниже заданного уровня. К сожалению, супервизор питания предусмотрен только в модификации «4».

Общение с «внешним миром» у микроконтроллеров происходит с помощью портов ввода-вывода. Физически линии портов — это обычные выводы микросхемы, которые могут быть сконфигурированы отдельно на ввод или на вывод сигнала. Может быть также включена альтернативная функция порта, скажем, подключен вход АЦП или компаратора. Разные модификации микроконтроллеров имеют разное количество портов. Модификация MSP430F11xx имеет два порта (P1 и P2), модификация MSP430F12xx — три порта (P1...P3), модификации MSP430F13x, MSP430F14x, MSP430F4xx — целых шесть портов (P1...P6). В наиболее простых модификациях MSP430 порт P2 имеет всего 6 линий. Порты P1 и P2 могут быть использованы для передачи микроконтроллеру сигналов внешних прерываний, причем прерывания, приходящие на разные линии, могут иметь уникальные вектора.

Очень важное периферийное устройство — таймер. Микроконтроллеры серии MSP430 могут иметь в своем составе один или два универсальных таймера (A и B), а также базовый таймер (basic timer), встречающийся только в модификациях MSP430F4xx. Таймер A, имеющийся во всех микроконтроллерах, содержит 16-разрядный счетчик с четырьмя рабочими режимами и тремя регистрами, выполняющими функцию «захват/сравнение». Кроме классических функций счета, захвата и сравнения, этот таймер позволяет формировать широтно-модулированный (ШИМ) сигнал. Регистры захвата/сравнения имеют функцию аппаратной поддержки полнодуплексного последовательного порта (UART) со скоростью обмена информацией от 75 до 115200 бит/с. Таймер A генерирует прерывания по переполнению, по захвату и по условию сравнения, причем достижение условий может быть сконфигурировано по положительному и отрицательному перепадам внешнего сигнала, а также по обоим фронтам.

В модификациях MSP430F13x, MSP430F14x, MSP430F43x и MSP430F44x предусмотрен второй таймер (B), содержащий три или семь модулей «захват/сравнение». Разрядность этого таймера можно установить программно из ряда: 8 бит, 10 бит, 12 бит, 16 бит. Третий — базовый — таймер выполняет иную функцию: он генерирует сигналы для работы других периферийных устройств. Зачастую в составе устройств требуется наличие часов реального времени и базовый таймер может формировать тактовый сигнал

для часов. Этот таймер конфигурируется как два 8-разрядных независимых счетчика и как один 16-разрядный.

Обязательным периферийным устройством сегодня является наличие сторожевого таймера (WDT), который может спасти устройство от «зависания» микроконтроллера. Если сторожевой таймер включен, то он начинает генерировать прерывания с вектором сброса, поэтому в работающей программе всегда необходимо периодически «обнулять» счетчик сторожевого таймера. Отметим также, что если использовать WDT по прямому назначению не предполагается, можно применить его как обычный интервальный таймер, сделав «привязку» к внутренним тактовым сигналам ACLK или SMCLK и задав один из восьми возможных коэффициентов деления.

Традиционным периферийным устройством сегодня также считается аналоговый компаратор. опорное напряжение задается программно, установкой соответствующего коэффициента внутреннего делителя. Когда сигнал на выходе компаратора меняет свое значение, микроконтроллер опознает прерывание с соответствующим вектором.

Асинхронный последовательный аппаратный порт может быть использован в многопроцессорной системе. Наличием такого порта могут «похвастаться» модификации MSP430F12xx, MSP430F13x, MSP430F14x, MSP430F43x и MSP430F44x. Работа по обмену информацией может вестись в двух режимах — асинхронном (UART) и синхронном (SPI). В синхронном режиме поддерживается как работа в master-режиме (ведущий), так и в slave-режиме (ведомый). Новые микроконтроллеры типа MSP430F20x2 и MSP20x3 имеют модуль универсального последовательного интерфейса (USI), конфигурируемый пользователем либо под протокол шины I2C, либо под протокол SPI. В ближайшей перспективе фирмы — разработка модификаций с протоколом шины USB 2.0.

Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) представлен в виде двух модификаций — 12-разрядной и 10-разрядной. 12-разрядный АЦП имеется в составе микроконтроллеров MSP430Fx3x и MSP430Fx4x. Его можно настроить на 8 коммутируемых входов, выходная информация записывается в буфер емкостью 16 слов. Дополнительно АЦП обслуживают встроенный источник опорного напряжения (ИОН), датчик температуры и устройство отключения при снижении напряжения питания. Специально устройство автосканирования позволяет работать АЦП без участия централь-

Содержание

Предисловие	3
Глава 1. Что понадобится в первую очередь	7
1.1. Что такое — MSP430?.....	7
1.2. Знакомство с архитектурой MSP430	11
1.3. Как «прошить» MSP430.....	18
1.4. Прошивка МК с использованием BSL	27
1.5. Прошивка МК с использованием JTAG.....	45
Глава 2. Среда — не только день недели	65
2.1. Начать можно с IAR	65
2.2. IAR поможет в отладке.....	73
2.3. Альтернатива первая: IDE 430	77
2.4. Альтернатива вторая: ICC 430	79
2.5. Альтернатива третья: SBSIM 430	82
2.6. Альтернатива четвертая: CrossStudio for MSP 430.....	83
2.7. Альтернатива пятая: MSP GCC	84
2.8. Альтернатива шестая: OCEAN.....	85
2.9. Альтернатива седьмая: Project-430.....	85
2.10. Что такое RTOS?	88
Глава 3. Как оживить микроконтроллер	92
3.1. Мой адрес — не дом и не улица.....	92
3.2. Их всего шестнадцать, и все они в ЦПУ.....	94
3.3. И снова об адресации	96
3.4. Стоит только скомандовать.....	98
3.5. А что дальше?	123
Литература	125