

# 32 бита

## МИКРОКОНТРОЛЯ

### Практический опыт работы с STM32F103ZG

Роман Иванов

Рынок микроэлектроники стремительно развивается, и сегодняшний его этап можно назвать эрой 32-битных микроконтроллеров. Еще несколько лет назад, будучи новинкой, они стоили на порядок дороже, чем их 8- и 16-битные собратья. Теперь цена стала сопоставима со стоимостью их предшественников, а зачастую и ниже. Потребитель получил возросшую производительность за те же деньги, что и привело к массовому переходу на 32-битные решения.

#### М3 или М4?

Итак, для большинства решений вне конкуренции 32-битный микроконтроллер, и рынок таких устройств весьма обширен. Лидером данного сегмента в настоящий момент является ядро ARM Cortex-M4. Микроконтроллеры с этим ядром появились меньше года назад и являются новичками. Поэтому для облегчения интеграции и экономии бюджета в процессе разработки зачастую лучше использовать ядро ARM Cortex-M3.

Первой контроллеры с ядром ARM Cortex-M3 представила компания STMicroelectronics, один из ведущих игроков рынка полупроводниковых компонентов. В 2007 г. фирма анонсировала выпуск семейства 32-разрядных микроконтроллеров на базе ARM Cortex-M3 STM32 — продукта сотрудничества компании с ARM. Контроллеры были разработаны с учетом требований, предъявляемых к наиболее популярным приложениям: малое энергопотребление, высокая производительность и низкая цена.

#### STM32F103ZG — флагман серии STM32

Остановимся более подробно на микроконтроллере STM32F103ZG. Все описанное в этой статье можно смело переносить и на менее функциональные устройства серии.

Основные характеристики микроконтроллера STM32F103ZG.

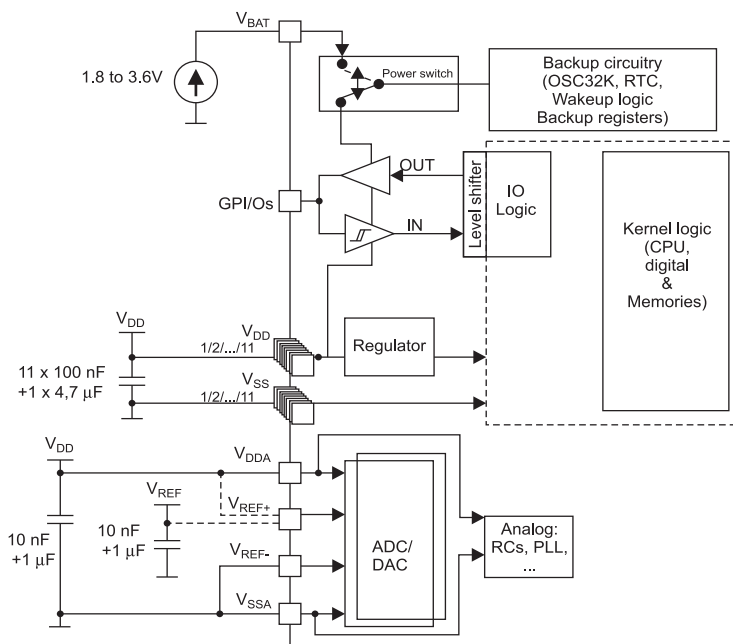
- Ядро:
  - ARM 32-bit Cortex™-M3 CPU;
  - максимальная рабочая частота — 72 МГц;
- производительность 1,25 DMIPS/МГц (Dhrystone 2.1).
- Память:
  - 1 Мбайт Flash-памяти;
  - 96 кбайт SRAM-памяти;
  - встроенный гибкий контроллер статической памяти, поддерживающий SRAM, SRAM, NOR, NAND и PC Card.
- Питание, сброс и тактирование:
  - напряжение питания от 2 до 3,6 В;
  - схемы контроля питания: POR, PDR, PVD;
  - три режима пониженного энергопотребления: Sleep, Stop и Standby;
  - питание от батареи;
  - внутренние RC-генераторы на 8 МГц и 40 кГц (для RTC);
  - частота внешнего кварцевого резонатора (генератора) от 4 до 16 МГц;
  - частота внешнего кварцевого резонатора для часов реального времени — 32,768 кГц.
- АЦП:
  - 3×12 бит, время конвертирования — 1 мкс;
  - до 21 канала.
- Температурный сенсор
- ЦАП:
  - 2×12 бит.
- DMA:
  - 12-канальный DMA-контроллер.
- 17 таймеров:
  - 2 расширенных таймера;
  - 10 таймеров общего назначения;
  - 2 основных таймера;
  - 2 сторожевых таймера;

- системный таймер.
- Отладка:
  - интерфейсы SWD и JTAG;
  - встроенная макро-ячейка трассировки Cortex-M3.
- Порты ввода/вывода общего назначения:
  - до 112 портов с возможностью генерации прерываний;
  - толерантность портов к напряжению 5 В.
- Коммуникационные интерфейсы:
  - 2×I<sup>2</sup>C;
  - 5 USARTs (ISO 7816 интерфейс, LIN, IrDA, modem control);
  - 3×SPI (18 Мбит/с);
  - 2×I<sup>2</sup>S;
  - 1×CAN (2.0B Active);
  - SDIO;
  - USB 2.0 full-speed;
  - параллельный интерфейс 8080/6080.
- Уникальный 96-битный идентификационный номер.
- Модуль подсчета контрольной суммы.
- Расширенный температурный диапазон: –40...+105 °С.

#### Распределение ножек

Не самым сложным, но требующим достаточного внимания и определенных временных затрат при разработке является этап распределения пинов микроконтроллера. Часто возникает ситуация, когда микроконтроллер устраивает по параметрам и набору периферии, но неудачное распределение периферии по ножкам (в данном частном случае) делает невозможным его применение. Распределение периферии по ножкам можно найти в разделе Pin definitions описания микроконтроллера. Все ножки разделены на три группы: вход (I), выход (O) и питание (S). Пины, толерантные к напряжению 5 В, отмечены буквами FT. Для каждого указана его





● Рис. 2. Схема построения питания

цессор по прерыванию на наступление определенного события. Потребление падает до единиц мА.

Режим Stop: потребление падает до десятков мкА. Тактирование всех периферийных устройств за исключением модуля EXTI останавливается. Состояния SRAM и регистров при этом сохраняются. Для выхода из режима Stop необходимо прерывание от модуля EXTI, т. е. изменение состояния вывода GPIO.

Режим Standby: обеспечивает самое низкое потребление. Состояния SRAM и регистров не сохраняются. Для выхода из режима Standby необходимо прерывание от часов реального времени, общий сброс или возрастающий фронт на ножке WKUP.

Для отслеживания напряжения питания без сброса микроконтроллера можно использовать программируемый детектор напряжения, который генерирует прерывание при прохождении напряжения питания определенной границы.

Система сброса по включению питания или падению напряжения реализована внутри микроконтроллера STM32, и поэтому необходимости во внешних схемах нет. Однако для фильтрации помех желательно повесить на ножку сброса конденсатор номиналом порядка 0,1 мкФ. Можно также добавить подтягивающий резистор на питание. Для удобства отладки можно предусмотреть кнопку

перезапуска, которая будет подавать на ножку сброса ноль.

Встроенные схемы сброса при включении питания и падении напряжения держат микроконтроллер в режиме сброса, пока напряжение питания меньше 2,0 В с гистерезисом 40 мВ.

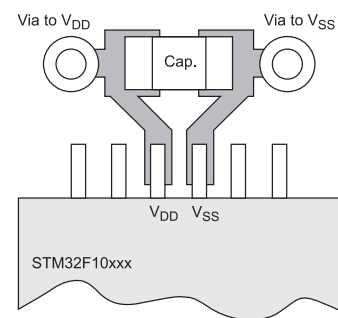
Помимо сброса по питанию, STM32 содержит также внутренние сторожевые таймеры и программный сброс.

### Тактирование

Микроконтроллер содержит два встроенных RC-осциллятора на 8 МГц и на 40 кГц, которые могут быть использованы в качестве источника тактового сигнала для ядра с периферией и часов реального времени соответственно. Для несрочных задач они вполне подойдут. Но если необходима временная стабильность и точность системы, необходимо использовать внешний источник тактового сигнала (кварцевый резонатор или генератор).

Для тактирования ядра и периферии подойдет резонатор с частотой от 4 до 16 МГц, для часов реального времени — 32,768 кГц. Для получения исчерпывающей информации на сайте ST можно ознакомиться с документом Application note AN2867. Oscillator design guide.

Для проверки корректности задания тактовой частоты микроконтроллера один из выводов портов ввода/вывода общего назначения может быть



● Рис. 3. Разводка цепей питания

сконфигурирован как выход тактового сигнала.

Максимально выводимая частота составляет 50 МГц — хотя меандр искажен и напоминает скорее синусоиду, судить о частоте возможно. Если в приложении основной тактовый сигнал, использующийся для процессора и периферийных устройств, генерируется внешним кварцем, то можно задействовать систему безопасности, которая отслеживает состояние внешнего кварца. При каких-либо нарушениях произойдет переключение на встроенный осциллятор 8 МГц.

### Выбор режима загрузки

Микроконтроллер STM32 может стартовать в одном из трех различных режимов. Эти режимы выбираются с помощью двух внешних выводов: BOOT0 и BOOT1. После сброса микроконтроллер проверяет состояние этих двух пинов и в зависимости от их состояния выбирает область загрузки. Поэтому для изменения режима необходимо либо присоединить ножки к питанию, либо подключить их к земле. Если в процессе работы необходимо переключать режимы, можно поставить джемперы.

- BOOT0 — подсоединен к земле, BOOT1 — соединение не имеет значения: загрузка из основной Flash-памяти. Это основной рабочий режим работы микроконтроллера. Поскольку состояние ножки BOOT1 в данном режиме не важно, то можно эту ножку использовать как порт общего назначения PB2.
- BOOT0 — подсоединен к питанию, BOOT1 — подсоединен к земле: загрузка из системной памяти. В системной памяти микроконтроллера расположен загрузчик, зашиваемый на стадии производства микросхемы. Загрузчик позволяет обновлять программное

обеспечение микроконтроллера, которое доступно для скачивания на сайте STMicroelectronics.

Для нашего микроконтроллера доступ к загрузчику осуществляется через USART1- или USART2-интерфейсы. Подробные рекомендации можно найти в документе Application note AN2606. STM32 microcontroller system memory boot mode на сайте ST. В других сериях STM32 возможна зашивка программного кода через CAN- и USB-интерфейсы.

- BOOT1 — подсоединен к питанию, BOOT1 — подсоединен к питанию: загрузка из встроенной SRAM-памяти.

### Отладочный порт

Для того чтобы подключать свой микроконтроллер к отладочным средствам, в схеме необходимо предусмотреть отладочный порт. STM32 поддерживает два стандарта подключения средств отладки: пятипроводной JTAG и двухпроводной SW.

Для JTAG-интерфейса потребуются сигналы:

- JTDI-вход последовательных данных. Команды и данные вводятся в микроконтроллер с этого вывода;
- JTDO-выход последовательных данных. Команды и данные выводятся из микроконтроллера с этого вывода;
- JTCK — тактирующий сигнал;
- JTMS — обеспечивает переход системы в режим тестирования;
- NJTRST — сброс режима тестирования.

Для SW-интерфейса потребуются сигналы:

- SWDIO — вход/выход последовательных данных. Команды и данные вводятся в микроконтроллер и выводятся из него с этого вывода;
- SWCLK — тактирующий сигнал.

В обоих вариантах придется пожертвовать выводами микроконтроллера для средств отладки. После сброса процессор инициализирует эти выводы как отладочный порт. С помощью регистров альтернативных функций можно переконфигурировать выводы отладочного порта обратно в выводы общего назначения.

Выводить отладочный порт лучше на 20-выводный коннектор IDC-типа, который имеет стандартное расположение выводов для всех отладочных средств JTAG.

Полное описание сигналов и их расположение на разъеме можно найти на сайте разработчика ARM.

Кроме указанных сигналов, необходимо добавить к схеме еще один сигнал, поступающий от программатора/отладчика, — «nSRST». Этот сигнал служит для аппаратного сброса микроконтроллера и заводится с 15-го контакта 20-выводного коннектора IDC на вход сброса контроллера NRST.

### Программирование

Выбор средств для разработки довольно обширен. Среди бесплатных можно рекомендовать Ride7 от Raisonance ([www.raisonance.com](http://www.raisonance.com)). Это полноценная среда разработки с простым и доступным интерфейсом, которую можно скачать с сайта производителя. Для работы потребуется приобрести только внутрисхемный программатор/отладчик STX-RLINK стоимостью порядка 100\$. Приятным бонусом является наличие в установочном пакете Ride7 отдельной утилиты RFlasher7 для программирования микроконтроллеров, которая понадобится на стадии производства готовой продукции.

Наиболее популярными среди программистов являются инструменты от компаний Keil и IAR Systems. На сайтах компаний можно скачать версии этих продуктов. Они ограничены либо по сроку использования, либо по объему генерируемого кода. Для полноценной работы необходимо приобрести лицензию. Также придется потратиться на программатор/отладчик: J-Link для IAR и Ulink для Keil. Оригинальные стоят достаточно дорого, но можно сэкономить и взять аналоги от отечественных производителей. Никаких особых проблем с их использованием, как правило, не возникает. Можно воспользоваться платным решением от компании STMicroelectronics — отладчиком ST-link. Он подойдет как для IAR, так и для Keil. Правда, есть одно ограничение — использование только с продукцией ST. Также можно обзавестись бесплатным программным обеспечением — STM Studio. Оно предназначено для более детального анализа и отладки программ микроконтроллеров STM32. STM Studio позволяет считывать и отображать информацию во время исполнения программного кода, запрограммированного в микроконтроллер

в реальном времени, и совершенно не влияет на выполнение программного обеспечения.

Основные характеристики:

- работает на компьютерах с Microsoft® Windows XP, Vista и Windows 7 OS;
- подключается к любому микроконтроллеру семейства STM32 с помощью ST-LINK (протоколы JTAG или SWD);
- чтение «на лету» переменных из RAM во время исполнения программы;
- анализ DWARF отладочной информации из файлов с расширением ELF;
- два типа анализа переменных: Variable Viewer — диаграммы в реальном времени и TouchPoint Viewer — объединение двух переменных: одна по оси X, вторая по оси Y;
- сохранение данных в лог-файл для дальнейшего анализа.

Для облегчения разработки программного кода ST бесплатно предоставляет программную библиотеку для встроенной периферии микроконтроллеров. Библиотека написана в соответствии со стандартом ANSI C и может быть использована с любым компилятором.

Кроме этой библиотеки, полезными окажутся следующие:

- библиотека для USB-интерфейса (с такими режимами, как: mass storage, HID, DFU, CDC, audio, а также хост full speed);
- библиотека для Ethernet-интерфейса (MAC-уровень от ST и бесплатный полный TCP/IP-уровень от Interniche);
- библиотеки для управления моторами;
- библиотеки для цифровой обработки сигнала DSP (PID, IIR, FFT, FIR);
- библиотеки для воспроизведения звука (декодирования и кодирования на основе кодека SPEEX, с хорошим качеством звука);
- библиотеки для графических решений.

Все библиотеки сопровождаются неплохим описанием и документацией по их применению.

Кроме перечисленного, познавательным будет документ Application note AN2586. STM32F10xxx hardware development: getting started, найти который можно на официальном сайте STMicroelectronics. Также следует ознакомиться с приложением Errata sheet, которое предупредит возникновение возможных ошибок. ■