

Роман Попов (КОМПЭЛ), Роман Иванов (г. Санкт-Петербург)

ДЛЯ ОБРАБОТКИ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ: НОВЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ STM32F3

Компания **STMicroelectronics**, мировой лидер полупроводниковой электроники, 26 июня 2012 года в Женеве объявила о начале поставки первых образцов своего **нового микроконтроллера серии STM32F3**. Новый микроконтроллер — это ядро **ARM Cortex-M4**, большое количество высокоскоростных встроенных АЦП и операционных усилителей, а также интегрированный сигма-дельта АЦП для точных преобразований.

Микроконтроллеры STM32F3 построены на базе ядра Cortex-M4 с модулем плавающей точки (FPU) и оптимизированы для высокоскоростной обработки аналоговых сигналов в таких приложениях, как управление трехфазными двигателями, биометрия, промышленные датчики или аудио фильтры. Они помогут упростить схему устройства, уменьшить размеры печатной платы и сократить энергопотребление. Новая серия STM32F3 существенно расширяет сферу применения контроллеров STM32, продвигая их в области цифровой обработки сигналов.

Обладая универсальным набором аналоговых входов, высокопроизводительным ядром ARM Cortex-M4 с FPU и небольшим, но достаточным объемом памяти, линейка STM32F3 предоставляет разработчику идеальный инструмент по конкурентоспособной цене.

Увеличенное до четырех количество высокоскоростных 12-битных аналогово-цифровых преобразователей последовательного приближения с 39 аналоговыми входами позволяет полностью отказаться от внешних АЦП в системах с большим количеством аналоговых сигналов.

А впервые появившийся в семействе STM32 сигма-дельта АЦП высокого разрешения позволит применять STM32F3xx в ранее недоступных областях, где требуются не очень быстрые, но точные преобразования.

Линейка STM32F3

В настоящий момент производитель анонсировал выход порядка 30 новых микроконтроллеров в линейке STM32F3. Контроллеры условно поделены на два семейства: STM32F30x и STM32F37x (рисунок 1). Обобщен-

ная информация по микроконтроллерам STM32F3xx представлена в таблице 1.

Микроконтроллеры STM32F3

Обобщенная структура микроконтроллеров STM32F3xx представлена на рисунке 2.

Основные характеристики семейства:

- Ядро ARM 32-бит Cortex-M4;
- Частота тактирования 72 МГц;
- Поддержка DSP-инструкций;
- До 256 кбайт Flash-памяти;
- До 48 кбайт SRAM-памяти;
- Напряжение питания 2...3,6 В (POR, PDR и PVD);
- Внутренние RC-генераторы на 8 МГц и 40 кГц (для RTC);
- Внешний источник тактирования 4...32 МГц и для RTC — 32,768 кГц;
- Модули отладки SWD/JTAG, модуль ETM;
- Три 16-битных сигма дельта АЦП;
- До четырех 12-битных SAR АЦП на 39 входных каналов;

- До трех каналов 12-битных ЦАП;
- До семи быстродействующих компараторов;
- DMA-контроллер на 12 каналов;
- До 17 таймеров (16 и 32 разряда);
- Два сторожевых таймера (WWDG и IWDG);
- Коммуникационные интерфейсы: I²C, USART (ISO 7816, LIN, IrDA), SPI, I²S;
- CAN 2.0 B Active;
- USB 2.0 FS;
- HDMI-CEC;
- Аппаратное вычисление CRC;
- Обычный или расширенный температурный диапазон -40...(85°C)105°C.

Поскольку микроконтроллеры STM32F3xx ориентированы именно на прием и обработку аналоговых сигналов, то начнем более подробное рассмотрение именно с аналоговой периферии.

АЦП

Микроконтроллеры, в зависимости от подсемейства, содержат на борту разный набор аналогово-цифровых преобразователей.

Подсемейство STM32F30x содержат четыре АЦП последовательного приближения — SAR (*Successive Approximation Register*).

Четыре SAR АЦП работают на скоростях до 5 мегасемплов с настраиваемым разрешением от 6 до 12 бит

Both product lines include:

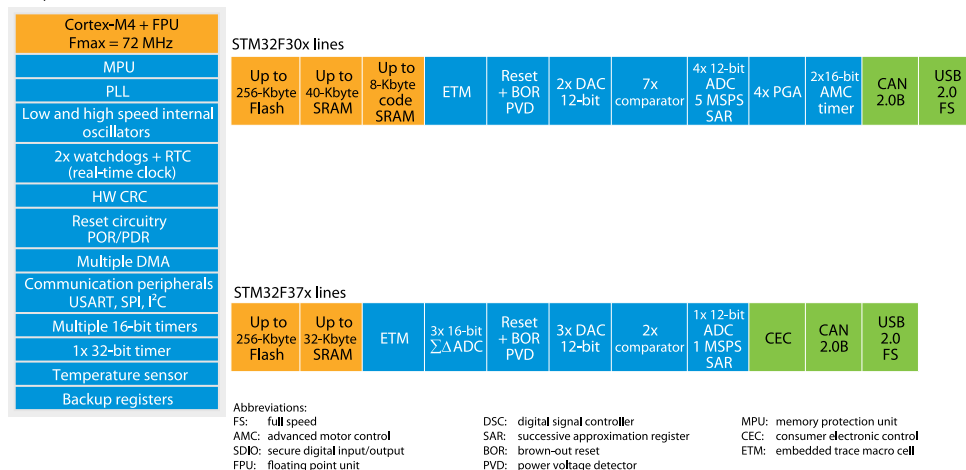


Рис. 1. Линейка STM32F3

и имеют до 39 внешних входных каналов. Преобразование выполняется в однократном режиме или режиме сканирования. В режиме сканирования автоматическое преобразование выполня-

ется для выбранной группы аналоговых входов.

АЦП имеют также внутренние входные каналы: для датчика температуры, для источника опорного напряжения и

для опорных напряжений внутренних операционных усилителей.

Для перемещения результатов конвертирования АЦП может использовать контроллер DMA.

Таблица 1. Номенклатура STM32F3

Наименование	Корпус	FLASH, кбайт	RAM, кбайт	Кол-во таймеров		АЦП	ЦАП	I/O	Посл. интерфейсы
				16-бит/32-бит (IC/OC/PWM)	Остальные				
STM32F302CB	LQFP 48	128	32	8/1		9x12-бит	1x12-бит	37	3xSPI; 2xI ² C; 5xUSART; 1xUSB; 1xCAN
STM32F302CC	LQFP 48	256	40	8/1		9x12-бит	1x12-бит	37	
STM32F302RB	LQFP 64	128	32	8/1		16x12-бит	1x12-бит	53	
STM32F302RC	LQFP 64	256	40	8/1		16x12-бит	1x12-бит	53	
STM32F302VB	LQFP 100	128	32	8/1		17x12-бит	1x12-бит	88	
STM32F302VC	LQFP 100	256	40	8/1		17x12-бит	1x12-бит	88	
STM32F303CB	LQFP 48	128	40	9/1		15x12-бит	2x12-бит	37	
STM32F303CC	LQFP 48	256	48	9/1		15x12-бит	2x12-бит	37	
STM32F303RB	LQFP 64	128	40	9/1		22x12-бит	2x12-бит	53	
STM32F303RC	LQFP 64	256	48	9/1		22x12-бит	2x12-бит	53	
STM32F303VB	LQFP 100	128	40	9/1		39x12-бит	2x12-бит	88	
STM32F303VC	LQFP 100	256	48	9/1		39x12-бит	2x12-бит	88	
STM32F372C8	LQFP 48	64	16	9/2	SysTick, 2xWDG, RTC	5x16-бит; 9x12-бит	1x12-бит	36	2xSPI; 2xI ² C; 3xUSART; 1xUSB; 1xCAN
STM32F372CB	LQFP 48	128	24	9/2		5x16-бит; 9x12-бит	1x12-бит	36	
STM32F372CC	LQFP 48	256	32	9/2		5x16-бит; 9x12-бит	1x12-бит	36	
STM32F372R8	LQFP 64	64	16	9/2		5x16-бит; 16x12-бит	1x12-бит	52	
STM32F372RB	LQFP 64	128	24	9/2		5x16-бит; 16x12-бит	1x12-бит	52	
STM32F372RC	LQFP 64	256	32	9/2		5x16-бит; 16x12-бит	1x12-бит	52	
STM32F372V8	LQFP 100; UFBGA 100	64	16	9/2		9x16-бит; 16x12-бит	1x12-бит	84	
STM32F372VB	LQFP 100;UFBGA 100	128	24	9/2		9x16-бит; 16x12-бит	1x12-бит	84	
STM32F372VC	LQFP 100; UFBGA 100	256	32	9/2		9x16-бит; 16x12-бит	1x12-бит	84	
STM32F373C8	LQFP 48	64	16	9/2		8x16-бит; 9x12-бит	3x12-бит	36	
STM32F373CB	LQFP 48	128	24	9/2		8x16-бит; 9x12-бит	3x12-бит	36	
STM32F373CC	LQFP 48	256	32	9/2		8x16-бит; 9x12-бит	3x12-бит	36	
STM32F373R8	LQFP 64	64	16	9/2	8x16-бит; 16x12-бит	3x12-бит	52		
STM32F373RB	LQFP 64	128	24	9/2	8x16-бит; 16x12-бит	3x12-бит	52		
STM32F373RC	LQFP 64	256	32	9/2	8x16-бит; 16x12-бит	3x12-бит	52		
STM32F373V8	LQFP 100; UFBGA	64	16	9/2	21x16-бит; 16x12-бит	3x12-бит	84		
STM32F373VB	LQFP 100; UFBGA	128	24	9/2	21x16-бит; 16x12-бит	3x12-бит	84		
STM32F373VC	LQFP 100; UFBGA	256	32	9/2	21x16-бит; 16x12-бит	3x12-бит	84		

Функции аналогового сторожевого таймера позволяют очень точно контролировать преобразуемое напряжение одного, некоторых или всех выбранных каналов, выдавая прерывание, когда напряжение выйдет за границы запрограммированных порогов.

События, генерируемые таймерами, могут быть заведены на вход АЦП и вызывать его запуск, позволяя синхронизировать преобразования и временные события.

Серия микроконтроллеров STM32F37x содержит один 12-разрядный SAR АЦП. АЦП работает на скоростях до 1 мегасемпла и имеет до 16 внешних входных каналов.

Помимо этого, серия микроконтроллеров STM32F37x имеет сигма-дельта АЦП высокого разрешения – SDADC (*Sigma Delta Analog-To-Digital Converters*).

Микроконтроллеры данной серии содержат три 16-битных SDADC АЦП. Они имеют отдельное напряжение питания, что позволяет им функционировать независимо от колебаний питания контроллера.

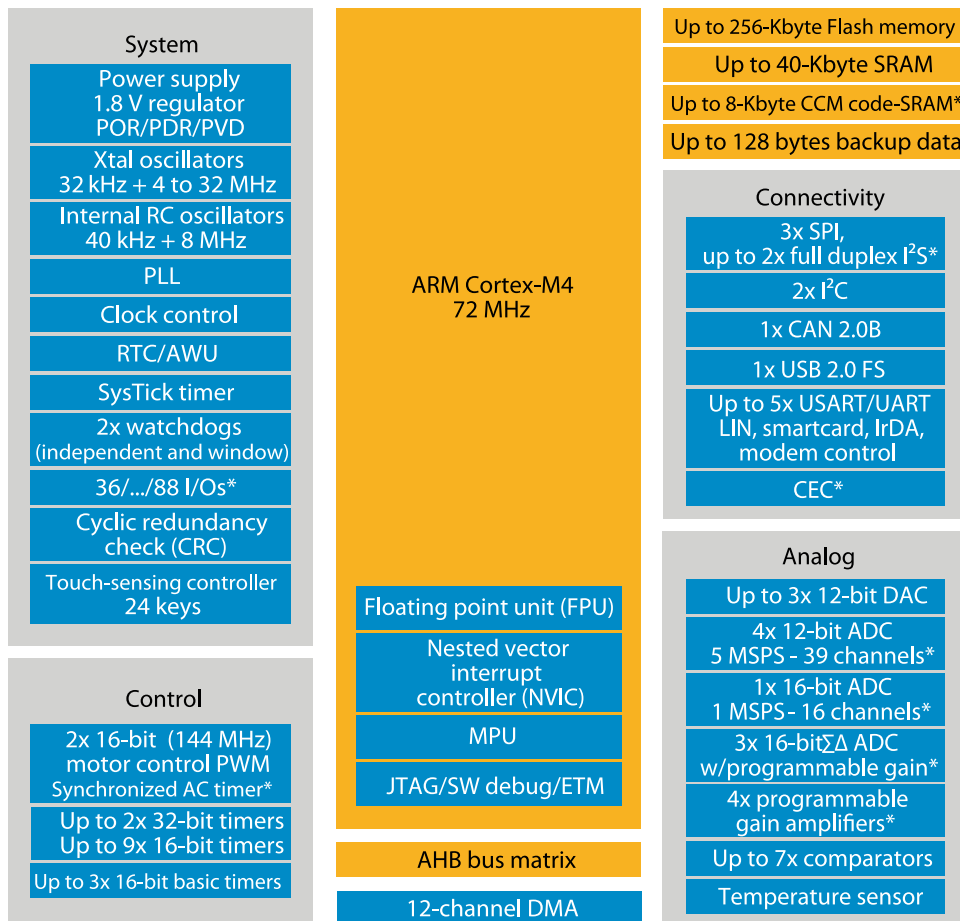
На сигма-дельта АЦП приходится 21 аналоговый вход. Входы могут быть настроены для работы в несимметричном или дифференциальном режиме. Скорость преобразования достигает 16,6 тыс. преобразований в секунду для каждого SD АЦП при преобразовании нескольких каналов и 50 тысяч преобразований в секунду для одиночного преобразования.

SD АЦП поддерживает два режима: одиночных и непрерывных преобразований. В режиме непрерывных преобразований происходит автоматическое оцифровывание нескольких входных каналов. Результаты преобразований сохраняются в оперативной памяти контроллера. Для запуска SD АЦП может быть использована служба таймеров контроллера.

Использование двух внешних контактов для опорного напряжения (VREF+ и VREF-), внутренняя опора и программируемый коэффициент усиления (от $\times 0,5$ до $\times 32$) позволяют получать достаточно точные результаты в большом динамическом диапазоне.

В таблице 2 представлены значения отношения сигнал/шум SNR (*Signal-To-Noise Ratio*) в зависимости от коэффициента усиления – Gain. SNR представляет собой отношение среднеквадратического значения величины входного сигнала к среднеквадратическому значению величины шума, выраженное в децибелах. Размер SNR позволяет судить о доле шума в измеряемом сигнале по отношению к полезному сигналу.

Входной импеданс составляет более 120 кОм при коэффициенте усиления,



* в зависимости от модели.

Рис. 2. Структурная схема микроконтроллеров STM32F3xx

равном единице, и более 47 кОм при коэффициенте усиления 8, 16 или 32.

Аддитивная погрешность составляет менее 1 LSB после проведения калибровки. Мультипликативная погрешность – порядка $\pm 2\%$ при использовании внешнего источника опорного напряжения и порядка $\pm 2\%$ при использовании внутреннего источника.

Операционные усилители

Серия микроконтроллеров STM32F30x имеет на борту четыре встроенных операционных усилителя (ОУ), которые могут быть использованы как самостоятельные усилители или как программируемый усилитель – PGA (*Programmable Gain Amplifier*). Выходы операционных усилителей внутренне связаны с АЦП-каналами. Операционные усилители имеют низкое напряжение смещения и работают в режиме «rail-to-rail». С помощью внутренних мультиплексоров сигнал подается как на инвертирующий, так и на неинвертирующий вход.

При работе ОУ как самостоятельного усилителя, усиление задается внешней цепочкой элементов, т.е. фактически мы получаем возможность менять коэффициент усиления самостоятельно.

При использовании операционного усилителя как элемента схемы

PGA, усиление задается встроенными резисторами. Коэффициент усиления меняется в пределах от 2 до 16. В этом режиме также можно подключить внешний конденсатор для создания фильтра на ОУ.

Компараторы

Микроконтроллеры имеют до семи быстрых «rail-to-rail» встроенных компараторов с выбором внешнего или внутреннего источника опорного напряжения, гистерезисом, программируемой скоростью и возможностью выбора полярности выходного сигнала.

Опорное напряжение может задаваться через порты ввода/вывода, выход ЦАП или внутренним источником опорного напряжения с задаваемыми коэффициентами деления.

Программируемый гистерезис помогает избежать ложных переходов в случае зашумленных сигналов. Гистерезис может быть отключен в случае необходимости, чтобы иметь возможность задавать его с использованием внешних элементов.

Также программно можно задать четыре скорости работы компаратора, меняя тем самым его потребление: максимальной скорости соответствует максимальное потребление, а минимальной – соответственно, минимальное.

Таблица 2. Зависимость отношения сигнал/шум от коэффициента усиления

Коэффициент усиления	Отношение «сигнал/шум», дБ
1/2	86
1	86
2	83
4	80
8	77
16	71
32	65

Датчик температуры

Датчик температуры генерирует напряжение VSENSE, которое линейно изменяется с изменением температуры. Напряжение VSENSE поступает на внутренний аналоговый вход АЦП, который используется для преобразования напряжения в цифровое значение, а затем полученное значение пересчитывается в температуру.

Датчик обеспечивает хорошую линейность, но он должен быть откалиброван для получения достоверных данных по измерению температуры. Так как смещение температурного датчика меняется от чипа к чипу, некалиброванный внутренний датчик температуры может быть использован только для приложений, которые отслеживают относительные изменения температуры. Для повышения точности измерения датчика температуры каждое устройство индивидуально калибруется на заводе ST. Данные заводской калибровки хранятся в памяти микроконтроллера и доступны только в режиме чтения.

ЦАП

Контроллер имеет до двух 12-разрядных цифро-аналоговых преобразователей с тремя выходными каналами, которые могут быть использованы для преобразования цифровых сигналов в три аналоговых. ЦАП могут быть сконфигурированы для работы в 8- или 12-разрядном режиме. При работе в 12-битном режиме доступно левое или правое выравнивание данных. ЦАП может быть использован как генератор шума или треугольных сигналов. Обеспечивается доступ к DMA для каждого канала.

DMA

Контроллер прямого доступа к памяти DMA (*Direct Memory Access*) используется для перемещения данных без участия ядра. DMA может перемещать данные из периферии в память и обратно или из одной памяти в другую. Поддерживается работа с кольцевым буфером, что позволяет избежать генерации прерывания, когда происходит заполнение буфера. Каждый DMA-канал подключен к выделенному аппаратному

запросу с поддержкой программного запуска.

Поддерживается работа со всей основной периферией: SPI, I²C, USART, DAC, ADC, SDADC и таймерами.

Таймеры

Микроконтроллеры STM32F3 имеют на борту богатый набор таймеров: 16-битные таймеры с расширенными функциями, 32 и 16-битные таймеры общего назначения, 16-битные базовые таймеры, два сторожевых таймера (независимый и оконного типа) и 24-битный системный таймер. Их состав немного меняется в зависимости от подсемейств.

Таймеры с расширенными функциями имеют довольно много возможностей – поддержка режимов счета в прямом и обратном направлениях, комплементарные выходы с программируемым мертвым временем, генерация ШИМ с режимом выравнивания по центру и по фронту, вход захвата, выход сравнения, режим одиночного импульса, поддержка DMA и другие важные функции.

Таймеры общего назначения во многом похожи на таймеры с расширенными функциями, но имеют немного меньший функционал (по направлению счета, входам захвата, выходам сравнения и др.).

Базовые таймеры имеют наименьший функционал и используются в основном как обычные 16-разрядные счетчики.

Коммуникационные интерфейсы

I²C-интерфейс (Inter-Integrated Circuit).

Микроконтроллер содержит два модуля I²C. Поддерживается работа в режимах «Ведущий» («Master»), «Ведомый» («Slave») или «Несколько ведущих» («Multimaster»). Возможна передача данных в трех диапазонах скоростей: «Стандартный» («Standard») – скорости передачи до 100 кГц, «Быстрый» («Fast») – до 400 кГц и «Быстрый +» («Fast +») – до 1000 кГц. Поддерживается 7- и 10-битная адресация. Также встроена поддержка аналоговых и цифровых фильтров для подавления шума.

I²C-модули поддерживают два расширенных протокола: SMBus 2.0 (*System Management Bus*) и PMBus (*Power*

Management Bus). Для малопотребляющих решений имеется возможность пробуждения контроллера при прохождении по шине пакета с его адресом.

SPI-интерфейс (Serial Peripheral Interface). Микроконтроллер содержит до трех модулей SPI. Поддерживается работа в режимах «Master» или «Slave» с полнодуплексной и симплексной передачей данных на скоростях до 18 Мбит/с. 3-битный делитель позволяет задавать восемь частот передачи с выбором фрейма в 8- или 16-бит.

Имеется встроенная аппаратная поддержка вычисления циклически избыточного кода CRC с поддержкой SD/MMC карт.

I²S-интерфейс (Inter-Integrated Sound).

Микроконтроллер имеет на борту до трех модулей I²S, мультиплексированных с SPI-интерфейсом. Модули могут работать в режиме «Master» или «Slave». Интерфейс может быть сконфигурирован для работы с 16/32 битным разрешением. Частоты сэмплирования аудиосигнала составляют от 8 до 192 кГц.

USART-интерфейс (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter).

Микроконтроллер содержит до трех USART и двух UART модулей. Все модули поддерживают скорости до 9 Мбит/с. Встроена аппаратная поддержка работы с сигналами управления модемов RTS и CTS, поддерживаются инфракрасные приемопередатчики IrDA, режим связи нескольких контроллеров, однопроводной полудуплексный режим, автоматическое определение скорости, работа со смарт-картами в соответствии со стандартом ISO 7618-3 и с LIN-устройствами.

CAN-интерфейс (Controller Area Network).

Микроконтроллер содержит встроенный контроллер CAN-интерфейса, поддерживающий стандарты 2.0A и 2.0B (активная передача данных) на скоростях до 1 Мбит/с и работающий со стандартными (11-битными) и расширенными (29-битными) кадрами. CAN-контроллер имеет три буфера сообщений на передачу, два приемных FIFO с тремя каскадами и 14 распределенных масштабируемых банков фильтров.

USB-интерфейс (Universal Serial Bus).

Микроконтроллер содержит встроенный USB-контроллер с поддержкой режима «full-speed» (12 Мбит/с). USB-контроллер имеет программно конфигурируемые «конечные точки» («endpoint») и поддерживает функции приостановки/возобновления. Специализированная частота в 48 МГц формируется на внутренних делителях из внешнего кварцевого генератора.

HDMI (high-definition multimedia interface).

Микроконтроллер содержит контроллер HDMI, обеспечива-

ющий аппаратную поддержку СЕС (Consumer Electronics Control) протокола для удаленного управления электронными устройствами. Для экономии энергии при встраивании в малопотребляющие приложения имеется возможность пробуждения контроллера при приеме данных.

Контроллер сенсорных экранов

Для подключения к STM32F3xx емкостного сенсорного экрана на борту микроконтроллера имеется встроенный аппаратный контроллер сенсорных экранов, поддерживающий до 24 входных каналов. В контроллере использована хорошо зарекомендовавшая себя ранее технология переноса заряда. До восьми емкостных каналов могут быть объединены в параллель для получения минимального времени отклика.

Для облегчения труда программиста и ускорения процесса разработки компания ST бесплатно предоставляет специальную библиотеку для контроллера сенсорных экранов.

Питание микроконтроллера

Для питания микроконтроллера необходим источник питания с напряжением от 2 до 3,6 В. Для питания ядра микроконтроллера используется встроенный преобразователь напряжения на 1,8 В. Подача питания на аналоговую периферию происходит через специально выделенные для этой цели ножки.

Контроллер имеет несколько встроенных супервизоров питания. Они всегда активны и обеспечивают корректную работу устройства. POR (*Power-On Reset*) обеспечивает сброс контроллера при включении питания, пока его уровень не достигнет 2 В. Следует отметить, что POR контролирует только цифровое питание, поэтому аналоговое питание должно появляться первым либо синхронно. PDR (*Power-Down Reset*) контролирует провалы как цифрового, так и аналогового питания, однако контроль аналогового питания может быть программно отключен.

Микроконтроллер имеет также встроенный программируемый детектор напряжения PVD (*Programmable Voltage Detector*), который контролирует напряжение цифрового питания и сравнивает его с некоторым порогом. При превышении/падении питания выше/ниже порога генерируется прерывание.

Микроконтроллер поддерживает три режима пониженного энергопотребления, хорошо знакомые разработчикам по другим семействам STM32.

Режим «Sleep». В этом режиме только ядро останавливает свою работу. Вся периферия продолжает работать и пробуждает процессор по наступлению определенного прерывания или события.

Режим «Stop». В этом режиме достигается низкое энергопотребление порядка 10 мкА с сохранением данных в SRAM и регистрах. Все тактирование в зоне 1,8 останавливается. PLL, HSI RC и HSE-осциллятор отключаются. Микроконтроллер просыпается по любому событию на линии EXTI.

Режим «Standby». Обеспечивает самое низкое потребление — единицы мкА. Внутренний преобразователь 1,8 В отключается. Данные в SRAM-памяти и регистрах не сохраняются. Для выхода из режима необходимо прерывание от часов реального времени, общий сброс или возрастающий фронт на ножке WKUP.

Часы реального времени и регистры резервирования

Питание на часы реального времени (RTC) и регистры резервирования подается через автоматический переключатель, который скоммутирован на ножки основного питания (когда оно есть) или на ножку батарейного питания (при отсутствии основного).

Область регистров резервирования состоит из тридцати двух 32-битных регистров и хранит 128 байт данных, пока отсутствует питание. Они не стираются при сбросе по питанию, системном сбросе, и когда устройство выходит из режима ожидания.

Часы реального времени выполнены на независимом счетчике с аппаратной поддержкой календаря с долями секунды, секундами, минутами, часами (12- или 24-часовой формат), днями недели, датой, месяцем и годом в BCD (двойно-десятичном) формате. Поддерживается автоматическая работа с 28-, 29- (високосный год), 30- и 31-дневными месяцами. Встроены два программируемых будильника для пробуждения из режимов низкого потребления. Для компенсации неточности работы кварцевого кристалла имеется цифровая схема калибровки с разрешением 1 ppm. Часы реального времени могут сохранять свое содержимое по событию на определенной ножке — эта особенность широко используется в системах фиксации несанкционированного доступа.

Отладка

Для проведения отладки или программирования микроконтроллера используются хорошо всем знакомые четырехпроводный JTAG-интерфейс или двухпроводный SWD- (*Serial Wire Debug*). Ножки SWD-интерфейса мультиплексированы с ножками JTAG. Переход от одного интерфейса к другому осуществляется программно и, как правило, от разработчика требуется только поставить галочку в среде разработки.

Для расширения возможностей отладки микроконтроллер содер-

жит интегрированные макроячейки трассировки ETM (*Embedded Trace Macrocell*), позволяющие разработчику наблюдать за потоком инструкций и данных внутри ядра CPU в реальном времени. Информация выводится наружу на очень большой скорости через небольшое количество ETM-ножек на внешний TDA-анализатор, который подключается к компьютеру через USB или другой высокоскоростной интерфейс. Поток инструкций данных и инструкций может быть записан и отображен на дисплее.


Для написания кода можно использовать широко распространенные в нашей стране IAR Embedded Workbench или Keil MDK-ARM.

В сентябре компания ST планирует предложить разработчикам две отладочные платы: одна недорогая начального уровня из всем уже знакомой серии недорогих отладок «DISCOVERY» — «STM32F3 Discovery Kit», и одна для более глубокого изучения — «Evaluation Board».

Заключение

Выпуском в свет новых микроконтроллеров линейки STM32F3 на основе ядра Cortex-M4 с модулем FPU компания STMicroelectronics несомненно совершила прорыв в области обработки аналоговых сигналов и еще более упрочила свои лидирующие позиции на рынке микроконтроллеров Cortex-M. Это первое решение на рынке, сочетающее высокопроизводительное ядро ARM Cortex-M4 и такое большое количество высокоскоростных встроенных аналогово-цифровых преобразователей с возможностью подключения уже интегрированных операционных усилителей. А интегрированный сигма-дельта АЦП позволит использовать STM32F3 в областях, где требуются точные преобразования.

Максимальная совместимость по выводам внутри семейства STM32, схожая периферия, программная совместимость и совместимость по средствам разработки перекрывают фактически весь спектр приложений, где требуется использование микроконтроллеров.

Новые микроконтроллеры, несомненно, займут лидирующие позиции в этом сегменте рынка. В массовое производство микроконтроллеры линейки STM32F3 поступят в 3-4 квартале 2012 года. 

Получение технической информации,
заказ образцов, поставка —
e-mail: mcu.vesti@compel.ru