

№2 (94), 2011 г.

**Информационно-технический
журнал**

Учредитель — ООО «КОМПЭЛ»

Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-43993**Редактор:**Геннадий Каневский
vesti@compel.ru**Выпускающий редактор:**

Анна Заславская

Редакционная коллегия:Андрей Агеноров
Евгений Звонарев
Сергей Кривандин
Александр Маргелов
Николай Паничкин
Борис Рудяк
Илья Фурман**Дизайн, графика, верстка:**Елена Георгадзе
Евгений Торочков**Распространение:**

Анна Заславская

Электронная подписка:www.compeljournal.ru**Отпечатано:**«Гран При»
г. Рыбинск

Тираж — 1500 экз.

© «Новости электроники»

Подписано в печать:

9 марта 2011 г.

СОДЕРЖАНИЕ

БРЕНД НОМЕРА: *STMICROELECTRONICS*

• Новые ядра и технологии – это будет захватывающая гонка! <i>Томас Энсергию</i>	3
• STM32: эпоха 32-битных микроконтроллеров наступила <i>Джафер Меджахед</i>	6
• Микроконтроллеры STM32 «с нуля» <i>Роман Попов</i>	13
• Прыжок производительности: микроконтроллеры серии STM32F2 <i>Роман Иванов</i>	23
• Автономное питание? – выбираем STM32L <i>Роман Попов, Кирилл Автушенко</i>	29
• АЦП в микроконтроллерах STM32: периферия решает многое <i>Роман Кривоносов, Роман Попов</i>	34
• Звуковые возможности микроконтроллера STM32F <i>Роман Кривоносов</i>	37

**STMicroelectronics****В СЛЕДУЮЩИХ НОМЕРАХ**

- Датчики
- Texas Instruments

Если вы хотите предложить интересную тему для статьи в следующий номер журнала – пишите на адрес vesti@compel.ru с пометкой «Тема в номер» или в рубрику «Я – автор» раздела «Разработчикам» сайта www.compel.ru.

ОТ РЕДАКТОРА



Уважаемые читатели!

«Все смешалось в доме Облонских». Кто бы мог подумать еще несколько лет назад, что все-таки сильный гигант Intel будет отступать под натиском компании **ARM**? Однако на наших глазах происходит именно это. И анонс Microsoft, сделанный в январе этого года на выставке CES2011, о грядущем выпуске операционной системы Windows для процессоров на ARM-ядре шокировал только тех, кто не следил за театром военных действий.

Мир становится более унифицированным и мультимедийным. Экономия энергоресурсов выходит на первый план. Именно поэтому лицензируемая универсальная архитектура ARM-ядра серии **Cortex** с экономичными режимами энергопотребления постепенно стала мировым стандартом в индустриальной электронике, портативных приборах, персональных мобильных устройствах (телефоны, смартфоны). Процессоры на ядре ARM Cortex даже нача-

ли вытеснять Intel X86 в области персональных компьютеров (нетбуки, планшеты), и вскоре борьба начнется в области стационарных ПК (проект Denver с Nvidia) и серверов. Такой общественный феномен, как iPad, не мог бы существовать без ядра ARM Cortex. В области телевизионных приставок в мире также доминируют решения на ядре ARM Cortex.

Одним из первых, начавших выпускать продукцию на ARM-ядрах, стал европейский полупроводниковый концерн **STMicroelectronics**. Ныне это ведущий мировой производитель микроконтроллеров на данном семействе ядер. Наиболее актуальным в портфеле компании является линейка **микроконтроллеров STM32** на ядре **Cortex-M3**. На 2011 год запланирован выпуск изделий на Cortex-M0 и Cortex-M4. STM32 обеспечивают высокое быстродействие и производительность, при этом большая их часть лишь незначительно превышает по цене 8-разрядные решения. STMicroelectronics по-

зиционирует эти изделия как новый стандарт в области микроконтроллеров для самого широкого спектра применений — систем промышленной автоматизации, систем безопасности, медицинских приборов и т.д.

Компания КОМПЭЛ — ведущий российский дистрибьютор STMicroelectronics — представляет вам номер «Новостей электроники», целиком посвященный семейству контроллеров **STM32**, и заверяет, что ее специалисты ответят на любые вопросы относительно этого семейства, а на ее московском складе всегда поддерживается широкий ассортимент этих контроллеров и средств их отладки.

С уважением,
Геннадий Каневский

Томас Энсергю

НОВЫЕ ЯДРА И ТЕХНОЛОГИИ – ЭТО БУДЕТ ЗАХВАТЫВАЮЩАЯ ГОНКА!



Все, что вы хотели знать о 32-разрядных микроконтроллерах компании STMicroelectronics (и о 32 разрядах вообще), но, возможно, боялись спросить, спросил редактор «Новостей электроники» Геннадий Каневский у Томаса Энсергю (Thomas Ensergueix), регионального директора (регион EMEA) по маркетингу группы «Микроконтроллеры» компании STMicroelectronics.

Геннадий Каневский: В чем, по Вашему мнению, причина успеха архитектуры ARM Cortex-M? Будут ли использоваться в дальнейшем 32-разрядные ядра собственной разработки?

Томас Энсергю: Мы предполагаем, что ARM Cortex-M станет промышленным стандартом «де-факто», каким было в прошедшие десятилетия ядро 8051. Основными причинами являются высокая производительность и легкость доступа. Под «легкостью доступа» я понимаю следующие взаимосвязанные аспекты:

- Применение ядра многими производителями чипов;
- Привлекательность цены благодаря условиям лицензионного соглашения с компанией ARM;
- Легкость применения и широкий выбор инструментальных средств.

Конечно, мы не думаем, что ядра собственной разработки полностью выйдут из применения, однако ожидаем, что доля Cortex-M будет расти гораздо быстрее и, в конечном счете, оно займет ведущие позиции в 32-разрядной архитектуре. Одним из признаков этого является то, что производители чипов, традиционно разрабатывавшие собственные ядра, теперь также включают Cortex-M в линейку своей продукции.

Г.К.: Компания ST объявила о начале производства нового микроконтроллера (МК) на базе Cortex-M0, но в то же время у ST есть привлекательное семейство 8-битных МК STM8. Говорит ли появление Cortex-M0 о том, что все остальные 8- и 16-битные МК устарели? Какие перспективы существуют для STM8 (где оправдано их использование)?

Т.Э.: Cortex-M0 следует скорее рассматривать как дополнение к на-

шей серии Cortex-M3, а не как соперника существующего 8-битного семейства МК. Наши клиенты, привыкшие использовать в своих разработках STM32, с радостью примут это дополнение в том случае, если они ищут более простое и доступное по цене приложение. У них появится возможность легкого перехода на Cortex-M0 вместо портирования кода на ядро STM8. Со своей стороны, STM8 нашел свою рыночную нишу и во всех своих трех линейках («Standart», «Automotive» и «Low-Power») уже был поставлен в миллионных количествах. Сегодня не имеет смысла сомневаться в долгой жизни STM8 на рынке. Однако разрыв между 8- и 32-битными МК сокращается, а 16-битные архитектуры изживают себя.

Г.К.: ST анонсировала выпуск Cortex-M4 и Cortex-M0 в 2011 году. Чем будут отличаться микроконтроллеры ST семейств Cortex-M0 и Cortex-M4 от решений других производителей на тех же ядрах?

Т.Э.: Так же, как в случае с STM32 и Cortex-M3, различие заключается в основных характеристиках. Ядро Cortex-M само по себе не является законченным продуктом. Мы сфокусировались на широком перечне востребованной периферии, привлекательной цене и большом наборе устройств, поддерживая при этом высокий уровень совместимости. Вдобавок компания ST при разработке новых ядер Cortex-M максимально учла совместимость с Cortex-M3 (pin-to-pin и программную).

Г.К.: На сегодняшний день в семействе STM32W существуют только две позиции. Ожидается ли увеличение номенклатуры линейки ZigBee STM32W в будущем?

Т.Э.: Предложение Zigbee от ST будет расти вслед за новыми шагами по глобальной стандартизации. Будет вестись работа в двух направлениях: с одной стороны — увеличение объема памяти для IP-стеков, с другой — создание решений, способствующих снижению стоимости системы. Более подробная информация станет доступна в течение 2011 года.

Г.К.: В настоящий момент ниша МК с низким энергопотреблением занята главным образом 8- и 16-разрядными микроконтроллерами. Как с ними конкурирует малопотребляющее семейство STM32L?

Т.Э.: Малое потребление для нас гораздо больше, чем ниша: мы рассматриваем низкую энергоемкость в качестве стандартной характеристики следующего поколения МК общего назначения. Уже сегодня мы видим, что семейство STM32L стало очень популярным у заказчиков, особенно в малопотребляющих приложениях, где необходимы сложные вычисления, например, в GPS или в измерительном оборудовании. В этих областях применение STM32L позволило добиться уменьшения общего потребления энергии по сравнению с традиционными 8- или 16-битными МК. За счет повышенного быстродействия STM32L стало возможным уменьшить время активной работы устройства.

Г.К.: В каких областях, которые не были доступны для STM32F1xx, может применяться семейство STM32F2xx?

Т.Э.: Семейство STM32F2 — это МК общего назначения, открывающие возможности для новых применений, которые были недоступны при использовании STM32F1. Среди них:

- Приложения, связанные с видео и изображениями, благодаря возможности подключения камеры и более быстрому вычислению (например, сканер товарного кода);
- Компьютерная периферия с более быстрой связью, благодаря высокоскоростному интерфейсу USB OTG (480 Мбит/с);
- Средства обеспечения безопасности — благодаря аппаратным средствам

шифрования, а также интерфейсу камеры;

- Коммуникационные приложения, которым требуется Ethernet-соединение, высокая вычислительная скорость и доступ к внешней памяти через FSMC (например, VOIP-телефония);

- В некоторой степени — маломощные приложения, благодаря экстремально низкому потреблению в рабочем режиме (менее 23 мА на частоте 120 МГц для ядра и памяти).

Г.К.: Почему вы используете акселератор Flash-памяти (ART-акселератор) вместо того, чтобы встроить более быструю Flash-память, как это делает один из ваших конкурентов по использованию ядра Cortex-M3, рекламирующий 100 МГц Flash?

Т.Э.: Разработка быстрой встроенной Flash-памяти имеет два недостатка:

- Место, занимаемое памятью, становится больше, что отражается на общем размере кристалла и, в конечном итоге, на стоимости готового продукта;

- Повышается динамическое энергопотребление.

Благодаря ART-акселератору ST может предложить выдающиеся значения производительности и динамического энергопотребления по конкурентоспособной цене.

Г.К.: На сегодняшний день цифровые технологии в серийном производстве достигли нормы 32 нм. Однако МК только начинают производиться по 90 нм технологиям, а подавляющая их часть производится по еще более старым технологиям. В чем причина такого разрыва? Каким будет состояние рынка микроконтроллеров, когда они будут производиться на 32 нм/300 мм (диаметр пластин) производствах?

Т.Э.: Производство чисто цифрового чипа всегда идет на несколько ступеней вперед по сравнению с более сложными продуктами, например, с микроконтроллером, где вам необходимо объединить цифровую часть, аналоговую часть и энергонезависимую память. Это связано с большими технологическими трудностями. Параллельно возникают экономические факторы, ведь меньшие технологические нормы подразумевают намного более высокие затраты на разработку и оборудование. Таким образом, каждая компа-

ния должна найти компромисс между технологическим процессом, необходимым для реализации определенных характеристик продукта, и связанными с этим затратами.

Даже если принять во внимание, что для всех технологий затраты со временем уменьшаются, 32 нм норма остается затратным процессом (примерно 100 млн. долларов на создание шаблона кристалла). Поэтому первое поколение 32 нм микроконтроллеров будет востребовано только в очень узком hi-end сегменте рынка. Максимальный же размер памяти теоретически можно увеличить: Flash-память — свыше 8 Мбайт и SRAM — более чем на 1 Мбайт. Частота может варьироваться в диапазоне 300...500 МГц; главным слабым местом остается время доступа к Flash-памяти. Однако сценарий можно переписать, если это будет нужно рынку. Например, одним из наиболее заинтересованных может стать автомобильный рынок. Возможно, другие тенденции, такие как уменьшение энергопотребления, дадут толчок к развитию совсем в другом направлении. В любом случае, это будет очень интересная и захватывающая гонка! 

БИЗНЕС-ГРУППА КОМПЗЛА ПО ПРОДУКЦИИ ST

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО ST В РОССИИ



Джафер Меджахед —
руководитель направления



Гузелия Сафиуллина —
развитие бизнеса



Роман Попов —
инженер по применению
(микроконтроллеры)



Николай Салынский —
руководитель
дистрибьюторского бизнеса

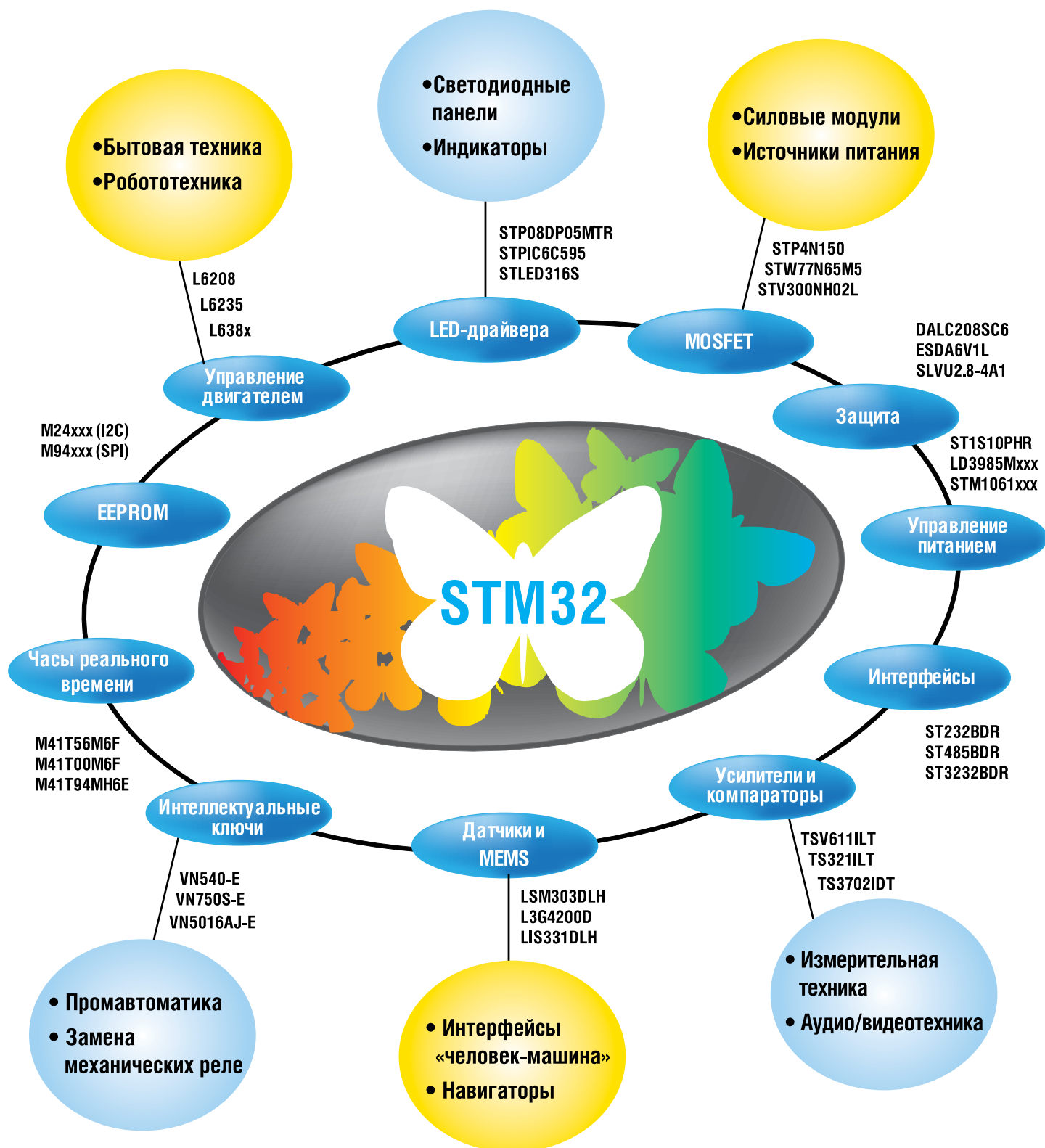


Сергей Глудкин —
развитие бизнеса



Илья Лосиков —
техническая поддержка

Любое изделие на основе решений STMicroelectronics



Джафер Меджахед (КОМПЭЛ)

STM32: ЭПОХА 32-БИТНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ НАСТУПИЛА



Вряд ли еще несколько лет назад разработчики могли предполагать, что 32-битные микроконтроллеры сравняются по цене с 8- и 16-битными. Семейство STM32 на ядре ARM Cortex-M3 компании STMicroelectronics в корне изменило отношение к этой продукции, переведя ее из элитного сектора в массовый.

Жизнь в сфере 32-битных микроконтроллеров в России сейчас буквально кипит. С одной стороны, производители постоянно анонсируют и пропагандируют новые решения. С другой, многие разработчики «дозрели» до перехода с 8-битных (или 16-битных) микроконтроллеров на 32-битные: их задачи усложняются, а мощность 8-битников ограничена, при этом их стоимость сопоставима с новыми 32-битными микроконтроллерами. Другие разработчики уже работают с 32 битами, но им нужно оптимизировать свои решения с точки зрения стоимости или добавить новый функционал. В данной статье мы попробуем представить сбалансированный взгляд на конкретные преимущества 32-битного семейства микроконтроллеров STM32.

Крепкий орешек

STM32 — это микроконтроллер, построенный на ядре ARM Cortex-M3 [1]. Данное ядро имеет много преимуществ, которые будут перечислены ниже, но его основное преимущество на сегодняшний день — универсальность. За два года Cortex-M3 стал промышленным стандартом. Об этом говорит количество производителей, присоединившихся к данной архитектуре. Все основные производители микроконтроллеров, которые присутствуют в России, кроме Microchip, имеют или развивают решения на основе этой архитектуры: STMicroelectronics, Texas Instrument, NXP, ATMEL, Analog Devices, Renesas и т.д. Компания ST одна из первых выпустила свои микроконтроллеры Cortex-M3 (2007 г.) и быстро стала доминирующим игроком на этом рынке. На рис. 1 показано общее количество проданных в мире ядер Cortex-M3 и львиная доля ST: около 80% в 2009

году, и около 70% — в 2010. Это говорит о высоком качестве и привлекательности решений STMicroelectronics. Заметен и значительный рост продаж самих ядер Cortex-M3. В 2008 году их было продано порядка четырех миллионов, а затем три года подряд ежегодный рост составлял 400...500%. Это уже не просто рост, это волна!

В 32-битном сегменте разработчики редко работают с ассемблером, они в основном используют языки высокого уровня, например, язык C. Поэтому если вдруг понадобится переход с одного производителя на другой (срыв поставок, отсутствие нужных библиотек, новые функциональные требования, увеличения цен, и т.д.), то часть программного кода, связанная с ядром, даже не потребует изменения. Необходимо будет только работа на уровне драйверов периферии. В итоге получается, что если писать программный код с четким делением между ядром и периферией, то можно обеспечить условия для очень быстрого перехода с одного

производителя на другой. Остается, конечно, проблема переделки печатной платы (см. следующий раздел статьи).

Семейство STM32 [2, 3] — это не только микроконтроллеры на ядре Cortex-M3. Архитектура Cortex-M включает в себя также ядра Cortex-M0 и Cortex-M4. Рисунок 2 показывает взаимосвязь между этими ядрами.

Cortex-M0 — это Cortex-M3 с урезанным набором команд, предназначенный для более дешевых и менее требовательных с точки зрения производительности решений. Cortex-M0 позволит заменить 16-битные микроконтроллеры и, в меньшей степени, 8-битные микроконтроллеры. Cortex-M4 — это Cortex-M3, обогащенный новыми командами для обработки данных и предназначенный для применений, требующих более высокой производительности, с более сложной обработкой сигнала (операции с плавающей запятой на аппаратном уровне). Cortex-M4 можно будет использовать в нижнем сегменте DSP-приложений.

Программный код, работающий на ядре Cortex-M0, будет в полном объеме работать и на ядре Cortex-M3, поскольку для Cortex-M3 действуют все инструкции Cortex-M0. Программный код, работающий на ядре Cortex-M3, также будет работать на Cortex-M4, поскольку для Cortex-M4 остаются действующими все инструкции Cortex-M3. То есть, сделав

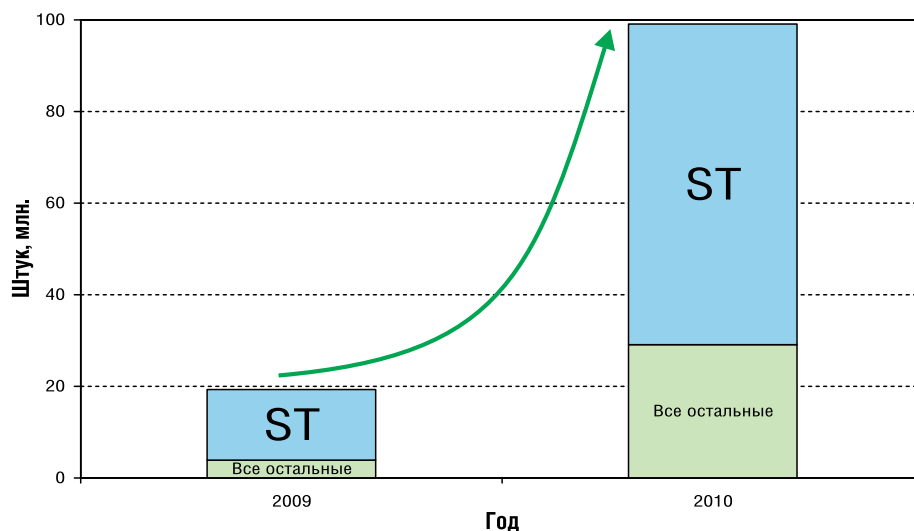


Рис. 1. Продажи МК на ARM Cortex-M3 по всему миру

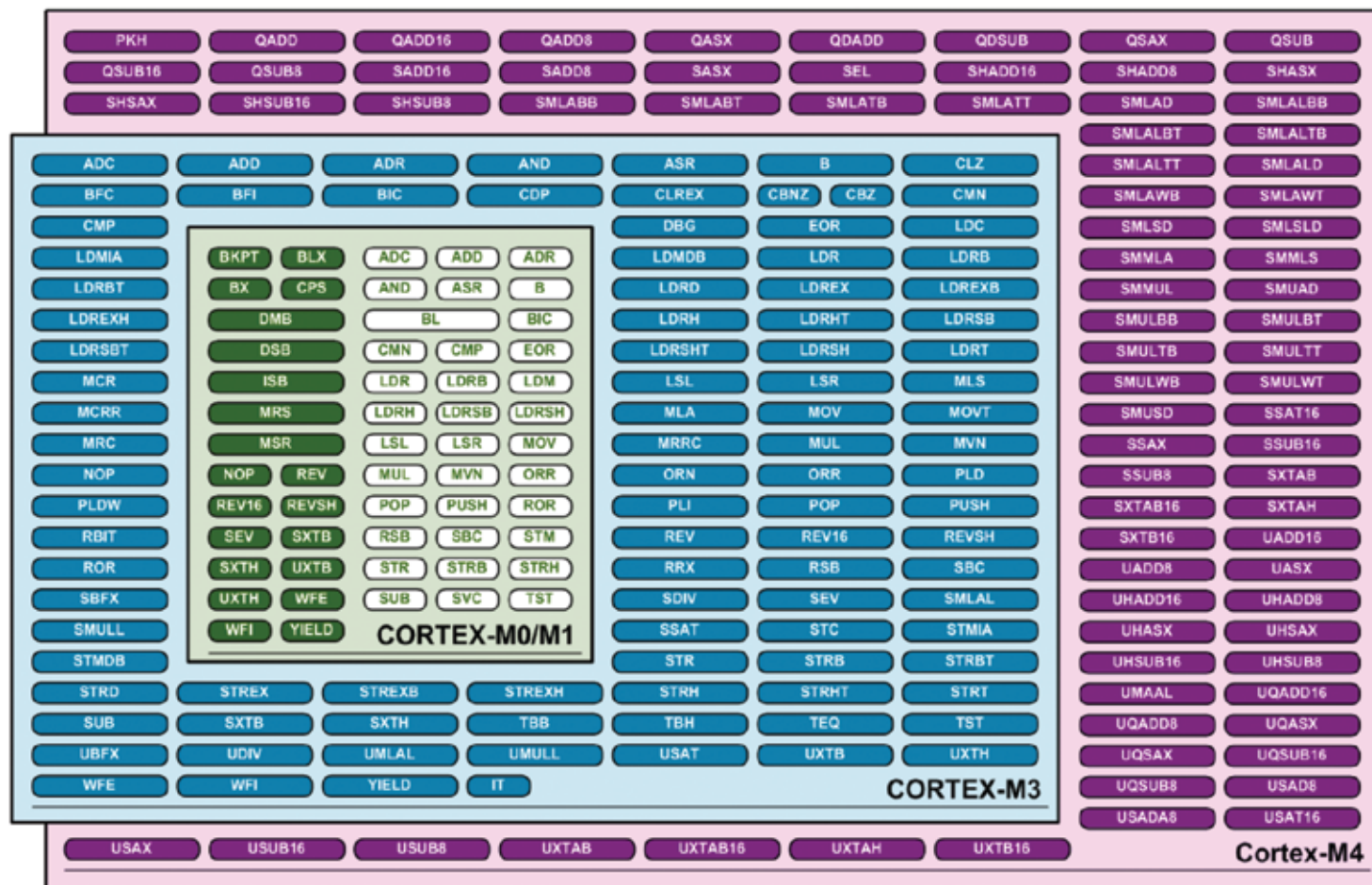


Рис. 2. Семейства ядер Cortex-M

изделие на Cortex-M3, можно будет далее сделать его более дешевые и простые варианты на Cortex-M0 или более дорогие и сложные изделия на Cortex-M4 с минимальными затратами на переработку программного кода. Поскольку Cortex-M3 уже стал мировым стандартом, и поскольку Cortex-M0 и Cortex-M4 являются натуральными продолжениями Cortex-M3, никого не удивит, если они также станут стандартами в ближайшее время. Выпуск STM32 с ядрами Cortex-M0 и Cortex-M4 от компании STMicroelectronics намечается на 2011 год. Другие производители также активно работают в этом направлении (Texas Instruments, Freescale, NXP и т.д.)

В итоге можно сказать, что выбирая STM32, разработчик выбирает самый популярный микроконтроллер на Cortex-M3, с перспективой перехода на другие ядра Cortex-M, но при этом не закрывает себе двери для продукции остальных производителей. Итог — огромный выбор и большая гибкость. То есть, основное преимущество STM32 — то, что всегда есть возможность его не использовать!

Менять микроконтроллеры как перчатки

Одна из причин мировой популярности семейства STM32 [2] — максимальный комфорт разработчика. Если

универсальность ядра STM32 позволяет менять производителя с минимальными затратами на программный код, то pin-to-pin совместимость внутри семейства STM32 позволяет менять объем памяти (флэш-память и ОЗУ) и периферию (Ethernet, USB, CAN, и т.д.), не трогая печатную плату. «Pin-to-pin совместимость» означает, что для одного размера корпуса все сигналы сохраняются на тех же самых вводах/выводах для разных вариантов микроконтроллеров семейства. Рассмотрим конкретный пример. На рисунке 3 можно увидеть распределение изделий семейства STM32 в зависимости от корпусов и размера флэш-памяти.

Если, например, разработчику понадобился корпус LQFP 64 и минимальный набор памяти и функционала, то его выбор остановится на микросхеме **STM32F100R4** (16 Кбайт флэш-памяти, 4 Кбайт ОЗУ, 24 МГц). Далее потребовался более быстрый АЦП и флэш-память размером 128 Кбайт. Тогда он переходит на микросхему **STM32F101RB**. Все входы-выходы в этих микросхемах идентичны, то есть плату трогать не надо. Необходимо только обновление программного кода. Далее в изделии потребовался USB-интерфейс. Тогда на помощь приходит микроконтроллер **STM32F103RE**, тоже без изменений на уровне печатной платы. Наконец,

на основе этого изделия решили сделать портативный прибор. Тогда разработчик переходит на микроконтроллер STM32L151RB, который имеет более низкое потребление и сохраняет все характеристики STM32F103RE по памяти и интерфейсам. В последнем случае разработчик должен обратить внимание на одно незначительное отличие (сигнал Vbat становится Vlcd), но скорее всего, ему также не потребуется ничего менять на плате. Можно посмотреть на процесс и с обратной стороны. Например, при разработке рассматривался богатый набор функционала для конечного изделия, но уже при выходе на производство выяснилось, что большая часть этого функционала избыточна. Можно взять более простой микроконтроллер из линейки, сократив расходы на комплектующие. Pin-to-pin совместимость — это идеальный рычаг, чтобы удешевить свои решения, поскольку проходить этот процесс в обратную сторону (меньше памяти, меньше периферии, и т.д.) значительно проще. Если во время разработки по максимуму предусмотреть все будущие варианты своего изделия на основе pin-to-pin совместимости, то можно с большой эффективностью запускать в производство множество разнообразных изделий. В итоге, потратив свои усилия на одну разработку, разработчик имеет возможность масштабиро-

Flash size (bytes)

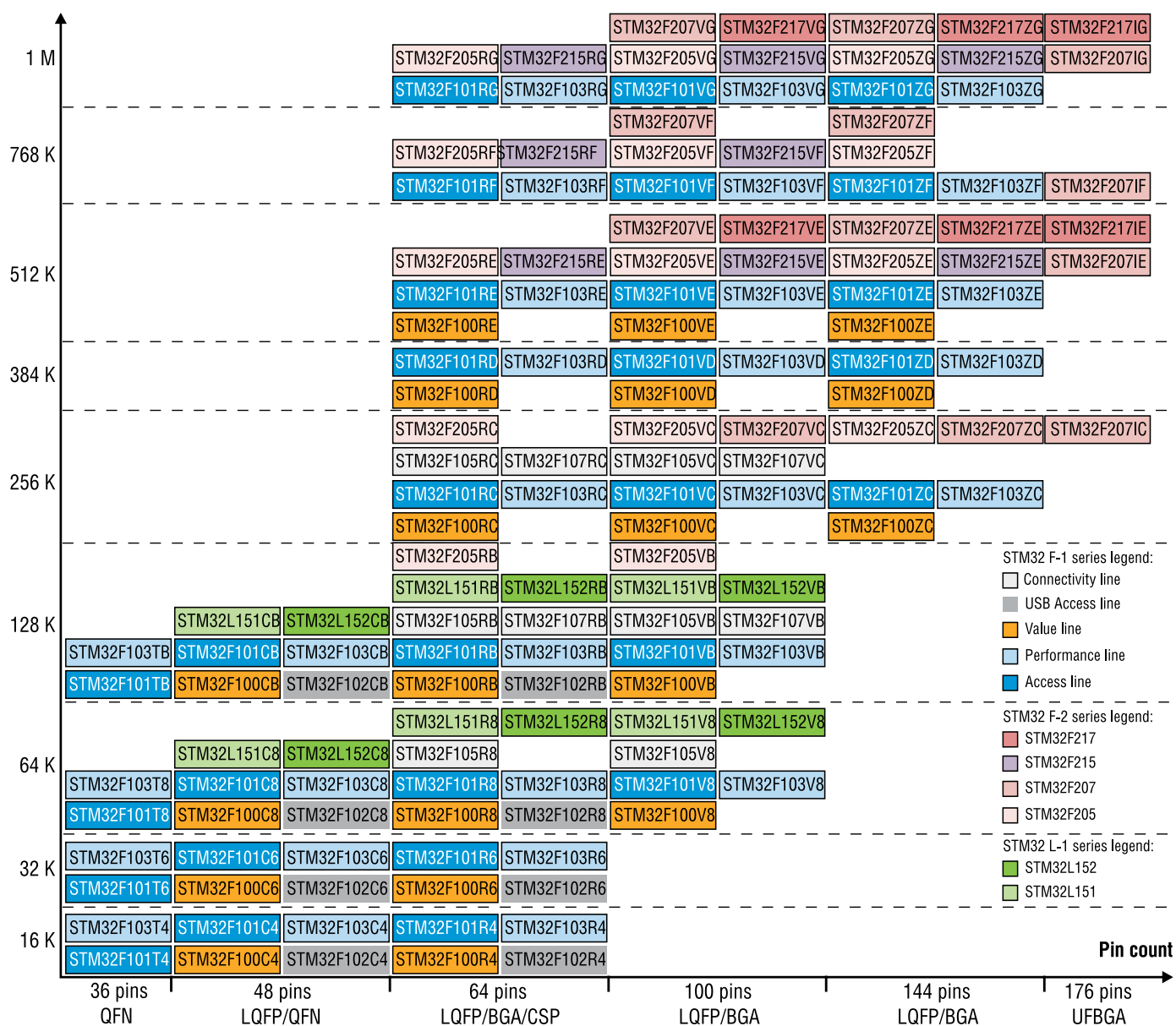


Рис. 3. Изделия семейства STM32 в зависимости от флэш-памяти и от корпуса

вать свои изделия и достаточно быстро выполнять требования рынка.

Нужно уточнить, что степень Pin-to-pin совместимости — разная. Рисунок 4 представляет общую картину по pin-to-pin совместимости между различными сериями семейства STM32 и краткое описание основных свойств этих линеек. Стандартная периферия (SPI, USART, I²C, таймеры, сторожевые таймеры, схемы сброса и т.д.) не указаны, поскольку они общие для всех линеек. Линейка **STM32W** (Cortex-M3 + ZigBee) отсутствует на рисунке 4, поскольку не имеет никакой pin-to-pin совместимости с семействами STM32F-1, STM32F-2 и STM32L. Это связано с тем, что она была разработана совместно с компанией Ember, предоставившей радиочастотную часть, что ограничило свободу разработки для компании ST.

Внутри серий STM32F-1, STM32F-2 и STM32L pin-to-pin совместимость пол-

ная. Если мы говорим, например, про серию STM32F-1, то речь идет о более чем 90 микросхемах, разделенных на пять семейств по применению, с полной pin-to-pin совместимостью. Хорошая pin-to-pin совместимость между STM32F-1 и STM32L, но для более новой линейки STM32F-2 потребуется больше работы.

Если все-таки пришлось поменять количество входов-выходов (сменить корпус), то требования к повторной трассировке тоже сокращены до минимума, поскольку в семействе STM32 все сигналы сохраняются по максимуму с одной или с другой стороны корпуса, каким бы не был его размер. Это также значительно упрощает работу.

Описанная выше Pin-to-pin совместимость сопровождается и программной совместимостью. Программная совместимость является полной между различными семействами и внутри них, включая семейство STM32W.

STMicroelectronics обещает, что будущие семейства STM32 на ядрах Cortex-M0 и Cortex-M4 будут также pin-to-pin и программно совместимы с существующими. Вывод: STM32 — платформа, на которую можно перейти сегодня и многие годы удовлетворять свои потребности.

Все у меня есть, только мозгов не хватает!

Когда появляется интерес к микроконтроллеру, хочется попробовать его «вживую». Для этого нужны отладочные платы. В случае семейства STM32 количество отладок и их возможностей впечатляет [3]. Например, имеется отладка **STM32VLDISCOVERY** от самого производителя, стоимость которой составляет около 300 рублей. Она имеет встроенный программатор и позволяет работать с микроконтроллером STM32F100. Это дешевый и быстрый путь ознакомления с семейством STM32.

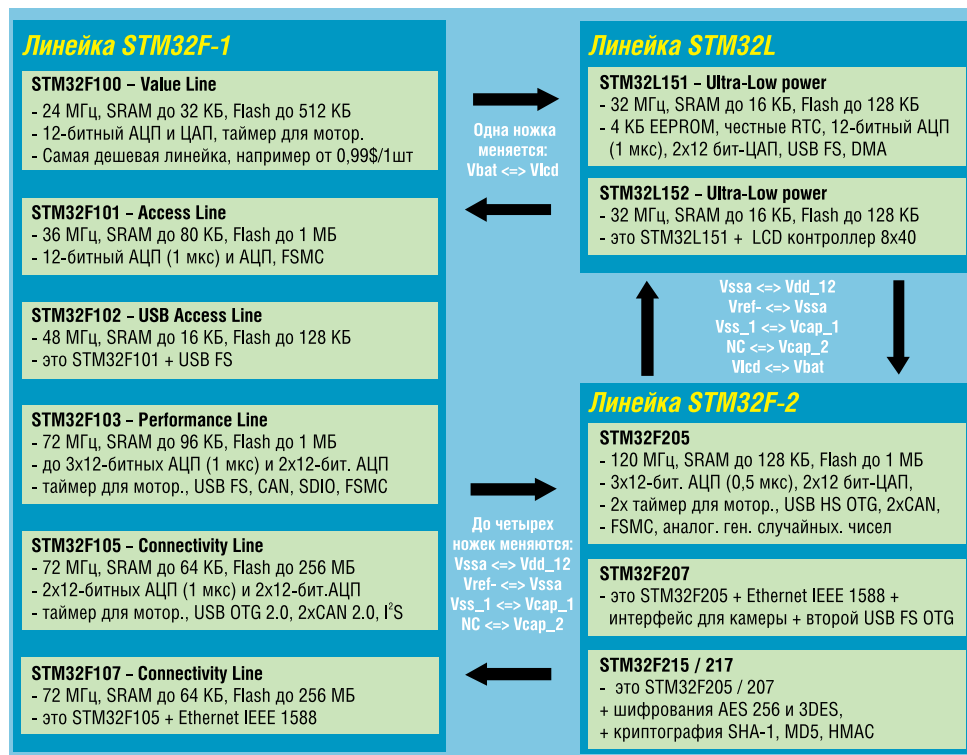


Рис. 4. Pin-to-pin совместимость внутри семейств STM32

С другой стороны, имеются более сложные отладки со всем нужным набором функционала от сторонних производителей — Keil, IAR, Raisonance и т.д. Многие небольшие компании также создали свои решения в области отладки для STM32. Российского разработчика могут заинтересовать решения компании **Терраэлектроника** [4], более доступные по стоимости, с документацией и технической поддержкой на русском языке, которые одновременно являются встраиваемыми модулями, что идеально для небольших серий изделий. STM32VLDISCOVERY также можно использовать как встраиваемый модуль. Отметим, что есть еще уникальные отладки для микроконтроллеров STM32, например, интересный модуль **inemo v2 (STVAL-MKI062V2)**, который имеет целый набор датчиков (датчик температуры, датчик давления, два гироскопа, трехосевой акселерометр с компасом) и предоставляется в комплекте с ПО для быстрой разработки решений. Также существует полноценная отладка для работы с электроприводом **STM3210B-MCKIT**, которая включает в себя трехфазный мотор, десятиамперный трехфазный инвертор, источник питания и собственно микроконтроллерную часть.

Иногда для комплексных решений требуется не просто отладка, а отладка в реальном времени. Одно из преимуществ ядра Cortex-M3 — то, что он включает в себя модуль ETM (Embedded Trace Module), который позволяет выполнить такую функцию. Все микроконтроллеры STM32F-1 с объемом памяти больше чем 512 Кб, а также серии STM32L,

STM32F-2 и содержат этот модуль. Понадобится также специализированный программатор **J-trace** или **Ulink-pro**.

Для разработки ПО микроконтроллера необходима среда разработки и Си-инструментарий. Популярность микроконтроллеров на основе ARM-ядер очень высока, и, следовательно, количество разнообразных вариантов средств разработки — платных и бесплатных — просто огромно. Если вы ранее использовали одно из решений на ARM-ядре, то переход на ARM Cortex-M3 очень прост, вам лишь необходимо обновить ПО ваших средств разработки. В статье «STM32 с нуля», опубликованной в этом же номере «Новостей электроники», можно найти более подробное описание существующих решений для разработки ПО.

Большой выбор отладок и средств разработки — это еще не все. Большую роль в процессе разработки играют библиотеки. Семейство STM32 отличается большим выбором бесплатных библиотек, из которых можно выделить следующие:

- Библиотека для всей стандартной периферии (UART, SPI, PC, CAN, АЦП, ЦАП, таймеры, все источники тактирование, FSMC, IO, DMA, RTC, и т.д.);
- Библиотека для USB-интерфейса (с такими режимами как mass storage, HID, DFU, CDC, audio, а также host full speed);
- Библиотека для Ethernet-интерфейса (MAC-уровень от ST и бесплатный полный TCP/IP-уровень от Interniche);

- Библиотеки для управления моторами (трехфазные бесщеточные моторы);
- Библиотеки для цифровой обработки сигнала DSP (PID, IIR, FFT, FIR);
- Библиотеки для воспроизведения звука (декодирования и кодирования на основе кода SPEEX, с хорошим качеством звука);
- Библиотеки для графических решений.

Все эти библиотеки сопровождаются документацией по применению. Помимо бесплатных библиотек, есть огромный выбор платных от большого количества компаний — Keil, IAR, Micrium, Segger, Greenhills, Quadros, CMX и т.д. Интересно, что одна из этих компаний — российская. Это **Spirit DSP**, совместно с которой STMicroelectronics предоставляет MP3-кодеки (кодирование, декодирование), WMA-кодек (декодирование) и библиотеки для звуковых эффектов (микшер, эквалайзер, и т.д.). Данные решения требуют лицензирования с дополнительными отчислениями правообладателем кодеков (Thomson, Microsoft).

Надо сказать еще пару слов об операционных системах. К сожалению, ядро Cortex-M3 не поддерживает Linux. Разработчикам, которым это требуется, лучше обратить внимание на такие ядра, как ARM9. Но ядро Cortex-M3 в сравнении с ARM7 улучшено с точки зрения RTOS. Ядро имеет два привилегированных режима и два специализированных стека. Также оно имеет большую гибкость с точки зрения установления приоритетов среди прерываний и дополнительный системный таймер SysTick. Все это позволяет лучше строить операционные системы реального времени. Для микроконтроллеров STM32 разработано уже множество операционных систем, часть из них приведена в таблице 1 (полный список можно посмотреть на официальном сайте STMicroelectronics):

Существуют уникальные возможности работы с STM32, например, специальные библиотеки для модуля Simulink [5] в ПО Matlab от компании Mathworks, предназначенные для генерирования из Simulink готового С-кода под микроконтроллеры STM32. То есть это — возможность разработки программного кода в графическом формате. Компания National Instruments для своего знаменитого ПО Labview предоставляет путь для миграции на Cortex-M3.

В итоге можно сказать, что имеются все условия для успешной, удобной и быстрой разработки. А для выбирающих бюджетные решения имеются очень доступные с точки зрения цены отладки, бесплатные среды разработки и бесплатные библиотеки и операционные системы RTOS. Иными словами,

Таблица 1. Операционные системы реального времени для микроконтроллеров STM32

Компания	Наименование ОС	Описание	ROM	RAM
FreeRTOS.org	FreeRTOS	Надежная портируемая RTOS с открытыми исходными кодами в двух вариантах — платный и бесплатный, с возможностью технической поддержки. Также есть версия SafeRTOS, сертифицированная по стандарту IEC 61508.	4,2K	1K
Micrium	μC/OS-II	Легко портируемая, масштабируемая RTOS, поддерживающая многозадачность (до 250 задач), сертифицированная для критических условий эксплуатации (медицина, авиационная электроника)	16K	2K
IAR	PowerPac	Полноценная RTOS с высокоэффективной файловой системой. Поставляется с многими примерами и, по выбору — с USB-стеком для приборов класса HID, MSD и CDC.	2...4K	51 байт
Quadros System	RTXC Quadro	Гибкая, масштабируемая RTOS с большим набором стеков и драйверов для периферии (TCP/IP, USB, файловая система, графические GUI-инструменты, CAN и т.д.). Поддерживается средством разработки VisualRTXC — идеальная среда для начинающих работу с 32-битными микроконтроллерами.	<20K	<4K
Keik	ARTX-ARM	Многозадачная вытесняющая RTOS, поддерживающая почтовый ящик и pool памяти, включает файловую систему и передачу данных по протоколу TCP/IP.	6K	0,5K
CMX	CMX-RT	Операционная система реального времени, поддерживающая многозадачность, без отчислений.	<10K	<1K

для успеха с STM32 требуются только интеллект и творчество разработчика!

Море удовольствия за малые деньги

STMicroelectronics отличается от других производителей полупроводников прекрасным соотношением «цена/функционал» при сохранении самых высоких стандартов качества. Семейство STM32 — яркий пример этого. В этом семействе можно найти очень дешевые микроконтроллеры серии **Value Line STM32F100**, которые достигают цены ниже одного доллара, при этом имеют хороший набор периферии. Если сравнивать их с первыми появившимися на рынке решениями на Cortex-M0, то за пару десятков дополнительных центов разработчик получит в разы больше функционала.

STM32F100, как и все микроконтроллеры семейства STM32, имеет встроенный DMA-контроллер, позволяющий разгрузить ядро от обработки и передачи данных. Его отсутствие в текущих имплементациях Cortex-M0 является существенным недостатком в производительности микроконтроллера в целом. Нельзя не отметить наличие в семействе STM32 высокоточной аналоговой периферии. В частности, STM32F100 имеет 12-битный 16-канальный АЦП со временем измерения 1,2 мкс. В других сериях и семействах АЦП — более быстрый (1 мкс или даже 0,5 мкс). Данный АЦП имеет много преимуществ: возможность настройки пакетных измерений (порядок измерения каналов), возможность варьировать длительность измерения по каждому каналу, возможность работать в режиме аналогового сторожа (два программируемых пороговых напряжения), встроенный датчик температуры (приблизительный), внешний триггер. Помимо перечисленного, в микроконтроллерах семейства STM32, которые имеют несколько АЦП, можно увеличить скорость преобразования

в несколько раз при помощи совместной работы нескольких АЦП. Например, в линейке STM32F-1 можно достичь скорости 0,5 мкс, а в случае линейки STM32F-2 — до 160 нс (!).

STM32F100 имеет также много вводов/выводов общего назначения (GPIO). Семейство STM32 отличается от своих конкурентов на рынке высоким процентом GPIO от общего количества ножек корпуса: например, в серии STM32F100 корпус LQFP48 имеет 37 GPIO, корпус LQFP64 — 51 GPIO, корпус LQFP100 — 80 GPIO. Эти GPIO имеют высокую степень гибкости, их можно не только сконфигурировать в разные стандартные режимы (двухтактная схема, открытый коллектор, pull-up, pull-down и т.д.), но и переназначить входами или выходами для регуляции (remapping). Скорость GPIO регулируется в целях снижения электромагнитных помех: в случае STM32F100 она может быть 2 МГц, 10 МГц и, теоретически, до 50 МГц, но здесь ограничительным фактором будет частота тактирования самого ядра, которая составляет 24 МГц. В случае семейства STM32F-2 скорость работы GPIO может достигать 100 МГц. Это открывает новые возможности управления и передачи данных. Можно программно создать собственные интерфейсы. Семейство STM32 отличается и замечательным встроенным CAN 2.0 контроллером, лицензия на который была куплена непосредственно у создателя этого стандарта, компании Bosch.

В некоторых линейках STM32 имеется полезная периферия FSMC и SDIO (например, в сериях STM32F101, STM32F103). FSMC — интерфейс для использования внешней памяти типа SRAM, NOR Flash, NAND Flash. SDIO — интерфейс для работы с карточками памяти типа SD, mini SD, micro SD, MMC. Единственный тип памяти, не охваченный семейством STM32, это память типа DRAM, но для большинства

разработчиков это не требуется. Упомянем также, что в семействе STM32 есть встроенный аппаратный CRC (Cyclic Redundancy Check — циклический избыточный код). Данная функция позволяет не загружать ядро процессом проверки качества обмена данных. Все микроконтроллеры STM32, кроме STM32W, имеют множество многофункциональных 16-битных таймеров (STM32F-2 имеет 32-битные таймеры) и один или больше 12-битных ЦАП. Семейство STM32F-2 содержит интересную новинку — интерфейс для подключения камер DCMi, который может работать со скоростью до 54 Мбайт/сек, то есть поддерживать камеры с матрицей примерно до 1 мегапикселя. Также этот интерфейс может получать данные от камер в сжатом формате JPEG. Это открывает новые возможности для систем безопасности, где не требуется сложная обработка видеосигнала, а достаточно более примитивного функционала, такого, как выполнение фотоснимка во время хищения или функция веб-камеры для передачи данных через встроенный Ethernet. Интерфейсы FSMC и SDIO помогут динамически сохранить во внешней памяти плотный поток данных с камеры. Линейки STM32L, STM32F-2 и все изделия линейки STM32F-1 с памятью больше чем 512 Кбайт имеют встроенный модуль защиты памяти MPU, который позволяет дополнительно повысить безопасность системы. MPU позволяет разделить память на сегменты, установить для них разные уровни доступа (read, write, execute — как в unix). Это позволяет заблокировать для программного кода доступ к отдельным зонам памяти и установить полноценные привилегированные и непривилегированные режимы. Также MPU генерирует прерывание в случае, если программа попыталась получить доступ к защищенным зонам памяти. В семействе STM32 микроконтроллеры с объемами flash-памяти бо-

Таблица 2. Сравнение производительности 32-битных микроконтроллеров на основе CoreMark

Микроконтроллер	Частота работы, МГц	CoreMark/МГц	CoreMark
STMicroelectronics STM32 90nm	120	1,905	228,60
NXP LPC1768	100	1,753	175,25
Microchip PIC32MX440F512H	80	1,745	139,61
TI Stellaris LM3S9B96 Cortex M3	80	1,595	127,60
NXP LPC1768	72	1,755	126,39
STMicro STM32F103RB	72	1,504	108,26

Таблица 3. Энергопотребление микроконтроллеров STM32 в разных режимах (типичное значение при комнатной температуре)

Линейка	Частота, при которой измеряется потребление	Работа из флэш-памяти, периферия активна	Работа из RAM, периферия активна	Режим STOP	Режим Standby
STM32F-1	74 МГц	434 мкА/МГц	375 мкА/МГц	21 мкА	3,4 мкА
STM32L	32 МГц	300 мкА/МГц	243 мкА/МГц	1,6 мкА	0,3 мкА
STM32L	4 МГц	220 мкА/МГц	180 мкА/МГц	1,6 мкА	0,3 мкА
STM32F-2	120 МГц	TBD	415 мкА/МГц	350 мкА	4,0 мкА

более 512 Кбайт имеют полезную особенность — память разделена на два банка. Это позволяет размещать в каждом банке две отдельные прошивки микроконтроллера и при старте микроконтроллера выбирать ту или иную прошивку, меняя кардинально весь функционал устройства. Также это позволяет динамически, без остановки основной работающей программы в одном банке, загружать в другой банк новый вариант прошивки по одному из коммуникационных интерфейсов и затем быстро переводить микроконтроллер на новый вариант работы ПО.

Семейство STM32 отличается от конкурентов хорошим поведением в температурном диапазоне от -40 до 85°C. Производительность ядра и периферии сохраняется полностью. В семействе STM32 есть ряд изделий, сертифицированных на расширенный температурный диапазон от -40 до 105°C.

Ferrari на 176 ножках

Одна из сильнейших сторон ядра Cortex-M3 — его высокая производительность, которая является результатом всего накопленного опыта компании ARM в области разработки процессорных ядер. Например, ядро Cortex-M3 имеет отдельную шину для данных, отдельную шину для инструкций и отдельную шину для управления периферией (архитектура типа Гарварда). Это избавляет от задержек, которые могут возникнуть с архитектурами Фон — Неймана, где весь поток информации к ядру идет через одну шину. Математические способности ядра также высоки: аппаратное умножение 32 бит на 32 бит включено в ядро Cortex-M3 и выполняется за один цикл частоты тактирования, если результат требуется в 32-битном формате. Аппаратное деление выполняется за 2...12 циклов в зависимости от сложности деления. Значительно улучшена вся схема прерываний: встроен контроллер прерываний NVIC, который позволяет

установить до 256 приоритетов между прерываниями с возможностью их динамического изменения. Потеря времени при возникновении конкурирующих прерываний значительно улучшена (12 циклов вместо 24...42 в случае ARM7). Cortex-M3 поддерживает набор инструкций Thumb-2 (смесь 16-битных и 32-битных инструкций без перехода) и оптимизированное использование памяти RAM (bit banding). Все это позволяет иметь теоретическую производительность 1,25 DMIPS/МГц при малом размере программного кода в памяти.

Первая линейка STM32F-1 предоставляла разработчикам много возможностей, но с точки зрения производительности была ограничена (72 МГц) и ее достаточно быстро обогнали семейства **Stellaris** (80 МГц) и **LPC17** (100 МГц). В ответ компания ST разработала новую серию STM32F-2, которая работает на частоте 120 МГц и достигает 150 DMIPS. В таблице 2 представлены результаты измерения производительности по стандарту CoreMark [6]. Значение поля «CoreMark» отражает абсолютную производительность микроконтроллера (большие значения соответствуют более высокой производительности). В поле «CoreMark/МГц» представлены нормализованные значения Coremark в отношении к частоте работы микроконтроллера. То есть мы можем судить, насколько эффективно работает микроконтроллер на высокой частоте. Линейка STM32F-2 отличается большей процессорной мощностью. Высокая производительность линейки STM32F-2 достигается благодаря запатентованному акселератору флэш-памяти (см. статью Романа Иванова в этом номере журнала) и новой технологии производства 90 нм. Следует подчеркнуть, что высокая производительность микроконтроллера должна всегда рассматриваться в совокупности с качеством периферии, поскольку недостатки периферии часто приходится компенсировать ядру. В случае STM32 периферия исполнена на самом высоком

уровне. Также надо отметить, что микроконтроллеры семейства STM32F-2 имеют версии в корпусе со 176 выводами.

Сильный, но ест мало

Архитектура ARM Cortex получила огромный успех в мире в первую очередь за счет низкого уровня энергопотребления. Это имеет большое значение в случае телефонов и портативных изделий, и поэтому в любом телефоне или смартфоне сердцем является процессор ARM. Но вопросы энергоэффективности и энергосбережения сейчас становятся актуальными для всех изделий, поскольку в связи с ростом цен на энергоносители каждый лишний мВт имеет все большее значение. Для систем с автономным питанием компания STMicroelectronics специально разработала линейку STM32L, сочетающую в себе высокую производительность ядра ARM Cortex-M3 и низкое энергопотребление. Ядро Cortex-M3 имеет механизм перехода в спящий режим, и этот механизм был дополнен собственными режимами семейства STM32F. В той же линейке STM32L управление энергопотреблением стало намного более гибким за счет добавления новых режимов энергопотребления, динамического режима изменения напряжения ядра и переработанной энергоэффективной периферии (см. статью Кирилла Автушенко и Романа Попова в этом номере журнала).

В таблице 3 указаны типичные значения электропотребления микроконтроллеров STM32. Микроконтроллеры линейки STM32L изготавливаются по специализированному технологическому процессу, где утечки транзисторов минимизированы, и, соответственно, эти изделия имеют наилучшие показатели. В таблице аббревиатура TBD означают «будет определено позднее» (to be defined), то есть измерение этих параметров еще не было выполнено производителем. Это связано с тем, что микро-

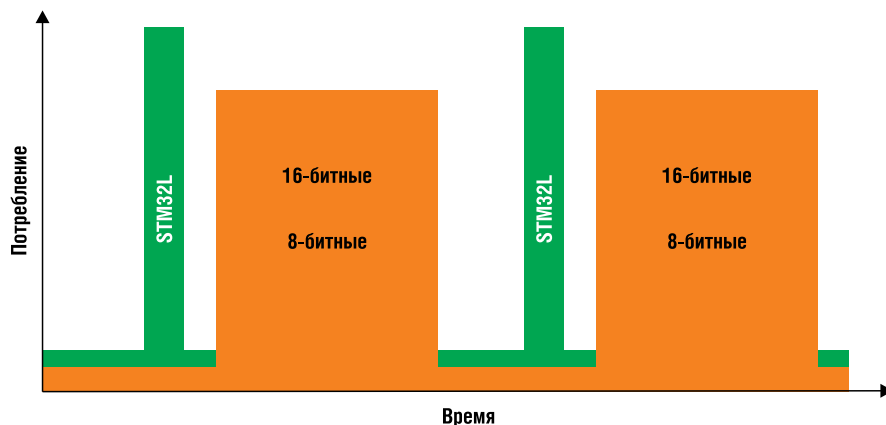


Рис. 5. Сравнение энергопотребления 8- или 16-битных низкопотребляющих МК и STM32L

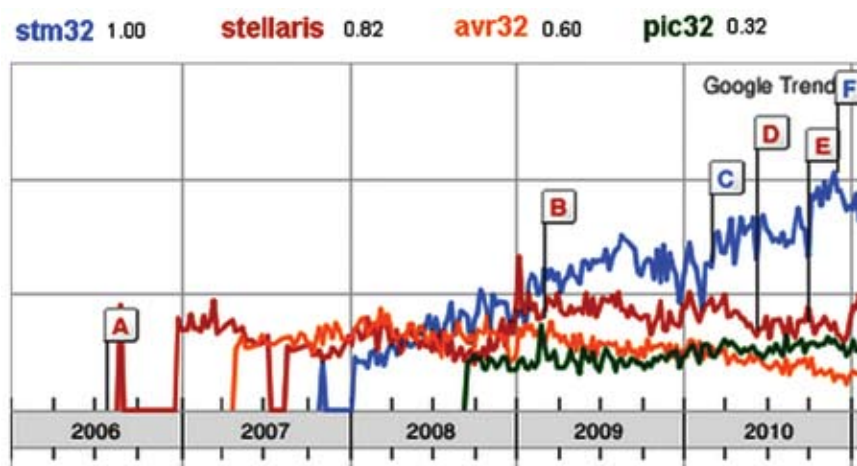


Рис. 6. Сравнение поисков на темы «STM32», «Stellaris» и «AVR32» в Google trends

контроллеры линейки STM32F-2 только что вышли на рынок.

Основное преимущество линейки STM32L выражается в режимах STOP и Standby, где энергопотребление падает до 1,6 мкА и 300 нА соответственно. Режим STOP — это режим, в котором все источники тактирования остановлены, но содержимое RAM-памяти сохраняется, и переход в активный режим требует всего нескольких микросекунд. В режиме Standby все отключено полностью, кроме часов реального времени. Пробуждение от этого режима уже требует несколько десятков микросекунд. Надо еще отметить, что в линейке STM32L есть режим Low Power Run, в котором ядро полностью работает от низкочастотного внутреннего тактового генератора (32 кГц), и в этом режиме потребление падает до 10 мкА.

Без сомнения, типовое потребление микроконтроллера STM32L в активном и спящем режимах будет выше, чем у лучших низкопотребляющих 8-битных или 16-битных микроконтроллеров конкурентов. Но высокая производительность STM32L позволит выполнить все задачи за более короткое время и вернуться в спящий режим (рисунок 5), и в итоге среднее потребление будет ниже по сравнению с 8- или 16-битным изделием.

Поэтому вопрос низкого потребления не столь прост, как это иногда преподносится разработчикам. Для правильного выбора микроконтроллера требуется четкая оценка режимов работы и их длительности, не говоря о том, что периферия в 8-битных и в 16-битных микроконтроллерах будет чаще всего примитивнее, чем у STM32L, который имеет «честные» часы реального времени, интерфейс USB 2.0 Full speed, 12-битный 24-канальный 1 мкс АЦП; 4 Кбайт EEPROM-память, выдерживающую 300 тысяч циклов стирания и программирования, и т.д.

Скрытое преимущество

Есть еще одно скрытое преимущества семейства STM32. То, что STM32 — вероятно, самый лучший контроллер с Cortex-M3 на рынке, многие понимают. И всем хочется присоединиться к этому успеху. Поэтому многие российские компании-дистрибьюторы электронных компонентов начали активно заниматься этим семейством. Что это означает для разработчика? — Что количество обученных инженеров и количество информации и документации на русском языке будет быстро увеличиваться. То есть возможностей по технической поддержке будет все больше и больше. Это косвенно означает и хорошую доступность

этого семейства на складах, что также является немаловажным аспектом.

Заключение

Вы можете считать эту статью рекламной и не верить автору на слово. Вместо этого просто поговорите с разработчиками, которые попробовали в деле STM32, или почитайте электронные форумы. Отзывы в большинстве случаев положительные, а иногда — очень положительные; претензии относятся к качеству документации и к исполнению интерфейса I²C. Еще один нейтральный способ для сравнения: Google trends [7]. Google trends показывает историю количества запросов по тому или иному слову. То есть, благодаря этому поисковому средству можно увидеть, в каком объеме и с какой тенденцией идет поиск на некую тему. Мы решили сравнить семейства «STM32», «Stellaris» (Texas Instruments), «AVR32» (Atmel) и «PIC32» (Microchip). Результат можно увидеть на рисунке 6. Очевидно, что есть большой и постоянно растущий интерес в мире к семейству STM32. Также можно увидеть, что ядра собственной разработки или находятся на том же уровне (PIC32) или интерес к ним постепенно снижается (AVR32), тогда как спрос на другое семейство микроконтроллеров на ядре Cortex-M3 (Stellaris) растет. Хочу отметить, что количество запросов в поисковых системах не прямо пропорционально количеству реальных продаж.

Разработчик, который решит попробовать семейство STM32, не разочаруется. STM32 — это идеальная платформа для перехода с 8-битного микроконтроллера на 32-битный. Она позволяет многими способами оптимизировать и минимизировать расходы во время разработки и производства. Время 32-битных микроконтроллеров наконец наступило.

Ссылки

1. <http://www.arm.com/products/processors/cortex-m/index.php>
2. <http://www.st.com/internet/mcu/family/141.jsp>
3. http://www.st.com/internet/com/press_release/p3029.jsp
4. http://www.terraelectronica.ru/news_postup.php?ID=1669&Text=te stm32&Gde=1&Page=1
5. <http://www.icbase.com/hotic/html/docs/brstmtools0209.pdf>
6. <http://www.rapidstm32.com/>
7. <http://www.coremark.org/benchmark/index.php>
8. <http://www.google.ru/trends>

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

Роман Попов (КОМПЭЛ)

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ STM32 «С НУЛЯ»



STM32 от STMicroelectronics — лидер мирового рынка 32-разрядных микроконтроллеров на ядре ARM Cortex-M3. В статье — все для «быстрого старта» с STM32: информация о доступных средах разработки, о бесплатной библиотеке периферийных устройств, об отладочном комплекте **STM32-Discovery (с конкретным примером разработки на его основе).**

Компания STMicroelectronics одной из первых вывела на рынок семейство микроконтроллеров на ядре ARM Cortex-M3 и на сегодняшний день по праву занимает лидирующее ме-

сто среди производителей микроконтроллеров на этом ядре. Все началось в 2007 году с двух семейств — Performance Line (STM32F103) и Access Line (STM32F101). Компания постоянно работает как над расшире-

нием номенклатуры семейства, так и над улучшением характеристик, не забывая при этом также пополнять программную составляющую продукта. На сегодняшний момент STM32 уже состоит из 10 линеек (рис. 1) для всевозможных применений — микроконтроллеры с высокой производительностью, недорогие микроконтроллеры общего применения, микроконтроллеры с ультранизким энергопотреблением, микроконтроллеры со встроенным радиомодулем для беспроводных реше-

STM32F07/STM32F217

Cortex-M3 120MHz	up to 128 KB SRAM	up to 1MB FLASH	3xADC 12 bit (0,5us)	2xDAC 12 bit	2 timers motor control	USB 2.0 OTG FS	USB 2.0 OTG FS/HS	2xCAN 2.0B	FSMC	Ethernet IEEE 1588	Camera interface	Random Generator
---------------------	----------------------	--------------------	-------------------------	-----------------	---------------------------	-------------------	----------------------	---------------	------	-----------------------	---------------------	---------------------

STM32F05/STM32F215

Cortex-M3 120MHz	Up to 128KB SRAM	Up to 1MB FLASH	3xADC 12 bit (0,5us)	2xDAC 12 bit	2 timers motor control	USB 2.0 OTG FS/HS	2xCAN 2.0B	FSMC	Random Generator	Crypto/Hash processor
---------------------	---------------------	--------------------	-------------------------	-----------------	---------------------------	----------------------	---------------	------	---------------------	--------------------------

STM32F105/STM32F107 «Connectivity Line»

Cortex-M3 72MHz	Up to 64KB SRAM	Up to 256KB FLASH	2xADC (1 us)	2xDAC 12 bit	1 timer motor control	USB 2.0 OTG FS	2xCAN 2.0B	2xI ² S audio class	Ethernet IEEE 1588 (Only in STM32F107)
--------------------	--------------------	----------------------	-----------------	-----------------	--------------------------	-------------------	---------------	-----------------------------------	---

STM32F103 «Performance Line»

Cortex-M3 72MHz	Up to 96KB SRAM	Up to 1MB FLASH	2/3x12 DAC (1 us)	2xDAC 12 bit	1 timer motor control	USB FS	CAN 2.0B	2xI ² C	SDIO	FSMC
--------------------	--------------------	--------------------	----------------------	-----------------	--------------------------	-----------	-------------	--------------------	------	------

STM32F102 «USB Access Line»

Cortex-M3 48MHz	Up to 16KB SRAM	Up to 128KB FLASH	ADC 12 bit (1 us)	USB FS
--------------------	--------------------	----------------------	----------------------	--------

STM32F101 «Access Line»

Cortex-M3 36MHz	Up to 8 KB SRAM	Up to 1MB FLASH	ADC 12 bit (1 us)	2xDAC 12 bit	FSMC
--------------------	--------------------	--------------------	----------------------	-----------------	------

STM32F100 «Value Line»

Cortex-M3 24MHz	Up to 32KB SRAM	Up to 512KB FLASH	ADC 12 bit (1,2 us)	2xDAC 12 bit	1 timer motor control	CEC(HDMI)
--------------------	--------------------	----------------------	------------------------	-----------------	--------------------------	-----------

STM32L152 «Ultra Low Power Line»

Cortex-M3 32MHz	Up to 128KB FLASH	Up to 16KB SRAM	Reset BOR PVD	EEPROM 4KB	RTC 32KHz osc	MSI 64KHz- 4MHz	DMA	ADC 12 bit 1us, 24 channels	2x DAC 12 bit	MPU ETM	USB FS	LCD 8x40
--------------------	----------------------	--------------------	---------------------	---------------	------------------	-----------------------	-----	--------------------------------	------------------	------------	--------	-------------

STM32L151 «Ultra Low Power Line»

Cortex-M3 32MHz	Up to 128KB FLASH	Up to 16KB SRAM	Reset BOR PVD	EEPROM 4KB	RTC 32KHz osc	MSI 64KHz- 4MHz	DMA	ADC 12 bit 1us, 24 channels	2x DAC 12 bit	MPU ETM	USB FS
--------------------	----------------------	--------------------	---------------------	---------------	------------------	-----------------------	-----	--------------------------------	------------------	------------	--------

STM32W108 «RF(ZigBee) Line»

Cortex-M3 24MHz	8KB SRAM	128KB FLASH	ADC 12 bit	USCI (UART/SPI/TWI)	AES128	IEEE 802.15.4 radio RF and Baseband
--------------------	-------------	----------------	---------------	------------------------	--------	---

Рис. 1. Семейство STM32

Таблица 1. Среды разработки программного обеспечения

Инструментарий	Среда разработки	C/C++ компилятор	Ограничение Си-инструментария	Программатор-отладчик	Ссылка
IAR Systems	Embedded Workbench	IAR C/C++	32 Кбайт или полная с ограничением на 30 дней	J-Link ST-Link	www.iar.com
Keil	uVision (MDK-ARM)	Keil C/C++	32 Кбайт	ULink ST-Link	www.keil.com
Raisonance	Ride7 + RKIT-ARM	GCC C/C++	Нет, ограничения по отладке	RLink	www.raisonance.com
Atollic	TrueStudio	GCC C/C++	Нет, ограничения по функционалу	ST-Link STICE	www.atollic.com
Open source	Eclipse	GCC C/C++	Без ограничений	ARM-Link	www.eclipse.org [2]

ний, и все это — на одном ядре ARM Cortex-M3! Нельзя не отметить pin-to-pin и программную совместимость по всем линейкам. Для более подробной информации по семейству STM32 следует посетить официальный сайт компании [1].

Для начала работы и изучения любого микроконтроллера разработчику необходимы три инструмента — программная среда разработки, программатор-отладчик и оценочная плата от производителя или от сторонних производителей.

Выбор программного инструментария для разработки

Под ARM-архитектуру существует довольно широкий выбор программных средств разработки. Приведем лишь

основные и самые популярные программные пакеты на российском рынке (табл. 1)

Наиболее популярными (но и самыми дорогими) среди разработчиков для разработки ПО под ARM архитектуру являются инструментарии от компаний Keil и IAR Systems. Это обусловлено наиболее продвинутыми Си-инструментариями с точки зрения оптимизации и компактности кода. Также, помимо лидирующих позиций в Си-инструментариях, данные компании предоставляют широкие наборы дополнительного ПО — операционные системы реального времени, USB-стеки, TCP/IP-стеки и многое другое, но за дополнительную плату. К тому же компания Keil принадлежит ARM, и при пользовании услугами этих двух

компаний вы получаете очень хорошую техническую поддержку. Но мы все же остановимся на инструментарии от IAR Systems. Выбор обусловлен универсальностью инструментария, поддерживающего большинство известных нам архитектур микроконтроллеров таких производителей как STMicroelectronics, Texas Instruments, Microchip, Atmel и т.д.

Также следует отметить популярность средств на основе компилятора GCC. Существуют как платные их варианты, так и бесплатные. Помимо всего, GCC является лидером по количеству поддерживаемых процессоров и операционных систем. Как пример варианта платных средств в сводной таблице мы привели инструментарии от компаний Raisonance и Atollic. По сравнению с двумя ранее описанными вариантами вы получаете за гораздо меньшие деньги полноценный Си-инструментарий со средой разработки и технической поддержкой. Также существует вариант полностью бесплатного инструментария, например, среда разработки Eclipse и компилятор GCC. Более подробно по бесплатному варианту вопросу следует обратиться к источнику [2].

Выбор оценочной платы для разработки

На рынке существует огромный выбор оценочных плат для STM32 как от STMicroelectronics, так и от сторонних производителей. Например, недорогие и оригинальные модули «Махаон» и «Барракуда» предлагает компания Терраэлектроника. Но наша основная цель — использовать для ознакомления и изучения микроконтроллеров семейства STM32 доступные и по возможности недорогие модули. Именно для таких целей компания STMicroelectronics разработала линейку оценочных плат «Discovery»: для восьмьбитных микроконтроллеров — **STM8S-Discovery** и **STM8L-Discovery**, для 32-битных — **STM32VLDISCOVERY**. Особенность данных оценочных плат заключается в завершеном решении для старта разработки программного обеспечения на микроконтроллерах — сам микро-

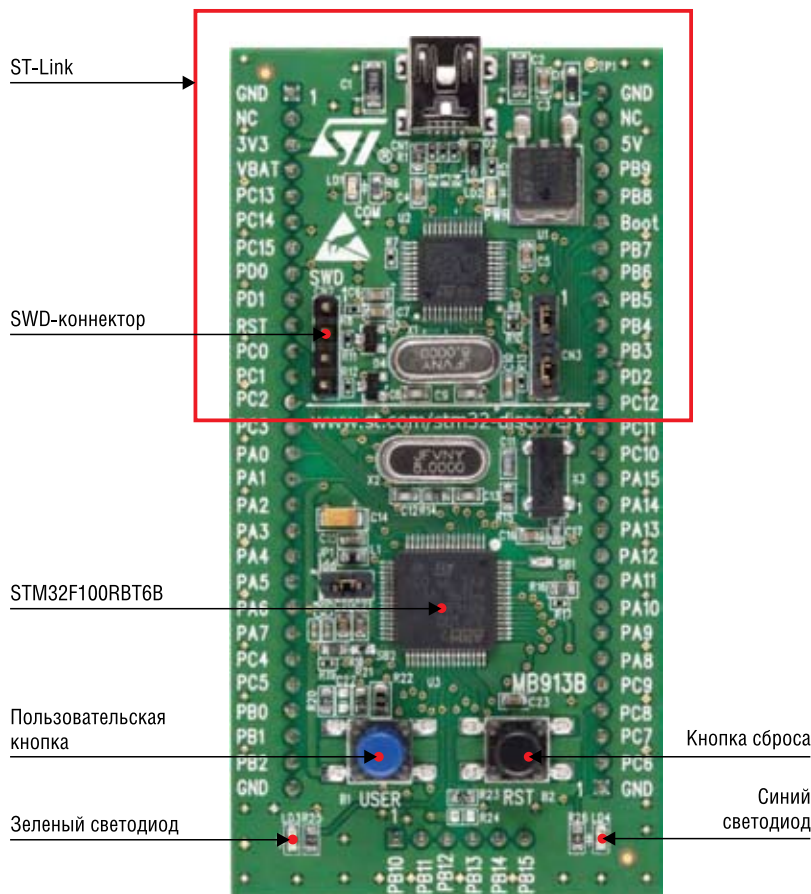


Рис. 2. Оценочный набор STM32VLDISCOVERY

контроллер с необходимой обвязкой и внешними компонентами, а также интегрированный программатор-отладчик ST-Link. Это полноценное решение, не требующее дополнительных затрат, а рыночная цена плат «Discovery» составляет 10...15\$. Используя эти платы в собственных разработках, можно применять для программирования и отладки собственных приложений встроенный ST-Link через выведенный внешний разъем. С учетом всего вышеописанного, для широкого круга радиолюбителей и разработчиков коммерческих компаний отпадает необходимость в самостоятельном изготовлении отладочных плат и программаторов.

В журнале «Новости Электроники» №6 за 2010 год была опубликована статья «STM8 с нуля», в которой рассматривалась отладочная плата STM8S-Discovery, нас же интересуют микроконтроллеры семейства STM32. В связи с этим мы рассмотрим более подробно отладочную плату STM32VLDISCOVERY (рис. 2).

В основе платы — микроконтроллер линейки «Value Line» STM32F100RBT6, программатор-отладчик ST-Link с выведенным разъемом SWD, механические кнопки, светодиоды и обвязка. Свободные ножки микроконтроллера выведены на внешние разъемы.

Выбор программатора-отладчика для разработки

В качестве программатора-отладчика производитель каждой среды разработки, как правило, предоставляет собственное решение, но поддерживаются устройства и других производителей. В таблице 1 можно увидеть среды разработки и поддерживаемые программаторы-отладчики. Большинство сред разработки поддерживают ST-Link — самый дешевый вариант на сегодняшний день. Нужно признать, что «родные» программаторы отладчика предоставляют больше возможности по отладке ПО, хотя разница в цене также ощутима. Добавим, что при выборе программаторов-отладчиков существует несколько вариантов от одного производителя: как более простые с поддержкой основных отладочных функций, так и профессиональные версии с поддержкой полного спектра функций отладки и трассировки. Например, программаторы-отладчики для IAR Embedded Workbench — J-Link и J-Trace, для Keil uVision — U-Link и U-Link-Pro. В нашем же случае, как писалось выше, ST-Link интегрирован в отладочную плату, так что дальше мы будем пользоваться именно этим инструментом и отладочной платой STM32VLDISCOVERY.

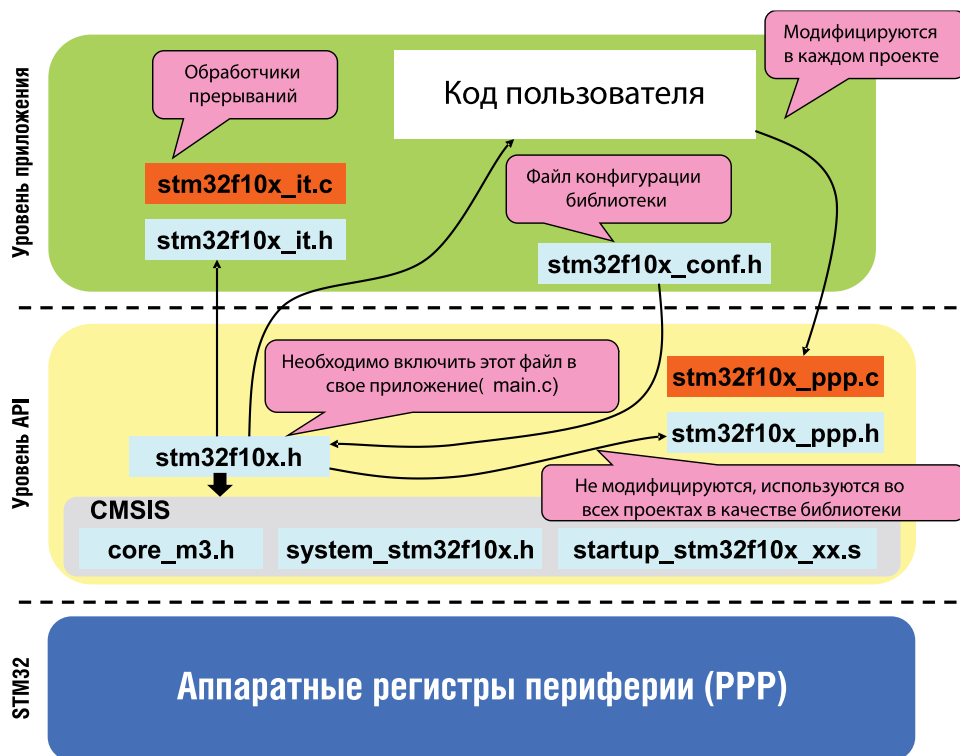


Рис. 3. Функциональная структура стандартной библиотеки периферии

Установка среды разработки

На данном этапе мы уже определились с программным и аппаратным обеспечением. Теперь переходим на официальный сайт IAR Systems [3], далее — на вкладку «Downloads». Должна появиться страница со списком всего доступного ПО. Нас интересует поле «Processor core», строка «ARM», тут видно, что для загрузки доступны два варианта ПО. Первая версия — с ограничением по времени, но без ограничения по функциональности (30-day evaluation edition). Вторая версия — без ограничения по времени, но с ограничением 32Kb по загружаемому в микроконтроллер коду (Kickstart edition). Для загрузки необходимо заполнить форму на сайте, затем вам на почту должна прийти ссылка, и уже по этой ссылке можно скачать установочный файл ПО. Но при этом необходимо сохранить ключ активации и лицензионный номер, которые понадобятся при установке ПО. Загружаем второй вариант и устанавливаем. Процесс установки ПО ничем не отличается от стандартных программ, поэтому подробно на этом пункте мы заострять внимание не будем.

Стандартная библиотека периферии STM32

STMicroelectronics для облегчения труда разработчиков предоставляет бесплатные стандартные библиотеки периферии для своих микроконтроллеров и, в частности, для семейства STM32. Вначале мы рассмотрим библиотеку, разберемся, как с ней работать, и далее на основе этой библиотеки обсудим

небольшой пример на отладочной плате STM32VLDISCOVERY. Структура библиотеки представлена на рисунке 3.

Стандартная библиотека периферии написана в соответствии со стандартом ANSI C и может использоваться с любым компилятором. Структура библиотеки не так сложна, как кажется на первый взгляд, и состоит из двух взаимодополняющих составляющих.

Первая составляющая — заголовочные файлы и файлы реализации всей периферии микроконтроллеров STM32 — STM32F10x_StdPeriph_Driver. Вся функциональность периферийных модулей описана в заголовочных файлах и файлах реализации. Например, для портов ввода-вывода это два файла — stm32f10x_gpio.h и stm32f10x_gpio.c.

Вторая составляющая — заголовочные файлы и файлы реализации самого ядра ARM Cortex-M3 от компании ARM — CMSIS (ARM® Cortex™ Microcontroller Software Interface Standard). Ядро ARM Cortex-M3 выходит за рамки обычного понятия ядра микроконтроллера и представляет собой мини-микроконтроллер с периферией — встроенные системный таймер, контроллер прерываний и т.д. CMSIS предоставляет собой константы и определения, функции доступа к регистрам и периферийным модулям ядра, независимый интерфейс для операционных систем реального времени (RTOS). CMSIS состоит из трех файлов:

- core_m3.h — вспомогательные функции доступа к регистрам ядра;

- startup_stm32f10x_xx.s – набор файлов для каждой линейки семейства STM32, обеспечивающие инициализацию стека и таблицу векторов прерываний;
- system_stm32f10x.h – файл начальной инициализации тактовой частоты микроконтроллера.

Для использования стандартной библиотеки периферии необходимо в файл основной программы (обычно это main.c) включить файл #include "stm32f10x.h" и прописать определенные константы в свойствах проекта. Настройка проекта более подробно будет рассмотрена в приведенном ниже примере. Также библиотекой предоставляются три файла, доступные для модификации пользователем – файл конфигурации библиотеки stm32f10x_conf.h и файлы прерываний stm32f10x_it.h и stm32f10x_it.c. Для использования определенных модулей периферии в проект необходимо добавить файлы реализации и сконфигурировать файл stm32f10x_conf.h. Под конфигурацией файла stm32f10x_conf.h подразумевается раскомментирование строчек с названием периферийного модуля, предполагаемого для использования. В нашем случае это строчка #include "stm32f10x_gpio.h". Обработка прерываний происходит в заголовочном файле и файле реализации stm32f10x_it.h и stm32f10x_it.c. Функции обработчиков прерывания не должны содержать параметров – void

function(void). Если посмотреть файл stm32f10x_it.h, то можно увидеть, что в нем уже написаны пустые обработчики прерывания, но тут имеются не все функции. Дополнительные имена функций обработчиков прерывания – это фактически адреса обработчиков прерывания. Их придется прописывать вручную, и эти имена уже объявлены в файле начальной инициализации. Этот файл мы рассмотрим далее более подробно.

Вся периферия описана в структурах данных языка Си, которые и используются для конфигурации периферийного модуля. Функции и константы для периферийных модулей начинаются с префиксов, совпадающих с именем периферийного модуля. Например, имена функций для портов ввода-вывода – GPIO_Init(), GPIO_SetBits(), GPIO_ReadInputData() и константы – GPIOA, GPIO_Speed_50MHz, GPIO_Pin_0.

Для конфигурации периферийного модуля необходимо заполнить все поля структуры и далее передать структуру функции инициализации периферийного модуля. Например, для инициализации портов ввода-вывода необходимо объявить и заполнить поля структуры GPIO_InitTypeDef и передать объявленное имя функции инициализации GPIO_Init(..., ...). Все доступные функции для работы с периферийным модулем можно посмотреть в справке на библиотеку или в заголовочном фай-

ле. Для портов ввода-вывода это файл stm32f10x_gpio.h. Большинство периферийных модулей имеют одинаковый набор функций, например (PPP – имя периферийного модуля):

- PPP_DeInit(...) – установка всех регистров в начальное (после сброса) состояние;
- PPP_Init(...) – установка параметров через структуры данных;
- PPP_Cmd(ENABLE/DISABLE) – разрешение/запрещение работы (не тактирование!);
- PPP_ITConfig(...) – конфигурация источников прерываний;
- PPP_GetFlagStatus(...) – чтение флагов периферийного модуля;
- PPP_ClearFlag(...) – очищение флагов периферийного модуля;
- PPP_ClearITPendingFlag(...) – сброс флага прерывания.

Для большей наглядности кода и сокращения его визуального размера стандартные типы данных предопределены в файле stm32f10x_type.h, например:

- u8 – unsigned char;
- u16 – unsigned short;
- RESET/SET;
- FALSE/TRUE;
- DISABLE/ENABLE.

Стандартную библиотеку периферии можно загрузить с официального сайта STMicroelectronics по ссылке [4]. Структура пакета библиотеки следующая:

- Libraries:
 - CMSIS – библиотека ядра ARM Cortex-M3;
 - STM32F10x_StdPeriph_Lib_V3.4.0\Libraries\STM32F10x_StdPeriph_Driver – библиотека периферии STM32.
- Project:
 - STM32F10x_StdPeriph_Lib_V3.4.0\Project\STM32F10x_StdPeriph_Examples – исходные файлы примеров периферии STM32;
 - STM32F10x_StdPeriph_Lib_V3.4.0\Project\STM32F10x_StdPeriph_Template – шаблон «пустого» проекта для оценочных плат STM3210xx-EVAL.
- Utilities – драйвера для отладочных плат STMicroelectronics.
- STM32F10x_StdPeriph_Lib_V3.4.0\stm32f10x_stdperiph_lib_um.chm – файл справки.

Для более простого старта создания и конфигурации проекта на основе отладочных плат STM3210xx-EVAL предлагается «пустой» шаблон проекта для разнообразных сред разработки. В него можно внести ваш код, выбрать в конфигурации конкретную отладочную плату и начать работать. Шаблон проекта приведен для пяти сред разработки, можно начать работать с любой из них.

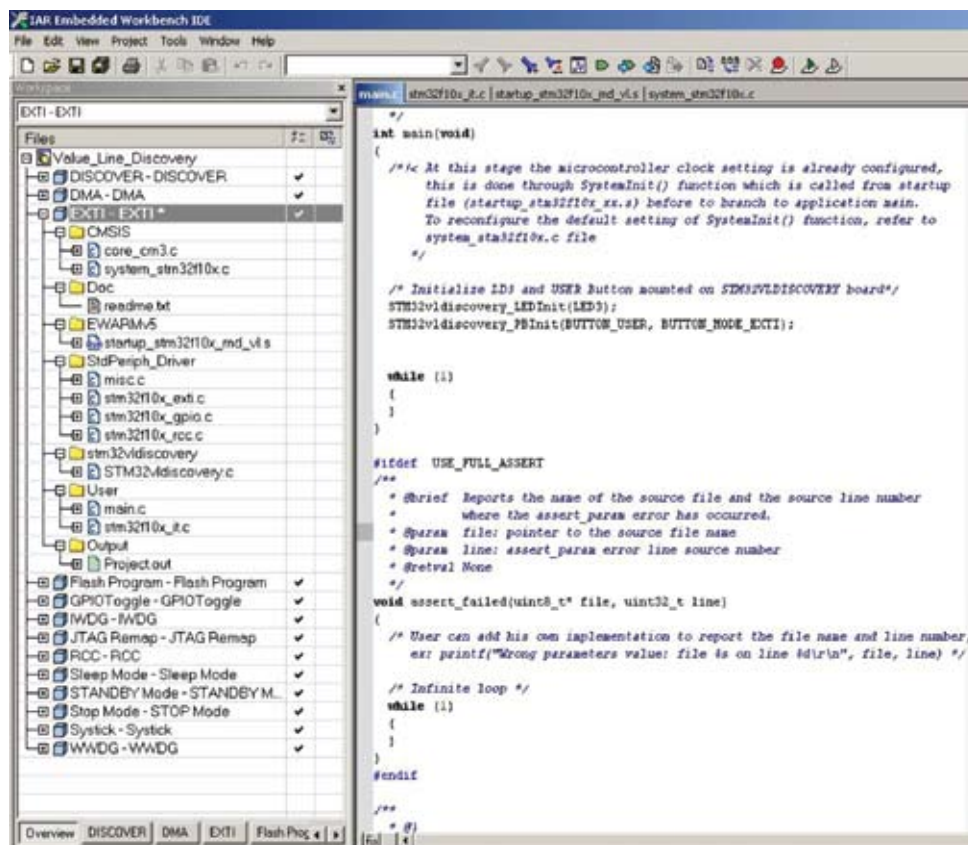


Рис. 4. Проект EXTI – EXTI

Помимо этого, на первых порах можно посмотреть параметры конфигурации проектов.

Для прояснения картины пользования библиотекой перейдем к практической части статьи.

Практическая часть: пример проекта

На данном этапе мы загрузили и установили среду разработки IAR Embedded Workbench и получили общие знания по стандартной библиотеке периферии. Самое время приступить к практической части нашего материала.

Для всех своих отладочных плат STMicroelectronics предоставляет на официальном сайте примеры работы и описание. Полный список документации для STM32VLDISCOVERY можно посмотреть по ссылке [5], а кликнув по вкладке «Design Support», можно посмотреть всю доступную информацию по отладочной плате. С этой же страницы загружаем пакет «STM32VLDISCOVERY firmware package (AN3268)» по ссылке [3]. В состав пакета входит стандартная библиотека периферийных устройств и примеры проектов для отладочной платы. Рассмотрим структуру пакета более подробно:

- Libraries:
 - CMSIS – библиотека ядра ARM Cortex-M3;
 - STM32F10x_StdPeriph_Lib_V3.4.0\Libraries\STM32F10x_StdPeriph_Driver – библиотека периферии STM32.
- Project:
 - Demo – общий пример для STM32VLDISCOVERY;
 - Examples – исходные файлы примеров работы с периферией;
 - Master Workspace – проект на примерах из Examples.
- Utilities – драйвер для оценочной платы STM32VLDISCOVERY.

Заходим в директорию *Project\Master Workspace\EWARMv5* и запускаем проект *Value_Line_Discovery.eww*. В рабочей области проектов (рис. 4) можно увидеть 13 различных проектов для работы с портами ввода-вывода, внешними прерываниями, контроллером DMA, таймерами, режимами низкого энергопотребления и т.д. Для работы с каждым конкретным проектом его необходимо сделать активным – наводим на имя проекта курсор мыши, кликаем правую кнопку мыши и в выпадающем меню выбираем поле *Set as Active*. Далее можно вносить свои изменения, компилировать, загружать прошивку и отлаживать ПО.

В качестве примера далее будем рассматривать проект **EXTI-EXTI**. В данном проекте происходит работа с портами ввода-вывода и внешними прерываниями. Для первого знакомства это вполне подходящий вариант. Дела-

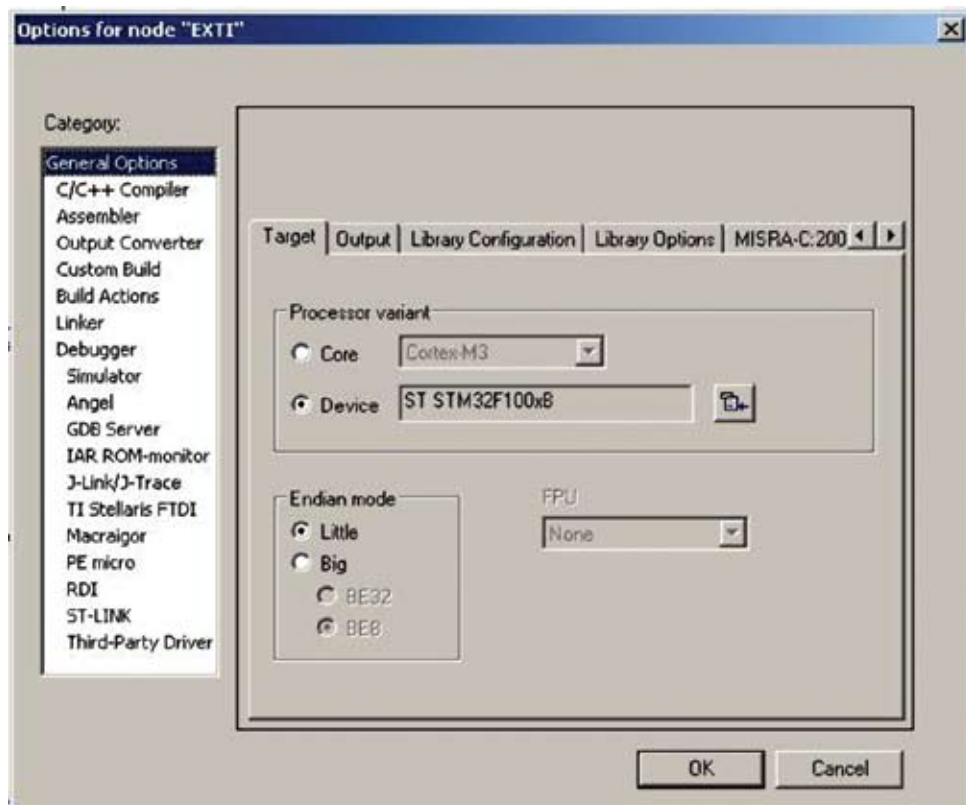


Рис. 5. Настройка проекта – выбор типа микроконтроллера

ем проект активным, как описывалось выше.

Как видно из рисунка, проект состоит из нескольких папок, разделяющих файлы проекта по смысловому значению:

- CMSIS – библиотека ядра ARM Cortex-M3,
- Doc – справка,
- EWARMv5 – начальная инициализация микроконтроллера,
- StdPeriph_Driver – библиотека периферии STM32,
- stm32vldiscovery – драйвер отладочной платы STM32VLDISCOVERY,
- User – пользовательские файлы,
- Output – файл прошивки.

Как уже описывалось выше, папка *CMSIS* содержит файл библиотеки ядра ARM Cortex-M3 и файл начальной инициализации. Папка *EWARMv5* содержит начальный файл инициализации, он выбирается для каждого объема памяти микроконтроллера. Все доступные файлы для всех микроконтроллеров STM32 можно, в зависимости от микроконтроллера, используемого в проекте, выбрать по следующему пути: *X:\..\stm32vldiscovery_package\Libraries\CMSIS\CM3\DeviceSupport\ST\STM32F10x\startup\arm*. Необходимый файл выбирается по окончанию файла. Опишем все файлы:

- *startup_stm32f10x_cl.s* – линейка «Connectivity Line»;
- *startup_stm32f10x_hd.s* – линейки high-density «Access Line» и «Performance Line»;

- *startup_stm32f10x_hd_vl.s* – линейка high-density «Value Line»;
- *startup_stm32f10x_ld.s* – линейки low-density «Access Line» и «Performance Line»;
- *startup_stm32f10x_ld_vl.s* – линейка low-density «Value Line»;
- *startup_stm32f10x_md.s* – линейки medium-density «Access Line» и «Performance Line»;
- *startup_stm32f10x_md_vl.s* – линейка medium-density «Value Line»;
- *startup_stm32f10x_xl.s* – линейки xl-density «Access Line» и «Performance Line».

Узнать, какой микроконтроллер соответствует той или иной линейке и префиксу, можно из документации.

В папке *StdPeriph_Driver* содержатся исполняемые файлы периферийных устройств. В данную папку необходимо добавлять именно файлы, соответствующие используемой периферии в проекте. В нашем случае мы видим (рис. 4), что в папку добавлены четыре файла – файл приоритетов прерывания, внешних прерываний, портов ввода-вывода и системы тактирования. Соответственно, в проекте используются вышеперечисленные периферийные модули.

В папке *User* размещены пользовательские файлы – основной файл программы и файл обработчиков прерываний. Ну а в папке *Output* содержится выходной файл прошивки.

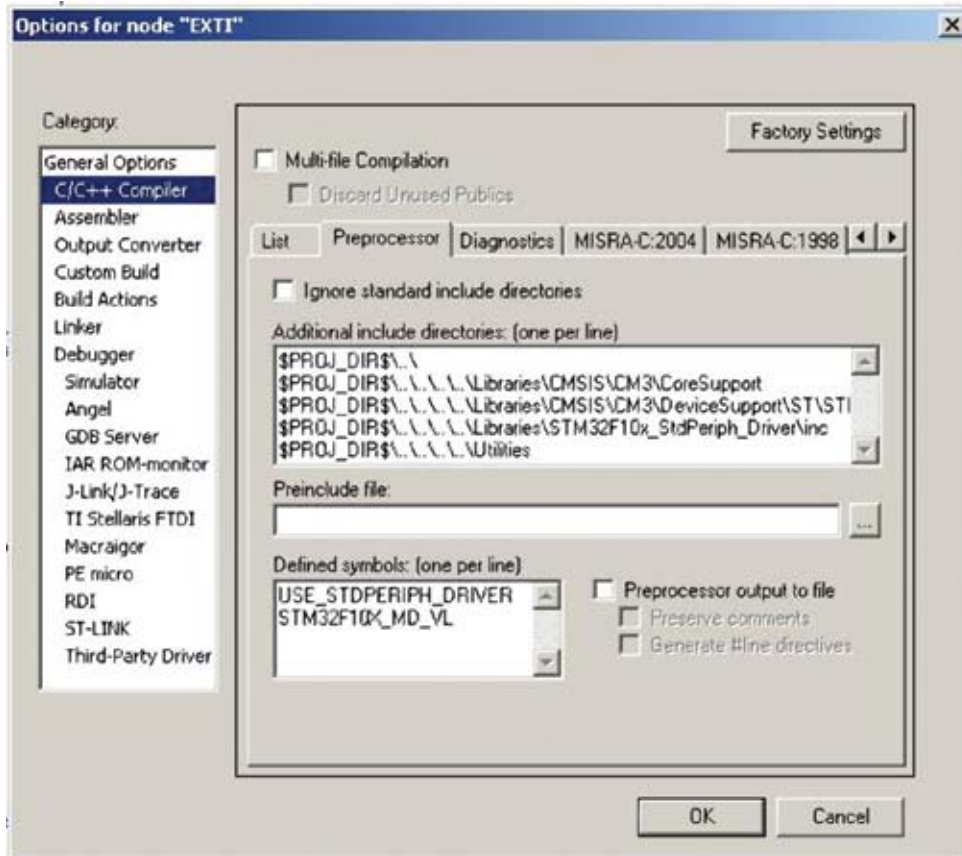


Рис. 6. Настройка проекта – настройка путей доступа к библиотеке

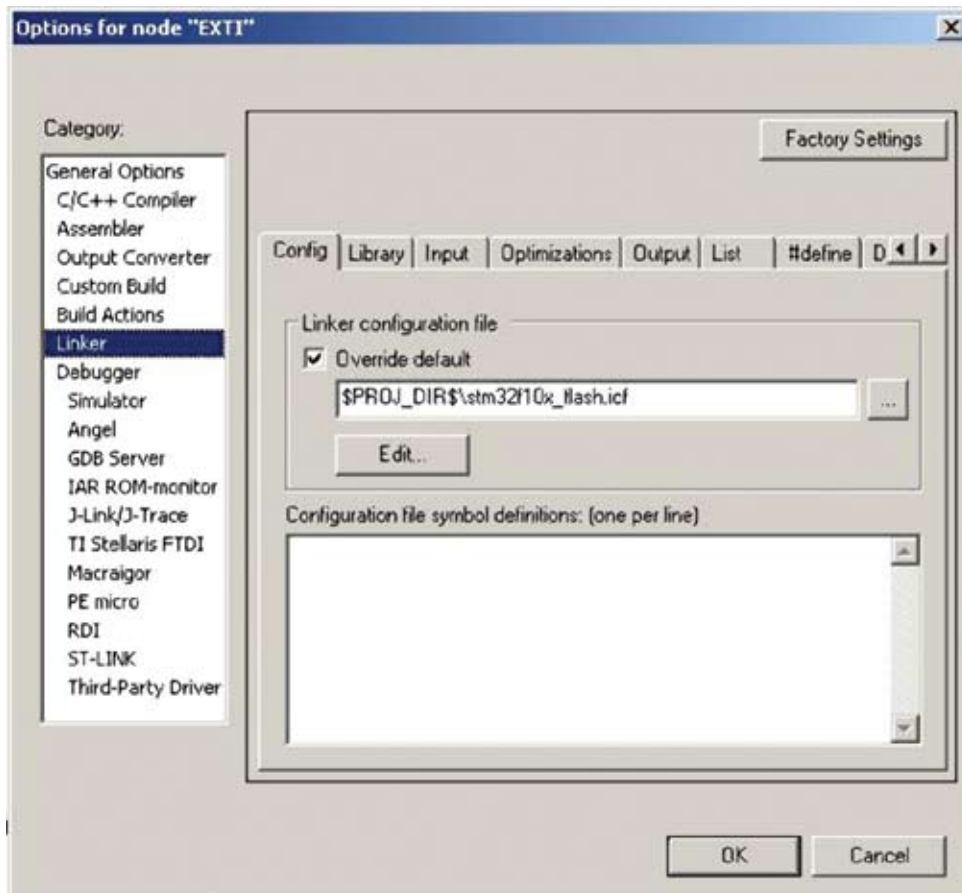


Рис. 7. Настройка проекта – настройка линкера (часть 1)

Для работы со стандартной библиотекой периферии необходимо настроить проект. У нас он уже настроен, но

рассмотрим все необходимые настройки для создания будущего собственного проекта. Кликаем правой кнопкой

мышью на имени проекта, в выпадающем поле выбираем вкладку *options*, далее в поле *Category* выбираем пункт *General Options* и, далее, в правом поле – вкладку *Target* (рис. 5). В данном меню выбирается тип микроконтроллера, в нашем случае это *STM32F100RBT6*.

После выбора микроконтроллера необходимо прописать все пути к стандартной библиотеке периферии. В поле *Category* выбираем пункт *C/C++ Compiler* и далее в правом поле – вкладку *Preprocessor* (рис. 6)

Над содержанием поля *Additional include directories* необходимо остановиться более подробно:

- 1) \$PROJ_DIR\$\\
- 2) \$PROJ_DIR\$\\...\\Libraries\CMSIS\CMS3\CoreSupport
- 3) \$PROJ_DIR\$\\...\\Libraries\CMSIS\CMS3\DeviceSupport\ST\STM32F10x
- 4) \$PROJ_DIR\$\\...\\Libraries\STM32F10x_StdPeriph_Driver\inc
- 5) \$PROJ_DIR\$\\...\\Utilities

Тег \$PROJ_DIR\$ является отправной точкой и олицетворяет собой путь до имени файла проекта. В нашем примере это путь X:\...\\an3268\stm32vldiscovery_package\Project\Master Workspace\EWARMv5\, где X:\... означает метку жесткого диска в системе и путь до пакета. Тег .. подразумевает переход на один уровень вверх по файловой директории. Таким обра-



Рис. 8. Настройка проекта – настройка линкера (часть 2)

зом, во всех строчках вышеприведенного поля, с помощью тегов `$PROJ_DIR$` и `..` задаются пути ко всем директориям файлов проекта. Например, во второй и третьей строке поля задаются пути к файлам библиотеки CMSIS, в четвертой — к стандартной библиотеке периферии, в пятой — к файлу драйвера отладочной платы STM32VLDISCOVERY.

Также необходимо обратить внимание на поле `Defined symbols:(one per line)`. В данном поле содержатся два макроопределения. Макроопределение `USE_STDPERIPH_DRIVER` необходимо указывать, если вы собираетесь пользоваться стандартной библиотекой периферии. Макроопределение `STM32F10X_MD_VL` указывает библиотеке, какой микроконтроллер используется в проекте. Он должен быть аналогичен файлу, добавленному в папку *EWARMv5*, но без префикса `startup_`. В данное поле можно добавлять пользовательские макроопределения, используемые в проекте.

Следующий шаг — необходимо указать линковщику файл с расширением `.icf`. В поле *Category* выбираем пункт *Linker* и далее в правом поле — вкладку *Config* (рис. 7). Файлы этого типа используются для управления линкером, указывают области памяти, определяют размер памяти и так далее. Файлы с расширением `.icf` для различных вариаций настройки проекта, например, для размещения кода только в SRAM, деления памяти на разные области и так далее, можно найти в шаблонах проектов от STMicroelectronics или написать самим. Более подробно про самостоятельное создание этих файлов можно прочитать в разделе «Помощь» среды разработки IAR Embedded Workbench, вкладка «Help — C/C++ Development Guide» на основной форме программы. В нашем примере данный файл находится в корне проекта.

Также линковщику необходимо указать объемы памяти, стека и кучи. Данная операция осуществляется в этом же окне, но необходимо нажать кнопку *Edit...* (рис. 8).

В первом окне рисунка 8 указывается адрес таблицы векторов прерывания. В нашем случае адрес равен `0x08000000`, это начало внутренней flash-памяти. Во втором окне необходимо указать адреса flash- и SRAM-памяти. Начальные адреса начинаются с `0x08000000` и `0x20000000`, это заложено при проектировании. А вот конечные адреса разные, т.к. микроконтроллеры имеют разные объемы памяти. В окнах необходимо указать правильные параметры, т.к. в случае выхода размера ПО за эти границы линкер должен выдать сообщение об ошибке во избежание непредсказуемых последствий. Для нашего микроконтроллера STM32F100RBT6

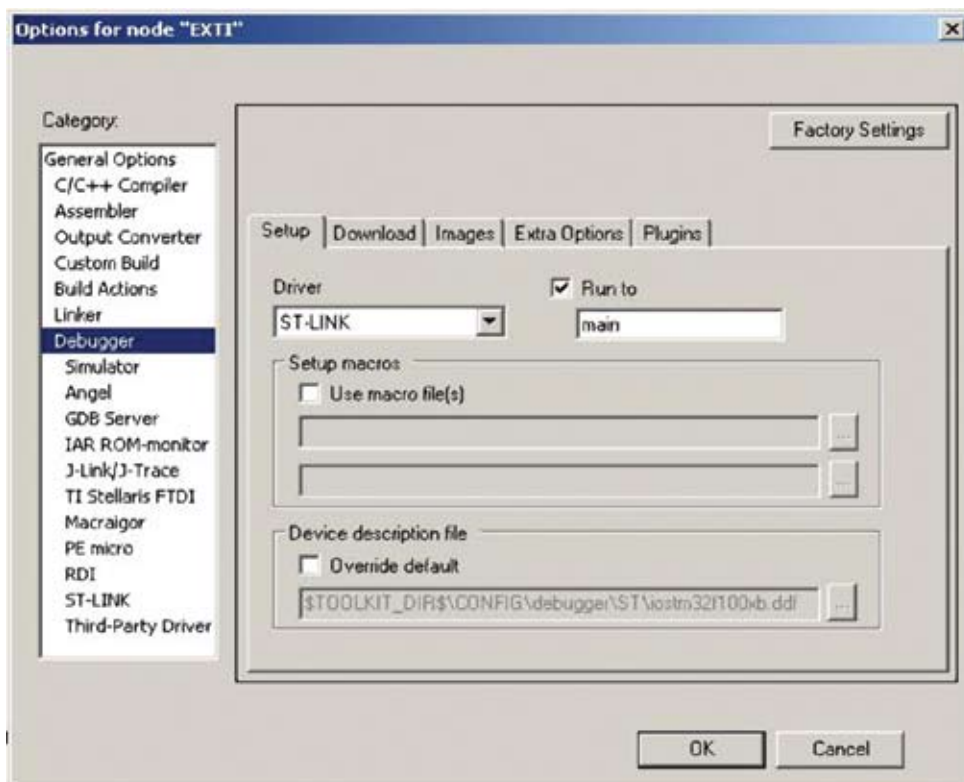


Рис. 9. Настройка проекта – выбор программатора

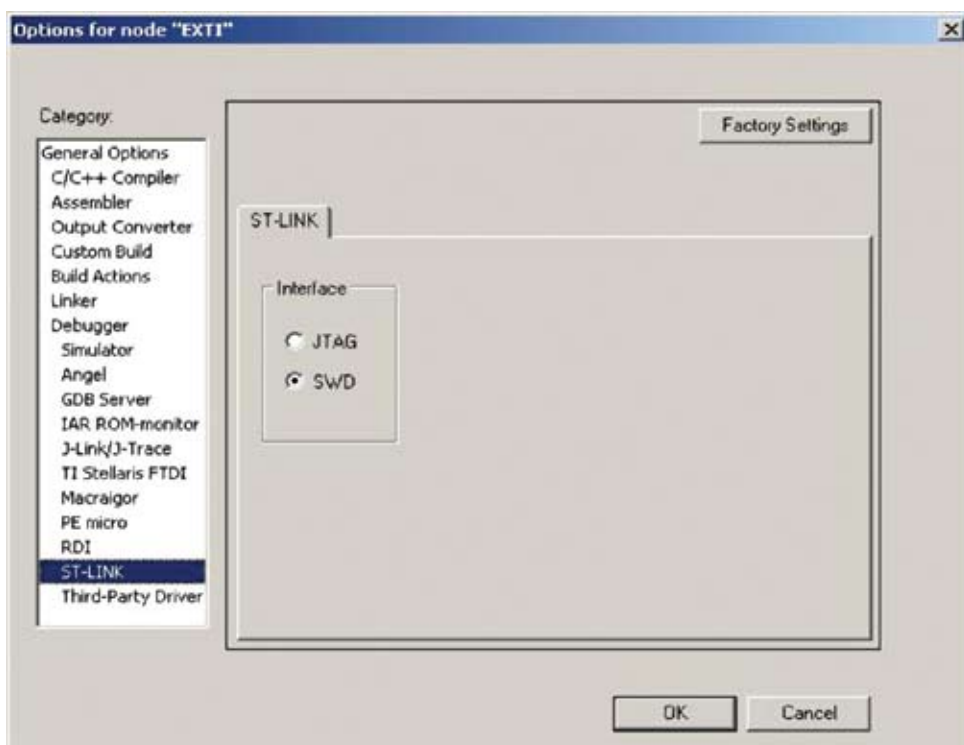


Рис. 10. Настройка проекта – выбор интерфейса программатора

объем flash равен 128 Кбайт, а объем SRAM — 8 Кбайт. Соответственно, значение второго окна для поля ROM должно быть равно $(128 \times 1024) - 1 = 0x0801FFFF$, и по такой же методике значение второго окна должно быть равно `0x2001FFFF`. На рисунке 8 отображены максимальные значения памяти для семейства STM32. Не менее важным является третье окно, отвечаю-

щее за размер стека и кучи. Стек необходим для сохранения контекста при вызове функций, передачи параметров функций и так далее. Куча необходима для функций работы с памятью C/C++. Оставим эти параметры такими же, как на рисунке. Добавим лишь, что память для стека и кучи выделяется из SRAM, и, например, в случае неиспользования функции работы с памятью поле *HEAP*

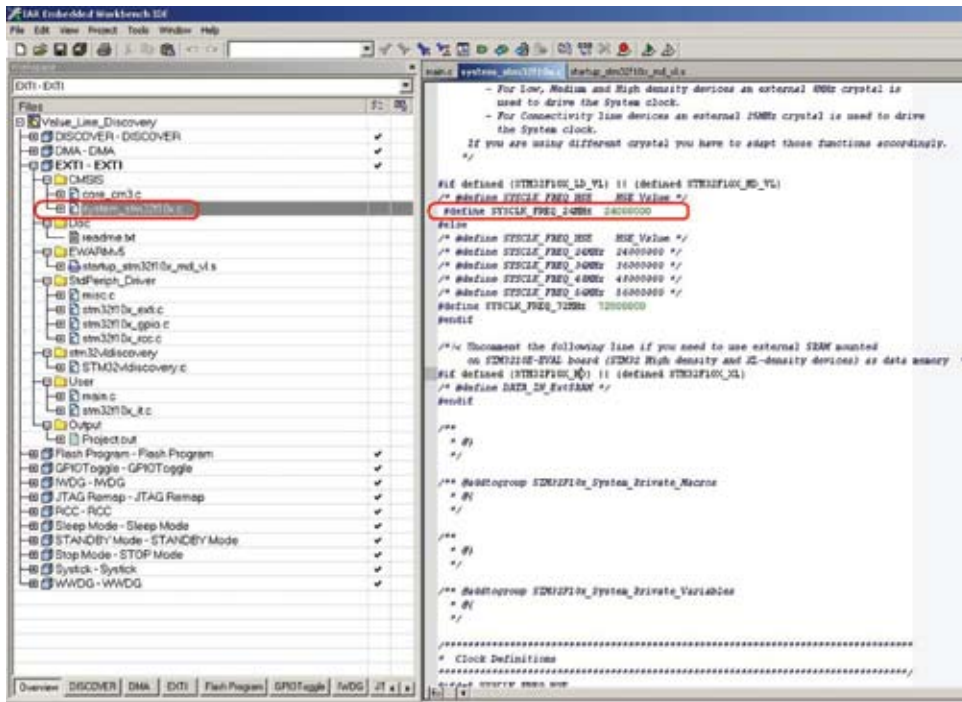


Рис. 11. Первоначальная инициализация в файле system_stm32f10x.c

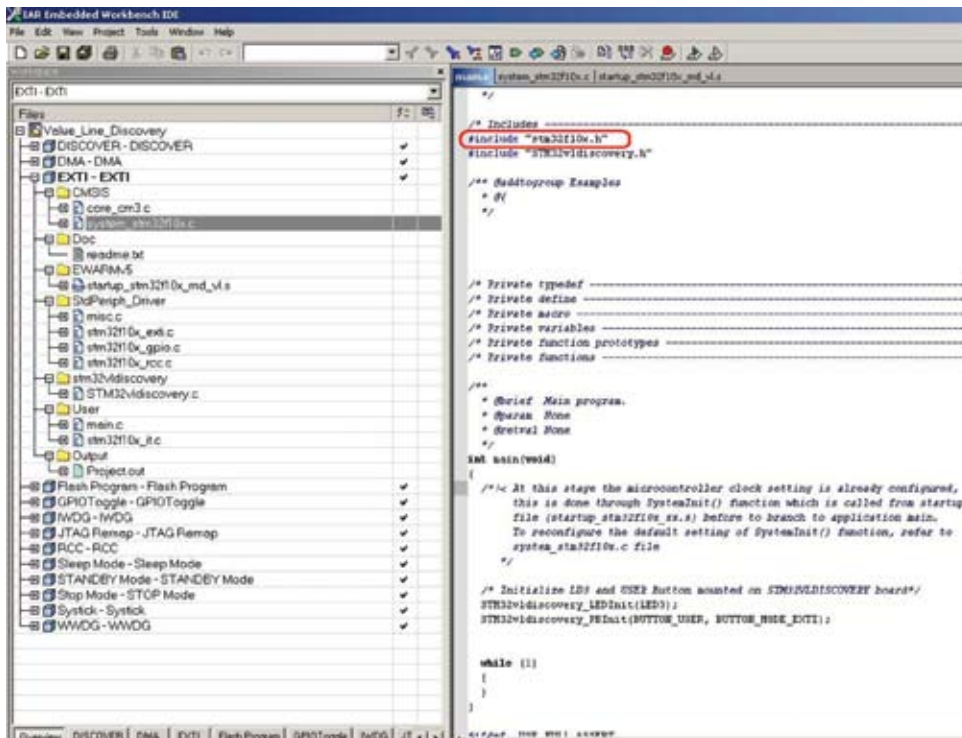


Рис. 12. Основной файл проекта main.c

можно сделать нулевым, таким образом сэкономив оперативную память для нужд приложения.

Следующим шагом является выбор программатора-отладчика. В поле *Category* выбираем пункт *Debugger* и далее в правом поле — вкладку *Setup* (рис. 9)

В нашем случае нам необходимо выбрать программатор-отладчик компании STMicroelectronics **ST-Link**. Для этого выбираем категорию *Linker*.

Следует обратить внимание на поле *Run to main*. Данный пункт указыва-

ет, с какого места будет начинаться отладка ПО. Если этот пункт активен, то процесс отладки начнется с функции *main()*, и первоначальная инициализация микроконтроллера пропускается (она будет выполнена автоматически). Если же данный пункт не активен, то процесс отладки начнется с самого начала, а именно — с вектора сброса *Reset Handler* файла *startup_stm32f10x_md_vl.s*. На первоначальном этапе для более подробного изучения инициализации микроконтроллера лучше сделать этот пункт неактивным и посмотреть по

шагам всю инициализацию микроконтроллера.

И, наконец, последний пункт в настройках проекта — выбор интерфейса для отладки. В архитектуре ARM Cortex-M3 предусмотрено два альтернативных интерфейса для отладки микроконтроллера — двухпроводной интерфейс SWD и пятипроводной интерфейс JTAG. В STM32VLDISCOVERY реализован SWD, соответственно, убеждаемся в том, что выбран именно этот интерфейс — в поле *Category* выбираем пункт *ST-Link* и затем — *SWD* (рис. 10).

После рассмотрения настроек проекта **EXTI-EXTI** переходим к более детальному рассмотрению самого проекта. Обычно точкой входа в программу является функция *main.c*, далее происходит инициализация периферии микроконтроллера. Но в случае использования стандартной библиотеки периферии при входе в функцию *main.c* уже произведена первоначальная инициализация микроконтроллера. Полную инициализацию микроконтроллера можно посмотреть по шагам в отладочном режиме, если снять пункт *Run to main* на рисунке 9. Старт работы ПО микроконтроллера после включения питания или сброса происходит с адреса сброса (*Reset_Handler*). Для начальной инициализации проекта мы уже добавили в проект файл начальной инициализации (в нашем случае это *startup_stm32f10x_md_vl.s*). При просмотре содержимого данного файла видно, что при первоначальном сбросе вызывается функция *SystemInit()*. Это, по сути, и является первоначальной инициализацией микроконтроллера. Далее управление передается этой функции, которая реализована в файле *system_stm32f10x.c*. Но отправной точкой работы любого микроконтроллера является его тактирование. В семействе STM32 доступны четыре источника тактирования:

- HSI — внутренний высокоскоростной источник тактирования,
- LSI — внутренний низкоскоростной источник тактирования,
- HSE — внешний высокоскоростной источник тактирования,
- LSE — внешний низкоскоростной источник тактирования.

Для тактирования ядра микроконтроллера могут использоваться только высокочастотные источники HSI и HSE. После подачи или сброса питания микроконтроллеры STM32F1x по умолчанию тактируются от внутреннего источника, и системная частота тактирования после сброса равняется 8 МГц (*SYSCLK* = 8 МГц). В файле *system_stm32f10x.c* в макроопределениях задается первоначальная частота тактирования микроконтроллера до входа в функцию *main.c* при помощи раскомментирования строк (рис. 11):

```
#if defined (STM32F10X_LD_VL)
|| (defined STM32F10X_MD_VL)
/* #define SYSCLK_FREQ_HSE
HSE_Value */
#define SYSCLK_FREQ_24MHz
24000000
#else
/* #define SYSCLK_FREQ_HSE
HSE_Value */
/* #define SYSCLK_FREQ_24MHz
24000000 */
/* #define SYSCLK_FREQ_36MHz
36000000 */
/* #define SYSCLK_FREQ_48MHz
48000000 */
/* #define SYSCLK_FREQ_56MHz
56000000 */
#define SYSCLK_FREQ_72MHz
72000000
#endif
```

Как видно из примера, после условной компиляции раскомментирована строчка `#define SYSCLK_FREQ_24MHz 24000000` – соответственно, тактовая частота равна 24 МГц.

Теперь перейдем к основному файлу проекта `main.c` (рис. 12)

Для использования стандартной библиотеки периферии необходимо прописать в основном файле проекта строку `stm32f10x.h`, раскомментировать используемые периферийные модули в файле `stm32f10x_conf.h` и включить их исполняемые файлы в проект в папку `StdPeriph_Driver`. В нашем проекте это файлы – `misc.c` – NVIC функции, `stm32f10x_exti.c` – функции внешних прерываний портов ввода-вывода, `stm32f10x_gpio.c` – функции настройки портов ввода-вывода и `stm32f10x_rcc.c` – функции настройки тактирования модулей периферии (рис. 13)

При просмотре содержимого функции `main.c` в проекте используются всего две функции – `STM32vldiscovery_LEDInit(LED3)` и `STM32vldiscovery_PBInit(BUTTON_USER, BUTTON_MODE_EXTI)`, далее программа переходит на бесконечный цикл `while(1)` и ожидает событий источников прерывания. Из названия функций видно, что первая настраивает вывод микроконтроллера для управления светодиодом, а вторая настраивает вывод микроконтроллера для управления кнопкой. Рассмотрим более подробно данные функции, находящиеся в файле `stm32vldiscovery.c`.

Для быстрого перехода к реализации функции `STM32vldiscovery_LEDInit(LED3)` можно кликнуть правой кнопкой компьютерной мыши на имени функции и в выпадающем меню также кликнуть *Go to definition of имя_функции*:

```
void STM32vldiscovery_LEDInit(Led_TypeDef Led)
{
// Объявление структуры
```

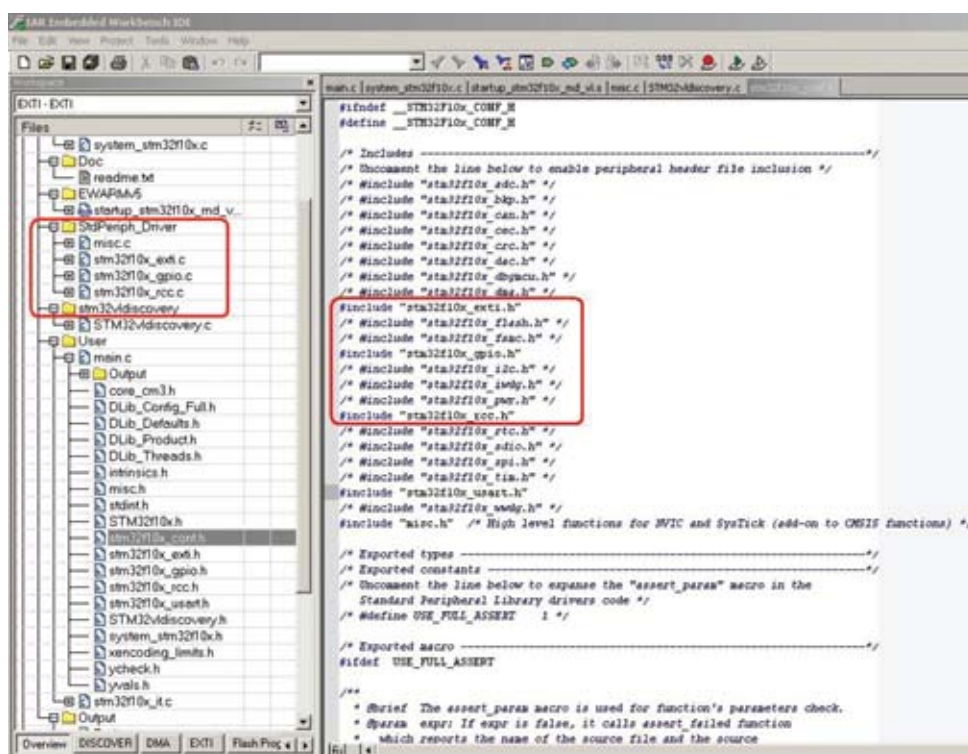


Рис. 13. Конфигурирование проекта

```
GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
// Разрешение тактирования модуля(RCC_APB2Periph_GPIOC)
RCC_APB2PeriphClockCmd(GPIO_CLK[Led], ENABLE);
// Установка вывода для дальнейшего использования(GPIO_Pin_9)
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_PIN[Led];
// Настройка вывода на выход push-pull
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_Out_PP;
// Настройка частоты переключения вывода
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
// Передача структуры - применение параметров
GPIO_Init(GPIO_PORT[Led], &GPIO_InitStructure);
}
```

Итак, для настройки ножки ввода-вывода сначала объявляется структура данных типа `GPIO_InitTypeDef`, далее заполняются ее поля, и эта структура с помощью функции `GPIO_Init()` «накладывается» на регистры периферийного модуля `GPIO` и, соответственно, настраивает модуль.

Функция `STM32vldiscovery_PBInit(BUTTON_USER, BUTTON_MODE_EXTI)` имеет более сложную реализацию, так как в ней настраиваются ножка микроконтроллера и внешнее прерывание на этой же ножке:

```
void STM32vldiscovery_PBInit(Button_TypeDef Button, ButtonMode_TypeDef Button_Mode)
{
// Объявление структуры модуля GPIO
GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
// Объявление структуры модуля EXTI
EXTI_InitTypeDef EXTI_InitStructure;
// Объявление структуры модуля EXTI
NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
// Разрешение тактирования модуля GPIOA(RCC_APB2Periph_GPIOA)
RCC_APB2PeriphClockCmd(BUTTON_CLK[Button] | RCC_APB2Periph_AFIO, ENABLE);
// Настройка вывода на вход
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_IN_FLOATING;
// Установка вывода для дальнейшего использования (GPIO_Pin_0)
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = BUTTON_PIN[Button];
// Передача структуры - применение параметров
GPIO_Init(BUTTON_PORT[Button], &GPIO_InitStructure);
if (Button_Mode == BUTTON_MODE_EXTI)
{
// Конфигурирование кнопки для внешнего прерывания
```

```
GPIO_EXTIConfig(BUTTON_PORT_SOURCE[Button],
BUTTON_PIN_SOURCE[Button]);
// Установка линии прерывания(EXTI_Line0)
EXTI_InitStructure.EXTI_Line = BUTTON_EXTI_LINE[Button];
// Конфигурация прерывания
EXTI_InitStructure.EXTI_Mode = EXTI_Mode_Interrupt;
// Конфигурирование внешнего прерывания по переднему фронту
EXTI_InitStructure.EXTI_Trigger = EXTI_Trigger_Rising;
// Разрешение прерывания
EXTI_InitStructure.EXTI_LineCmd = ENABLE;
// Применение параметров
EXTI_Init(&EXTI_InitStructure);
// Прерывание EXTI0_IRQn
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = BUTTON_IRQn[Button];
// Установка приоритета группы
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0x0F;
// Установка приоритета подгруппы
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 0x0F;
// Разрешение прерывания
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;
// Применение параметров
NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
}
```

Как уже говорилось выше, все вектора прерываний определены в файле `startup_stm32f10x_md_vl.s`, а обработчики прерываний реализуются в файле `stm32f10x_it.c`. Наш обработчик прерывания довольно прост: при нажатии на пользовательскую кнопку синего цвета происходит срабатывание внешнего прерывания по возрастающему фронту. В самом обработчике прерывания происходит переключение состояния светодиода и очищается флаг прерывания:

```
void EXTI0_IRQHandler(void)
{
if (EXTI_GetITStatus(USER_BUTTON_EXTI_LINE) != RESET)
{
// Переключение состояния светодиода
STM32VLDISCOVERY_LEDToggle(LED3);
// Сброс флага прерывания
EXTI_ClearITPendingBit(USER_BUTTON_EXTI_LINE);
}
}
```

Можно скомпилировать данный пример — *Project → Rebuilt all*, загрузить ПО в память микроконтроллера *Project → Download and Debug (Ctrl+D)* и проанализировать исполнение кода в режиме отладки. При нажатии на пользовательскую кнопку светодиод должен загораться или гаснуть. Но он будет вести себя не совсем предсказуемо, так как в данном примере не реализована функция устранениядребзга контактов кнопки.

Закключение

В статье на основе оценочной платы STM32VLDISCOVERY мы рассмотрели аспекты работы с семейством микроконтроллеров STM32, работу стандартной библиотеки периферийных устройств, а также разобрали небольшой пример. К сожалению, объем статьи ограничен форматом журнала и расписать все до мелочей нет возможностей. За дополнительной информацией следует обращаться на официальный сайт STMicroelectronics [1], где вы найдете большое количество разнообразных примеров, описаний и многое другое [8]. Автор искренне надеется, что данная статья поможет вам в первых шагах изучения семейства микроконтроллеров STM32.

Ссылки

1. www.st.com/mcu
2. [http://www.terraelectronica.ru/catalog_info.php?ID=1001&CODE=333824&Name=TE-STM32F103&Razdel=??????????%20?%20??????????%20??????%20?%20??????%20??????%20STM32%20\(Cortex-M3\)&TableName=class_19_2_40_4_6](http://www.terraelectronica.ru/catalog_info.php?ID=1001&CODE=333824&Name=TE-STM32F103&Razdel=??????????%20?%20??????????%20??????%20?%20??????%20??????%20STM32%20(Cortex-M3)&TableName=class_19_2_40_4_6)
3. www.iar.com
4. http://www.st.com/internet/com/SOFTWARE_RESOURCES/SW_COMPONENT/FIRMWARE/stm32vldiscovery_package.zip
5. <http://www.st.com/internet/evalboard/product/250863.jsp>
6. http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/USER_MANUAL/CD00283778.pdf
7. <http://www.iar.com/website1/1.0.1.0/78/1/>
8. <http://www.st.com/stonline/stappl/resourceSelector/app?page=resourceSelector&doctype=FIRMWARE&SubClassID=1169>

Нет механическим кнопкам!

STM8T141 — одноканальный, полностью интегрированный емкостной датчик, разработанный лидером европейской электронной индустрии — **STMicroelectronics** для замены электромеханических переключателей в чувствительных к цене приложениях. Во многих устройствах электро-механические переключатели уже полностью или почти вытеснены touch-sense-технологиями, и на это есть ряд объективных причин, прежде всего — невысокая надежность механических переключателей. Микросхема STM8T141 производится в 8-выводном корпусе с минимальным количеством внешних компонентов и идеально подходит для приложений, требующих одного переключателя. Он может быть сконфигурирован на срабатывание либо по прикосновению к датчику, либо на некотором расстоянии от него. Ультранизкое энергопотребление делает датчик идеальным решением для систем с батарейным питанием. STM8T141 обладает высокой чувствительностью и детектирует прикосновения почти через любой диэлектрик, что позволяет его использовать в различных приложениях. Например, он может быть замаскирован или загерметизирован в различных материалах, что позволяет многократно увеличить срок службы устройства в целом, а также использовать его в системах безопасности.

Основные характеристики:

- детектирование по прикосновению или на расстоянии (несколько см)
- встроенная функция управления защитой:
 - улучшенное детектирование на расстоянии
 - защита встроенного электрода от шумовых помех
- ультранизкое энергопотребление (11 мкА)
- встроенный регулятор напряжения
- фильтр компенсации влияния окружающей среды
- конфигурируемые опции:
 - четыре порога детектирования
 - четыре выходных режима
 - четыре режима низкого энергопотребления
 - конфигурация времени детектирования
- минимальное количество внешних компонентов.

Роман Иванов (г. Санкт-Петербург)

ПРЫЖОК ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ: МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ СЕРИИ STM32F2



Значительно возросшая производительность, работа без задержек на максимальной частоте благодаря новому ART-акселератору, увеличение скорости работы периферии и появление интерфейсов LCD и DCMI, применение в системах мультимедиа и передачи информации — все это новые микроконтроллеры STM32F2 от STMicroelectronics.

Компания STMicroelectronics (ST) является одним из лидеров рынка полупроводниковых компонентов. В 2007 году ST анонсировала выпуск нового семейства 32-разрядных микроконтроллеров STM32. Семейство было разработано с учетом требований, предъявляемых к встраиваемым приложениям: малое энергопотребление, высокая производительность и низкая цена. В основе новых микроконтроллеров лежит продукт сотрудничества компаний STMicroelectronics и ARM — процессорное ядро ARM Cortex-M3. За прошедшие годы микроконтроллеры STM32 успели завоевать большую популярность у разработчиков и стали лидерами рынка.

В настоящий момент компания STMicroelectronics готовит к выпуску новую линейку микроконтроллеров STM32F2xx, являющуюся продолжением популярной линейки микроконтроллеров STM32 на ядре ARM Cortex-M3. Образцы доступны с первого квартала 2011 года.

STM32F2xx

Новая линейка микроконтроллеров STM32F2xx производится по 90 нм технологии с использованием инновационного решения от ST — ускорителя памяти (ART Accelerator™), позволяющего работать с памятью без задержек на максимальных частотах. Производительность на тактовой частоте 120 МГц равна 150 DMIPS — это максимальное значение на сегодняшний день для ядра ARM Cortex-M3. Серия STM32F2xx характеризуется очень низким динамическим энергопотреблением, составляющим 188 мкА на 1 МГц, что эквивалентно 22,5 мА на 120 МГц. Обобщенная структура микроконтроллеров STM32F2xx представлена на рисунке 1.

Основные характеристики семейства:

- ARM 32-bit Cortex™-M3 CPU;
- Частота тактирования 120 МГц, 150 DMIPS/1,25 DMIPS/МГц (Dhrystone 2.1);
- Новая высокопроизводительная АНВ-матрица шин;
- До 1 Мбайта Flash-памяти;
- До 128 + 4 кбайт SRAM-памяти;
- Напряжение питания 1,8...3,6 В (POR, PDR, PVD и BOR);
- Внутренние RC-генераторы на 16 МГц и 32 кГц (для RTC);

- Внешний источник тактирования 4...26 МГц и для RTC — 32,768 кГц;
- Модули отладки SWD/JTAG, модуль ETM;
- Три 12-бит АЦП по 24 канала (скорость до 6 мегасэмплов, температурный датчик);
- Два 12-битных ЦАП;
- DMA-контроллер на 16 каналов с поддержкой пакетной передачи;
- 17 таймеров (16 и 32 разряда);
- Два сторожевых таймера (WDG и IWDG);
- Коммуникационные интерфейсы: I²C, USART (ISO 7816, LIN, IrDA), SPI, PS;
- CAN (2,0 B Active);
- USB 2.0 FS/HS OTG;
- 10/100 Ethernet MAC (IEEE 1588v2, MII/RMII);
- Контроллер SDIO (карты SD, SDIO, CE-ATA);

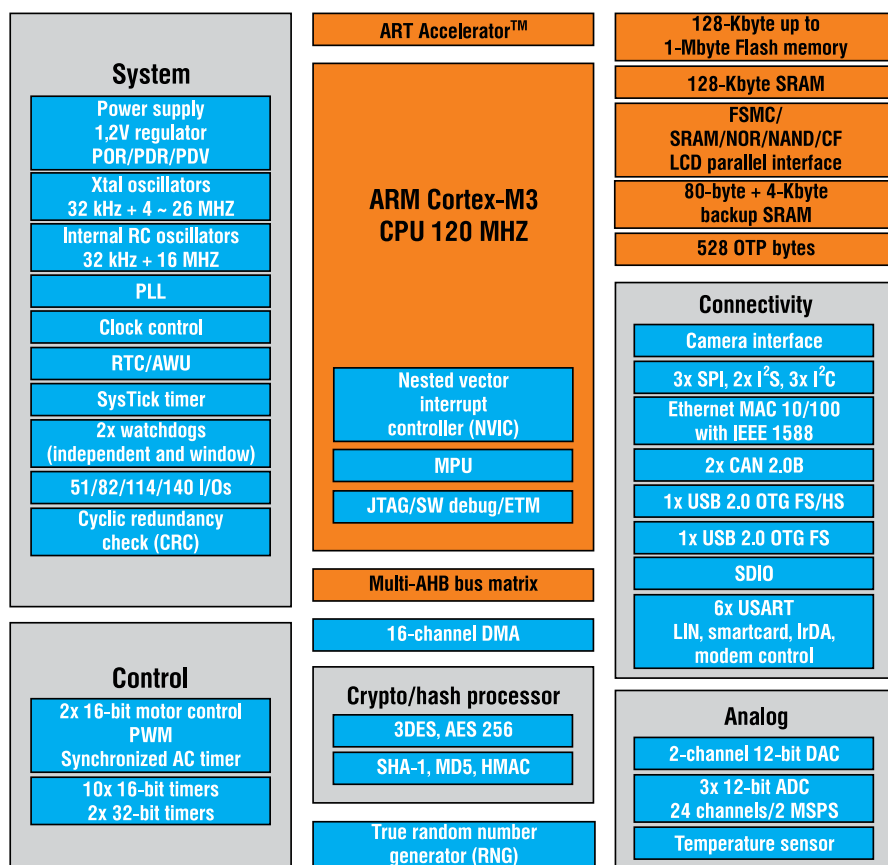


Рис. 1. Обобщенная структура микроконтроллеров STM32F2xx

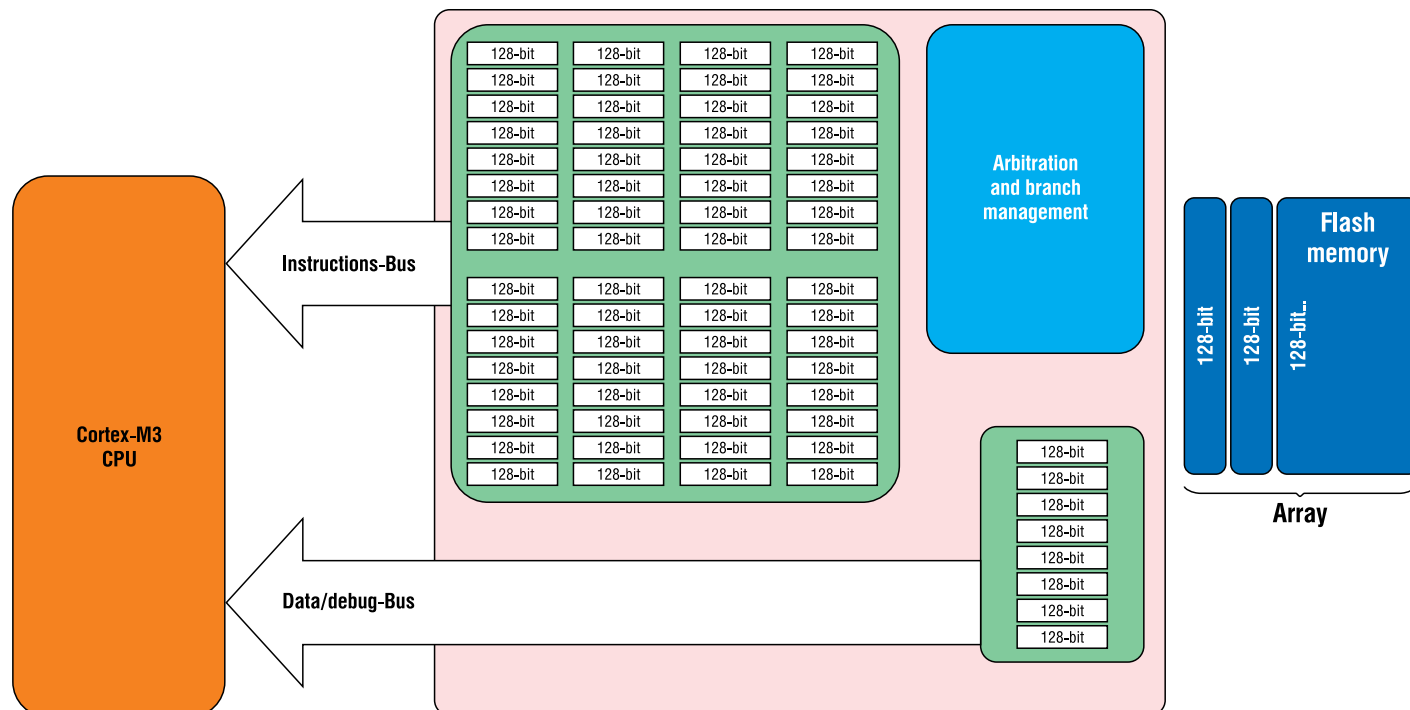


Рис. 2. Структура ART-акселератора

- Интерфейс цифровой камеры (8/10/12/14-битные режимы);
- FSMC-контроллер (Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR, NAND и LCD 8080/6800);
- Аппаратный генератор случайных чисел;
- Аппаратное вычисление CRC, 96-битный уникальный ID;
- Модуль шифрования AES 128, 192, 256, Triple DES, HASH (MD5, SHA-1);
- Расширенный температурный диапазон -40...105°C.

Остановимся подробнее на особенностях нового микроконтроллера.

Ядро

Как уже отмечалось, новые микроконтроллеры STM32F2xx созданы на основе зарекомендовавшего себя ядра ARM Cortex-M3. Максимальная тактовая частота по сравнению с предшественниками (серия STM32F1xx) увеличилась с 72 до 120 МГц.

Обычно быстродействие процессоров превышает быстродействие Flash-памяти, которая вынуждает ожидать процессор, работающий на высокой частоте. Новый ART-акселератор памяти (*Adaptive Real Time Memory*) позволяет в полной мере использовать высокое быстродействие ядра ARM Cortex-M3 — процессор может работать с Flash-памятью без циклов ожидания на собственной частоте, что значительно повышает быстродействие всей системы в целом.

Чтобы обеспечить высокую производительность процессора, ART-акселератор использует кэш очереди

предварительных выборок команд и переходов, позволяя выполнять записанные в 128-битной Flash-памяти программы с нулевым временем ожидания на частотах до 120 МГц (рисунок 2).

АНВ-матрица шин

Увеличение тактовой частоты ядра не могло обойтись без увеличения производительности АНВ-матрицы шин (частота работы выросла до 120 МГц). Новая 32-битная матрица шин связывает все ведущие устройства (Master — CPU, DMA, Ethernet, USBHS) и ведомые устройства (Slave — Flash, RAM, FSMC, АНВ и APB-периферия). Также матрица шин обеспечивает стабильную и эффективную работу в случае нескольких высокоскоростных устройств, работающих параллельно (рисунок 3).

Память

Вторым важным достоинством встроенной Flash-памяти, помимо быстродействия, является ее объем, который достигает 1 Мбайт. В настоящий момент это — максимальное значение среди микроконтроллеров на ядре ARM Cortex-M3. Объем SRAM-памяти достигает 128 кбайт. Также отметим, что по сравнению с предыдущим семейством область резервной памяти SRAM, контекст которой сохраняется (если это разрешено пользователем) при пропадании основного питания и автоматического переключения на батарейное питание, увеличилась до 4 кбайт и теперь защищена ключом защиты от несанкционированного чтения. Также имеется возможность подключения внешней па-

мяти через встроенный контроллер памяти FSMC.

Для защиты памяти от нежелательных изменений служит встроенный блок защиты памяти MPU (*Memory Protection Unit*), использование которого (например, в операционных системах реального времени) позволяет значительно повысить надежность приложений за счет защиты критичной информации, используемой операционной системой, от изменений. MPU может работать с восемью защищаемыми областями, которые могут быть поделены еще на восемь подобластей.

Питание, сброс и тактирование

Для питания микроконтроллера требуется источник питания с напряжением 1,8...3,6 В. Для питания ядра используется встроенный преобразователь напряжения. Подача питания на аналоговую часть осуществляется через отдельные выводы, специально выделенные для этой цели. Когда отсутствует постоянное питание, возможно использование батарейного, подаваемого через специальный вывод. Также в BGA-корпусах производитель предусмотрел отдельные 1,2 В выводы для питания ядра микроконтроллера с внешним более эффективным регулятором напряжения.

Микроконтроллер имеет встроенные схемы сброса при включении питания POR (*Power-on Reset*) и сброса при падении напряжения питания PDR (*Power-down Reset*), которые гарантируют стабильную работу контроллера при включении и выключении. Кроме того, возможен сброс по определенно-

му уровню напряжения питания BOR (*Brownout Reset*).

Для отслеживания напряжения питания без сброса микроконтроллера служит программируемый детектор напряжения PVD (*Programmable Voltage Detector*), который генерирует прерывание при прохождении напряжением питания определенной границы.

Для разработки приложений, требующих низкого энергопотребления, микроконтроллеры имеют три специальных режима работы.

Режим «Sleep». Процессор останавливает свою работу, а вся периферия продолжает работать и пробуждает процессор по наступлению определенного события. Потребление падает до единиц мА.

Режим «Stop». Потребление падает до десятков мкА. Все тактирование в зоне питания 1,2 В останавливается, PLL отключается. Состояние SRAM и регистров при этом сохраняются. Для выхода из режима необходимо прерывание от модуля EXTI.

Режим «Standby». Обеспечивает самое низкое потребление. Внутреннее питание 1,2 В отключается. Состояния SRAM и регистров не сохраняются. Для выхода из режима необходимо прерывание от часов реального времени, общий сброс или возрастающий фронт на ножке WKUP.

Микроконтроллер содержит улучшенный по сравнению с предыдущей серией встроенный откалиброванный при изготовлении RC-генератор (точность $\pm 1\%$), работающий на частоте 16 МГц. Его вполне можно использовать в приложениях, не требующих высокой точности и стабильности частоты. В качестве внешнего источника можно использовать кварцевый резонатор (или генератор) с частотой 4...26 МГц.

Для тактирования часов реального времени необходимо подключить внешний кварцевый генератор на частоту 32,768 кГц (можно также использовать внутренний низкочастотный осциллятор, но точностные характеристики при этом будут ниже).

Аналоговая периферия (АЦП и ЦАП)

Микроконтроллер содержит три аналого-цифровых преобразователя (АЦП) и два одноканальных цифро-аналоговых преобразователя (ЦАП). АЦП обладает разрешающей способностью 12 бит и скоростью преобразования два мегасемпла в одиночном режиме и шесть мегасемплов — в тройном режиме. Максимальное количество входных аналоговых каналов — 24. С помощью встроенного мультиплексора осуществляется коммутация аналоговых каналов и АЦП. Удобная система настроек АЦП позволяет производить однократные и циклические измере-

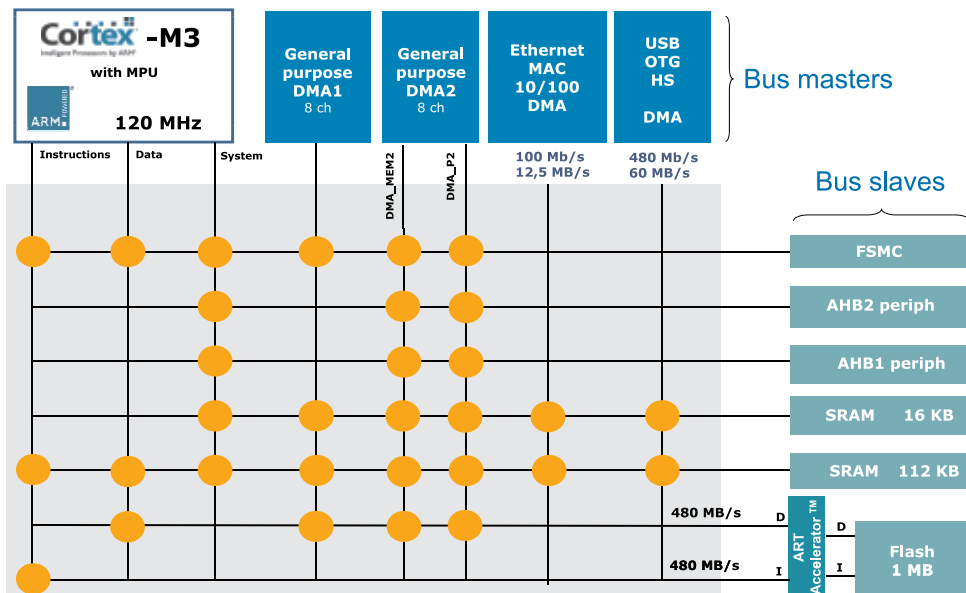


Рис. 3. Структура АНВ-матрицы шин

ния, задавая любой порядок следования аналоговых каналов. Также за АЦП сохранились различные варианты гибкой настройки как в одиночном, так и в обобщенных режимах. Преобразование на полных скоростях возможно при напряжении питания 2,4...3,6 В, а на более медленных скоростях — теперь возможно при снижении напряжения питания до 1,65 В.

Если есть необходимость контроля внутренней температуры микроконтроллера, можно использовать встроенный температурный датчик. На его выходе формируется напряжение в зависимости от окружающей температуры. Выход датчика через мультиплексор подключается к АЦП1. Используя температурный датчик, можно измерять температуру от -40 до 125°C с точностью $\pm 1,5^\circ\text{C}$.

ЦАП обладает разрешающей способностью 12 бит, преобразование возможно в 8/12-битовом формате с выравниванием этого результата по левому или правому краям. Также ЦАП имеет возможность автоматической генерации шумового сигнала с меняющейся амплитудой и треугольного сигнала.

DMA

Контроллер прямого доступа к памяти DMA (*Direct Memory Access*) состоит из двух модулей — DMA1 и DMA2 — и содержит 16 каналов. Каналы поделены на две группы: восемь каналов для модуля DMA1 и восемь — для модуля DMA2. Контроллер DMA осуществляет автономную передачу данных из памяти в память, из периферийного устройства в память, из памяти в периферийное устройство и из периферийного устройства в периферийное устройство. При передаче больших объемов данных модуль может последовательно передавать

данные в кольцевой буфер. DMA работает со всей наиболее важной периферией: SPI, I²S, I²C, USART, SDIO, DCMI, USB, Ethernet, ADC и DAC.

Таймеры

Микроконтроллеры новой линейки могут содержать до 17 таймеров: два 16-битных расширенных таймера для применения в широтно-импульсных модуляторах, два 32-битных таймера общего назначения, восемь 16-битных таймеров общего назначения и два 16-битных основных таймера, два сторожевых таймера (независимый и оконного типа), 24-битный системный таймер.

Отладка

Для подключения микроконтроллера к отладочным средствам используется двухпроводный SWD- (*Serial Wire Debug*) или четырехпроводный JTAG-интерфейс. Выходы SWD-интерфейса мультиплексированы с выходами JTAG. После включения питания или сброса в качестве отладочного порта инициализируется JTAG-интерфейс. Для перехода к использованию SWD достаточно послать определенный код на две ножки JTAG, с которыми он мультиплексирован. При необходимости можно программно переконфигурировать выводы отладочного порта в выводы общего назначения.

Интегрированная макроячейка трассировки (*Embedded Trace Macrocell™*) также расширяет функции отладки и позволяет наблюдать за потоком инструкций и данных внутри ядра CPU в реальном времени. Данные выводятся через ножки ETM на внешний TDA-анализатор. Анализатор подключается к компьютеру через USB, Ethernet или любой другой высокоскоростной канал.

Порты ввода-вывода общего назначения

Микроконтроллер оснащен большим количеством портов ввода-вывода общего назначения GPIO и может иметь до 140 двунаправленных выводов с возможностью генерации прерывания. Максимальная скорость переключения 100 МГц. Каждый порт может быть программно сконфигурирован как выход, вход или настроен на альтернативную функцию. Возможно использование внутренних подтягивающих резисторов к напряжению питания или нулю.

Коммуникационные интерфейсы

I²C-интерфейс (Inter-Integrated Circuit). Микроконтроллер содержит три модуля I²C. Каждый модуль может работать в режиме «Master» (с поддержкой режима «Multimaster») или «Slave». I²C-интерфейс поддерживает стандартные частоты передачи данных до 100 кГц и быструю передачу данных на частотах до 400 кГц. Возможна семи- и 10-битная адресация. В дополнение к стандартному набору I²C у микроконтроллера есть аппаратный блок проверки пакетных ошибок PEC (Packet Error Checking).

USB-интерфейс (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter). STM32F2xx содержит четыре модуля USART и два модуля UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter). Модули USART1 и USART6 могут работать на скоро-

стях до 7,5 Мбит/с. Остальные — до 3,75 Мбит/с. Возможна работа с LIN-, IrDA-устройствами, а также с модемами и смарт-картами. К нестандартным возможностям USART-модуля можно отнести возможность его работы с SPI-устройствами. В этом режиме модуль USART работает как ведущее SPI-устройство.

SPI-интерфейс (Serial Peripheral Interface). Микроконтроллер содержит три модуля SPI. Каждый модуль может работать в режиме «Master» или «Slave» и поддерживать дуплексную и симплексную передачу данных. Модуль SPI1 может работать на скоростях до 30 Мбит/с. Остальные — до 15 Мбит/с. Для каждого SPI можно задать полярность и фазу тактового сигнала. Данные могут передаваться 8/16-битными словами. В дополнение к стандартному набору функций SPI-модуля у микроконтроллера есть два аппаратных блока вычисления циклически избыточного кода CRC (один — для передачи, второй — для приема). Эта функция очень важна для подключения карт памяти SD/MMC.

I²S-интерфейс (Inter-Integrated Sound). STM32F2xx содержит два модуля I²S. Оба модуля мультиплексированы с SPI-интерфейсом. Каждый I²S-модуль может работать в режиме «Master» или «Slave» и поддерживает операции с 16/32-битным разрешением.

CAN-интерфейс (Controller Area Network). STM32F2xx содержит два контроллера CAN. Контроллер CAN

поддерживает стандарты 2.0A и 2.0B, активную и пассивную передачу данных на скоростях до 1 Мбит/с.

SDIO-интерфейс (Secure Digital Input/Output). SDIO позволяет микроконтроллеру обмениваться информацией с SD/SDIO/MMC-картами памяти и CE-ATA-устройствами (подробные спецификации можно найти на сайтах: www.mmca.org, www.sdcard.org, www.sdcard.org и www.ce-ata.org). STM32F2xx поддерживает спецификации: MultiMediaCard System спецификация версии 4.2, SDIO Card спецификация версии 2.0, SD Memory Card спецификация версии 2.0, CE-ATA протокол версии 1.1.

USB-интерфейс (Universal Serial Bus). STM32F2xx содержит два модуля USB. Первый — USB OTG full-speed. Поддерживает режимы «Device», «Host» и «OTG». Физический уровень выполнен на кристалле.

Второй — USB OTG high-speed. Поддерживает режимы «Device», «Host» и «OTG» на скоростях 12 и 480 Мбит/с. Физический уровень для скорости 12 Мбит/с выполнен на кристалле. Для реализации скорости в 480 Мбит/с необходим внешний высокоскоростной трансивер, подключаемый через ULPI.

Ethernet-интерфейс. Модуль Ethernet представлен не во всех микроконтроллерах линейки STM32F2xx, а только в сериях **STM32F207xx** и **STM32F217xx**. Ethernet-модуль соответствует стандарту IEEE802.3 и обе-

Таблица 1. Режимы пониженного энергопотребления STM8L

Наименование	Корпус	Объем Flash-памяти, кбайт	Объем SRAM-памяти, кбайт	АЦП	Поддерживаемые интерфейсы
STM32F205RB	LQFP 64	256	64	16x12-битных	3xSPI; 2xI ² S; 2xI ² C; 4xUSART; 2xUART; 1xUSB OTG FS/HS; 2xCAN; SDIO
STM32F205RC	LQFP 64	256	96	16x12-битных	
STM32F205RG	LQFP 64; WLCSP 64+2	1024	128	16x12-битных	
STM32F205VB	LQFP 100	128	64	16x12-битных	
STM32F205VC	LQFP 100	256	96	16x12-битных	
STM32F205ZC	LQFP 144	256	128	24x12-битных	3xSPI; 2xI ² S; 2xI ² C; 4xUSART; 2xUART; 2xUSB OTG FS/HS; 2xCAN; Ethernet MAC10/100; SDIO
STM32F207IG	LQFP 176; UFBGA 176+25	1024	128	24x12-битных	
STM32F207VC	LQFP 100	256	128	16x12-битных	
STM32F207VG	LQFP 100	1024	128	16x12-битных	
STM32F207ZC	LQFP 144	256	128	24x12-битных	
STM32F207ZG	LQFP 144	1024	128	24x12-битных	3xSPI; 2xI ² S; 2xI ² C; 4xUSART; 2xUART; 1xUSB OTG FS/HS; 2xCAN; SDIO
STM32F215RE	LQFP 64	512	128	16x12-битных	
STM32F215RG	LQFP 64	1024	128	16x12-битных	
STM32F215VE	LQFP 100	512	128	16x12-битных	
STM32F215VG	LQFP 100	1024	128	16x12-битных	
STM32F215ZE	LQFP 144	512	128	24x12-битных	3xSPI; 2xI ² S; 2xI ² C; 4xUSART; 2xUART; 2xUSB OTG FS/HS; 2xCAN; Ethernet MAC10/100; SDIO
STM32F215ZG	LQFP 144	1024	128	24x12-битных	
STM32F217IG	LQFP 176; UFBGA 176+25	1024	128	24x12-битных	
STM32F217VE	LQFP 100	512	128	16x12-битных	
STM32F217VG	LQFP 100	1024	128	16x12-битных	
STM32F217ZE	LQFP 144	512	128	24x12-битных	3xSPI; 2xI ² S; 2xI ² C; 4xUSART; 2xUART; 2xUSB OTG FS/HS; 2xCAN; Ethernet MAC10/100; SDIO
STM32F217ZG	LQFP 144	1024	128	24x12-bit	

Таблица 2. Основные характеристики микроконтроллеров различных производителей на ядре ARM Cortex-M3

Производитель	Рабочая частота, МГц	Объем Flash-памяти, кбайт	Объем SRAM-памяти, кбайт	Поддерживаемые интерфейсы
ST	120	1024	128	3xSPI; 2xI ² S; 2xI ² C; 4xUSART; 2xUART; 2xUSB OTG FS/HS; 2xCAN; Ethernet MAC10/100; SDIO
NXP	120	512	64	1xSPI; 1xI ² S; 2xI ² C; 4xUART; 1xUSB OTG FS; 2xCAN; Ethernet MAC10/100
Atmel	96	256	52	1xSPI; 1xI ² S; 2xI ² C; 4xUSART; 1xUART; 1xUSB FS/HS
TI	80	256	96	2xSPI; 1xI ² S; 3xI ² C; 3xUART; 1xUSB OTG FS; 3xCAN; Ethernet MAC10/100

спечивает передачу данных на скоростях 10 и 100 Мбит/с. Для реализации протоколов реального времени есть поддержка на аппаратном уровне протокола IEEE1588. Для подключения к физической линии необходимо использовать трансивер физического уровня (PHY). PHY подключается через порт MII (17 сигналов) или RMII (9 сигналов).

DCMI-интерфейс (Digital Camera Interface). DCMI является новинкой в серии микроконтроллеров STM32. Он представлен только в сериях STM32F207xx и STM32F217xx. DCMI позволяет соединить микроконтроллер с камерами и CMOS-сенсорами через параллельный интерфейс (8/10/12/14-битный).

FSMC-контроллер (Flexible Static Memory Controller). FSMC предоставляет возможность подключения к микроконтроллеру графических LCD-дисплеев и статической памяти. Поддерживаются следующие типы памяти: PC Card/Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR Flash и NAND Flash. Максимальная частота работы с памятью 60 МГц. FSMC также позволяет выполнять код из внешней памяти. Для более эффективной работы процессора контроллер памяти содержит FIFO-буфер на запись и позволяет использовать DMA-контроллер. Параллельный LCD-интерфейс поддерживает два режима с LCD графическими контроллерами: Intel 8080 и Motorola 6800.

Модуль шифрования

Модуль шифрования (cryptographic accelerator) представлен только в сериях STM32F215xx и STM32F217xx. Он позволяет аппаратно реализовывать различные алгоритмы шифрования, необходимые для обеспечения защиты информации.

Реализованы следующие алгоритмы шифрования:

- DES (Data Encryption Standard) — симметричный шифр;
- Triple DES (TDES) — симметричный блочный шифр;

- AES256 (Advanced Encryption Standard) — симметричный блочный шифр.

Поддержка хеширования:

- SHA-1 (Secure Hash Algorithm — 1) — алгоритм криптографического хеширования;
- MD5 (Message Digest 5) — 128-битный алгоритм хеширования.

Линейка STM32F2xx

В настоящий момент производитель анонсировал выход 25 новых микроконтроллеров в линейке STM32F2xx. Все линейка поделена на четыре семейства: STM32F205xx, STM32F207xx, STM32F215xx и STM32F217xx. Подробно ознакомиться с особенностями каждого из микроконтроллеров можно на сайте производителя по адресу: <http://www.st.com/internet/mcu/subclass/1169.jsp>. Общая информация по микроконтроллерам STM32F2xx представлена в таблице 1.

STM32F2xx на рынке решений ARM Cortex-M3

Микроконтроллеры STM32F2xx компании STMicroelectronics имеют на рынке немало конкурентов. В таблице 2 представлены основные характеристики микроконтроллеров на ядре ARM Cortex-M3 разных производителей. Как видно из таблицы, в настоящий момент STM32F2xx является лидером среди своих «одноклассников». Единственными конкурентами микроконтроллеров ST по производительности являются контроллеры компании NXP. Но микроконтроллеры NXP значительно проигрывают по объемам встроенной Flash- и SRAM-памяти, а при создании серьезных проектов большой объем памяти является весьма важным аргументом. По уровню насыщенности всевозможными интерфейсами STM32F2xx вообще не имеет конкурентов.

Заключение

Новая линейка микроконтроллеров STM32F2xx компании STMicroelectronics интегрировала все

лучшее от своих предшественников — серии STM32F1xx. Главное преимущество новой серии — значительно возросшая производительность: скорость работы ядра у STM32F2xx выросла с 72 до 120 МГц, и был применен принципиально новый ускоритель памяти (ART Accelerator™), позволяющий работать без задержек на максимальной частоте. Увеличилась производительность АНВ-матрицы шин. С ростом производительности ядра увеличилась и скорость работы периферии. Также стоит отметить и увеличение общего числа доступной периферии. У новых микроконтроллеров появились ранее недоступные интерфейсы: USB 2.0 high-speed, DCMI, модуль шифрования, дополнительные 32-разрядные таймеры и генератор случайных чисел (RGN).

Новые возможности STM32F2xx дают разработчикам возможность применять эти микроконтроллеры в самых различных областях.

Возросшая производительность и новые интерфейсы LCD и DCMI позволяют строить мультимедийные системы, в которых необходимо реализовать функции обработки аудио и видео, кодирования данных, цифровую фильтрацию.

Появившийся модуль шифрования открывает микроконтроллерам STM32F2xx доступ к использованию в защищенных системах передачи информации.

Высокая производительность позволит в полной мере использовать DSP-библиотеку. Это программное обеспечение позволяет использовать возможности ядра по цифровой обработке сигнала. В библиотеку включено множество полезных функций: ПИД-регулятор, преобразование Фурье и цифровые фильтры. Использование DSP-библиотеки позволит отказаться от использования более дорогих микроконтроллеров или дополнительных DSP-устройств.

Возросшее быстродействие АЦП позволит увеличить скорость обработки аналоговых сигналов, что особенно важно в аппаратуре защиты (например — в релейной защите).

Выпуском в свет новых микроконтроллеров STM32F2xx компания STMicroelectronics значительно обновила свою линейку 32-битных микроконтроллеров на ядре ARM Cortex-M3. Новые МК несомненно должны занять лидирующее положение в своем сегменте рынка. В ближайшее время ожидается выход МК на основе ядер Cortex-M4 и Cortex-M0.

Ядро Cortex-M4 будет совместимо с Cortex-M3 и дополнено командами

обработки сигналов (DSP) и вычислениями с плавающей запятой (FPU). На ядре Cortex-M0 будут выпускаться недорогие контроллеры с невысокой производительностью. Все новые микроконтроллеры на базе Cortex-M4 и M0 будут программно и по выводам совместимы с существующими микроконтроллерами STM32F1xx и STM32F2xx на ядре Cortex-M3. Сохранение отладочных средств и программного обеспечения позволит ис-

пользовать новые микроконтроллеры с уже имеющимися программным кодом и аппаратными средствами.

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

PLUG&PLAY

STM32F2 – новый эталон качества 32-разрядных микроконтроллеров

Семейство 32-разрядных микроконтроллеров STM32 компании STMicroelectronics после появления сразу обратило на себя внимание отечественных разработчиков. Оно отличается сбалансированностью характеристик ядра и набора периферийных блоков. Микроконтроллеры **STM32F1** в настоящее время имеют процессор с максимальной частотой 72 МГц, Flash-память до 1 МБ, RAM до 96 кБ и большой набор интерфейсов, включая Ethernet, USB-OTG, CAN. Значительным преимуществом является наличие 12-разрядных АЦП и ЦАП.

За прошедшее время микроконтроллеры STM32 проявили себя как удобные для проектирования, надежно работающие электронные компоненты. Их программирование поддержано обширными библиотеками Standard Peripheral Library, которые позволяют использовать отлаженные функции ввода-вывода.

Первая генерация семейства STM32 установила эталон качества среди 32-разрядных микроконтроллеров, а невысокая цена позволила рекомендовать это семейство разработчикам для пере-

хода с 8- и 16-разрядных архитектур на 32-разрядные.

Оценив перспективность семейства STM32, компания **Терраэлектроника** разработала на основе этих микроконтроллеров многоцелевые модули **TE-STM32F103** и **TE-STM32F107**.

TE-STM32F103 (рис. 1) основан на микроконтроллере линейки Performance Line и позиционируется как универсальный бюджетный модуль, который может, в том числе, служить учебно-демонстрационным средством для освоения 32-разрядных микроконтроллеров.

Модуль TE-STM32F107 (рис. 2) реализован на микроконтроллере линейки Connectivity Line, в котором flash-память уменьшена, зато в набор интерфейсов входят порты Ethernet, USB OTG, два порта CAN. TE-STM32F107 позиционируется как универсальный модуль с расширенным набором коммуникационных интерфейсов.

Микроконтроллеры второй генерации семейства, **STM32F2**, разработаны на основе технологии 90 нм. Это позволило увеличить максимальную тактовую частоту до 120 МГц, объединить в старших моделях все периферийные блоки, которые ранее были отработаны в микроконтроллерах разных линий первой

генерации. Важным успехом является согласованная работа процессора и памяти программ без тактов ожидания на всех частотах, вплоть до максимальной. Это достигнуто за счет введения специального блока **ART Accelerator**.

Увеличенная скорость преобразования 12-разрядных АЦП и ЦАП наряду с новым набором DSP-команд позволят семейству STM32F2 бороться за лидерство в классе сигнальных микроконтроллеров.

Важной функцией 32-разрядных микроконтроллеров является работа с цветными графическими дисплеями. Высокая частота процессора и внутренней матрицы шин, наличие блоков FSMC, SDIO и интерфейса цифровой камеры дают возможность реализовать на микроконтроллерах STM32F2 развитые системы приема, хранения и визуализации графических данных.

Компания **Терраэлектроника** начала работы по инструментальному сопровождению микроконтроллеров STM32F2. Разрабатывается модуль **TE-STM32F217**, который сможет выполнять функции отладочного средства, а также работать в системах автоматизации в виде готового узла. На плате располагаются микроконтроллер, память NAND-flash, слот карты microSD, гальванически изолированные интерфейсы RS-232 и CAN. Гибкая система питания обеспечит работу от внешнего источника + (12...36) В и напряжения +5 В разъема интерфейса USB OTG. Модуль TE-STM32F217 сможет работать в тандеме с дисплейными модулями TE-ULCD35/56.

Совокупность основных параметров семейства STM32F2 позволяет рекомендовать эти микроконтроллеры к широкому применению в системах научного эксперимента, промышленной автоматизации, медицинских и мобильных приборах.

Владимир Бродин,
компания Терраэлектроника



Рис. 1. Многоцелевой модуль TE-STM32F103



Рис. 2. Многоцелевой модуль TE-STM32F107

Роман Попов, Кирилл Автушенко (КОМПЭЛ)

АВТОНОМНОЕ ПИТАНИЕ? – ВЫБИРАЕМ STM32L

Новое семейство 32-разрядных микроконтроллеров STM32L компании STMicroelectronics обеспечивает ультранизкое динамическое энергопотребление, сохраняя высокую производительность, свойственную ядру ARM Cortex-M3.

При разработке устройств с автономным питанием обычно учитываются два основных параметра — энергопотребление в динамическом режиме и в режиме сна. Это обусловлено различными требованиями к работе конечных приложений. Например, одному приложению необходимо постоянно работать в активном режиме и потреблять при этом минимум энергии. Второму же наоборот, важно потребление не в динамическом режиме, а в режиме глубокого сна, поскольку к основным целям относятся активация микроконтроллера в редкие промежутки времени, выполнение некоторых действий и повторный переход в режим сна. Учитывая эти два параметра, компания STMicroelectronics разработала 32-разрядный микроконтроллер STM32L на основе ядра ARM Cortex-M3.

По сравнению с STM32F в линейке STM32L появились изменения, характерные для низкопотребляющего семейства — добавилась система динамического изменения напряжения ядра, появились дополнительные режимы энергопотребления. Также изменения коснулись периферии. Остановимся более подробно на этих пунктах.

Режимы питания ядра

Линейка STM32L сочетает в себе высокую производительность и плотность кода, присущие всем микроконтроллерам на ядре ARM Cortex-M3, низкое энергопотребление в активном и спящем режимах. Однако за высокую производительность приходится расплачиваться высоким энергопотреблением. Для большинства приложений выигрыш заключается в меньших затратах времени на выполнение задачи после выхода МК в активный режим работы (режим «Run»). Если рассматривать энергопотребление в процессе обработки данных или работы микроконтроллера,

то оно, выраженное в мА/DMIPS (benchmark Rev 2.0), у Cortex-M3 значительно лучше, чем в других архитектурах, в частности, 16-битных. Производительность в DMIPS/МГц задается ядром и интерфейсом памяти, энергопотребление в мА/DMIPS в процессе работы может быть максимизировано с помощью регулирования напряжения питания. Именно этот метод был применен в STM32L, а именно — динамическая адаптация напряжения питания в зависимости от необходимой частоты тактирования микроконтроллера. При работе МК на максимальной частоте (для полного использования всех его возможностей — производительности, периферии) обычно необходимо, чтобы верхняя граница питающего напряжения составляла 3...3,3 В. В случае если контроллеру необходимо переключиться в режим низких частот тактирования, это напряжение является избыточным и несет с собой излишние затраты по энергопотреблению. В этих целях в линейке STM32L реализовано динамическое изменение напряжения ядра микроконтроллера.

STM32L предоставляет возможность динамического изменения напряжения питания ядра в трех диапазонах: 1,8 В (Range 1); 1,5 В (Range 2) и 1,2 В (Range 3). Такая особенность позволяет добиться общего снижения энергопотребления более чем на 25%. Таким образом, конфигурирование напряжения питания ядра в совокупности с режимами ультранизкого энергопотребления позволяет подходить к регулированию потребления более гибко. Особенности возможностей тактирования и общего энергопотребления в зависимости от напряжения питания ядра отражены на рисунке 1.

На рисунке 1 показаны зависимости частот тактирования от напряжения питания ядра и общего напряжения питания микроконтроллера. В первом диапазоне (Range 1) достигается максимальная производительность без каких-либо ограничений. Во втором диапазоне (Range 2) максимальная частота тактирования ограничена 16 МГц. В третьем диапазоне (Range 3) максимальная частота контроллера ограничена 4 МГц. На рисунке приводятся цифры энергопотребления микроконтроллера со всей включенной периферией и исполнением

На рисунке 1 показаны зависимости частот тактирования от напряжения питания ядра и общего напряжения питания микроконтроллера. В первом диапазоне (Range 1) достигается максимальная производительность без каких-либо ограничений. Во втором диапазоне (Range 2) максимальная частота тактирования ограничена 16 МГц. В третьем диапазоне (Range 3) максимальная частота контроллера ограничена 4 МГц. На рисунке приводятся цифры энергопотребления микроконтроллера со всей включенной периферией и исполнением

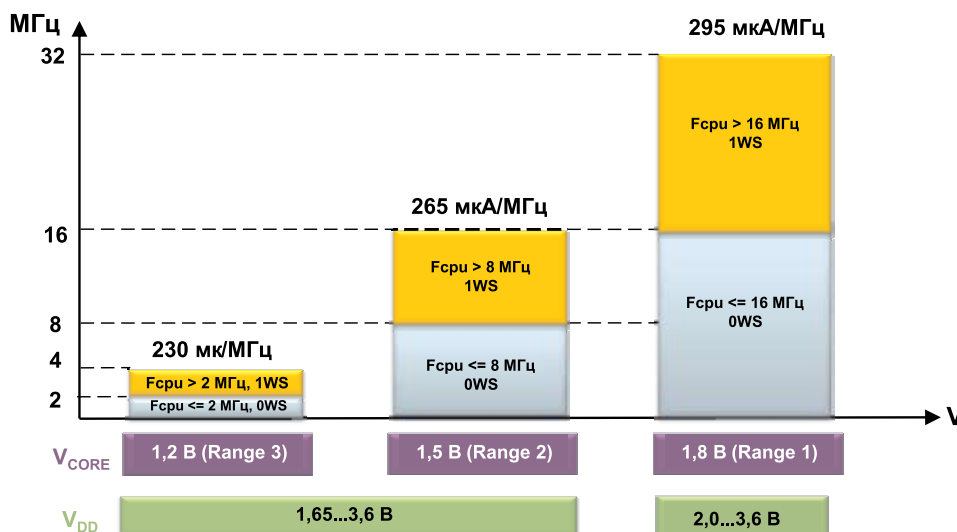


Рис. 1. Зависимость производительности STM32L от напряжения питания ядра

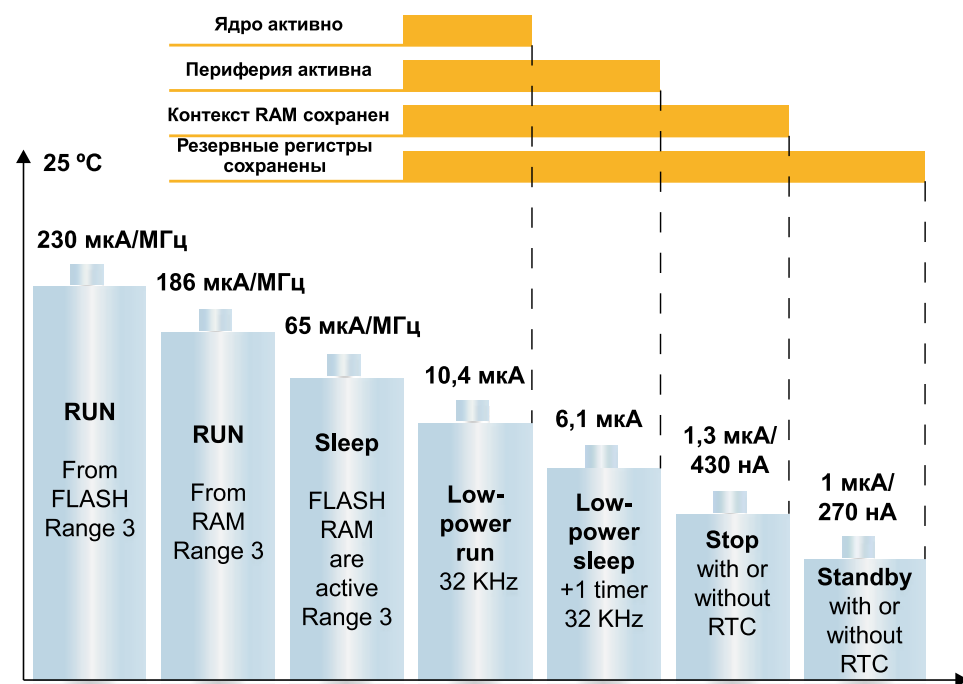


Рис. 2. Общая картина энергопотребления STM32L

программного обеспечения из FLASH и SRAM.

Режимы пониженного энергопотребления

Существуют несколько возможностей уменьшения общего энергопотребления, которые в совокупности позволяют значительно снизить энергопотребление микроконтроллера — снижение напряжения питания, отключение тактирования неиспользуемых периферийных модулей, снижение частоты тактирования ядра микроконтроллера и его шин. Большого снижения энергопотребления можно достичь путем отключения частотно-независимых источников (источники тактирования, энергонезависимой памяти и регулятора напряжения).

Рассмотрим обобщенную схему энергопотребления линейки STM32L (рис. 2.)

При более детальном рассмотрении рисунка видно, что потребление в активном режиме при выполнении программы из flash-памяти составляет порядка 230 мкА/МГц. Второй режим — flash-память отключена, программа выполняется только из SRAM-памяти, и потребление в этом случае составляет 186 мкА/МГц. Далее идут режимы пониженного потребления с различными характеристиками при работе от встроенного низкочастотного источника тактирования. Отметим лишь два последних режима. Потребление в стоп-режиме с активными и неактивными часами реального времени (RTC) составляет 1,3 мкА и 430 нА, соответственно, при этом важный момент — контекст SRAM-памяти сохраняется. Более детальная картина энергопотребления рассмотрена в таблице 3. Всего же в линейке STM32L доступно семь режимов пониженного

энергопотребления, более подробная информация представлена в таблице 1.

Рассмотрим приведенные в таблице 1 режимы более подробно.

- **Sleep** — остановлено только ЦПУ. Вся периферия продолжает работать и может вызвать пробуждение процессорного ядра через прерывание или событие.

- **Low power run** — вход в режим осуществляется установкой MSI-осциллятора на минимальную частоту (64 кГц), переводом внутреннего регулятора напряжения в энергосберегающий режим и выполнением программы из RAM или flash-памяти. В этом режиме можно добиться потребления в 10,4 мкА, если исполнять программный код из RAM-памяти на частоте 32 кГц.

- **Low power Sleep** — вход осуществляется командой перехода в Sleep-режим при нахождении регулятора напряжения в энергосберегающем режиме. Типовой пример использования данного режима — работа на частоте 32 кГц. При появлении прерывания или наступлении события система переходит в рабочий режим со включением регулятора. При выключенной периферии режим позволяет добиться потребления всего в 4 или 5 мкА, если один из таймеров запущен на частоте 32 кГц.

- **Stop (с активным RTC или без него)** — позволяет добиться минимального энергопотребления при сохранении содержимого регистров и RAM. В этом режиме всё тактирование элементов ядра прекращено; PLL, MSI, HSI и HSE-осцилляторы остановлены; регулятор находится в энергосберегающем режиме. Микроконтроллер может выйти из режима за 8 мкс по сигналу EXIT, источником которого могут быть различные события модулей RTC, USB или компараторов.

- **Standby (с активным RTC или без него)** — позволяет добиться ультранизкого энергопотребления. В этом режиме внутренний регулятор напряжения выключен, и питание всех эле-

Таблица 1. Сравнение производительности 32-битных микроконтроллеров на основе CoreMark

Режимы пониженного энергопотребления	Энергопотребление	Функциональные модули						
		ЦПУ	FLASH/EEPROM	RAM	DMA и периферия	Тактирование	LCD	RTC
Sleep	100 мкА/МГц (Range 1)	неактив.	вкл	вкл	активна	любое	доступно	
	82 мкА/МГц (Range 2)							
	65 мкА/МГц (Range 3)							
Low power run	10,4 мкА (FLASH выкл, 32 кГц частота)	активен	вкл или выкл	вкл	активна	MSI		
Low power sleep	5,1 мкА (таймер выкл)	неактив.	выкл	вкл	активна	MSI		
	6,1 мкА (таймер вкл.)							
Stop (RTC активен)	1,3 мкА (1,8 В)	неактив.	выкл	вкл	неактив.	LSE, LSI		
	1,6 мкА (3 В)							
Stop	500 нА	неактив.	выкл	вкл	неактив.	LSE, LSI	выкл	выкл
Standby (RTC активен)	1 мкА (1,8 В)	выкл	выкл	выкл	выкл	LSE, LSI	выкл	вкл
	1,3 мкА (3 В)				выкл	выкл	выкл	вкл
Standby	270 нА	выкл	выкл	выкл	выкл	LSE, LSI	выкл	выкл

Таблица 2. Характеристики источников тактирования

Источник тактирования	Используется для:	Частота	Потребление типовое, мкА	Точность	Подстройка	
					завод	потребитель
HSE	задающий генератор (Master Clock), RTC, LCD	1...24 МГц	500...700	зависит от кристалла, 10ppm	не применяется	
LSE	RTC и LCD	32,768 кГц	0,45 (1,8 В) 0,6 (3 В)	зависит от кристалла, 5 ppm		
HSI	задающий генератор (Master Clock)	16 МГц	100	1% (тип.)	есть	есть
MSI	задающий генератор (Master Clock)	64 кГц	0,6	—	есть	есть
		128 кГц	0,9			
		256 кГц	1,4			
		512 кГц	2,2			
		1,02 МГц	4			
		2,1 МГц	7			
		4,1 МГц	12			
LSI	RTC, LCD, WDT	38 кГц	0,4 (3 В)	-30%+50%	нет	нет, f_{LSI} можно измерить

Таблица 3. Зависимость работы периферии от напряжения питания

Напряжение питания (Vdd), В	АЦП	USB	Напряжение питания ядра (Vcore), В	Максимальная частота тактирования ядра (Fcpu), МГц
1,65...1,8	Не работает	Не работает	Range 2 или Range 3	16 (1WS) 8 (0WS)
1,8...2	Время преобразования до 2 мкс	Не работает	Range 2 или Range 3	16 (1WS) 8 (0WS)
2...2,4	Время преобразования до 2 мкс	Работает	Range 1, Range 2, Range 3	32 (1WS) 16 (0WS)
2,4...3,6	Время преобразования до 1 мкс	Работает	Range 1, Range 2, Range 3	32 (1WS) 16 (0WS)

ментов ядра прекращено. Все прочие осцилляторы, кроме LSI и LSE, также отключены. Содержимое RAM-памяти и регистров, за исключением системных (логики пробуждения, независимого сторожевого таймера (IWDG), RTC, LSI, LSE, модуля управления сбросом (RCC)), теряется. Устройство выходит из Standby-режима за 60 мкс при наступлении одного из следующих событий:

- 1) Внешний сброс (вывод NRST);
- 2) Сброс IWDG;
- 3) Появление прямого фронта на одном из выводов WAKEUP;
- 4) Сигнал тревоги RTC, искажение данных в регистре RTC, сигнал пробуждения от RTC.

В данном режиме при выключенном модуле часов реального времени потребление микроконтроллера не превышает 270 нА.

По сравнению с основными режимами пониженного энергопотребления линейки STM32F, в линейке STM32L добавились два новых режима: «Low Power Run» и «Low Power Sleep». Они обеспечивают рабочий и спящий режимы для приложений с чрезвычайно низким потреблением в случаях, когда некоторые периферийные модули не могут быть отключены (например, модуль передачи данных или таймеры), а также при длительной работе ЦПУ на низких частотах. Для дальнейшего уменьшения энергопотребления можно использовать следующие рекомендации:

- Регулятор напряжения можно перевести в энергосберегающий режим для снижения тока потребления;

- Энергонезависимую память можно выключить, а исполнение программы проводить из RAM;

- Внутренний RC-осциллятор можно использовать для формирования основного тактового сигнала.

Управление тактированием

Для реализации всего спектра режимов пониженного энергопотребления микроконтроллеры семейства STM32L имеют блок управления сбросом и тактированием (RCC — Reset and Clock Control), дающий возможность настройки и выбора любого из пяти источников тактовых импульсов.

Для приложений, требующих высокой точности вычислений, доступны два типа внешних источников тактирования:

- HSE (High Speed External clock) — внешний источник тактирования с частотой 4...24 МГц, обычно используемый блоком PLL для такти-

рования ЦПУ на частоте до 32 МГц и USB-модуля на частоте 48 МГц;

- LSE (Low Speed External clock) — часовой кварц с частотой 32,768 кГц, обычно используемый для тактирования часов реального времени (RTC), который может применяться в качестве тактового сигнала для LCD.

Существуют три внутренних источника тактирования, которые могут быть использованы для различных задач:

- LSI (Low Speed Internal clock) — внутренний осциллятор с частотой 37 кГц, являющийся низкоточным и сверхнизкопотребляющим источником тактовых импульсов, который может применяться для работы часов реального времени (с ограниченной точностью), LCD-контроллера или независимого сторожевого таймера (IWDG);

- HSI (High Speed Internal clock) — высокоскоростной внутренний 16 МГц осциллятор с компенсацией напряжения;

Периферийный модуль АЦП

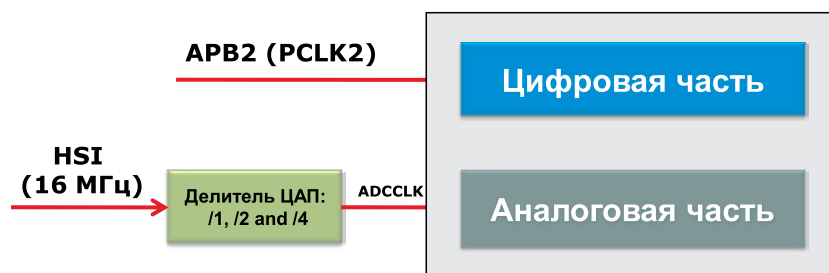


Рис. 3. Система тактирования модуля АЦП

• **MSI** (*Multi-Speed Internal clock*) — осциллятор средней точности с конфигурируемой частотой тактирования от 64 кГц до 4 МГц и низким потреблением. MSI был специально разработан для гибкого контроля энергопотребления в зависимости от частот тактирования микроконтроллера.

Приведенная ниже таблица 2 содержит характеристики всех описанных источников тактирования.

Для большинства технических решений стоимость внешнего осциллятора не является значительной, и единственным источником тактирования в подобной системе может выступать внутренний источник тактирования микроконтроллера. Для удовлетворения требований к точности STM32L предоставляет несколько способов измерения точности встроенных источников тактирования.

Несмотря на то, что встроенные источники тактирования (HSI и MSI) откалиброваны при изготовлении, они могут быть в дальнейшем программно откалиброваны до точности 0,5%, чтобы компенсировать частотную нестабильность, вызываемую изменениями напряжения питания и температуры кристалла. Точно так же исходное отклонение низкочастотного источника тактирования LSI может быть вычислено и скомпенсировано с помощью более точного внутреннего (HSI) или внешнего (LSE, HSE) источников тактирования. Например, в приложениях часто используются часы реального времени (RTC), а для их тактирования зачастую используется внешний источник на 37,768 КГц. Как правило, низкочастотные внешние источники тактирования (LSE) имеют довольно высокую точность параметров и могут использоваться для калибровки встроенных источников тактирования, например, MSI, во время выполнения программы.

Особенности использования периферии

Помимо разнообразных режимов регулирования энергопитания микроконтроллеров, немаловажными являются особенности периферийных модулей, которые также позволяют оптимизировать их для снижения энергопотребления. Некоторые из таких модулей требуют особого внимания по управлению питанием для достижения минимального потребления МК, например, модуль АЦП.

STM32L имеет встроенный модуль 12-битного АЦП со скоростью семплирования до 1 MSPS (1 мкс). По сравнению с линейкой STM32F подход к работе модуля АЦП в STM32L был значительно изменен. В семействе STM32 АЦП является очень быстрым, тщательные измерения входных сигналов могут резко сократить срок жизни аккумуля-

тора, т.к. требуют постоянного энергопитания модуля АЦП, потребляющего до 1,45 мА независимо от режима работы микроконтроллера. Соответственно, АЦП в STM32L должен затрачивать минимум времени на преобразование аналогового сигнала. Для реализации этого подхода система тактирования АЦП разделена на две части — аналоговую и цифровую с различными источниками тактирования (рис. 3).

Сигнал тактирования на аналоговую часть поступает от высокоскоростного источника (HSI) независимо от тактирования ядра и остальной периферии микроконтроллера. Данный подход позволяет ядру микроконтроллера работать на низких частотах в экономичном режиме, тогда как процесс преобразования аналогового сигнала может происходить на высокой частоте. Тем самым минимизируется время работы АЦП в активном режиме, и соответственно, снижается общее потребление системы в целом. Реализованная в АЦП процедура самокалибровки, быстрый выход АЦП на рабочий режим при подаче на него питания (3,5 мкс) и малое время преобразования (1 мкс) позволяют выполнить шесть преобразований менее чем за 10 мкс. Это позволяет выключать АЦП сразу после завершения преобразования и включать его непосредственно перед проведением измерений. Такой подход при переключении питания АЦП с частотой, например, 1 кГц позволяет добиться среднего уровня энергопотребления АЦП не более 10,5 мкА. Модуль АЦП может активироваться либо по одному из сигналов от таймера, либо от внешнего источника. С помощью таймеров, которые могут работать в режимах пониженного энергопотребления, можно задавать разнообразные временные комбинации запуска АЦП.

Время, затрачиваемое системой на включение/выключение модуля АЦП описанным выше образом, пренебрежимо мало при работе ядра на высоких частотах, но может быть значительным при работе от низкоскоростных источников тактирования. Поэтому модуль АЦП снабжен системой автоматического выключения питания по завершению преобразования с возможностью одновременной генерации прерывания ядра для получения и обработки результатов измерения.

Три модуля периферии были разработаны специально для постоянного использования в Stop-режиме, когда тактирование прекращено, а питание источника тактирования и памяти выключено:

- Пара компараторов может использоваться для контроля уровня внешних напряжений, при этом их потребление составляет не более 3 мкА. Компараторы могут выводить ядра из Stop-режима при достижении напряжением определенного значения и могут использовать-

ся совместно для задания оконного режима контроля напряжения.

- Модуль часов реального времени с функцией календаря может использоваться для выведения микроконтроллера из состояния сна. Работа RTC возможна даже в Standby-режиме, при котором большая часть питания микроконтроллера выключена. Этот модуль был разработан с применением технологии асинхронного дизайна, что позволило достичь минимального энергопотребления (менее 1 мкА).

- ЖК-индикатор является наиболее часто применяемым типом дисплея в приложениях с низким энергопотреблением благодаря малому току потребления, низкой стоимости и простоте изготовления индикаторов индивидуального вида. В линейке **STM32L152xx** интегрирован гибкий контроллер ЖК-дисплеев, который может работать с разрешением до 8х40 и имеет встроенный повышающий преобразователь для задания требуемого типа контрастности изображения в широком диапазоне напряжений питания системы. Потребление контроллера составляет не более 5 мкА (потребление самого ЖК-индикатора не учитывается).

Контроль напряжения питания микроконтроллера

Система сброса является важной частью в работе любого микроконтроллера. В STM32L реализован улучшенный супервизор напряжения питания с несколькими программируемыми опциями, активный во всех фазах работы микроконтроллера. Процесс включения или сброса микроконтроллера важен, так как внутренняя схема должна быть автоматически проинициализирована в определенном порядке с применением критических параметров, извлекаемых из энергонезависимой памяти. Именно в этот момент времени важна стабильность питающего напряжения микроконтроллера. Схема сброса гарантирует, что контроллер перейдет в режим сброса (включится), если напряжение питания станет более 1,8 В вне зависимости от времени нарастания напряжения питания Vdd. После того как прошла первоначальная фаза включения микроконтроллера, разработчик может активировать или деактивировать модуль BOR (brown-out-reset) для постоянного мониторинга напряжения питания. Модуль BOR позволяет выбрать один из пяти уровней напряжения. Функционал этой опции располагается в энергонезависимой памяти для обеспечения независимости супервизора питания от программной реализации. Функциональность супервизора питания дополняется семиуровневым детектором напряжения PVD (programmable voltage detector). Модуль PVD может активироваться программно и генерировать прерывание

в случае выхода напряжения питания за пределы заранее сконфигурированного порога напряжения.

Принцип работы супервизора напряжения питания показан на рисунке 4.

Энергопотребление модулей BOR и PVD составляет ниже 3 мкА в активном режиме работы микроконтроллера, но эта, на первый взгляд — небольшая, цифра может оказаться весомой в режимах глубокого сна. В STM32L существует возможность автоматически отключать модули BOR и PVD в режимах глубокого сна микроконтроллера и включать при переходе микроконтроллера в активный режим работы. Данный способ позволяет снизить энергопотребление микроконтроллера в спящих режимах при очень малом потреблении и избежать опасности при переходе в активный режим.

Линейка STM32L может работать при напряжении питания 1,65 В с очень малыми ограничениями: лишь модули USB, АЦП и ЦАП не могут использоваться во всем рабочем диапазоне напряжений (табл. 3).

В диапазоне энергоснабжения 1,65...1,8 В модули USB и АЦП не могут использоваться; вся остальная периферия доступна разработчику. В диапазоне 1,8...2,0 В модуль USB все еще не может использоваться; модуль АЦП может использоваться, но с ограничением по скорости преобразования, которая в два раза меньше максимально доступной и составляет 2 мкс. В диапазоне 2...2,4 В уже можно использовать модуль USB, но модуль АЦП все еще работает на более медленной скорости. И наконец, в диапазоне 2,4...3,6 В достигается полная функциональность АЦП. Также стоит обратить внимание на четвертую колонку таблицы 3, где представлены возможные варианты конфигурации питания ядра микроконтроллера.

Определенные устройства из линейки STM32L с постоянно отключенным модулем BOR могут использоваться в приложениях с напряжением питания 1,8 В $\pm 8\%$. В этом случае модуль POR/PDR (power-on reset / power-down reset) остается активным и осуществляет сброс микроконтроллера по установленному порогу. Если разработчик гарантирует, что нарастание напряжения питания Vdd во время старта работы микроконтроллера по меньшей мере достигает 1,65 В, то сработает прерывание сброса и микроконтроллер начнет работать.

Заключение

В статье были рассмотрены особенности микроконтроллеров линейки STM32L, позволяющие добиться ультранизкого энергопотребления. Семь режимов энергосбережения совместно с гибкой системой тактирования и питания ядра позволяют достичь потре-

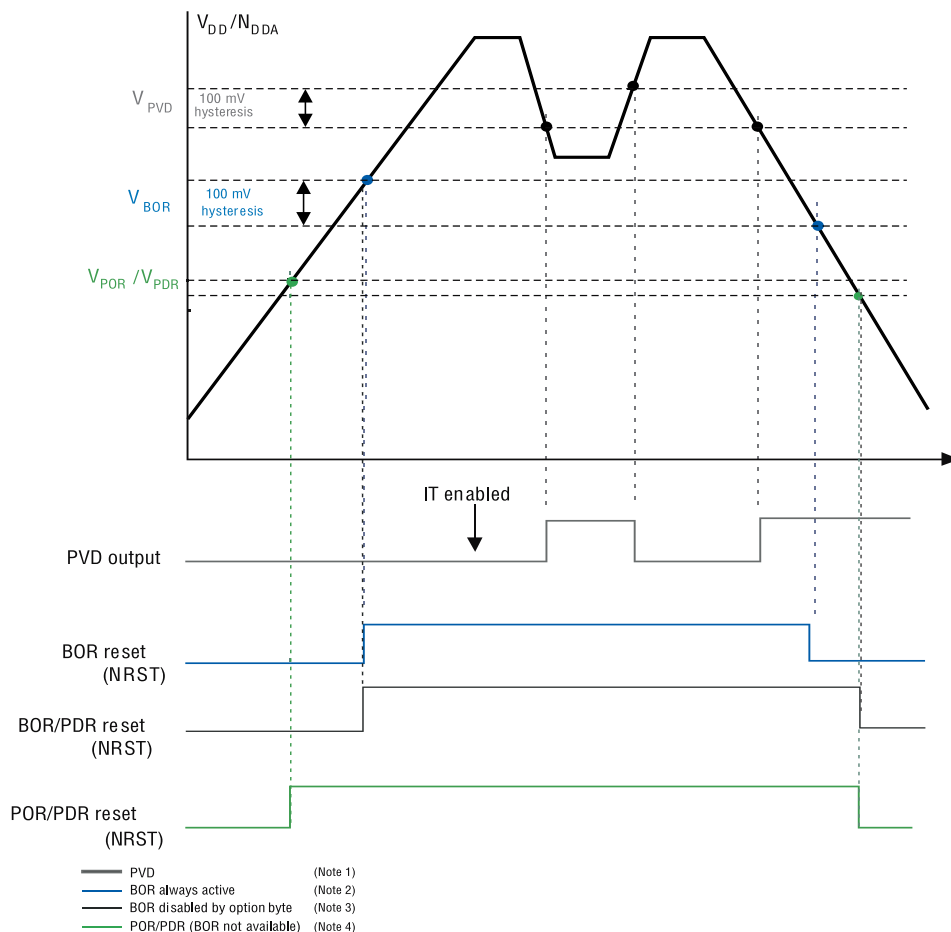


Рис. 4. Принцип работы супервизора напряжения питания

бления всего в 10,5 мкА при активном ядре и менее 270 нА в режиме глубокого сна, когда отключено питание практически всех модулей микроконтроллера, но сохраняется возможность выхода из режима по наступлению внешних событий. Линейка STM32L объединяет в себе накопленный опыт компании STMicroelectronics в разработке платформ с ультранизким энергопотреблением, плотностью кода и производительностью ядра ARM Cortex-M3 и значительно расширяет возможности применения микроконтроллеров STMicroelectronics с ультранизким

энергопотреблением, дополняя ранее созданную 8-битную линейку STM8L.

Литература

1. Doc ID 17659 Rev 1 «STM32L151xx and STM32L151xx Preliminary», STMicroelectronics, July 2010.
2. AN3193 «STM32L15x ultralow power features overview», STMicroelectronics, April 2010.

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

Трехосевой МЭМС-акселерометр с ультранизким потреблением (от 2 мкА)

Применяется в

портативных изделиях

с автономным питанием

On the market today

LIS3DH

Роман Криночкин (г. Винница), Роман Попов (КОМПЭЛ)

АЦП В МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ STM32: ПЕРИФЕРИЯ РЕШАЕТ МНОГОЕ

Аналого-цифровые преобразователи, встроенные в микроконтроллеры STM32 от STMicroelectronics, имеют возможность гибкого конфигурирования для работы в независимом и парном режимах. Они позволяют отказаться от использования внешнего стороннего АЦП, что существенно упрощает схемотехническое решение.

Как вы думаете, в чем отличие между микропроцессорами различных производителей с одним и тем же ARM-ядром? Правильно — разница в периферии! Ведь, по сути, ядро — только лишь вычислитель, замкнутый сам на себя, а общаться с внешним миром ему помогают периферийные устройства: порты ввода/вывода, АЦП, счетчики и т.п. Следовательно, разнообразие этих устройств и качество их исполнения во многом определяют применимость данного МК при решении тех или иных задач. Давайте посмотрим, что же может нам предложить семейство микроконтроллеров STM32.

Основные параметры АЦП различных семейств микроконтроллеров STM32 представлены в таблице 1. Как следует из таблицы, разброс параметров незначителен. Все АЦП имеют разрядность 12 бит, частоту дискретизации до 2 Msps в одиночном режиме и количество входных каналов до 24 (в зависимости от линейки). Выделяется лишь серия STM32W, предназначенная для радиочастотных применений и потому имеющая менее совершенный АЦП. Что касается приборов, в которых присутствует два или три независимых АЦП, то существует возможность увеличить частоту дискретизации путем их на-

стройки на попеременную выборку значений.

Необходимо отметить, что в линейках STM32F1xx и STM32F2xx в парных режимах работы существует возможность увеличения скорости преобразования до 2 Msps и 6 Msps, соответственно. В STM32L АЦП разработан для максимальной экономии энергии без ухудшения параметров (аппаратное отключение между двумя последовательными измерениями).

Рассмотрим более подробно АЦП в линейке STM32F10x.

Каналы АЦП микроконтроллеров STM32 делятся на две группы: регулярные каналы (regular) и инжектированные (injected). Количество регулярных каналов для одного АЦП равняется 18, среди них 16 внешних и два внутренних — опорное напряжение и температурный датчик. Количество приоритетных каналов равняется четырем. Регулярные каналы подразумевают сохранение результатов преобразования через DMA-контроллер в памяти микроконтроллера, а инжектированные каналы имеют собственные регистры для хранения результата. Существует возможность настраивать работу каналов АЦП в произвольном порядке, несколько раз преобразовывать подряд одни и те же каналы, использовать внешние и

программные события для старта преобразования.

Особенность АЦП семейства STM32 — многообразие режимов как в одиночном, так и в парном режиме двух АЦП с различными конфигурациями регулярных и инжектированных каналов. В общем случае возможны два варианта: независимая и парная работа. В семействе STM32 также существует вариант работы АЦП в качестве аналогового сторожевого таймера, т.е. задаются верхний и нижний пороги чувствительности, и происходит отслеживание сигнала в фактически созданном окне. При выходе сигнала за один из порогов генерируется прерывание.

Немаловажная часть — задание времени преобразования для каждого канала. Всего можно задать восемь значений времени для каждого канала в диапазоне 1,5...239,5 циклов тактирования модуля АЦП.

Независимая работа

Этот режим имеет место, когда в составе МК имеется только один АЦП, или когда несколько АЦП настроены на работу без взаимодействия друг с другом. В этом случае возможны следующие режимы работы.

1. Одноканальный (Single-channel)

АЦП исполняет одно преобразование одного канала, записывает полученное значение в собственный выходной регистр и останавливается. Данный режим может быть применен для однократной проверки определенного параметра и принятия некоторого решения на его

Таблица 1. Параметры АЦП в различных семействах МК STM32

Серия МК	Количество АЦП в одном МК	Разрядность, бит	Частота дискретизации, Мвыб/сек	Количество входных каналов	Время преобразования, мкс	Погрешность преобразования, МЗР
STM32F100	1	12	1	16	1,17...21	2...5
STM32F101	1				1...18	
STM32F102	1			16...21	1,2...18	
STM32F103	2...3				1...18	
STM32F105/107	2		2	16	1...18	2...4
STM32F2xx	3			24	0,5...16,4	
STM32L	1		1	24	1...25	—
STM32W	1		0,1	9	5	

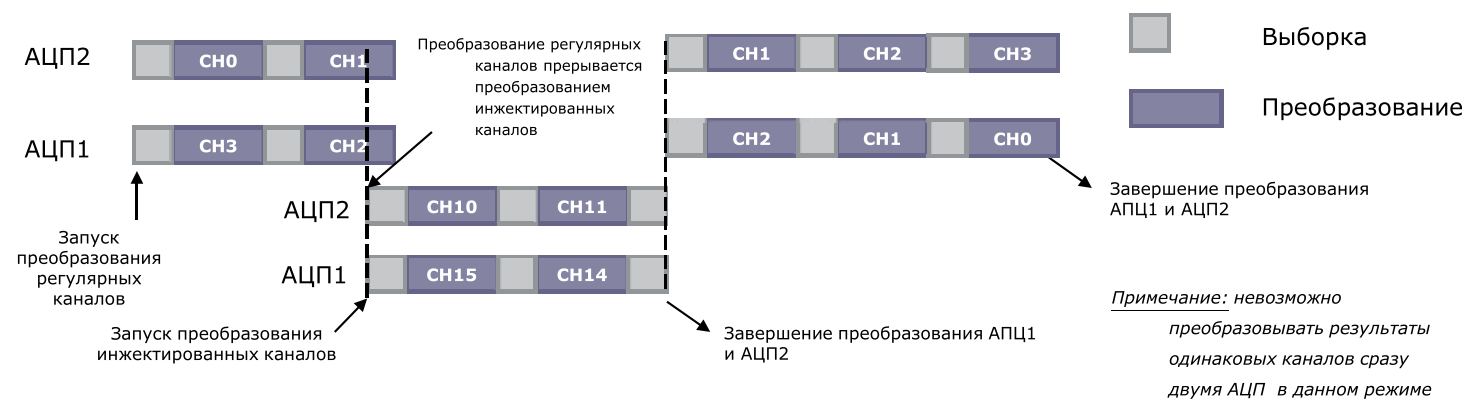


Рис. 1. Комбинированный одновременный режим

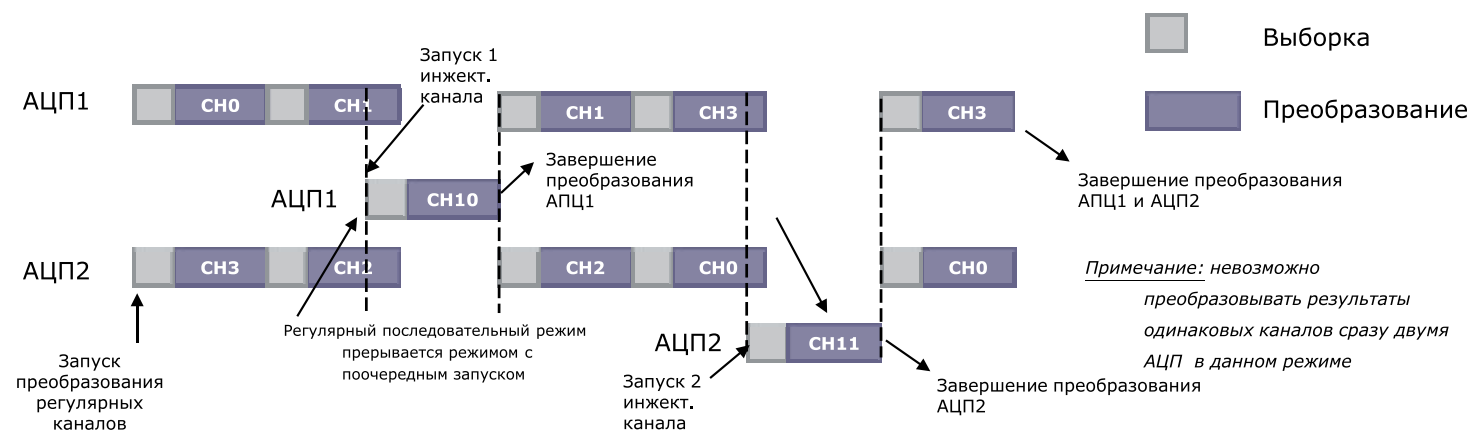


Рис. 2. Комбинированные одновременный и переменный по триггеру режимы

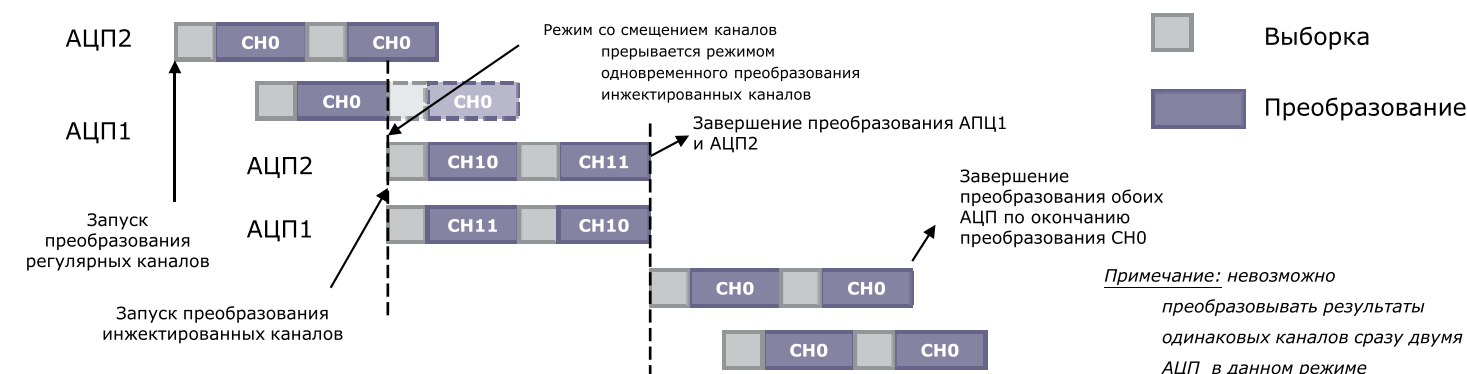


Рис. 3. Комбинированные инжектированный одновременный режим и режим со смещением каналов

основе. Например, проверяем напряжение батареи, и если она разряжена, то не запускаем прибор, а только выдаем пользователю сообщение о необходимости замены элементов питания.

2. Многоканальный (Scan)

В этом режиме возможно сконфигурировать АЦП для выполнения определенного количества (например, 16) последовательных преобразований значений из различных каналов в любой последовательности (например, Канал1-Канал7-Канал12-Канал12-Канал5...). Делается это с помощью записи в специальный регистр последовательности номеров каналов в том порядке, в котором мы желаем осуществить преобразование. Время преобразования также настраивается отдельно для каждого

канала. После обработки указанного числа каналов (от 1 до 16) АЦП останавливается. Этот режим может быть полезен, например, при периодическом оценивании среды или обстановки с помощью нескольких датчиков.

3. Одноканальный продолжительный (Single continuous)

Этот режим аналогичен первому, за тем исключением, что после окончания однократного преобразования АЦП не останавливается, а продолжает выбирать отсчеты из одного определенного канала. Широко применяется при непрерывном мониторинге аналоговых сигналов. Для хранения результатов всех обычных каналов выделен один и тот же регистр. Поэтому перед получением следующего значения необходи-

мо позаботиться о сохранении в памяти предыдущего (например, с помощью контроллера DMA).

4. Многоканальный продолжительный (Scan continuous)

То же самое что многоканальный (Scan), только АЦП не останавливается после опроса всех каналов, а снова продолжает выбирать отсчеты, начиная с первого.

5. Прерывистый (Discontinuous)

Особенность этого режима в том, что будут просканированы не все каналы за раз, а лишь их некоторое заранее установленное число. В следующий раз при наступлении события, запускающего преобразование, будет просканирована следующая группа каналов и т.п.

Парная работа

Необходимо отметить, что парный режим работы возможен, если в составе МК имеются два или более АЦП. Это значительно расширяет возможности по оцифровке сигналов и добавляет несколько более сложных режимов работы.

1. Одновременный для обычных и приоритетных каналов (Regular/Injected simultaneous)

При наступлении внешнего события первый АЦП будет сканировать каналы начиная с 0 до 15 для регулярных каналов или с 0 до 3 для инжектированных, а второй — наоборот, с 15 до 0 или с 3 до 0. Таким образом, каждый канал за тот же период времени будет обработан дважды. Необходимо обеспечить, чтобы период между событиями, запускающими преобразование, был как минимум в два раза больше, чем время, необходимое на само преобразование. Нужно вовремя извлекать результаты из регистра данных АЦП в оперативную память. Причем результат преобразования для АЦП2 будет содержаться в старшем полуслове регистра данных, а для АЦП1 — в младшем.

2. Быстрый попеременный (Fast interleaved)

Доступен только для одного выбранного регулярного канала. При наступлении внешнего события АЦП2 стартует немедленно, а АЦП1 — с задержкой в семь тактов. Если установлен продолжительный (continuous) режим, то такая последовательность будет повторяться далее, что дает возможность удвоить частоту семплирования входного сигнала.

3. Медленный попеременный (Slow interleaved)

Все как в предыдущем режиме, только АЦП1 стартует с задержкой в 14 тактов, а после окончания первого преобразования АЦП2 тоже выдержит задержку 14 тактов перед повторным стартом.

4. Переменный по триггеру (Alternate trigger)

Доступен только для инжектированных каналов. При наступлении внешнего события АЦП1 начинает последовательно преобразовывать все инжектированные каналы. При наступлении следующего внешнего события АЦП2 начинает делать то же самое. Если установлен прерывистый (discontinuous) режим, то будет преобразован только один следующий канал на каждое наступившее событие. Этот режим позволяет получить два значения выборки, максимально близкие друг к другу (вплоть до 1...1,5 такта).

5. Комбинированный одновременный режим для регулярных/инжектированных каналов (combined regular/injected simultaneous mode)

Происходит преобразование обеих групп каналов. Но особенность заключается в том, что инжектированная группа каналов может прервать регулярную группу (рис. 1). Данный режим может быть полезен в системах с критичным временем реакции на измерение каких-либо параметров, например — в управлении двигателями. При завершении преобразования группы останавливаются все остальные преобразования обеих групп, и результаты обработки сохраняются в регистрах данных каждого АЦП.

6. Комбинированные одновременный регулярный и переменный по триггеру режимы (combined regular simultaneous + alternate trigger mode)

Регулярная группа каналов может быть прервана поочередным запуском инжектированных каналов (рис. 2.). При завершении преобразования группы останавливаются все остальные преобразования обеих групп, и результаты обработки сохраняются в регистрах данных каждого АЦП.

7. Комбинированные инжектированный одновременный режим и режим со смещением каналов (combined regular simultaneous + alternate trigger mode)

Преобразование регулярных каналов осуществляется со смещением по времени и происходит одновременное

преобразование двух групп инжектированных каналов (рис. 3).

Заключение

Несомненно, множество режимов работы совместно с высокими собственными параметрами обеспечивают отличную перспективу применения 32-битных микроконтроллеров компании ST. Причем с каждой следующей серией заметна тенденция к дальнейшему повышению как частот семплирования, так и разрядности встроенных в МК АЦП. По предварительным данным, в новых линейках STM32 на ядре ARM Cortex-M4 будет доступен 16-битный сигма-дельта АЦП с дифференциальными входами. Это делает его не просто дополнением для приблизительной оценки каких-либо параметров, но и полноценным измерительным инструментом. Там где ранее при построении устройства необходимо было делать выбор в сторону внешнего стороннего АЦП, теперь есть возможность упростить схемотехническое, алгоритмическое решение и в результате получить более простое, дешевое, ремонтопригодное, а следовательно — более конкурентоспособное конечное изделие.

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



Платформа iNEMO

для отладки и готовых решений на базе микроконтроллеров STM32 и датчиков

INEMOV2 (STEVAL-MKI062V2)

STLM75DS2F
Цифровой датчик температуры со сторожевым таймером

LSM303DLH
6-осевой модуль: акселерометр и магнетометр

LY330ALH
Одноосевой МЭМС-гироскоп

LD3985M18R & LDS3985M33R
Регуляторы напряжения

LPS001DL
МЭМС-датчик давления

LPR430AL
Двухосевой МЭМС-гироскоп

STM32F103RET7
32-разрядный микроконтроллер



iNEMO™

Москва
Тел.: (495) 995-0901
Факс: (495) 995-0902

Санкт-Петербург
Тел.: (812) 327-9404
Факс: (812) 327-9403

Компэл
www.compel.ru

Роман Криночкин (г. Винница)

ЗВУКОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32F



Диктофоны, автоответчики, системы промышленной связи, системы безопасности с интеркомами, говорящие игрушки, беспроводные гарнитуры и многие другие приложения можно реализовать практически на единственном чипе. Это микроконтроллер из семейства STM32F компании STMicroelectronics.

Постоянное совершенствование технологии производства полупроводниковых кристаллов наряду с повышением плотности интеграции привело к расширению функциональных возможностей микросхем, что в свою очередь позволило значительно увеличить область применения микроконтроллеров (МК). Современный МК отличается не только высоким быстродействием и большим объемом RAM- и Flash-памяти, но и богатым набором периферийных устройств, гарантирующих возможность применения в самых разнообразных ситуациях, для которых раньше приходилось применять дискретные многокорпусные наборы микросхем. Однако за высокую производительность и универсальность приходится расплачиваться значительным энергопотреблением.

На первый взгляд все микроконтроллеры с одной ARM-архитектурой должны быть одинаковы. Однако, несмотря на идентичное ядро, «пробным камнем», позволяющим отличить удачный продукт от неудачного, является соотношение «функциональность/цена/энергопотребление». Компании STMicroelectronics удалось добиться в своих продуктах сочетания низкого энергопотребления при высокой производительности и богатейшего набора периферии по приемлемой цене. Все это позволяет находить новые возможности использования семейства микроконтроллеров STM32F. В статье пойдет речь о внедрении МК STM32F (в основном семейства «Connectivity line» STM32F105xx/107xx, а также STM32F103xC/D/E) в различные звуковые приложения.

Самым простым примером использования STM32F в области звуковых приложений является создание комплексного аудиопроигрывателя с возможностью чтения аудиопотока с USB Flash-носителей и карт памяти, поддерж-

кой HMI (*human machine interface*) в виде сенсорных экранов и/или кнопочных устройств ввода и с выводом информации по шине I²S прямо в ЦАП (рис. 1) [1].

Однако не стоит думать, что применение этих чипов ограничивается бытовой аудиовоспроизводящей аппаратурой. Производителям удалось интегрировать в данную серию также поддержку контроллера протокола передачи данных Ethernet, промышленную шину связи CAN с выделенной памятью, множество таймеров и 16-канальный АЦП. Таким образом, данный МК совмещает в себе как функции, направленные на использование в потребительских приложениях, так и обычно присущие промышленно-ориентированным контроллерам свойства, что делает возможным применение серии «Connectivity line» в комплексных приложениях. Ничто не мешает построить на базе этих чипов не только аудиоплеер, но и промышленную систему АСУ со звуковым оповещением. Не секрет, что шина CAN получила наибольшее распространение на транспорте, поэтому вполне возможно использование описываемых МК

в системах управления автомобилем. При этом два независимых контроллера CAN будут использованы для взаимодействия с сетью датчиков транспортного средства; значительное количество вводов/выводов общего назначения (до 81 для МК в корпусе LQFP100) может быть выделено для управления работой различных исполнительных механизмов; звуковые же возможности чипа будут направлены на создание голосового информационного канала для водителя транспортного средства или даже (прогресс не стоит на месте) для распознавания его голосовых команд.

Кстати, наличие встроенного контроллера USB OTG и способность к поддержке карт памяти в комплексе с высокой производительностью Cortex M3-архитектуры и звуковыми возможностями семейства «Connectivity line» значительно упрощают создание на его основе GPS-навигаторов; остается только добавить GPS-приемник и сенсорный экран — устройство готово!

Также интересными сферами применения для чипов семейства могут стать приложения по организации безопасности (системы аудиовизуального контроля периметра, интеркомы), телефония, беспроводные гарнитуры, индивидуальная и коллективная радиосвязь (этому способствует встроенный ЦАП) и даже частичная замена традиционных ЦОС-процессоров, словом микросхемы могут использоваться повсюду, где необходимо

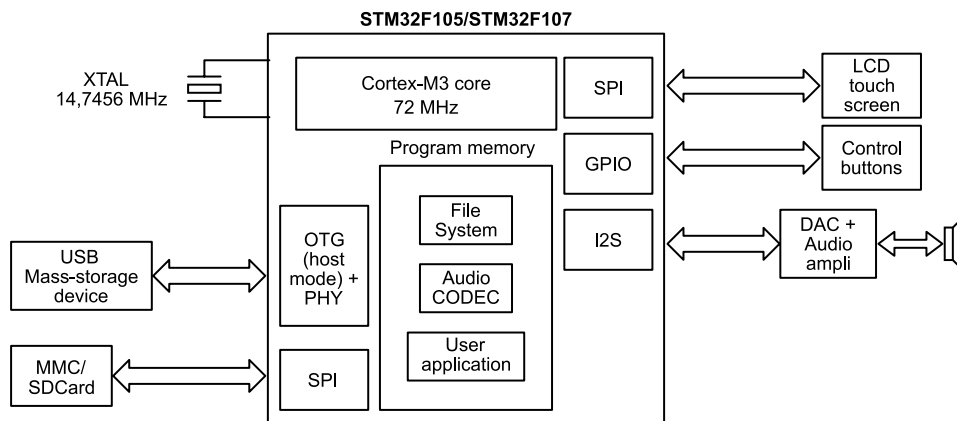


Рис. 1. Пример организации аудиопроигрывателя на основе семейства «Connectivity line»

организовать передачу аудиоданных в цифровом виде. При этом возможность гибкой настройки интерфейсов позволяет применять их как там, где требования к качеству звукового тракта относительно велики (музыкальные приложения, Bluetooth-гарнитуры), так и там, где необходима редукция качества в пользу пропускной способности (системы безопасности, радиосвязь и т.п.).

Используя встроенный 12-битный двухканальный независимый ЦАП, можно создавать такие интересные устройства как генераторы шумов, приборы для тестирования частотных характеристик цепей, синтезаторы различных музыкальных звуков и т.п.

Подчеркнем основные особенности и технические характеристики чипов STM32F105xx/107xx из семейства «Connectivity line» с точки зрения применения в звуковых приложениях:

- Полная поддержка цифрового аудиоинтерфейса I²S (два независимых канала);
- Два независимых 12-битных ЦАП с возможностью синхронизации;
- Контроллер USB OTG;
- Три канала SPI (мультиплексируются с I²S);
- Один или два контроллера I²C;
- Ethernet (только 107xx).

Шина I²S, как она есть

Коль скоро именно имплементация аппаратной поддержки шины I²S предоставляет возможность широкого приме-

нения МК STM32F105xx/107xx в звуковых приложениях, стоит рассказать о ней подробнее.

I²S (*Inter-IC Sound bus*) является синхронной последовательной шиной, разработанной компанией Philips Semiconductors специально для связи между микросхемами в области цифрового аудио. Дело в том, что на пути от битов данных до механических колебаний звук в цифровой форме ждет сложный процесс преобразований, осуществляемый обычно различными интегральными схемами, такими как АЦП/ЦАП, ЦОС-процессоры, корректоры ошибок, цифровые фильтры, интерфейсы и т.п. Для стандартизации связи между различными функциональными блоками и применяется протокол I²S.

Шина использует для связи две служебные линии тактирования «Serial Clock» (SCK) и выбора канала «Word Select» (WS) и одну линию данных «Serial Data» (SD). Наличие линии тактирования SCK обусловлено синхронной природой интерфейса, а вот наличие линии выбора канала WS напрямую связано с его звуковым применением. Переключая состояние данной линии, ведущее устройство указывает на передачу данных из разных каналов стерео аудиопотока: WS = 0 — левый канал, WS = 1 — правый. Кстати спецификация предусматривает, что ведущим устройством может быть как сам передатчик, так и приемник или даже третье устройство-арбитр. При этом основной

задачей ведущего является генерация сигналов на служебных линиях SCK и WS (рис. 2 [2]).

Стандарт выдвигает требования к задержкам сигналов на линиях WS и SD по отношению к фронтам тактовой линии, и это действительно важно, так как поток аудиоданных должен восстанавливаться из цифровой формы строго в соответствии с равными временными промежутками, определяемыми частотой семплирования. В ином случае мы рискуем получить значительные искажения звука. По этой же причине ведущее устройство должно генерировать тактовый сигнал с как можно большей равномерностью (стабильностью тактирования), в противном случае высокие значения неравномерности не позволят качественно воспроизвести записанное в цифровой форме музыкальное произведение.

Существует еще одна проблема, связанная с вопросами тактирования. Дело в том, что различным периферийным интерфейсам часто необходима различная частота системной шины. Микроконтроллеры семейства STM32F разработаны таким образом, чтобы максимально реализовать возможности встроенных устройств при использовании всего одного внешнего осциллятора. Для этого предусмотрено несколько внутренних делителей и PLL-умножителей частоты, которые могут быть мультиплексированы для достижения различных сочетаний

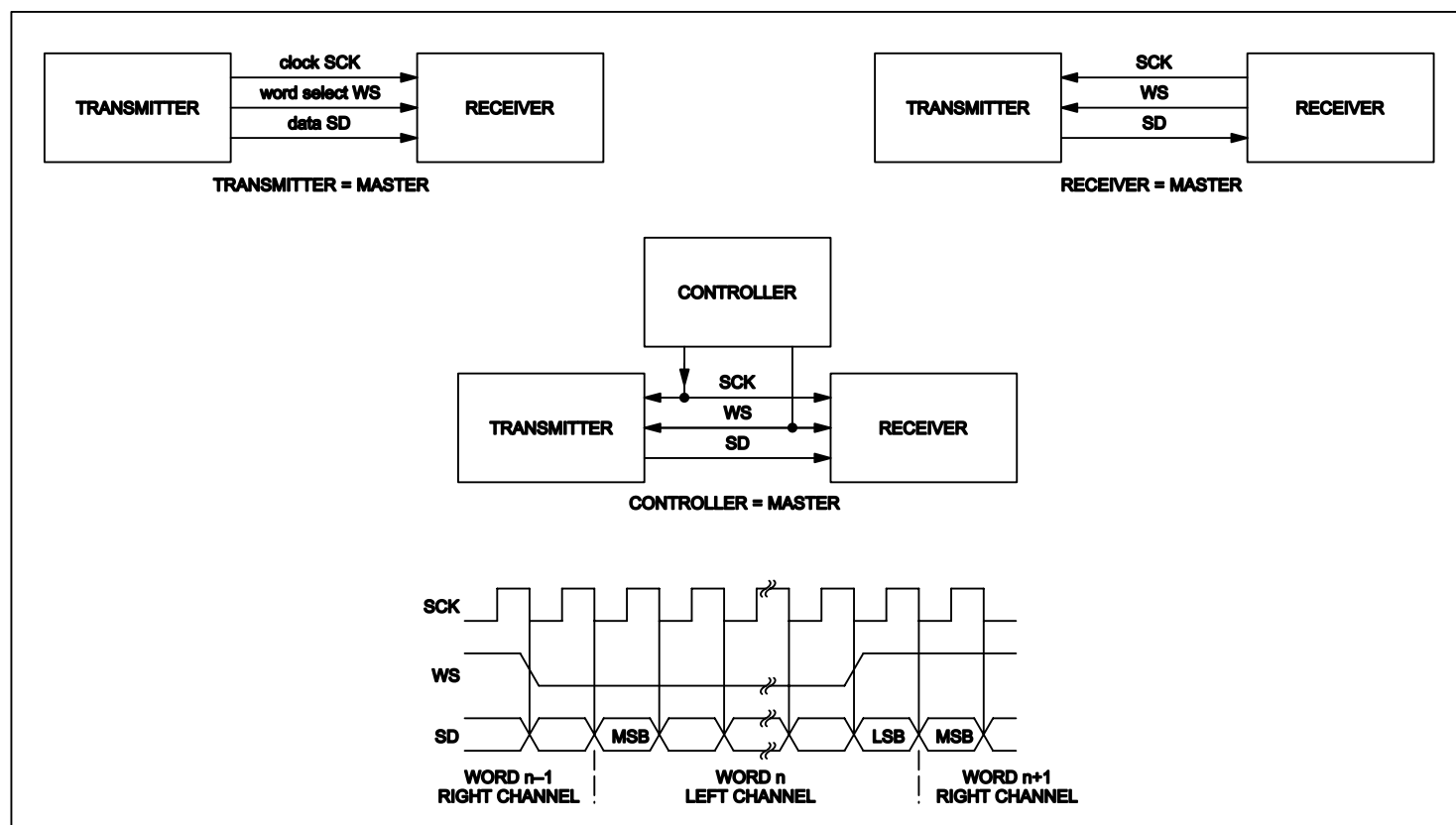


Рис. 2. Варианты сочетания ведущий/ведомый и тайминги при работе по протоколу I²S

частоты тактирования, необходимой различным периферийным блокам. Однако, несмотря на это, при одновременном использовании множества блоков бывает трудно или невозможно подобрать необходимую комбинацию параметров. Также использование делителей и умножителей ухудшает стабильность тактирования. Поэтому, например, сложно достичь заявленной стабильности на шине I²S при одновременном использовании ее с USB и Ethernet. Приходится выбирать: либо использовать меньше устройств, либо соглашаться на ухудшение качества. Впрочем, ухудшение не так уж и велико — стабильность тактирования в худшем случае составляет для всех частот семплирования 0,1...0,4% и только на единственной частоте 96 кГц возрастает до малопримлемых 2% [3, раздел 24.4.3].

Аппаратную поддержку шины I²S предоставляют следующие модели микроконтроллеров: STM32F103xC/D/E, 105xx, 107xx, при этом заявленные параметры таковы [1]:

- Программно конфигурируемое разрешение 16/32 бит;
- Стабильность тактирования: не менее 0,5%;
- Возможность работать в режимах ведущего и ведомого;
- Поддержка частот семплирования от 8 до 96 кГц;
- Два независимых приемопередатчика.

Необходимо также отметить, что спецификация протокола I²S не оговаривает какого-либо конкретного физического уровня для шины (все, что есть в стандарте — величина напряжений, считающихся высоким и низким уровнем сигнала). Поэтому производители при использовании внешних связей между устройствами прибегают к различным видам физической реализации, например, применяют разъемы и кабели HDMI, маркируя их соответствующим образом (на рис. 3 приведен пример именно такого устройства [4]).

Как использовать встроенный ЦАП

Ранее мы подчеркивали наличие в микросхемах STM32F105xx/107xx встроенного двухканального 12-битного ЦАП, который может быть вполне пригоден к использованию во многих звуковых приложениях, где нет необходимости в высокой точности преобразования.

Заявленные параметры ЦАП:

- Два полностью независимых преобразователя;
- 8/12-битный равномерный выход;
- Выдача до одного миллиона семплов в секунду;
- Возможность синхронизации для вывода стереосигнала;

- Отключаемый выходной буфер для увеличения нагрузочной способности;
- Отдельный канал прямого доступа к памяти;
- Встроенный генератор псевдослучайных чисел;
- Встроенный генератор треугольных импульсов;
- Погрешность смещения — 10 мВ или до 12 МЗР;
- Дифференциальная нелинейность 2 МЗР, интегральная — 4 МЗР.

Несмотря на относительно невысокое разрешение (до 12 бит), сфера применения таких ЦАП может быть достаточно широка, в том числе и за счет встроенных генераторов треугольных импульсов и псевдослучайных чисел. Например, с помощью последнего не сложно реализовать генератор белого шума с равномерным спектром и перестраиваемой постоянной составляющей. Это бывает необходимо в синтезаторах электронной музыки для получения необычных звуковых эффектов или даже для симуляции некоторых «живых» инструментов с высокой шумовой компонентой (перкуссия, цимбалы и т.п.).

Также генераторы шумов могут быть использованы для тестирования частотных характеристик аудиопетлей (фильтров, усилителей). При оцифровке музыки и других низкочастотных сигналов возможно применение шумовых сигналов для увеличения разрядности АЦП сверх заявленной (т.н. шумовой оверсемплинг).

Если говорить о прямом применении АЦП МК STM32F для воспроизведения звука, то оно оправдано во многих сферах, где качество звучания играет второстепенную роль. Например, в телефонной или радиосвязи вполне достаточно и меньшего разрешения, при этом микроконтроллер мог бы взять на себя иные интерфейсные функции — оцифровку звука встроенным АЦП, кодирование/декодирование подходящим вокодером, обработку кнопок, вывод на экран. Аналогичным образом множество иных приложений могут быть реализованы практически на единственном чипе: диктофоны, автоответчики, системы безопасности с интеркомами, говорящие игрушки, беспроводные гарнитуры и т.д.

Немаловажной особенностью встроенного ЦАП является наличие отключаемого буфера, который призван уменьшить выходное сопротивление преобразователя. Это позволяет значительно увеличить нагрузочную способность прибора, чего часто бывает достаточно для подключения напрямую внешней нагрузки без использования дополнительного операционного преобразователя. Для сравнения, допустимая минимальная резистивная нагрузка с

включенным буфером равна 5 кОм, без буфера (для получения 1% точности) она составит не менее 1,5 МОм. При подключении нагрузки меньше допустимой напряжение на выходе ЦАП будет отличаться от заданного программно (нагрузка будет «просаживать» выход по напряжению), что приведет к уменьшению точности преобразования.

Кодеки, кодеки и еще раз кодеки

При работе с микроконтроллерами немаловажным при выборе аппаратной платформы является наличие у производителя соответствующих программных инструментов, облегчающих разработку: драйверов контроллеров, стеков для различных протоколов и т.д. В случае работы с аудио необходимой частью программного обеспечения являются кодеки, позволяющие читать и сохранять файлы из/в популярные форматы. Основная задача кодера при записи файла — это сжатие (с потерями или без) исходного аудиопотока для более экономного его хранения на внешних носителях и/или передачи по каналам связи. При декодировании возникает обратная задача — преобразовать сжатые данные в аудиопоток, пригодный для прямого перевода в аналоговую форму.

Разные кодеки имеют разную эффективность и качество сжатия, также они отличаются количеством вычислительных операций для проведения кодирования/декодирования, некоторые кодеки являются проприетарными, другие распространяются бесплатно. Поэтому следует ответственно подойти к вопросу выбора того или иного кодера для разрабатываемого приложения. Например, при реализации аудиоплеера важна поддержка как можно большего числа форматов воспроизведения звука. При создании аппаратуры для радиосвязи важно не разнообразие форматов, а эффективный двунаправленный кодер речи (вокодер), минимально загружающий CPU и канал приемопередачи.

Общей особенностью практически всех аудиоприменений является критичность к временным задержкам, поэтому выбор кодера необходимо осуществлять с учетом необходимой производительности CPU, которая должна быть достаточной для производства всех не-



Рис. 3. Пример физической реализации шины I²S в виде разъема HDMI

обходимых вычислений кодирования/декодирования «на лету». Использование каналов прямого доступа к памяти также значительно увеличивает общую производительность системы, поскольку эти каналы устраняют необходимость участия процессора при передаче уже обработанных данных от одного периферийного устройства к другому.

Среди кодеков для применения в семействе МК STM32F можно отметить:

1. **Speex Vocoder** — бесплатный open-source кодек для кодирования/декодирования речи. Предоставляет полноценное решение для записи, воспроизведения или передачи речи. Область применения — автоответчики, интеркомы, диктофоны, коротковолновые радиостанции. При применении данного кодека на процессорах STM32F103xx с частотой ядра 72 МГц кодирование речи со средним качеством загружало CPU на 52%, декодирование — на 8%. Объем памяти необходимый для работы кодека: память данных (Flash) — 32 кбайт, память программ (RAM) — 7 кбайт [5].

- Базируется на технологии CELP (code-excited linear prediction);
- Три частоты семплирования (8/16/32 кГц) при постоянном битрейте;
- Технология VBR — кодирование с переменным битрейтом (от 2 до 44 кбит/с)
- Детектирование присутствия голоса (VAD), прерывистая передача (DTX);
- Подавители эха и шумов.

2. **STM32 Spirit Audio Engine** — комплексный высококачественный аудиодвижок, бесплатно предоставляемый для использования с STM32F. Модель распространения несколько неудобна — для получения бесплатного доступа пользователь должен связаться с региональным дилером, подписать лицензионное соглашение, после чего ему будет выслан диск, содержащий аудиодвижок, документацию и примеры. Необходимо также заметить, что хотя сам движок бесплатен, разработчик не освобождается от оплаты отчислений за использование форматов .mp3 и .wma.

- Кодирование аудио в формате *.mp3;
- Декодирование аудио в форматах *.mp3 и *.wma, с встроенным эквалайзером;

- Регулятор громкости;
- Трехполосный эквалайзер;
- Микшер каналов.

Демонстрационные платы

Компания STMicroelectronics предлагает отладочную плату на основе МК **STM32F107VCT**, в которой реализована попытка максимально использовать всю имеющуюся в чипе периферию. Касательно интересующей нас звуковой части, на плате размещен отдельный 24-битный дельта-сигма стерео ЦАП **CS43L22**, подключенный к МК по интерфейсу I²S. Это производительный ЦАП с низким энергопотреблением, он имеет в своем составе усилитель, рассчитанный для работы как на наушники (14 мВт; 16 Ом@2,5 В), так и на небольшие громкоговорители (класс D, выходная мощность в стерео 2x1 Вт, 8 Ом@5 В).

Демонстрационная плата может быть настроена для вывода звука через ЦАП, встроенный в МК, в этом случае внешний ЦАП используется как усилитель. Также на плате размещен 3,5 мм разъем для подключения средств звуковоспроизведения.

В сети можно встретить близкие функциональные аналоги этой платы с некоторыми мелкими отличиями, например, с наличием микрофона [6].

STMicroelectronics выпускает еще одну плату, разработанную специально для использования в звуковых приложениях — **STEVAL-CCA021V1** (рис. 4) на основе МК **STM32F103RE** с поддержкой USB. В состав платы входят несколько аудио микросхем, а именно: 16-битный I²S ЦАП **TS4657** с линейным RCA-выходом; два усилителя класса D — моно **TS4962** (1,4 Вт; 8 Ом@5 В) с выводом на встроенный динамик/моно-джек, стерео **TS2012** (2x1,15 Вт; 8 Ом@5 В) с выходами на внешние громкоговорители; микрофонный предусилитель **TS472** с усилением до 40 дБ.

МЭМС-микрофоны

Данный обзор был бы неполным без нескольких слов о новых микрофонах, выполненных по технологии МЭМС. До недавнего времени, когда шла речь о МЭМС, в большинстве случаев имелись в виду компактные встраиваемые акселерометры. Однако сама технология значительно шире и подразумевает под собой использование средств производства электронной техники (литография, травление и т.п.) в изготовлении различных механических устройств (собственно говоря, МЭМС — это МикроЭлектроМеханическая Система). По мере развития технологии находятся все новые и новые применения для нее — сенсоры давления, микродвигатели, гироскопы и т.п. Теперь дело дошло и до микрофонов. По принципу действия старая проверенная

конструкция конденсаторного микрофона осталась без изменений — та же заряженная гибкая мембрана,двигающаяся под действием механических колебаний. Однако технологически это совершенно иной продукт, которому прогнозируют широчайшее применение. Дело в том, что размеры и стоимость производства МЭМС-микрофонов на порядок ниже, чем у их собратьев, сделанных по классической технологии. При этом качество преобразования звука и надежность выше. Поэтому МЭМС-устройства обещают революцию в этой области и могут быть внедрены практически в любой прибор, требующий преобразования звука, без особенного влияния на его размер и конечную стоимость.

В 2010 году STMicroelectronics приступила к производству МЭМС-микрофонов — модель **MP45DT01** имеет одноканальный PDM-выход (pulse density modulation — плотно-импульсная модуляция) и требует тактирования внешним сигналом с частотой 2,5 МГц. Характеристики устройства следующие:

- Чувствительность -26 dBFS;
- Отношение сигнал/шум 58 dB;
- Точка акустической перегрузки 120 dB SPL;
- Размеры 4,72x3,76 мм;
- Средний ток потребления — 0,65 мА при 1,8 В
- Возможность совместной работы пары микрофонов в стерео режиме [7]

Наличие PDM-выхода позволяет использовать сигнал как в цифровых, так и в аналоговых схемах (пропустив его предварительно через фильтр нижних частот).

Ссылки

1. STM32F105xx/107xx Datasheet (http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00220364.pdf)
2. I²S bus specification. Philips Semiconductors, 1996.
3. Reference Manual for STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx, STM32F105xx and STM32F107xx [RM0008]
4. <http://www.flickr.com/photos/mikelaaron/3946085257/>
5. Vocoder demonstration using a Speex audio codec on STM32F101xx and STM32F103xx microcontrollers [AN2812]
6. <http://www.embedinfo.com/en/list.asp?id=57>
7. MP45DT01 Datasheet. MEMS audio sensor omni-directional digital microphone, STMicroelectronics, 2010.

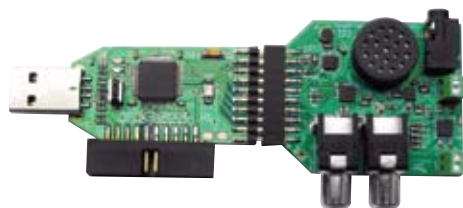


Рис. 4. Демонстрационная плата STEVAL-CCA021V1 для звуковых приложений

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