

# Новое поколение низкопотребляющих микроконтроллеров MSP430

Печатается с разрешения журнала Chip News Украина (chipnews.com.ua)

Михаил Дмитриев (г. Киев, Украина)

**Семейство MSP430, разменявшее второй десяток активной работы, по-прежнему остаётся лидером в области энергосберегающих микроконтроллеров. Однако инженеры Texas Instruments не останавливаются на достигнутом уровне и делают значительный шаг вперёд, предлагая новое поколение – MSP430F5xx – и вновь отрываясь от конкурентов.**

Платформы MSP430 развивается уже достаточно долго, разработчики Texas Instruments неустанно доводят архитектуру до требований современных условий, подтверждая раз за разом истину, что новое легко можно получить из хорошо забытого старого, ведь MSP430 – это наследник легендарного компьютера PDP-11 70-х годов. Однако гибкость платформы такова, что она по-прежнему остаётся в авангарде микроконтроллерной техники. Сначала устаревшую серию MSP430x3xx, не имевшую даже Flash-памяти, заменили на MSP430x1xx, MSP43x4xx и MSP430F2xx, которые «подрастали» в производительности и периферии. Новое семейство также продолжает дальнейшее развитие этой архитектуры (см. рисунок).

Отличительные особенности MSP430F5xx:

- высокая производительность:
  - до 25 МГц;
  - 12 МГц при 1,8 В;
  - до 256 Кб Flash;
  - до 16 Кб RAM;
  - DMA, USB, АЦП, ЦАП и 4 USCI;
- функциональность:

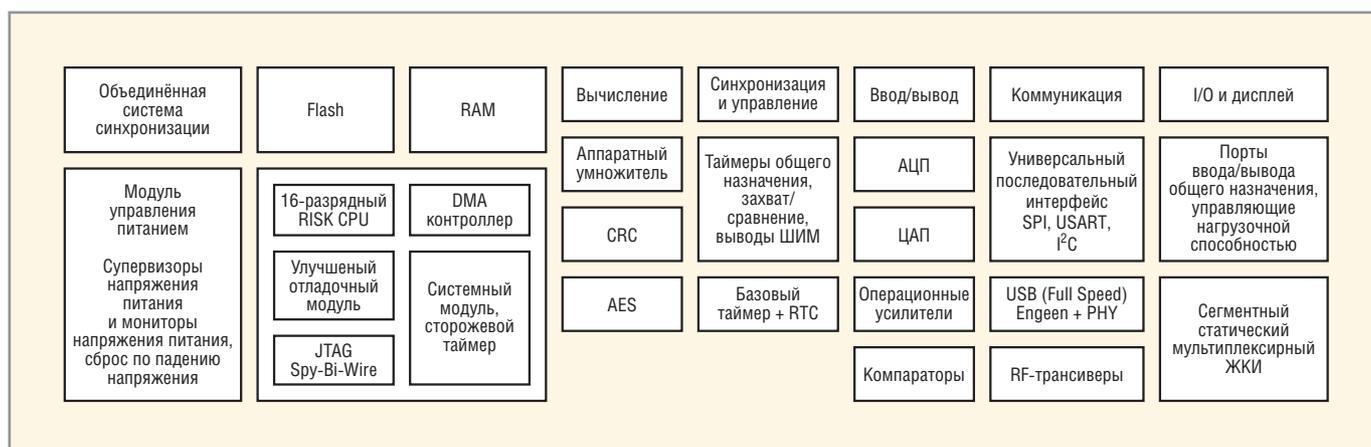
- поддержка USB, беспроводных протоколов, шифрования и ЖКИ-интерфейса;
- внутрисхемное программирование Flash при 1,8 В;
- возможность чтения из Flash во время выполнения операции стирания;
- простота использования:
  - надёжная и гибкая система синхронизации (0, 1 или 2 внешних источника тактового сигнала);
  - встроенный осциллятор (REFO) для работы без внешнего часового кварца;
  - надёжная система тактирования Flash;
  - определяемый пользователем загрузчик (BSL);
  - интегрированный генератор опорного напряжения;
- простота перехода:
  - прежняя система команд;
  - архитектура MSP430CPUX;
  - совместимость периферийных устройств;
  - ADC12 с меньшим энергопотреблением и улучшенным генератором опорного напряжения;

- усовершенствованный аппаратный умножитель 32x32;
- те же отладочные средства;
- новые периферийные устройства:
  - модуль управления энергопотреблением (PMM);
  - дополнительные возможности для пользователя;
  - интегрированный регулятор напряжения (LDO);
  - программируемые мониторы и супервизоры напряжения питания (SVM/SVS);
  - подстройка напряжения ядра для снижения энергопотребления.

В производстве чипов MSP430F5xx применяются новые технологические решения, что позволило перейти на более низкое напряжения питания ядра и периферии, повысив тем самым энергоэффективность микроконтроллера. Кроме того, МК новой серии обладают встроенным модулем управления напряжением питания (PMM), к которому подключена большая часть логики MSP430F5xx. Этот модуль осуществляет контроль падения напряжения питания, допустимые уровни которого можно изменять программно и использовать для переключения между четырьмя различными уровнями напряжения, снижая энергопотребление устройства в отсутствие нагрузки.

## ВНУТРЕННЕЕ УСТРОЙСТВО

Система синхронизации MSP430F5xx обладает дополнительным низкочастот-



Блок-схема архитектуры микроконтроллеров семейства MSP430F5xx

ным генератором REFO. Этот генератор позволяет обойтись без использования 32-кГц часового кварца в качестве источника опорного сигнала синхронизации. Встроенный генератор с цифровым управлением (DCO) выводит микроконтроллер из режимов пониженного энергопотребления в активный режим менее чем за 5 мкс. Как и в предыдущих MSP430, в новых микроконтроллерах используются три системных тактовых сигнала: ACLK, MCLK и SMCLK. Они могут быть связаны с любым из внутренних генераторов. 32-битный аппаратный умножитель MPY32 представляет собой расширенную версию 16-битного умножителя, используемого в микроконтроллерах MSP430x2xx и MSP430x4xx, может осуществлять 32-битные умножения. В отличие от предшественника, MPY32 может работать с дробными числами в форматах Q. Добавлен режим насыщения для предотвращения переполнения.

MPY32 поддерживает:

- беззнаковое умножение;
- знаковое умножение;
- беззнаковое умножение с накоплением;
- знаковое умножение с накоплением;
- 8-, 16-, 24- и 32-битные операнды;

- насыщение;
- дробные числа;
- 8- и 16-битные операции, совместимые с 16-битным аппаратным умножителем;
- 8- и 24-битное умножение без расширения знака.

«Пятое» семейство включает специальный новый модуль SYS, который берёт на себя часть системных функций, имеющихся в предыдущих семействах, а также предоставляет ряд специфических для MSP430F5xx возможностей. Системный модуль обрабатывает события сброса и немаскируемые прерывания, содержит расширенный до 32 бит сторожевой таймер, а также предоставляет доступ к дескрипторам, специальным таблицам, содержащим подробную информацию о микроконтроллере, включающую версию, доступные устройства и т.д. Эти данные могут быть использованы как приложением в целях настройки системы под конкретное устройство, так и для различных отладочных задач.

## ПРЕРЫВАНИЯ

Приоритеты прерываний фиксированы и определяются последователь-

ностью расположения устройств в цепочке модулей. Существует три типа прерываний:

- системный сброс;
- (не)маскируемые (NMI);
- маскируемые.

Вообще NMI не маскируются общим битом разрешения прерываний (GIE). Семейство поддерживает два уровня немаскируемых прерываний – системные NMI (SNMI) и пользовательские NMI (UNMI). Если системные прерывания происходят очень часто и МК не успевает обрабатывать их все (условия «шторма прерываний»), то основная программа может выполнять одну инструкцию после каждого возврата из прерывания, позволяя избежать блокирования работы МК. В этом случае пользовательские NMI не могут прервать обработчики системных NMI.

## Память

Значительно модифицирована по сравнению с предыдущими версиями система памяти MSP430F5xx. Это вызвано не только модернизацией самой модели памяти, но и расширением адресного пространства, необ-

ходимого в том числе для расширения количества поддерживаемых периферийных устройств. Область памяти ОЗУ MSP430F5xx начинается с адреса 01C00h. Размер этой области зависит от объёма ОЗУ конкретного микроконтроллера. Таблица векторов прерываний находится там же,

вверху адресного пространства, но число векторов прерываний увеличилось до 64. Область памяти для загрузчика увеличилась до 2 Кб, так как загрузчик поддерживает большее количество режимов загрузки, в том числе и режим, генерируемый пользователем.

Таблица 1. Режимы энергопотребления MSP430F5xx

SCG1	SCG0	OSCOFF	CPUOFF	Режим	Состояние ЦПУ и тактовых генераторов
0	0	0	0	Активный	ЦПУ, MCLK, ACLK активны. SMCLK опционально активен
0	0	0	1	LPM0	ЦПУ, MCLK отключены. ACLK активен, SMCLK активен опционально. DCO включен, если он тактирует ACLK, MCLK или SMCLK. ФАПЧ активна, если включен DCO
0	1	0	1	LPM1	ЦПУ, MCLK отключены. ACLK активен, SMCLK активен опционально. DCO включен, если он тактирует ACLK или SMCLK. ФАПЧ отключена
1	0	0	1	LPM2	ЦПУ, MCLK отключены. ACLK активен, SMCLK отключен. DCO включен, если он тактирует ACLK. ФАПЧ отключена
1	1	0	1	LPM3	ЦПУ, MCLK отключены. ACLK активен, SMCLK отключен. DCO включен, если он тактирует ACLK. ФАПЧ отключена
1	1	1	1	LPM4	ЦПУ и все генераторы отключены
1	1	1	1	LPM3.5	При PMMREGOFF = 1 отключается регулятор напряжения. Память не сохраняется. RTC может продолжить работу при соответствующей настройке
1	1	1	1	LPM4.5	При PMMREGOFF = 1 отключается регулятор напряжения. Память не сохраняется. RTC не работает

Таблица 2. Представители семейства MSP430F5xx

Устройство	Flash, Кб	SRAM, Кб	USB	АЦП каналов/бит	Выводы
MSP430F5438	256	16	–	16/12	100
MSP430F5438A	256	16	–	16/12	113
MSP430F5437	192	16	–	16/12	80
MSP430F5436	192	16	–	16/12	100
MSP430F5436A	192	16	–	16/12	113
MSP430F5435	192	16	–	16/12	80
MSP430F5419	128	16	–	16/12	100
MSP430F5419A	128	16	–	16/12	113
MSP430F5418	128	16	–	16/12	80
MSP430F5500	8	4+2*	+	–	48
MSP430F5501	16	4+2*	+	–	48
MSP430F5502	24	4+2*	+	–	48
MSP430F5503	32	4+2*	+	–	48
MSP430F5504	8	4+2*	+	До 8/10	48
MSP430F5505	16	4+2*	+	4/10	48
MSP430F5506	24	4+2*	+	4/10	48
MSP430F5507	32	4+2*	+	4/10	48
MSP430F5508	16	4+2*	+	До 8/10	48, 64
MSP430F5509	24	4+2*	+	До 8/10	48, 64
MSP430F5510	32	4+2*	+	До 8/10	48, 64
MSP430F5513	32	4+2*	+	–	64, 80
MSP430F5514	64	4+2*	+	–	64, 80
MSP430F5515	64	4+2*	+	–	80
MSP430F5517	96	6+2*	+	–	80
MSP430F5519	128	8+2*	+	–	80
MSP430F5521	32	6+2*	+	16/12	80
MSP430F5522	32	8+2*	+	16/12	64, 80
MSP430F5524	64	4+2*	+	16/12	64, 80
MSP430F5525	64	4+2*	+	16/12	80
MSP430F5526	96	6+2*	+	16/12	64, 80
MSP430F5527	96	6+2*	+	16/12	80
MSP430F5528	128	8+2*	+	16/12	64, 80
MSP430F5529	128	8+2*	+	16/12	80

\*Дополнительные 2 Кб памяти доступны, если USB не используется.

## ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ

Низкопотребляющие режимы от LPM0 до LPM4 настраиваются битами CPUOFF, OSCOFF, SCG0 и SCG1 в регистре SR (см. табл. 1). Расположение этих бит в регистре статуса означает, что они будут сохранены и корректно восстановлены в случае обработки прерывания. Изменить состояние этих бит для того, чтобы по выходе из прерывания установился другой режим, можно, исправив во время обработки прерывания значение, сохранённое в стеке. Установка любого из режимов при помощи бит регистра SR сразу же переключает режим энергопотребления. Периферийные устройства, тактируемые отключенным генератором, блокируются до момента запуска соответствующих генераторов. Также периферия может быть отключена выставлением необходимых бит в управляющих регистрах. Использование режимов LPMx.5 серьёзно отличается от методов работы с остальными режимами. Они, в случае правильного использования, обеспечивают наименьшее возможное потребление энергии устройством. Для достижения этого при входе в LPMx.5 отключается регулятор напряжения модуля управления питанием, снимая напряжение питания с ядра устройства. Поскольку напряжения на ядре нет, всё содержимое регистров и памяти SRAM стирается. Выход из режима LPMx.5 запускает событие BOR (сброс по просадке напряжения), что вызывает полный сброс системы, поэтому задачей разработчика является обеспечение корректного восстановления работы и реинициализации устройства после сброса. Пробуждение из режима сверхнизкого потребления занимает значительно больше времени, нежели выход из прочих режимов, что, в частности, вызвано необходимостью вывода напряжения на ядре до рабочего уровня и выполнения загрузочной подпрограммы до запуска основного кода приложения. Поэтому использовать режимы LPMx.5 имеет смысл только при достаточно длительных периодах между обрабатываемыми событиями. Следует заметить, что не все режимы LPMx.5 доступны в устройствах MSP430F5xx.

## USB

Одним из самых востребованных разработчиками нововведений является поддержка новыми чипами протокола USB (нужно заметить, что не все

представители семейства работают с ним, см. табл. 2). Широкое распространение USB-интерфейса обуславливает его привлекательность для приложений, осуществляющих обмен данными с ПК или другими микроконтроллерами, периодическую загрузку данных или обновление прошивки извне. Очень часто такие устройства являются портативными, как, например, медицинские и промышленные устройства, осуществляющие накопление данных с последующей их передачей в головное устройство для анализа и постобработки. По причине портативности устройств применение USB должно быть экономичным с точки зрения энергопотребления и цены. Одна из

причин широкого распространения USB – простота использования для конечного пользователя. Однако за этой простотой скрывается сложность самой технологии, что очень часто недооценивается разработчиками – возникает множество новых терминов и процедур, не разобравшись с которыми, пользователь не может добиться правильного функционирования протокола. В результате этого увеличиваются сроки и стоимость разработки. В MSP430F5xx технология USB интегрирована таким образом, что пользователю нет необходимости разбираться с её организацией. Для использования USB в схему устройства необходимо добавить только USB-коннектор и не-

сколько дискретных компонентов, а в программный код – включить API-стеки, предлагаемые компанией-производителем и реализующие три наиболее популярных класса устройств.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые микроконтроллеры Texas Instruments, несомненно, вызовут горячий интерес у разработчиков встраиваемой и особенно портативной техники, питающейся от батарей. Новые возможности вкупе с доступной обширной базой множества отлаженных приложений, на возможности которых можно опираться в работе, представляют собой крайне привлекательный инструмент. ☺

## Новости мира News of the World Новости мира

### Передача изображений сквозь непрозрачные материалы возможна

Существует несколько технологий, при помощи которых можно «устранить» некоторое препятствие и посмотреть, что находится за ним. Вспомнить хотя бы давно используемые рентгеновские лучи или ещё не до конца исследованные в плане потенциала Т-лучи, относящиеся к терагерцевому диапазону спектра. Если вести речь о «просвечивании» в масштабе зданий, в этой области также имеются современные разработки на основе беспроводных сетей и дополненной реальности. Однако все эти варианты предусматривают посторонний источник излучения определённых волн. Изучаемая в парижской Высшей школе промышленной физики и химии технология позволяет передать сквозь непрозрачные материалы простые изображения в обычном видимом диапазоне, и она уже испытана на покрытом толстым слоем краски стекле.

Называемые непрозрачными объекты не всегда являются в буквальном смысле блокирующими свет. Некоторые совсем немного, но пропускают лучи. Они настолько рассеиваются при прохождении через материал, что разглядеть что-либо за ним практически нереально. Однако в 2007 г. эксперименты показали необоснованность столь категоричного утверждения, а недавно физик Сильвен Гиген (Sylvain Gigan) с коллегами смог реконструировать переданное через препятствие оптическое изображение. Учёные добились результата при помощи «обратного инжиниринга» процесса рассеяния в покрытом краской стекле. Рассеяние является сложным явлением, но предсказуемым:



та же световая волна будет всегда вести себя одинаково. Оказываемый определённым объектом эффект на рассеяние света известен как матрица передачи (transmission matrix). «Если слой краски является лабиринтом для света, тогда можно представить матрицу как его карту», – объясняет Гиген.

Исследователи создали матрицу передачи для покрашенного стекла путём его «обстрела» слабым лазером более 1000 раз, меняя форму луча пространственным световым модулятором – тем же устройством, которое используется для контроля излучения видеопроектора. Цифровая камера регистрировала рассеянный свет на другой стороне, затем проводилось сравнение снятого материала и операций с лазером. Это позволило измерить полную матрицу передачи краски. Если на стекло проецировалось простое изображение, невооружённый взгляд видел лишь светлые пятна. Но имея матрицу, учёные смогли восстановить из слабого зашумлённого светового следа первоначальное изображение. Причём, как утверждает Гиген, можно достичь скорости обработки, почти соответствующей видео.

К практическому применению технология пока не готова. Тестовое изображение представляло собой 256-пиксельную

прямоугольную сетку с несколькими яркими квадратами. По словам Гигена, качество изображений быстро снижается с увеличением количества пикселей, поскольку отношение сигнал/шум также ухудшается. Но потенциал для совершенствования велик. Аллард Моск (Allard Mosk) из Университета Твенте (University of Twente) в Нидерландах, в 2007 г. фокусирующий свет через яичную скорлупу и зубы человека, говорит о начале долгого и захватывающего пути для технологии. Результаты с 256-пиксельным изображением должны побудить другие группы учёных направить усилия в ту же область исследований.

[newscientist.com](http://newscientist.com)

### Samsung разработала сенсорную AMOLED-панель

На днях Samsung Mobile Display объявила о начале массового производства AMOLED-панели с функцией сенсорного ввода. Первая продукция сойдёт с конвейера в марте. Компания сообщила, что новый AMOLED-экран имеет диагональ 3,3 дюйма и работает при разрешении WVGA (800 × 480 точек).

До недавнего времени Samsung выпускала дисплеи, состоящие из двух слоёв – непосредственно экрана AMOLED и сенсорной панели. Гибридная технология позволила разместить датчики ввода прямо на экране. Небольшая толщина сенсорного слоя (0,001 мм) сделает картинку ещё более чёткой и насыщенной.

Представитель Samsung Mobile Display заявил, что новая разработка станет первым номером, обойдя старые LCD- и AMOLED-экраны.

[koreaitimes.com](http://koreaitimes.com)