

Быстрый старт с микроконтроллерами STM32

Андрей Антонов (г. Волгоград)

В статье представлен обзор линейки 32-разрядных микроконтроллеров STM32, отладочных плат на основе этих микроконтроллеров и бесплатного ПО, позволяющих начать разработку уже сегодня с наименьшим «входным порогом». Освещены преимущества использования микроконтроллеров серии STM32L, имеющих сверхнизкое энергопотребление, в медицинских приборах.

ОБЗОР МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ STM32

32-разрядные микроконтроллеры выпускаются многими производителями, но наиболее широкое распространение получил продукт совместной франко-итальяно-японской фирмы STMicroelectronics (STM). Его продвижению способствовали невысокая стоимость, удобство программирования и наличие бесплатного ПО.

В основе семейства 32-разрядных микроконтроллеров лежит процессор с архитектурой ARM Cortex-M. Эти процессоры сочетают высокую производительность, способность обрабатывать данные в режиме реального времени, возможности цифровой обработки сигнала и низкое энергопотребление, сохраняя при этом высокую степень интеграции и простоту разработки.

Широкий модельный ряд STM32, основанный на ядре, являющемся фактическим стандартом в отрасли, в сопровождении огромного выбора средств разработчика и программного обеспечения делает это семейство подходящим как для небольших проектов, так и для платформенных решений.

Как видно из рисунка 1, в линейке STM32 присутствуют модели, предназначенные для решения общих

задач (индексы F0, F1, F3), варианты устройств с батарейным питанием (индекс L), модификации, имеющие высокую производительность (F2, F4 и F7), а также контроллеры для использования в приложениях с сенсорным экраном или устройствах, предполагающих приём и передачу данных в радиочастотном диапазоне.

В качестве примера рассмотрим использование микроконтроллеров STM32L с низким энергопотреблением в медицинских приборах [4].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ STM32L В МЕДИЦИНСКИХ ПРИБОРАХ

Различные приборы для наблюдения за состоянием организма человека имеют специфические требования к энергопотреблению, аналого-цифровому и цифроаналоговому преобразователям (АЦП и ЦАП) и встроенным коммуникационным интерфейсам, таким как USB. Кроме того, многие устройства используют батарейное питание, и даже те, что работают от сети, зачастую оснащаются резервным автономным источником питания.

Семейство STM32L со сверхнизким потреблением является представителем линейки микроконтроллеров STM32 с ядром Cortex-M3, содержа-

щим различные периферийные модули. Это позволяет достичь высокого уровня интеграции, что, в конечном итоге, позволяет снизить стоимость системы. Сочетание высокой производительности и низкого энергопотребления хорошо отвечает требованиям, предъявляемым к медицинскому оборудованию.

В состав типичного портативного медицинского прибора входят, по крайней мере, две подсистемы:

- аналоговая часть, используемая для управления и проведения измерений при помощи датчиков;
- цифровая часть, реализующая алгоритмы анализа и выполняющая основные функции, а также калибровку и сохранение результатов, обмен данными и другие функции, например, управление питанием.

На рисунке 2 представлена структурная схема возможной реализации портативного глюкометра на основе микроконтроллера из линейки STM32L.

Структура STM32L позволяет реализовать большинство функций прибора на одном кристалле, что уменьшает материалоемкость, снижает энергопотребление и упрощает управление питанием.

STM32L имеет 24-канальный 12-разрядный АЦП и два 12-разрядных ЦАП. Использование внешнего источника опорного напряжения позволяет очень хорошо изолировать аналоговые модули от «шумящей» цифровой части.

Быстродействующий АЦП может обрабатывать все измерения с электромеханического или оптического

Тесты производительности процессоров

Dhrystone – синтетический тест производительности компьютеров, разработанный в 1984 г. Рейнольдом Викером. Представляет собой простые программы, выдерживающие определённые соотношения между различными видами инструкций. Нацелен на тестирование системной (целочисленной) производительности процессоров общего назначения. Тест не содержит операций над числами с плавающей точкой. Итогом теста является Dhrystones per Second (количество итераций основного цикла в секунду). Часто этот результат приводят к DMIPS (от Dhrystone MIPS) путём деления на 1757 (результат Dhrystone/s для компьютера VAX 11/780, то есть номинальной машине с 1 DMIPS). DMIPS можно делить на частоту процессора, чтобы получить DMIPS/МГц. Такие единицы позволяют сравнивать процессоры с разной тактовой частотой [1].

CoreMark – тест используется для измерения производительности процессоров во встраиваемых системах. Может запускаться на большом количестве процессорных ядер. Тест был разработан в 2009 г. Шеем Гал-Он из некоммерческой организации EEMBC (Embedded Microprocessor Benchmark Consortium) и призван стать отраслевым стандартом, заменив устаревший тест Dhrystone. Код, реализующий тест, написан на языке C и реализует следующие алгоритмы: обработка списка (тест и сортировка), общие операции с матрицами, конечный автомат и проверку контрольных сумм (CRC) [2]. Результаты тестов для различных процессоров можно посмотреть на сайте EEMBC [3].

датчика при отслеживании температуры или мощности. Используя методы выборки с запасом по частоте дискретизации, можно получить 14-битную точность АЦП, удовлетворив тем самым достаточно высокие требования.

12-разрядный ЦАП можно использовать для точного контроля над смещением показаний датчика, а встроенная ЭСППЗУ для данных упрощает процесс логгирования. Встроенные часы реального времени имеют такие же характеристики, что и их высококачественные автономные аналоги.

Имеется полный набор коммуникационных портов для цифрового обмена информацией с датчиками через шины I²C и SPI, а также для обмена данными с управляющим компьютером (хостом), с этой целью используются интерфейсы RS-232, IrDA или USB.

Контроллер ЖК-дисплея может напрямую управлять количеством сегментов до 8 × 40 и значительно снижает количество необходимых внешних компонентов, так как имеет встроенный повышающий преобразователь.

Маломощные приложения на микроконтроллерах обычно работают непрерывно, чередуя два режима:

- режим ожидания с наименьшим потреблением энергии и небольшим количеством постоянно работающих функций;
- рабочий режим, в котором микроконтроллер активен и выполняет прикладные задачи.

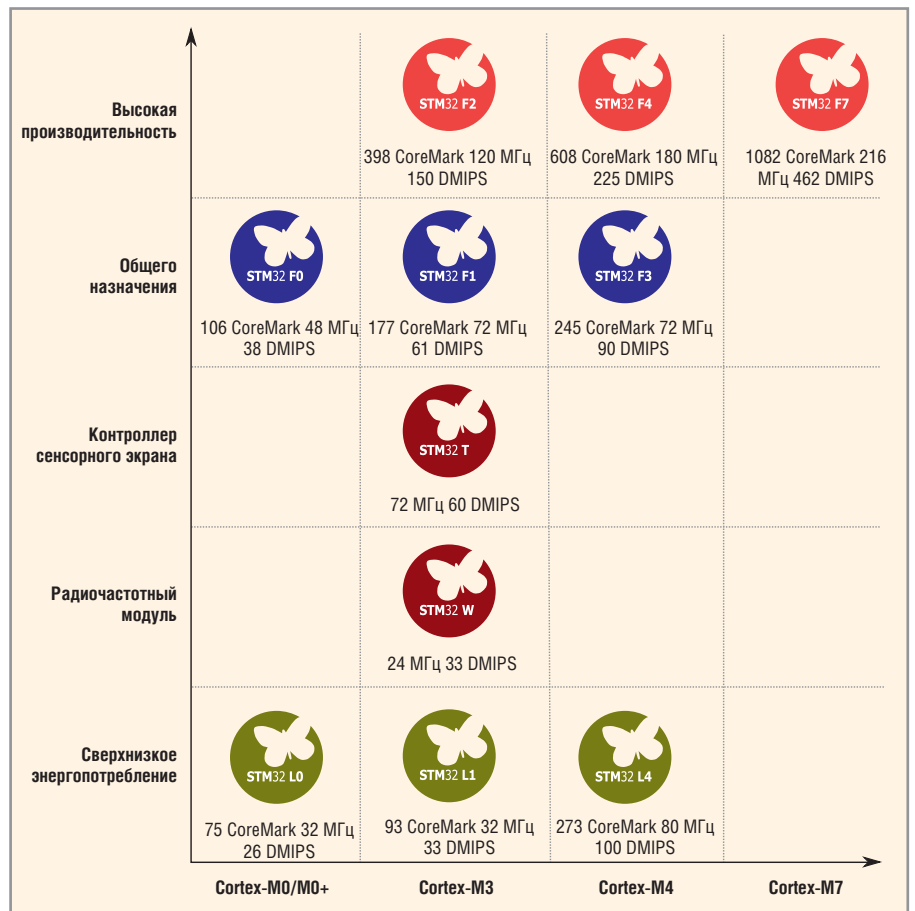


Рис. 1. Обзор микроконтроллеров линейки STM32

STM32L позволяет снизить общее энергопотребление в таких приложениях за счёт:

1. Снижения потребления в рабочем режиме.
2. Снижения потребления в спящем режиме.

3. Уменьшения времени нахождения в рабочем режиме.

Обычно пункты 1 и 3 вступают в противоречие друг с другом. Чтобы снизить время нахождения в рабочем режиме, зачастую требуется высокопроизводительный процессор, как прави-

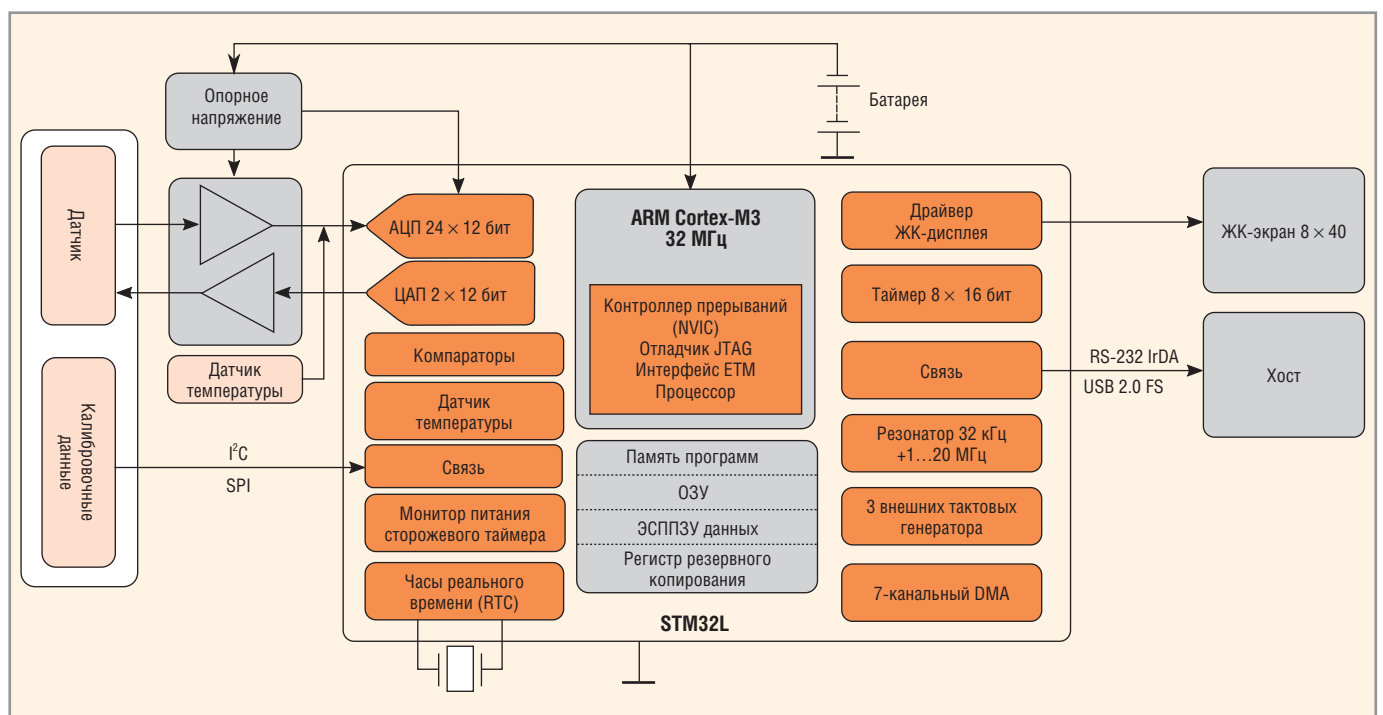


Рис. 2. Блок-схема глюкометра

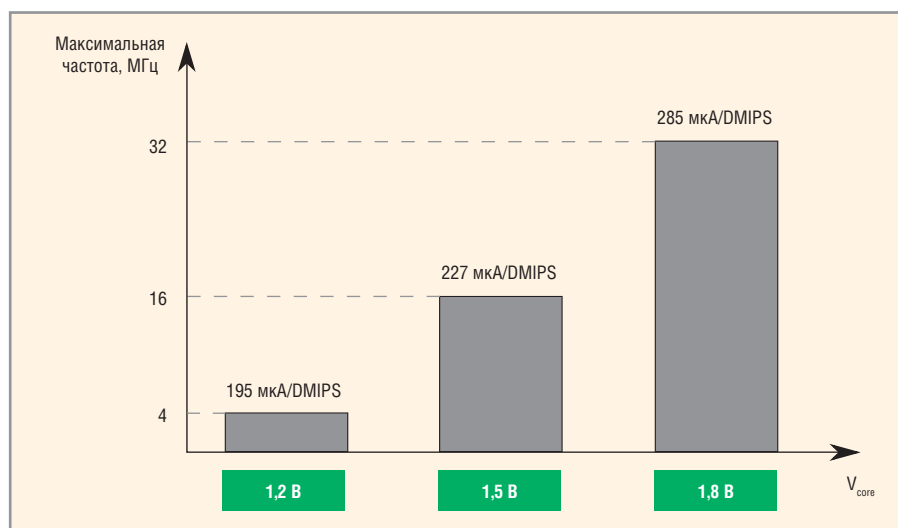


Рис. 3. Соотношение потребление тока / производительность и максимальная частота процессора для различных напряжений питания ядра

ло, с большим энергопотреблением. Для преодоления этого противоречия микроконтроллер STM32L имеет преимущества в следующих элементах: процессор, продвинутая низковольтная технология и программируемый LDO-регулятор, оптимизированный для низкого потребления АЦП.

Ядро ARM Cortex-M3 показывает очень хорошее соотношение потребления и производительности, которое выражается в мкА/DMIPS. Это значение в большей степени представляет энергию, необходимую для выполнения программной задачи, чем отношение мкА/МГц, которое не учитывает число циклов, затрачиваемых на выполнение инструкции, или же эффективность самой инструкции. В этом 32-разрядная архитектура превосходит 8- и 16-разрядные архитектуры, которые дают лучшие показатели, выраженные в мкА/МГц, но проигрывают при использовании отношения мкА/DMIPS.

Дополнительная экономия времени в рабочем режиме является результатом свойственной для Cortex-M3 низкой задержки для прерываний, автоматического сохранения и восстановления состояния и так называемого механизма Tail-Chaining, когда следующие друг за другом прерывания выполняются без дополнительного сохранения и восстановления состояния.

Одной из особенностей КМОП-технологии является то, что в рабо-

чем режиме бóльшая часть потребляемой энергии используется для зарядки и разряда огромного количества собственных для этой технологии очень маленьких конденсаторов.

$$E = V_{core} \times Q = (V_{core})^2 \times C,$$

где V_{core} – напряжение питания цифровой части микроконтроллера, а C представляет собой сумму ёмкостей всех активных узлов электрической цепи.

Топология с проектными нормами 130 нм, применённая в STM32L, позволяет минимизировать ёмкость отдельных узлов, а компактность ядра Cortex-M3 помогает снизить их общее количество. Кроме того, использование технологии Clock Gating снижает энергопотребление в цифровых схемах за счёт запрета подачи тактовых сигналов на неиспользуемые цепи схемы.

Встроенный LDO-регулятор (линейный регулятор напряжения, отличающийся малым падением напряжения на регулирующем элементе) и масштабирование напряжения способствуют снижению напряжения питания ядра. LDO-регулятор гарантирует, что цифровая часть всегда питается минимально необходимым напряжением для обеспечения заданной производительности. Он может программироваться на использование трёх дискретных уровней напряжения. Как видно из рисун-

ка 3, лучшее соотношение потребляемый ток / производительность достигается при V_{core} = 1,2 В.

Идея состоит в том, чтобы поддерживать напряжение питания STM32L на уровне V_{core} = 1,2 В и переключаться в более высокопроизводительный диапазон на ограниченное время, только когда микроконтроллер должен выполнять определённую задачу. Так как и V_{core} и тактовая частота легко программируются, это позволяет пользователю динамически настраивать энергопотребление и производительность во время работы.

Режим «сна» с низким энергопотреблением является обычно самым продолжительным в работе портативных устройств. Хотя потребление в этом режиме на несколько порядков ниже, чем в рабочем, оно всё равно может влиять на полное энергопотребление.

На STM32L реализовано несколько режимов с малым энергопотреблением (см. табл. 1), что позволяет разработчику производить оптимизацию с учётом ёмкости батареи и потребностей своего приложения.

Опция сверхнизкого потребления используемой 130-нм технологии вместе с режимами малого потребления встроенного LDO-регулятора позволяют достичь типичного потребления тока 430 нА, сохраняя системную конфигурацию, показывая очень быстрый запуск за несколько микросекунд, не теряя при этом контроля.

Пониженное потребление также учитывалось и при проектировании встроенного в STM32L контроллера ЖК-экрана, что очень важно для портативных медицинских приборов. Контроллер объединяет малопотребляющий повышающий преобразователь, который позволяет поддерживать работоспособность дисплея в течение длительного времени в широком диапазоне напряжений питания V_{DD}.

Встроенный АЦП также оптимизирован для низкого потребления. Разрешение АЦП последовательных приближений составляет 12 разрядов, скорость преобразования достигает 1 Мсэмпл в секунду, а 24 объединённых входа имеют диапазон от 0 до V_{REF+}. Разрешение может быть снижено до

Таблица 1. Режимы STM32L с низким энергопотреблением

Режим	Активный (выполнение) из памяти программ	Активный (выполнение) из ОЗУ	Выполнение с низким потреблением @ 32 кГц	Сон + 1 таймер	Остановка с/без RTC	Ожидание с/без RTC
Типичное потребление при 25°C	230 мкА/МГц	186 мкА/МГц	10,4 мкА	6,1 мкА	1,3/0,43 мкА	1,0/0,27 мкА

10, 8 и 6 разрядов, позволяя увеличить скорость преобразования.

Помимо расширенных возможностей, таких как преобразование по сигналу, нескольких источников запуска, DMA, задаваемым временем выборки для каждого канала и автокалибровки, АЦП также поддерживает операции с низким потреблением. АЦП работает от встроенного высокоскоростного RC-генератора, и поэтому может быть запущен независимо от остальных блоков микроконтроллера, которые могут отключаться, пока АЦП производит преобразование. С другой стороны, вводя автоматическое снижение потребления после запрограммированных преобразований, АЦП уменьшает потребление до минимально необходимого уровня. Например, при тактовой частоте процессора 32 кГц инструкция может выполняться 31 мкс. Предполагая 5 аналогово-цифровых преобразований за 1 мкс, АЦП может снизить потребление после 5 мкс, до того как выполнится команда процессора.

В приложениях, требующих повышенного разрешения для захватываемых данных, можно использовать

метод, называемый передискретизацией. Передискретизация использует собственный шум или искусственно добавляемый сигнал (например, треугольный или модулированный подобно «белому» шуму, используя встроенный ЦАП) для измерения, производя выборку такого сигнала с более высокой частотой дискретизации и, например, быстрым усреднением данных. Это позволяет увеличить пределы квантования. Количество сэмплов, необходимое для расширения разрешения АЦП, отличается для зашумлённых сигналов: линейная треугольная развёртка напряжения с одной нижней боковой полосой требует в $2P + 1$ раз большую скорость выборки, в то время как модуляция белого шума – в $4P$ раз более высокую скорость модуляции (здесь P обозначает количество дополнительных разрядов). Разумным для STM32L является повышение точности до 14 разрядов. При этом сохраняется высокая скорость преобразования и небольшое время активности АЦП.

Благодаря высокому уровню интеграции, контроллеры STM32L позволяют уменьшить количество требуемых эле-

ментов для медицинских приборов, что приводит к значительному снижению стоимости систем. STMicroelectronics поддерживает малобюджетную разработку медицинских приборов, предлагая полный набор средств разработчика и свободно распространяемые программные библиотеки.

Оценочные платы серии DISCOVERY

Для упрощения знакомства разработчиков с семейством STM32 компания STMicroelectronics предлагает оценочные платы, на которых устанавливается тот или иной микроконтроллер со схемами обвязки и различной периферией. Обязательным отличительным свойством оценочных плат сегодня является большое число контактов, которые позволяют получить доступ практически ко всем портам микроконтроллера, а также интерфейсы в виде светодиодов и кнопок. Кроме того, во многие оценочные платы встраивается программатор, который позволяет программировать внешние микросхемы. Всё, что требуется от разработчика, – это установить ПО на компьютер

PROCHIP

POWERED BY PROSOFT

Активный компонент вашего бизнеса

- + Различные решения по подбору элементной базы
- + Осуществление поставок комплектующих для серийного производства и новых разработок
- + Поддержка склада
- + Оказание технической и информационной поддержки



+7 (495) 232-2522
INFO@PROCHIP.RU
WWW.PROCHIP.RU



Реклама

Wolfspeed

CRANE
AEROSPACE &
ELECTRONICS

SHARP

BULGIN

HUMMEL

SEMILEDS

RAYSTAR
OLED Display Provider

MICROMETALS
FROM POWERSHOP CORP.

anadigm

CREE

АРБЕЛОС

AUO

Grayhill

HARTING
Pushing Performance

PHILIPS
LUMILEDS

LUMINEQ
POWERED BY STMicroelectronics

XP Power

MPS
Microcontroller Power Systems

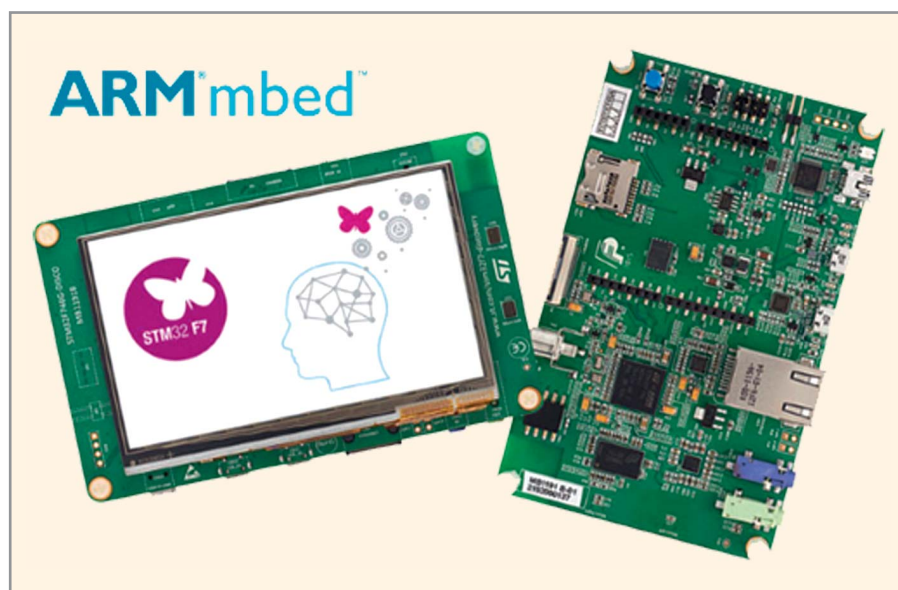


Рис. 4. Отладочная плата STM32F746G Discovery (фото с сайта www.st.com)

и подключить к его USB-порту отладочную плату. В таблицах 2–4 приведены основные характеристики оценочных плат Discovery линейки STM32 [5].

Компания STMicroelectronics первой начала производство микроконтроллеров с ядром ARM Cortex-M7. Чтобы облегчить разработку устройств на основе этого микроконтроллера, выпу-

скается отладочная плата STM32F746G (см. рис. 4). На сегодняшний день это наиболее мощный по возможностям набор. К особенностям платы можно отнести:

- микроконтроллер STM32F746NGH6 в корпусе BGA216, имеющий 1 Мбайт памяти программ и 340 Кбайт оперативной памяти;

- встроенный программатор и отладчик ST-LINK/V2-1;
- цветной сенсорный ёмкостный TFT-экран с диагональю 4,3 дюйма и разрешением 480 × 272 точек;
- разъём для подключения видеокамеры;
- аудиокодек SAI;
- разъёмы аудиовхода и аудиовыхода;
- стереовыход;
- два встроенных MEMS-микрофона;
- вход SPDIF RCA;
- две кнопки (пользовательская и Reset);
- 64 Мбит SDRAM;
- разъём для подключения microSD-карты;
- разъём Ethernet, совместимый с IEEE-802.3-2002;
- совместимый с Arduino Uno V3 разъём с выводами.

БЕСПЛАТНЫЕ ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ

Существует множество различных вариантов как платных, так и полностью бесплатных программных средств разработки, позволяющих использовать мощь микроконтроллеров STM32 в полной мере. Бесплатные варианты позволяют сразу же начать работу с семейством STM32. У разработчиков есть выбор между тремя бесплатными, созданными в тесном сотрудничестве с STMicroelectronics, интегрированными средами разработки (IDE). Можно рассматривать альтернативы между основанными на Eclipse средами разработки, такими как CoCoX CoIDE [6] или Ac6 System Workbench для STM32 [7], а также средой Keil MDK-ARM [8]. Они не имеют ограничений на размеры кода, кроме того, в них поддерживаются все необходимые для STM32 конфигурационные файлы и прошивки, а также отладочное аппаратное обеспечение, такое как платы STM32 Nucleo или упомянутые ранее наборы Discovery Kit.

Ac6 System Workbench для STM32 и CoCoX IDE поддерживают все устройства STM32, в основе которых лежат ядра ARM Cortex-M0, M0+, M3 и M4. Бесплатная среда Keil MDK-ARM для STM32 помогает перейти от устаревшей 8-разрядной архитектуры к 32-разрядной разработке Cortex, поддерживая серии STM32F0 и STM32L0, включающие Cortex-M0 и M0+, без каких-либо ограничений.

Все три среды разработки могут работать на платформах Windows. Разработчиками было анонсировано, что для

Таблица 2. Оценочные платы STM32 Discovery с МК с ядром ARM Cortex-M0

Плата	STM32F0308	STM32F072B	STM32F0	STM32L0538
Микроконтроллер	F030R8T6	F072R8T6	F051R8T6	L053C8T6
Частота, МГц		48		32
RAM, Кбайт	8	16	8	8
Flash, Кбайт	64	128		64
Корпус		LQFP64		LQFP48
Экран		–		E-Paper 172 × 72
Светодиоды, шт.	4	6		4
Выводы		2 планки 33 × 1		2 планки 25 × 1
Гироскоп	–	L3GD20		–
USB			Mini-B	

Таблица 3. Оценочные платы STM32 Discovery с МК с ядром ARM Cortex-M3

Плата	STM32F3	STM32VL	STM32L	STM32L152C	STM32L100C
Микроконтроллер	F303VCT6	F100RB	L152RBT6	L152RBT6	L100RCT6
Частота, МГц	72	24		32	
RAM, Кбайт	48	8		16	
Flash, Кбайт	256		128		256
EEPROM, Кбайт	–		4	8	4
Корпус	LQFP100			LQFP64	
Экран	–			LCD	–
Светодиоды, шт.	10		2		4
Выводы	2 планки 25 × 2		2 планки 28 × 1		2 планки 33 × 1
Гироскоп	L3GD20			–	
Акселерометр + компас	LSM303DLHC			–	
USB					Mini-B

Таблица 4. Оценочные платы STM32 Discovery и Nucleo с МК с ядром ARM Cortex-M4

Плата	STM32F3348	STM32F401C	STM32F411E	STM32F429I	STM32L476G	STM32F4
Микроконтроллер	F334C8T6	F401VCT6	F411VET6	F429IT6	L476VGT6	F407VGT6
Частота, МГц	72	84	72	180	80	168
RAM, Кб	16	64	128	256	128	192
Flash, Кб	64	256	512	2048	1024	
EEPROM, Кб	-					
Корпус	LQFP48	LQFP100		LQFP144	LQFP100	
SDRAM, Мб	-		64		-	
Экран	-		TFT 320 × 200		LCD	-
Светодиоды, шт	6	8		6	7	8
Выводы	2 планки 25 × 1	2 планки 25 × 2		2 планки 32 × 2	2 планки 20 × 1	2 планки 25 × 2
Гироскоп	-		L3GD20			-
Акселерометр	-		-			LIS302DL или LIS3DSH
Акселерометр + компас	-	LSM303DLHC		-	LSM303DLHC	-
Аудиоусилитель + аудиокодек	-	Да		-	Да	
USB	Mini-B					
OTG	-	Micro-USB				

Ac6 System Workbench версии для ОС Linux и Mac OS X появятся уже в 2015 г., однако пока этого не произошло. Производители IDE обеспечивают техническую поддержку и постоянные обновления ПО.

Наиболее популярной среди разработчиков является CoIDE китайской фирмы Coocox [9]. Keil MDK-ARM в бес-

платной версии имеет ограничение на длину кода в 32 Кбайт для микроконтроллеров серий выше, чем STM32F0 и STM32L0.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.ru.wikipedia.org/wiki/Dhrystone.
2. www.en.wikipedia.org/wiki/Coremark.
3. www.eembc.org/coremark.
4. STM32L Cortex-M3 Microcontroller for Usage in Low-Power Healthcare Applications. TA0340 Technical Article. STMicroelectronics. 2011.
5. www.st.com.
6. www.coocox.org.
7. www.openstm32.org.
8. www.keil.com/mdk-st.
9. www.robotosha.ru/stm32/free-ide-stm32.html.







Программируемые аналоговые микросхемы:

весь спектр электроники на одном кристалле!



Активный компонент вашего бизнеса

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU

