

# Новое семейство микроконтроллеров со сверхнизким энергопотреблением MSP430F2xxx

Алексей ПАНТЕЛЕЙЧУК  
pantel@compel.ru

Семейство микроконтроллеров MSP430F2xxx — это самое новое из семейств MSP430. Оно имеет ту же архитектуру и систему команд, что и предшественники. Но семейство MSP430F2xxx отличается рядом улучшений, ведущих к снижению энергопотребления, цены и увеличению производительности.

Сегодня пользуются популярностью 3 семейства MSP430 (рис. 1): F1xxx, F4xxx, F2xxx:

- MSP430x1xx — микроконтроллеры с Flash/ROM-памятью, напряжением питания от 1,8 до 3,6 В. Содержат 1–60 кбайт flash-памяти, имеют производительность 8 MIPS и большой набор периферийных устройств.
- MSP430x4xx — микроконтроллеры с Flash/ROM памятью, напряжением питания от 1,8 до 3,6 В, производительностью 8 MIPS. Содержат до 120 кбайт Flash/ROM-памяти, FLL, SVS и LCD-контроллер. Идеальное решение для портативных измерительных и медицинских устройств.
- MSP430F2xx — новое семейство микроконтроллеров со встроенной Flash-памятью и еще более низким энергопотреблением, производительностью до 16 MIPS, напряжением питания от 1,8 до 3,6 В.

Семейство MSP430F2xx обеспечивает вдвое более высокую производительность при сниженном вдвое энергопотреблении по сравнению с ранним семейством MSP430F1xx. Кроме этого, семейство MSP430F2xx сокращает стоимость системы в целом и является очень хорошим обновлением существующих решений на базе MSP430 и базой для создания новых.

В таблице 1 приведены микроконтроллеры нового семейства и их отличия. Некоторые устройства находятся в стадии разработки и будут доступны в ближайшем будущем.

Основные улучшения нового семейства по сравнению с предшественниками заключаются в следующем:

- потребление в режиме ожидания LPM3 менее 1 мкА;
- стабилизация сигнала синхронизации 0–16 МГц менее 1 мкс;
- отказоустойчивый осциллятор;
- улучшенный сторожевой таймер;

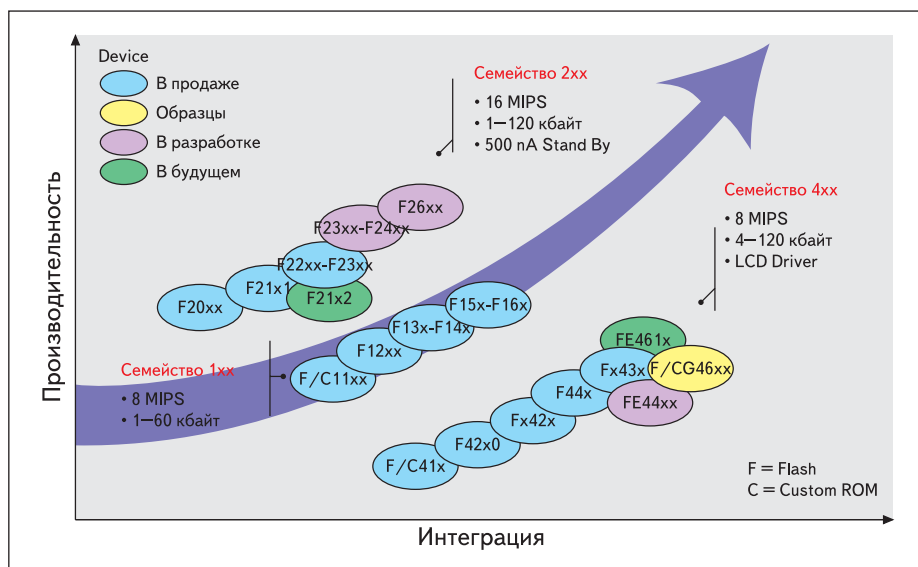


Рис. 1. Развитие линейки микроконтроллеров MSP430

Таблица 1. Представители семейства MSP430F2xxx и их отличия

| Устройство | Выводов | Flash/RAM         | Таймеры | Интерфейсы | Особенности                    |
|------------|---------|-------------------|---------|------------|--------------------------------|
| F20x1      | 14      | 2 кбайт/256 байт  | A2      |            | Comp_A                         |
| F20x2      | 14      | 2 кбайт/128 байт  | A2      | USI        | ADC10                          |
| F20x3      | 14      | 2 кбайт/128 байт  | A2      | USI        | SD16                           |
| F21x1      | 20      | 8 кбайт/256 байт  | A3      |            | Comp_A                         |
| F22x2      | 38/40   | 32 кбайт/1 кбайт  | A3, B3  | USCI       | ADC10                          |
| F22x4      | 38/40   | 32 кбайт/1 кбайт  | A3, B3  | USCI       | ADC10, (2) OPA                 |
| F23x0      | 40      | 32 кбайт/2 кбайт  | A3, B3  | USCI       | Comp_A, MPY                    |
| F23x*      | 64      | 16 кбайт/2 кбайт  | A3, B3  | USCI       | ADC12, MPY                     |
| F24x*      | 64      | 60 кбайт/4 кбайт  | A3, B7  | (2) USCI   | ADC12, MPY                     |
| F24xx*     | 64/80   | 120 кбайт/8 кбайт | A3, B7  | (2) USCI   | ADC12, MPY                     |
| F26xx*     | 64/80   | 120 кбайт/8 кбайт | A3, B7  | (2) USCI   | ADC12, MPY, (2) DAC12, (3) DMA |

Все устройства содержат улучшенный сторожевой таймер (WDT+) и улучшенную базовую систему синхронизации (BCS+)  
\* Разрабатываемые устройства

- наличие подтягивающих резисторов на выводах;
- улучшенный загрузчик;
- напряжение прошивки Flash 2,2 В;
- температурный диапазон расширен до 105 °C;

- архитектура и набор команд такая же, как и в предыдущих сериях.  
Рассмотрим более детально изменения в новом семействе микроконтроллеров.

### Система синхронизации

Вся архитектура MSP430 разработана для обеспечения ультранизкого энергопотребления при высокой производительности. В соответствии с этим улучшенная базовая система синхронизации MSP430F2xx (как и других MSP430) имеет несколько источников сигнала синхронизации.

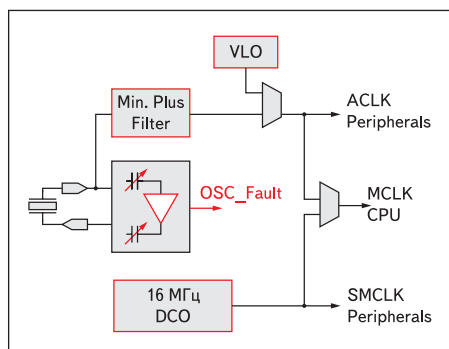


Рис. 2. Система синхронизации микроконтроллеров MSP430F2xxx

Низкочастотный сигнал синхронизации (ACLK), обычно использующий сигнал часового кварцевого генератора 32 кГц, применяется для тактирования периферийных устройств, которые всегда находятся в активном состоянии. Высокочастотный сигнал синхронизации от встроенного осциллятора, управляемого цифровым способом (DCO), используется для тактирования ядра и других периферийных устройств. Для снижения энергопотребления системы DCO включается только при необходимости. Большую часть времени он проводит в режиме ожидания.

В режиме низкого энергопотребления LPM3, известном также как real-time clock (RTC), ток потребления составляет менее 1 мкА. Такое низкое энергопотребление может быть достигнуто с использованием внешнего кварцевого резонатора на 32 кГц, либо VLO. VLO — это осциллятор с очень низким энергопотреблением (Very-Low power Oscillator), представленный в семействе F20xx как альтернатива обычного 32 кГц ACLK. VLO обеспечивает тактовый сигнал 12 кГц без помощи внешних компонентов, что подходит для приложений с ультранизким потреблением, нуждающихся в функции пробуждения.

Кварцевый генератор F2xx улучшен тем, что содержит программируемые нагрузочные конденсаторы, позволяющие использовать широкий диапазон кристаллов без дополнительных компонентов для стабилизации. Кварцевый генератор может инициировать немаскируемое прерывание и запускать встро-

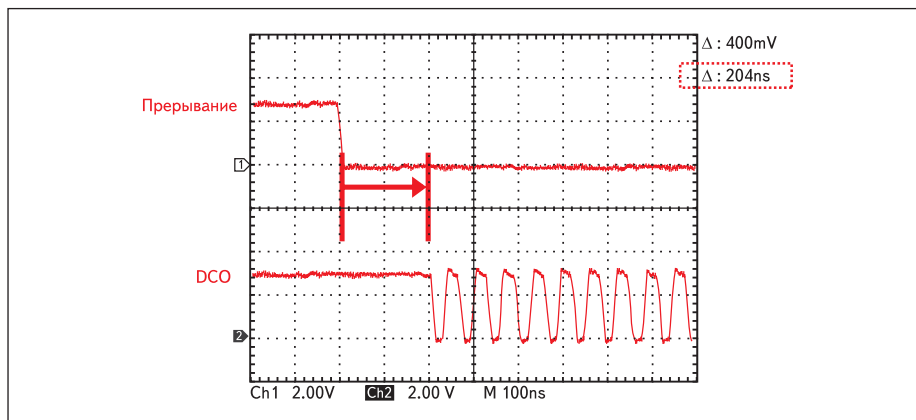


Рис. 3. Процесс включения DCO MSP430F2xxx

енный осциллятор. Тем самым мы получаем отказоустойчивую систему синхронизации. Эта функция доступна в низко- и высокочастотных режимах работы и не приводит к дополнительным затратам энергии. Входные фильтры уменьшают уровень внешних высокочастотных шумов и увеличивают надежность системы.

Усовершенствованный встроенный DCO менее чем за 1 мкс обеспечивает стабилизированный сигнал синхронизации с точностью  $\pm 2,5\%$ .

На рис. 3 изображен процесс включения DCO MSP430. Из этого рисунка видно, что осциллятор активизируется и стабилизируется менее чем за 1 мкс. В этом примере используется F2131 и время запуска DCO составляет 204 нс.

Одно из достоинств использования такого стабильного осциллятора проявляется при организации последовательной связи, например, с использованием UART. Сигнал синхронизации UART должен запускаться и быть стабильным без задержек, чтобы не потерять принимаемую информацию. Если использовать медленный или двухскоростной осциллятор, то данные из начала послышки можно потерять.

### Напряжение программирования Flash-памяти

Очень важным усовершенствованием является возможность программирования Flash-микроконтроллеров нового семейства при сниженном до 2,2 В напряжении (рис. 4). Это актуально для приложений с батарейным питанием, когда нужно сохранить данные во Flash-памяти, но источник питания не может обеспечить напряжение 2,7 В.

### Отладочный интерфейс

Микроконтроллеры MSP430F20xx содержат двухпроводный отладочный интерфейс Spy Bi-Wire. Этот интерфейс обеспечивает полную системную эмуляцию с использованием только двух сигнальных выводов мик-

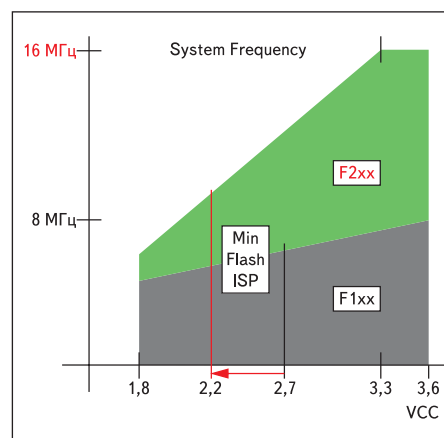


Рис. 4. Диапазон напряжений программирования Flash MSP430

роконтроллера — TEST и RESET (SBWTCK и SBWTDIO) (рис. 5). Интерфейс позволяет без затрат ресурсов микроконтроллера осуществлять такие функции, как пошаговое исполнение программы, управление системой синхронизации, использование аппаратных точек останова. Внутри F20xx эти сигналы декодируются в сигналы стандартного JTAG. Spy Bi-Wire полностью аппаратно совместим с инструментарием TI на базе USB и программно — с интегрированной средой разработки IAR Embedded Workbench IDE.

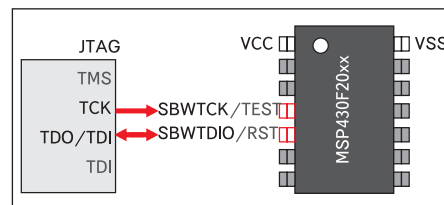


Рис. 5. Выводы микроконтроллера, используемые при эмуляции

### Малые корпуса и высокая степень интеграции

Современные портативные устройства, как, например, электрическая зубная щетка (рис. 6),

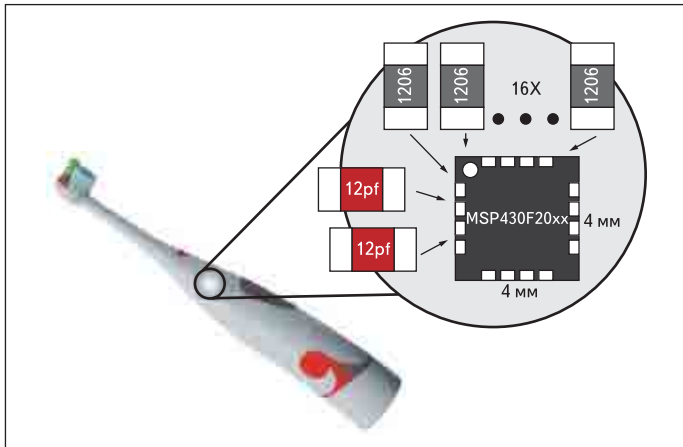


Рис. 6. Пример использования MSP430 в электрической зубной щетке



Рис. 8. Программатор eZ430 для MSP430F2xxx

не располагают большими пространствами для размещения электроники.

Микроконтроллеры MSP430F2xx с высокой степенью интеграции сокращают число внешних компонентов и тем самым размеры электронной части устройства. В число таких компонентов входят подтягивающие резисторы (порты port 1 и port 2 микроконтроллеров содержат встроенные подтягивающие резисторы). Если говорить о размерах самого микроконтроллера, то, например, 14- и 20-выводные представители семейства F2xxx в QFN корпусе занимают площадь 4x4 мм, что эквивалентно площади двух резисторов 1206. Встроенные высокоскоростной осциллятор, управляемый цифровым способом, и низкочастотный осциллятор с низким энергопотреблением исключают необходимость использования внешних кристаллов.

**Операционные усилители**

Один или два операционных усилителя, доступные в микроконтроллерах F22x4, могут конфигурироваться программно как операционные усилители общего назначения, инвертирующие, неинвертирующие, компараторы, буферы с единичным усилением или дифференциальные усилители. Регулируется также коэффициент усиления и скорость (соответственно, энергопотребление). Выходы операционных усилителей могут внутренне подаваться на входы АЦП ADC10.

ды операционных усилителей могут внутренне подаваться на входы АЦП ADC10.

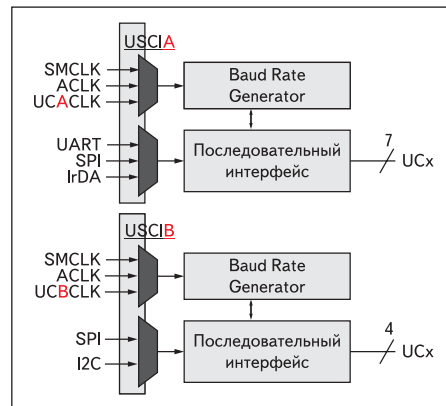


Рис. 7. Блок-схема интерфейса USCI

Таблица 2. Функциональность USCI и USART

|                                              | USART    | USCI     |
|----------------------------------------------|----------|----------|
| Низкое энергопотребление                     | •        | •        |
| Работа по прерываниям                        | •        | •        |
| SPI                                          | •        | •        |
| UART                                         | •        | •        |
| I <sup>2</sup> C                             | 15x/ 16x | •        |
| IrDA                                         |          | •        |
| Автоматическое определение скорости передачи |          | •        |
| Одновременных каналов                        | 1        | 2        |
| Доступность в семействах                     | 1xx, 4xx | 2xx, 4xx |

**Универсальный последовательный коммуникационный интерфейс (USCI)**

Интерфейс USCI (рис. 7, табл. 2) способен работать в режиме низкого энергопотребления LPM4, имеет 2 канала, дважды буферизируется, работает в режиме DMA, может управляться прерываниями, а также способен автоматически определять скорость передачи.

В заключение рассмотрим основные программаторы, их функциональность и совместимость с семействами микроконтроллеров. В таблице 3 приведены три самых популярных программатора для MSP430 (рис. 8). В зависимости от задачи и используемого микроконтроллера можно подобрать необходимый программатор.

Таблица 3. Основные программаторы для MSP430

|                                                                 | eZ430 | USB FET | PP FET |
|-----------------------------------------------------------------|-------|---------|--------|
| Поддержка всех MSP430 с Flash-памятью (F1xx, F2xx, F4xx)        |       | •       | •      |
| Поддержка только 14-выводных устройств: MSP430F20x1/F20x2/F20x3 | •     |         |        |
| Пережигание защитной перемычки                                  |       | •       |        |
| Регулировка напряжения питания                                  |       | •       |        |
| Фиксированное напряжение питания 3,6 В                          | •     |         |        |
| Фиксированное напряжение питания 2,8 В                          |       |         | •      |
| Поддержка JTAG (4-проводной)                                    |       | •       | •      |
| Поддержка Spy-Bi-Wire (2-проводной)                             | •     | •       |        |
| Поддержка IAR                                                   | •     | •       | •      |
| Поддержка CCE 2.0                                               | •     | •       | •      |