

Сложные алгоритмы на 32-разрядном ядре Cortex-M4F

Новые микроконтроллеры STM32F4 компании STMicroelectronics

Андрей Самоделов

Появившееся недавно микроконтроллерное ядро Cortex-M4F отличается от предыдущего Cortex-M4, в первую очередь, поддержкой операций с числами с плавающей точкой одинарной точности. 32-разрядные микроконтроллеры с ядром Cortex-M4F, практически сразу завоевавшие популярность на рынке, производят такие компании, как TI, NXP, Freescale. Не отстала от своих конкурентов и STMicroelectronics, выпустив семейство микроконтроллеров STM32F4, обладающее выдающимися особенностями, о которых и будет рассказано в данной статье.

32-разрядное RISC-ядро ARM Cortex-M4F является новым поколением ARM-процессоров для встраиваемых систем. Оно разработано для применения в недорогих платформах и удовлетворяет потребностям в МК с уменьшенным количеством выводов и низкой потребляемой мощностью, наряду с детерминированным временем на прерывания.

Ядро работает на частоте до 168 МГц и имеет блок арифметики с плавающей точкой (FPU), который поддержи-

вает все ARM-инструкции и типы данных одинарной точности. Кроме того, ядро имеет блок защиты памяти (MPU), который повышает безопасность приложений.

ARM Cortex-M4F обладает исключительной эффективностью кода, совмещая высокую производительность, характерную для ARM, с используемым объемом памяти, соответствующим 16- или даже 8-разрядным микроконтроллерам. Процессор поддерживает набор DSP-инструкций, который по-

зволяет эффективно обрабатывать сигналы и выполнять сложные алгоритмы управления.

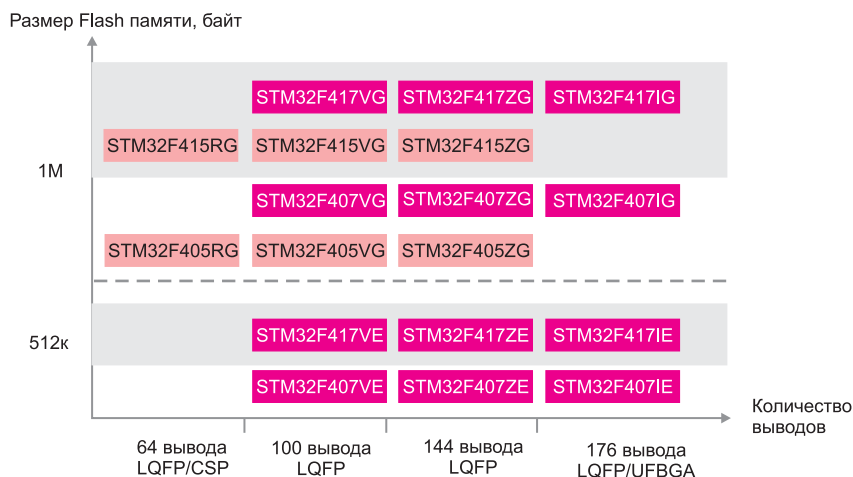
Для ускорения разработки программного обеспечения с применением модуля операций с плавающей точкой (FPU) имеется инструментарий, использующий особый мета-язык. Поддержка семейства STM32F4 имеется во всех основных средах разработки для ARM-микроконтроллеров.

Основные особенности STM32F4

Микроконтроллеры семейства STM32F4 имеют высокоскоростную встроенную память (до 1 Мбайт Flash и до 192 кбайт SRAM), до 4 кбайт SRAM для хранения резервных копий переменных и большое количество расширенных линий I/O и периферийных модулей, подключенных к двум шинам APB, двум шинам AHB и 32-битной мульти-AHB матрице шин.

Все МК в семействе имеют в своем составе три 12-разрядных АЦП, 2 ЦАП, мощный микроблок RTC, двенадцать 16-разрядных таймеров общего назначения, включая два таймера с ШИМ для управления электродвигателями, два 32-разрядных таймера общего назначения, настоящий аналоговый генератор случайных чисел (RNG) и модуль криптографического ускорителя. Кроме того, в состав МК входят стандартные и расширенные интерфейсы обмена данными: до трех модулей I²C; три модуля SPI, два модуля I²S (полнодуплексные); 4×USART и 2×UART; модули USB OTG full-speed и USB OTG high-speed с поддержкой full-speed (ULPI); 2×CAN; интер-





Легенда:

■ Ethernet, 2xUSB OTG, camera IF ■ 1xUSB OTG, FS/HS ■ Encryption

Рис. 1. Состав семейства микрoкoнтрoллepов STM32F4

стве STM32F4, относятся: SDIO; гибкий расширенный контроллер статической памяти FSMC (для микросхем в корпусе со 100 выводами и более); интерфейс видекамеры для CMOS-датчиков, аналоговый генератор случайных чисел и криптографический ускоритель.

В семействе STM32F4 имеется 4 подсемейства, которые отличаются наличием или отсутствием Ethernet-интерфейса, интерфейса видекамеры и криптографического сопроцессора. На рис. 1 показан состав семейства микрoкoнтрoллepов STM32F4.

В таблице 1 приведены отличия по составу периферийных модулей МК семейства STM32F4.

Несмотря на расширенный набор инструкций, приближающий микрoкoнтрoллepы семейства STM32F4 к цифровым сигнальным процессорам, их можно использовать в качестве обычных МК благодаря богатому набору периферийных блоков, стандартному для устройств с ядром Cortex-M.

STM32F4xx выпускаются в 4 типах корпусов с количеством выводов от 64 до 176, при этом в зависимости от количества выводов несколько меняется состав периферийных модулей, входящих в их состав.

В таблице 2 приведены функциональные особенности различных подсемейств микрoкoнтрoллepов STM32F4.

Таблица 1. Отличия между подсемействами микрoкoнтрoллepов семейства STM32F4xx

	STM32F405xx	STM32F407xx	STM32F415xx	STM32F417xx
Интерфейс Ethernet	Нет	Да	Нет	Да
Интерфейс видекамеры	Нет	Да	Нет	Да
Криптоядро	Нет	Нет	Да	Да
Состав подсемейства	STM32F405RG, STM32F405VG, STM32F405ZG	STM32F407VG, STM32F407IG, STM32F407ZG	STM32F415RG, STM32F415VG, STM32F415ZG	STM32F417VG, STM32F417IG, STM32F417ZG
		STM32F407VE, STM32F407ZE, STM32F407IE		STM32F417VE, STM32F417ZE, STM32F417IE

фейс SDIO/MMC; интерфейсы Ethernet и видекамеры (только в микросхемах STM32F4x7). Для достижения точности работы, соответствующей классу «аудио», периферийные модули I²S необ-

ходимо тактировать от специальных внутренних генераторов с ФАПЧ или от внешнего источника сигнала.

К новым расширенным периферийным блокам, появившимся в семей-

Таблица 2. Основные функциональные особенности микрoкoнтрoллepов STM32F405/407 и STM32F415/417

		F4x5RG	F4x5VG	F4x5ZG	F4x7Vx	F4x7Zx	F4x7Ix	
Объем Flash, кбайт		1024			512	1024	512	1024
Объем ОЗУ, кбайт		Системное Резервное			192 (112+16+64)			
Контроллер FSMC памяти		Нет			Да			
Интерфейс Ethernet		Нет			Да			
Таймеры	Общего назначения				10			
	С расширенным управлением				2			
	Базовые				2			
Генератор случайных чисел					Да			
Интерфейсы обмена данными	SPI / I ² S				3/2 (полный дуплекс)			
	I ² C				3			
	USART/UART				4/2			
	USB OTG FS				Да			
	USB OTG HS				Да			
Интерфейс видекамеры		Нет			Да			
Криптоядро					Да (только для F415/17)			
Линии GPIO		51	82	114	82	114	140	
12-разрядный АЦП					3			
Количество каналов		16	16	24	16	24	24	
12-разрядный ЦАП					Да			
Количество каналов					2			
Максимальная частота CPU, МГц					168			
Рабочее напряжение питания, В					1,8...3,6			
Рабочая температура, °C	Окружающей среды				-40...+85 / -40...+105			
	Кристалла				-40...+125			
Тип корпуса		LQFP64	LQFP100	LQFP144	LQFP100	LQFP144	UFBGA176 LQFP176	

МК семейства STM32F4 имеют рабочий температурный диапазон $-40...+105\text{ }^{\circ}\text{C}$ и напряжение питания 1,8...3,6 В. В температурном диапазоне $0...70\text{ }^{\circ}\text{C}$ при соединении вывода PDR_ON с шиной VSS напряжение питания можно уменьшить до 1,7 В. Наличие режимов пониженного энергопотребления позволяет использовать микроконтроллеры в экономичных устройствах.

Обратная совместимость кода и одинаковое с микроконтроллерами семейств STM32F1 и STM32F2 назначение выводов позволяют плавно расширять функциональность имеющихся систем и реализовывать для них более эффективные, быстрые и надежные алгоритмы управления и обработки данных.

Перечисленные особенности позволяют использовать микроконтроллеры STM32F4 в широком диапазоне приложений, например: управление электродвигателями; медицинское оборудование; промышленные приложения (PLC-модемы, инверторы, электронные предохранители); компьютерные периферийные устройства (принтеры, сканеры); системы оповещения, видеоконференций и HVAC-устройства; бытовая аудиотехника.

Для маркировки микроконтроллеров STM32F4xx принята система обозначений, которая отражена в таблице 3.

Функциональные блоки

Перейдем к описанию основных функциональных блоков микроконтроллеров STM32F4. Блок-схема микроконтроллеров STM32F4 показана на рис. 2.

Адаптивный акселератор памяти реального времени (ART Accelerator) — это ускоритель памяти, оптимизированный для использова-

ния в стандартных для промышленности МК с ядром ARM Cortex-M4F, таких как семейство STM32F4. Он служит для «балансирования» производительности ядра и Flash-памяти, которая обычно требует ожидания со стороны процессора, работающего на высокой частоте.

Для обеспечения полной производительности процессора 210 DMIPS на частоте 168 МГц акселератор производит предварительную выборку инструкций и организует кэш переходов в 128-разрядный буфер памяти, что ускоряет выполнение кода программы. Как показывают результаты теста CoreMark, производительность, достигаемая благодаря ART-акселератору, соответствует нулевому времени ожидания выборки инструкции из Flash-памяти CPU при частоте до 168 МГц.

Блок защиты памяти (MPU) используется для управления доступом CPU к памяти, чтобы предотвращать возможность нежелательного изменения областей памяти, используемых другой задачей. Массив памяти, управляемый блоком MPU, разделен на 8 защищенных областей. Размер защищенной области памяти может находиться в диапазоне между 32 байт и 4 Гбайт.

Блок MPU особенно полезен для приложений, в которых некоторый критичный или сертифицированный код необходимо защищать от доступа со стороны других задач, которые обычно управляются одной из ОС реального времени (RTOS). Если программа пытается получить доступ к области памяти, защищенной блоком MPU, то RTOS посылает специальный сигнал, который приводит к выполнению заранее заданных действий по обработке внеш-

татной ситуации. В рабочем окружении RTOS ее ядро может динамически обновлять настройки блока MPU, основываясь на выполняемых задачах.

Блок MPU является необязательным и его можно отключить, если он не требуется для выполнения текущих задач.

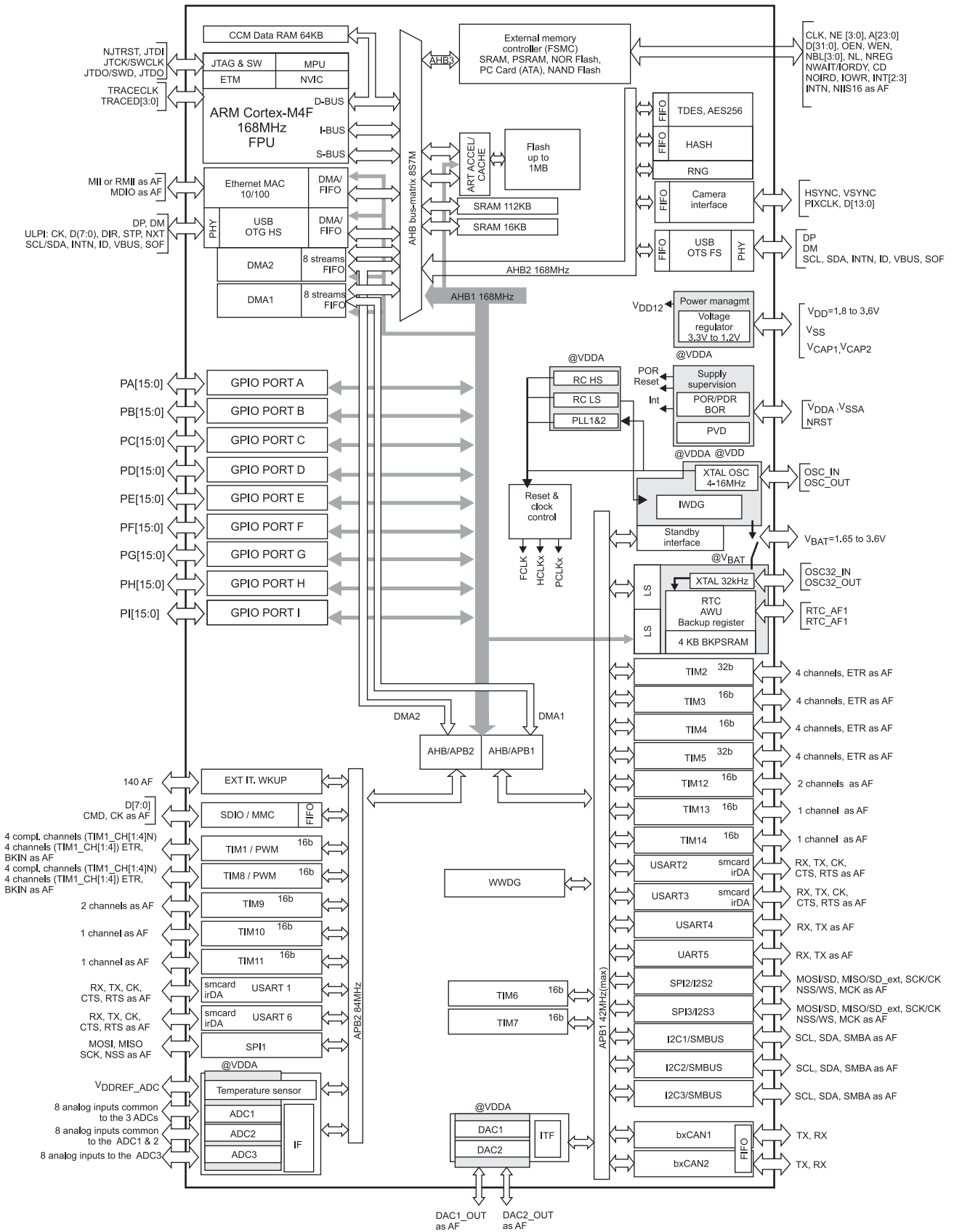
Модуль вычисления контрольных сумм (CRC unit) используется для получения 32-разрядных контрольных сумм с заданным полиномом. Наряду с другими приложениями, основанная на CRC техника используется для контроля над обменом данными их целостностью. В стандарте EN/IEC 60335-1 предлагается конкретный метод контроля целостности Flash-памяти. Модуль вычисления CRC помогает вычислять контрольную сумму программы в процессе ее выполнения, для сравнения с сигнатурой, вычисленной во время сборки программы и хранящейся в специально выделенной области памяти. Такой контроль служит для предотвращения модификации кода программы во время ее выполнения.

Встроенная Flash-память. Микроконтроллеры STM32F4 могут иметь 256, 512, 768 кбайт или 1 Мбайт встроенной Flash-памяти для хранения программ и данных.

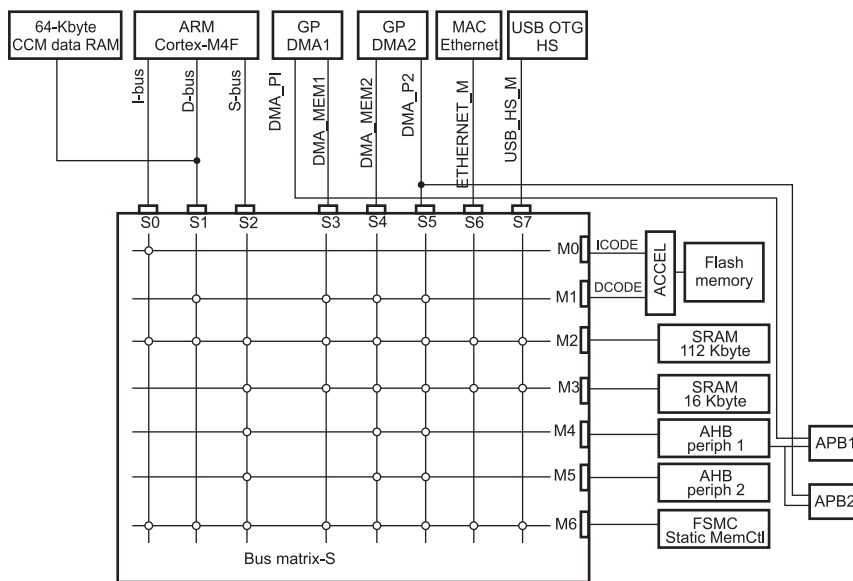
Встроенное ОЗУ (SRAM). Все микроконтроллеры STM32F4 имеют до 192 кбайт системной SRAM, включая 64 кбайт тесно связанного (CCM) ОЗУ данных (data RAM), к которому со стороны процессора имеется прямой доступ. Доступ ко всем областям ОЗУ может осуществляться на частоте CPU с нулевым временем ожидания. Дополнительно имеется область резервного ОЗУ (backup SRAM) размером 4 кбайт. Доступ к этой области осуществляется

Таблица 3. Система маркировки микроконтроллеров STM32F4

Семейство	Тип изделия	Тип ядра	Подсемейство микросхем	Количество выводов	Объем Flash	Тип корпуса	Температурный диапазон	Дополнительно
STM32	F	4	15	R	E	T	6	xxx
STM32= 32-разрядные микроконтроллеры с ядром ARM	F=общего назначения	4=Cortex-M4F	05=USB OTG FS/HS, интерфейс видеокамеры, Ethernet 15=USB OTG FS/HS, крипто-ускоритель 17= USB OTG FS/HS, интерфейс видеокамеры, Ethernet, крипто-ускоритель	R=64 или 66 V = 100 Z = 144 I = 176	C=256 кбайт E=512 кбайт F=768 кбайт G = 1024 кбайт	T=LQFP H = UFPGA	6=промышленный, $-40...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 7 =промышленный, $-40...105\text{ }^{\circ}\text{C}$	xxx=запрограммированные микросхемы TR = в рулоне на катушке



● Рис. 2. Блок-схема микроконтроллеров STM32F4



● Рис. 3. Мульти-AHB матрица

только со стороны CPU. Ее содержимое защищено от возможных нежелательных попыток записи и сохраняется даже в режимах Standby или V_{BAT} .

Мульти-AHB матрица шин. Уникальная 32-разрядная матрица позволяет организовывать потоки данных между всеми основными (CPU, DMA, Ethernet, USB HS) и подчиненными (Flash-память, RAM, FSMC, AHB и APB) блоками микроконтроллера и гарантирует эффективность операций даже при одновременной работе нескольких высокоскоростных периферийных модулей. На рис. 3 показана упрощенная схема коммутации шин мульти-AHB матрицей.

Контроллер прямого доступа к памяти (DMA). Схема МК содержит два двухпортовых контроллера DMA общего назначения (DMA1 и DMA2), каждый из которых может управлять 8 потоками данных, такими как память-память, периферия-память и память-периферия. Контроллеры имеют специализированные буферы FIFO для периферийных модулей на шинах APB/AHB, поддерживают пакетную передачу данных и спроектированы для обеспечения максимальной пропускной способности этих периферийных модулей.

Два DMA-контроллера поддерживают круговую организацию буферов данных, таким образом не требуется специфического программного кода для отслеживания начала и конца буфера. Кроме того, поддерживается

функция двойной буферизации, которая автоматизирует использование и переключение двух буферов памяти без написания какого-либо дополнительного кода.

Каждый поток данных имеет собственный аппаратный канал DMA-запросов с поддержкой программного запуска. Конфигурация блоков DMA осуществляется программным образом и не зависит от размера массива передаваемых данных.

Контроллер DMA может использоваться со всеми основными периферийными модулями: SPI, I²S; I²C и USART, таймерами, АЦП и ЦАП, SDIO, криптоакселератором, интерфейсом видеокмеры (DCMI).

Гибкий контроллер статической памяти (FSMC), встроенный в микроконтроллеры STM32F4, имеет 4 выхода Chip Select, поддерживающих следующие режимы: PCCard/Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR Flash и NAND Flash. Операции записи выполняются с использованием буфера FIFO. Максимальная частота доступа к внешним устройствам (fCLK) составляет 60 МГц.

Параллельный интерфейс управления ЖКИ. Блок FSMC можно сконфигурировать для обмена данными с большинством контроллеров графических ЖКИ. Он поддерживает режимы Intel 8080 и Motorola 6800 modes, и достаточно гибкий для адаптации к специфичным интерфейсам ЖКИ. Такие возможности позволяют созда-

вать конкурентоспособные приложения, использующие графические ЖКИ со встроенным контроллером или высокопроизводительные решения со специализированным внешним графическим ускорителем.

Контроллер вложенных векторных прерываний (NVIC) позволяет управлять 16 уровнями прерываний и поддерживает до 87 каналов маскируемых прерываний и 16 линий прерываний от ядра Cortex-M4F. Прямая связь блока NVIC с ядром обеспечивает быструю реакцию на прерывания. Дальнейшее повышение скорости реакции на прерывания происходит за счет того, что адрес точки входа в обработчик прерываний передается непосредственно в ядро. Контроллер позволяет производить раннюю обработку прерываний, обрабатывать цепочки прерываний. При входе в обработчик прерывания автоматически сохраняется состояние регистров, а после выхода автоматически восстанавливается контекст выполнения программы без использования дополнительных инструкций. Блок обеспечивает гибкое управление прерываниями с минимальным временем задержки.

Контроллер внешних прерываний/событий (EXTI) содержит детекторы изменения уровня сигнала на одной из 23 линий и может генерировать запросы на прерывания/события. Для каждой линии независимо конфигурируется условие срабатывания (фронт, спад, оба) и устанавливается маска. Флаги запросов на прерывания устанавливаются в специальном регистре. Блок EXTI может устойчиво детектировать импульсы, ширина которых меньше периода тактового сигнала шины APB2. К 16 линиям внешних прерываний можно подключить до 140 линий GPIO.

Тактирование и запуск микроконтроллера

После сброса в качестве основного источника тактового сигнала CPU выбирается внутренний RC-генератор с частотой 16 МГц, который подстраивается на заводе-изготовителе для обеспечения точности поддержания частоты 1% во всем температурном диапазоне. После старта пользовательского приложения тактирование

можно переключить с RC-генератора на внешний источник сигнала частотой 4–26 МГц. При этом внутренний RC-генератор предназначен для наблюдения за внешним тактовым сигналом и в случае обнаружения его пропадания переключает тактирование обратно на RC-генератор с выработкой соответствующего программного прерывания. С помощью внутренней системы ФАПЧ частоту сигнала тактирования можно поднять до 168 МГц.

С помощью делителей устанавливается частота двух АНВ-шин, высокоскоростной APB (APB2) и низкоскоростной APB (APB1). Шины АНВ могут работать на частоте ядра 168 МГц, в то время как максимальная частота шин APB составляет 84 МГц.

В микросхеме встроены специальные системы ФАПЧ (PLLI2S), которые обеспечивают работу модуля I²S, позволяя формировать все стандартные частоты дискретизации от 8 до 192 кГц.

Управление режимом загрузки микроконтроллеров STM32F4 осуществляется изменением уровня сигналов на специальных выводах. При этом выбирается один из 3 режимов:

- загрузка из пользовательской области Flash-памяти;
- загрузка из системной памяти;
- загрузка из встроенной SRAM-памяти;
- заводской загрузчик, расположенный в системной памяти, используется для перепрограммирования Flash через USART1 (PA9/PA10), USART3 (PC10/PC11 или PB10/PB11), CAN2 (PB5/PB6), USB OTG FS в режиме Device (PA9/PA11/PA12) и DFU (Device Firmware Upgrade).

Схема питания

Микроконтроллеры STM32F4 имеют три основных напряжения питания:

- $V_{DD} = 1,8 \dots 3,6$ В: напряжение питания для линий I/O и внутреннего стабилизатора, подается от внешнего источника через выводы V_{DD} ;
- $V_{SSA}, V_{DDA} = 1,8 \dots 3,6$ В: внешнее напряжение питания аналоговых цепей АЦП, ЦАП, схем сброса, RC-генератора и систем ФАПЧ (выводы V_{DDA} и V_{SSA} необходимо подключить к выводам V_{DD} и V_{SS} соответственно);
- $V_{BAT} = 1,65 \dots 3,6$ В: источник питания для RTC, внешнего генератора на ча-

стоту 32 кГц и регистров гибернации (через коммутатор напряжения питания) при пропадании напряжения V_{DD} .

На рис. 4 изображена схема подключения источников питания для микроконтроллеров STM32F4xx.

Супервизор напряжения питания активизируется удержанием высокого потенциала на выводе PDR_ON.

Микросхемы STM32F4 имеют встроенную схему сброса при повышении (POR)/понижении (PDR) напряжения питания и схему сброса BOR. Схема BOR всегда активна и начинает свою работу при напряжении источника питания 1,8 В. После достижения порогового для BOR напряжения 1,8 В происходит подтверждение/изменение порога срабатывания или отключение BOR. Для BOR можно установить 3 значения порога срабатывания. Микросхема остается в состоянии сброса, пока напряжение V_{DD} ниже выбранного порога, $V_{POR/PDR}$ или V_{BOR} , без использования внешней схемы сброса.

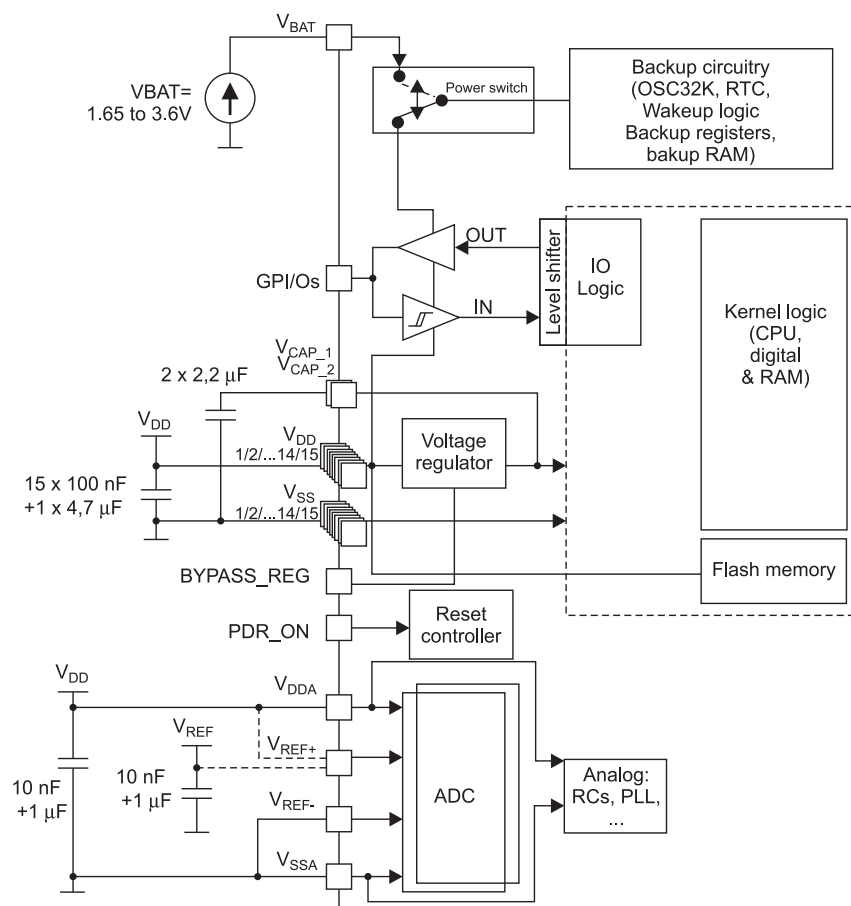
Кроме того, микросхемы STM32F4 с количеством выводов больше 64 имеют

программно управляемый встроенный внутренний детектор напряжения (PVD), который следит за напряжением V_{DD}/V_{DDA} источников питания и сравнивает их с пороговым значением V_{PVD} . При падении напряжения V_{DD}/V_{DDA} ниже порога V_{PVD} и/или повышении выше этого порога генерируется прерывание. Обработчик прерываний может создать предупреждающее сообщение или перевести MCU в безопасное состояние.

Режимы пониженного энергопотребления

Микроконтроллеры STM32F4 поддерживают три режима пониженного энергопотребления, чтобы обеспечить наилучший компромисс между экономичностью, быстрым запуском и доступными источниками пробуждения.

Режим сна (Sleep mode). В этом режиме останавливается только CPU. Все периферийные модули продолжают работать в обычном режиме и могут пробуждать CPU с помощью прерываний/событий.



● Рис. 4. Схема подключения источников питания для микроконтроллеров STM32F4

Режим останова (Stop mode) обеспечивает наименьшее энергопотребление при сохранении содержимого SRAM и регистров. Останавливаются все тактовые генераторы для блоков, питающиеся напряжением 1,2 В, ФАПЧ, кварцевые генераторы HSI RC и HSE выключаются. Стабилизатор напряжения может находиться в нормальном режиме или режиме пониженного энергопотребления.

Выход из режима останова может осуществляться по сигналу EXTI (источником EXTI могут быть одна из 16 линий внешних прерываний, выход PVD, события alarm / wakeup / tamper / time stamp от RTC, сигнал wakeup от USB OTG FS/HS или Ethernet).

Режим ожидания (Standby mode) используется для перевода микроконтроллеров в состояние с наименьшим энергопотреблением. При этом отключается внутренний стабилизатор, выключая все блоки, питаемые от шины 1,2 В. ФАПЧ, HSI RC и HSE также выключаются. После входа в режим ожидания теряется информация в SRAM и регистрах, за исключением информации, хранящейся в модуле гибернации.

Выход из режима ожидания может осуществляться внешним сбросом (вывод NRST), сбросом от сторожевого таймера IWDG, нарастающим фронтом на выводе WKUP или событием alarm / wakeup / tamper / time stamp от RTC.

Операции V_{BAT}. Вывод V_{BAT} позволяет питать блок V_{BAT} от внешней батареи, ионистора, или от шины V_{DD}. Операции V_{BAT} активизируются при пропадании напряжения питания V_{DD}. С вывода V_{BAT}

напряжение питания поступает на блок RTC, резервные регистры и резервное ОЗУ блока гибернации.

При питании микроконтроллера от V_{BAT} внешние прерывания и сигналы/события RTC не выводят микроконтроллер из режима V_{BAT}.

Дополнительные опции

Интерфейс цифровой камеры (DCMI), реализованный в микроконтроллерах STM32F4x7xx, обеспечивает подключение модулей видеокамер и CMOS-датчиков посредством параллельного 8-, 10-, 12- или 14-разрядного интерфейса. Интерфейс может обеспечивать передачу данных со скоростью до 54 Мбайт/с на частоте 54 МГц и поддерживает: программируемую полярность синхросигнала; режим 8-разрядного прогрессивного видео или raw Bayer формата; YCbCr 4:2:2 прогрессивного видео; RGB 565 прогрессивного видео или сжатых данных (таких как JPEG). Возможна работа в непрерывном режиме или режиме захвата отдельных кадров и автоматическое обрезание изображений.

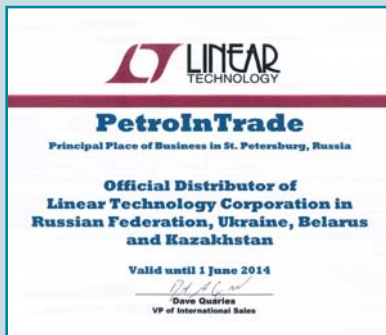
Встроенные макро-ячейки трассировки (Embedded Trace Macrocell, ETM) используются для отладки приложений внутри микроконтроллера и обеспечивают видимость инструкций и потоков данных внутри ядра CPU путем передачи закодированных данных с очень высокой скоростью от МК через небольшое количество выводов ETM внешнему аппаратному трассировщику (TPA). Сам TPA подключается к главному компьютеру через USB, Ethernet или другой высокоскорост-

ной канал. Активность инструкций и потоков данных можно записывать в реальном времени и затем форматировать для отображения на экране основного компьютера в окне отладчика. Аппаратная часть TPA выпускается основными поставщиками средств разработки для микроконтроллеров.

Заключение

Микроконтроллеры STM32F4 компании STMicroelectronics сочетают в себе производительность популярного ядра Cortex-M, возможность цифровой обработки сигналов за счет расширенного набора команд и легкость реализации сложных алгоритмов управления за счет сопроцессора операций с числами с плавающей точкой одинарной точности. Стандартный контроллер вложенных векторных прерываний позволяет четко просчитывать время реакции на прерывания. Блок защиты памяти предохраняет от случайного нарушения содержимого областей Flash с записанными системными алгоритмами обработки данных. Режимы пониженного энергопотребления позволяют использовать микроконтроллеры в системах с батарейным питанием. Совместимость по назначению выводов и обратная совместимость по коду с микроконтроллерами семейств STM32F1 и STM32F2 позволяет модернизировать имеющиеся системы за счет использования более мощных и эффективных алгоритмов. Все это делает STM32F4 крайне привлекательными как для модернизации старых, так и для создания новых систем управления и обработки данных. ■

НОВЫЙ ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР LINEAR TECHNOLOGY



Президент PT Electronics Юрий Шумилин в ходе встречи с руководством европейского отделения Linear Technology Corporation заключил с компанией дистрибьюторское соглашение. Согласно полученному сертификату, с апреля 2012 года PT Electronics является официальным дистрибьютором Linear Technology Corporation на территории России, Украины, Белоруссии и Казахстана.

Linear Technology — динамично развивающаяся американская компания, выпускающая широкий спектр аналоговых и цифроаналоговых микросхем. На отечественном рынке продукция Linear Technology активно применяется в автомобильной, военной, индустриальной и телекоммуникационной технике.

www.linear.com