

Быстрое освоение микроконтроллеров STM32

Олег Вальпа (г. Миасс, Челябинская обл.)

Приведено описание архитектуры и функциональных блоков недорогого 32-разрядного ARM-микроконтроллера, а также методика его быстрого освоения на основе практических примеров.

В последние годы 32-разрядные микроконтроллеры (МК) на основе процессоров ARM стремительно завоевывают мир электроники. Этот прорыв обусловлен их высокой производительностью, совершенной архитектурой, малым потреблением энергии, низкой стоимостью и развитыми средствами программирования.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ

Название ARM является аббревиатурой Advanced RISC Machines, где RISC (Reduced Instruction Set Computer) обозначает архитектуру процессоров с сокращённым набором команд. Подавляющее число популярных МК, например семейства PIC и AVR, также имеют архитектуру RISC, которая позволила увеличить быстродействие за счёт упрощения декодирования инструкций и ускорения их выполнения.

Появление совершенных и производительных 32-разрядных ARM-микроконтроллеров позволяет перейти к решению более сложных задач, с которыми уже не справляются 8- и 16-разрядные МК.

Микропроцессорная архитектура ARM с 32-разрядным ядром и набором команд RISC была разработана британской компанией ARM Ltd, которая занимается исключительно разработкой ядер, компиляторов и средств отладки. Компания не производит МК, а продаёт лицензии на их производство.

МК ARM – один из быстро развивающихся сегментов рынка МК. Эти приборы используют технологии энергосбережения, поэтому находят широкое применение во встраиваемых системах и доминируют на рынке мобильных устройств, для которых важно низкое энергопотребление. Кроме того, ARM-микроконтроллеры активно применяются в средствах связи, портативных и встраиваемых устройствах, где требуется высокая производительность.

Особенностью архитектуры ARM является вычислительное ядро процессора, не оснащённое какими-либо до-

полнительными элементами. Каждый разработчик процессоров должен самостоятельно дооснастить это ядро необходимыми блоками под свои конкретные задачи. Такой подход хорошо себя зарекомендовал для крупных производителей микросхем, хотя изначально был ориентирован на классические процессорные решения.

Процессоры ARM уже прошли несколько этапов развития и хорошо известны семействами ARM7, ARM9, ARM11 и Cortex. Последнее делится на подсемейства классических процессоров Cortex-A, процессоров для систем реального времени Cortex-R и микропроцессорные ядра Cortex-M.

Именно ядра Cortex-M стали основой для разработки большого класса 32-разрядных МК. От других вариантов архитектуры Cortex они отличаются, прежде всего, использованием 16-разрядного набора инструкций Thumb-2. Этот набор совмещал в себе производительность и компактность «классических» инструкций ARM и Thumb и разрабатывался специально для работы с языками C и C++, что существенно повышает качество кода.

Большим достоинством МК, построенных на ядре Cortex-M, является их программная совместимость, что теоретически позволяет использовать программный код на языке высокого уровня в моделях разных производителей.

Кроме обозначения области применения ядра, разработчики МК указывают производительность ядра Cortex-M по десятибалльной шкале. На сегодняшний день самыми популярными вариантами являются Cortex-M3 и Cortex-M4.

МК с архитектурой ARM производят такие компании, как Analog Devices, Atmel, Xilinx, Altera, Cirrus Logic, Intel, Marvell, NXP, STMicroelectronics, Samsung, LG, MediaTek, MStar, Qualcomm, Sony Ericsson, Texas Instruments, nVidia, Freescale, Миландр, HiSilicon и другие.

Благодаря оптимизированной архитектуре стоимость МК на основе ядра Cortex-M в некоторых случаях даже ни-

же, чем у многих 8-разрядных приборов. «Младшие» модели в настоящее время можно приобрести по 30 руб. за корпус, что создаёт конкуренцию предыдущим поколениям МК.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ STM32

Рассмотрим наиболее доступный и широко распространённый МК семейства STM32F100 от компании STMicroelectronics [1], которая является одним из ведущих мировых производителей МК. Недавно компания объявила о начале производства 32-битного МК, использующего преимущества индустриального ядра STM32 в недорогих приложениях. МК семейства STM32F100 Value line предназначены для устройств, где не хватает производительности 16-разрядных МК, а богатый функционал «обычных» 32-разрядных приборов является избыточным. Линейка МК STM32F100 базируется на современном ядре ARM Cortex-M3 с периферией, оптимизированной для применения в типичных приложениях, где использовались 16-разрядные МК.

Производительность МК STM32F100 на тактовой частоте 24 МГц превосходит большинство 16-разрядных МК. Данная линейка включает приборы с различными параметрами:

- от 16 до 128 кбайт флэш-памяти программ;
- от 4 до 8 кбайт оперативной памяти;
- до 80 портов ввода-вывода GPIO;
- до девяти 16-разрядных таймеров с расширенными функциями;
- два сторожевых таймера;
- 16-канальный высокоскоростной 12-разрядный АЦП;
- два 12-разрядных ЦАП со встроенными генераторами сигналов;
- до трёх интерфейсов UART с поддержкой режимов IrDA, LIN и ISO7816;
- до двух интерфейсов SPI;
- до двух интерфейсов I²C с поддержкой режимов SMBus и PMBus;
- 7-канальный блок прямого доступа к памяти (DMA);
- интерфейс CEC (Consumer Electronics Control), включённый в стандарт HDMI;
- часы реального времени (RTC);
- контроллер вложенных прерываний NVIC.

Функциональная схема STM32F100 представлена на рисунке 1. Дополни-

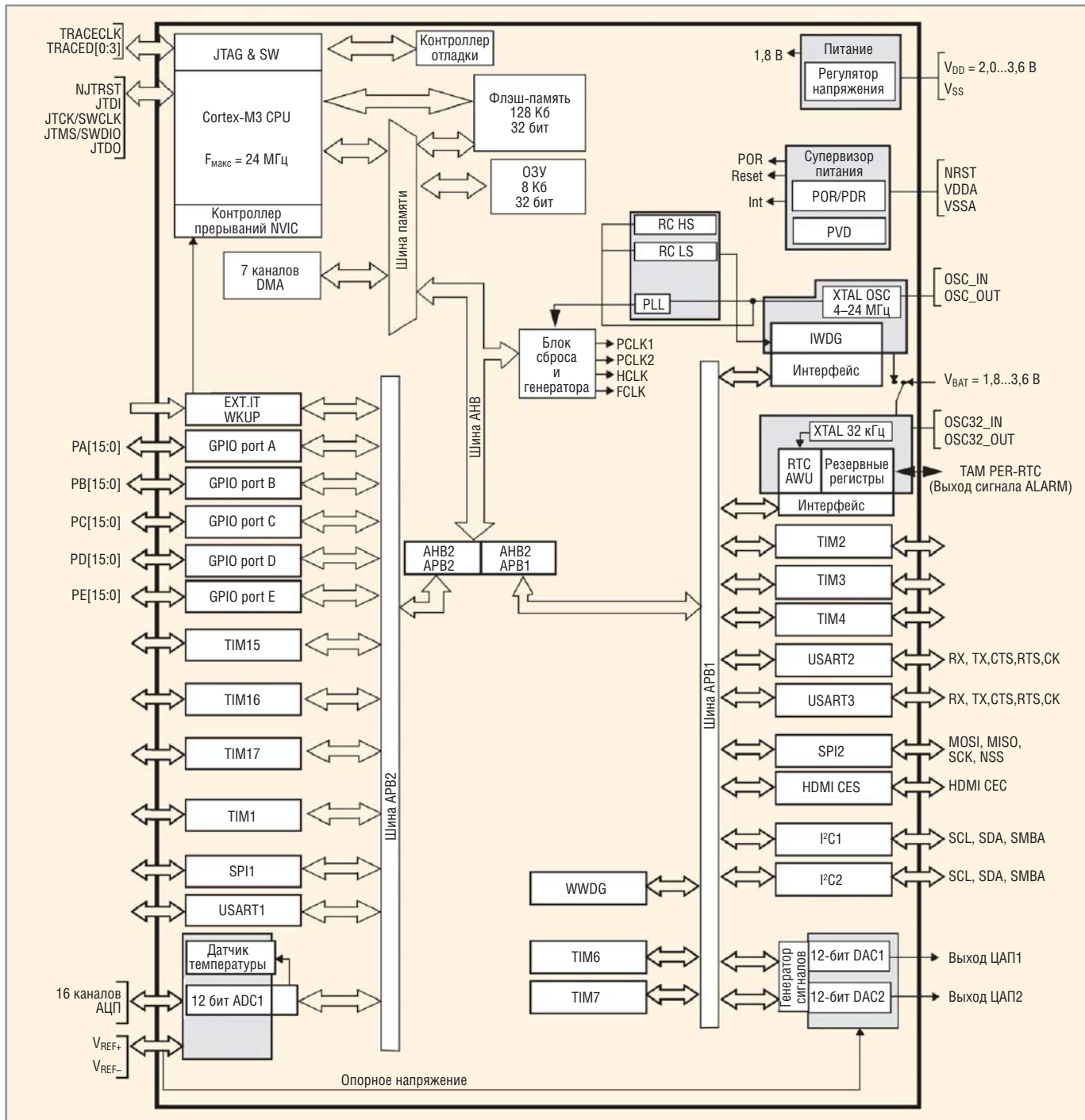


Рис. 1. Архитектура МК линейки STM32F100

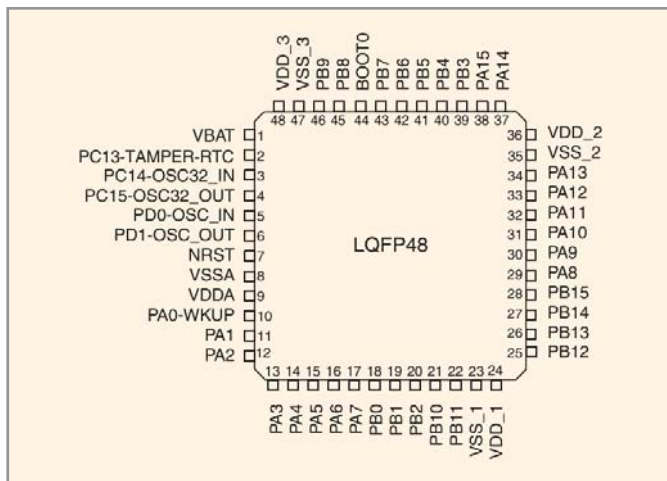


Рис. 2. МК STM32 в корпусе LQFP48

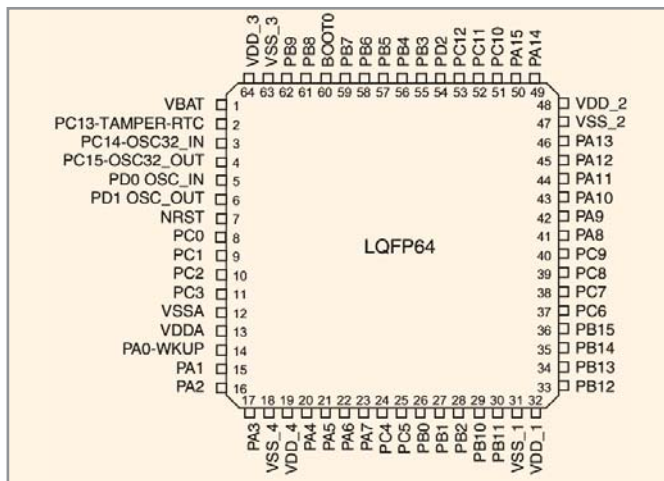


Рис. 3. МК STM32 в корпусе LQFP64

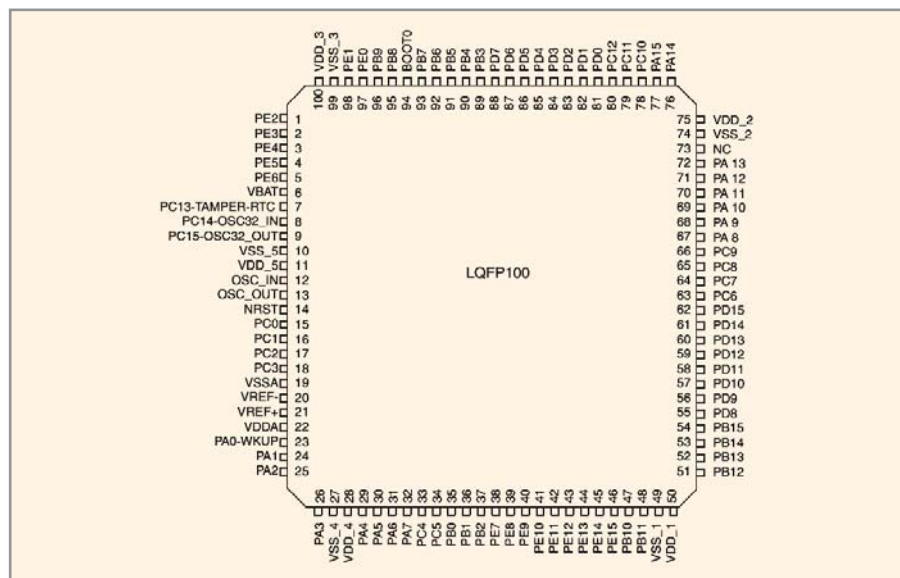


Рис. 4. МК STM32 в корпусе LQFP100

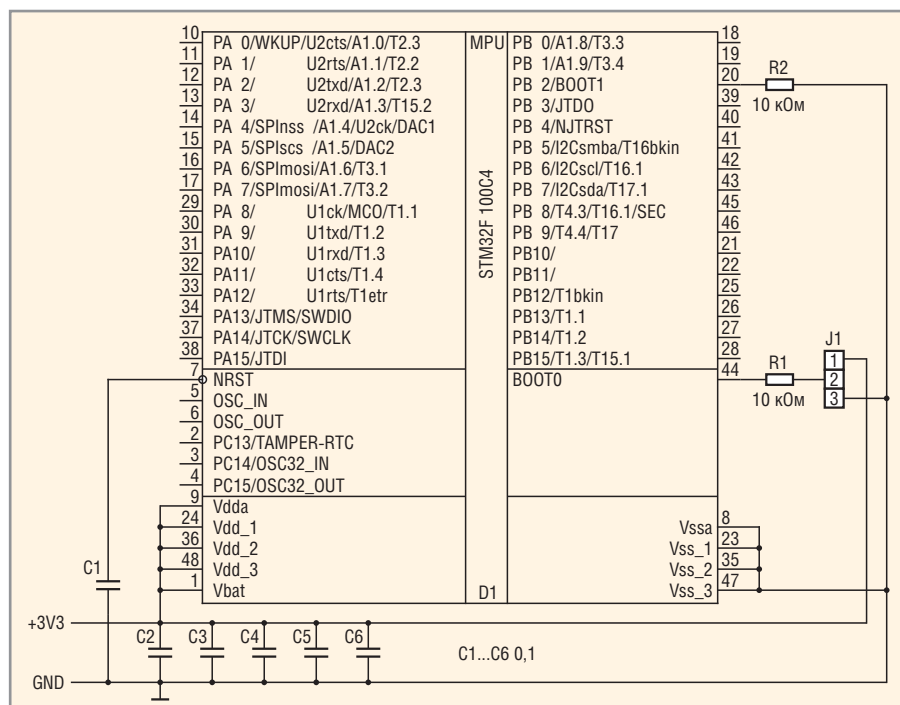


Рис. 5. Схема включения МК STM32F100C4

тельным удобством является совместимость приборов по выводам, что позволяет, при необходимости, использовать любой МК семейства с большей функциональностью и памятью без переработки печатной платы.

Линейка контроллеров STM32F100 производится в трёх типах корпусов LQFP48, LQFP64 и LQFP100, имеющих, соответственно, 48, 64 и 100 выводов.

Способы загрузки МК при включении питания

Состояние входа		Способ загрузки МК
BOOT1	BOOT0	
Произвольное состояние	0	Программа из флэш-памяти
0	1	Встроенный загрузчик
1	1	Программа из статической оперативной памяти (SRAM)

Назначение выводов представлено на рисунках 2, 3 и 4. Такие корпуса можно устанавливать на печатные платы без применения специального оборудования, что является весомым фактором при мелкосерийном производстве.

STM32F100 – доступный и оптимизированный прибор, базирующийся на ядре Cortex-M3, поддерживается развитой средой разработки МК семейства STM32, которая содержит

бесплатные библиотеки для всей периферии, включая управление двигателями и сенсорными клавиатурами.

СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ STM32F100C4

Рассмотрим практическое использование МК на примере самого простого прибора STM32F100C4, который, тем не менее, содержит все основные блоки линейки STM32F100. Принципиальная электрическая схема включения STM32F100C4 представлена на рисунке 5.

Конденсатор C1 обеспечивает сброс МК при включении питания, а конденсаторы C2-C6 фильтруют напряжение питания. Резисторы R1 и R2 ограничивают сигнальный ток выводов МК. В качестве источника тактовой частоты используется внутренний генератор, поэтому нет необходимости применять внешний кварцевый резонатор.

Входы BOOT0 и BOOT1 позволяют выбрать способ загрузки МК при включении питания в соответствии с таблицей. Вход BOOT0 подключён к шине нулевого потенциала через резистор R2, который предохраняет вывод BOOT0 от короткого замыкания при его использовании в качестве выходного порта PB2. С помощью соединителя J1 и одной переключки можно изменить потенциал на входе BOOT0, определяя тем самым способ загрузки МК – из флэш-памяти или от встроенного загрузчика. При необходимости загрузки МК из оперативной памяти аналогичный соединитель с переключкой можно подключить и к входу BOOT1.

Программирование МК осуществляется через последовательный порт UART1 или через специальные программаторы – отладчики JTAG или ST-Link. Последний входит в состав популярного отладочного устройства STM32VLDISCOVERY [2], изображённого на рисунке 6. На плате STM32VLDISCOVERY 4-контактный разъём программатора – отладчика ST-Link – имеет обозначение SWD. Автор статьи предлагает программировать МК через последовательный порт UART1, поскольку это значительно проще, не требует специального оборудования и не уступает в скорости JTAG или ST-Link.

В качестве управляющего устройства, способного формировать команды и отображать результаты работы программы МК, а также в качестве программатора можно использовать лю-

бой персональный компьютер (ПК), имеющий последовательный COM-порт или порт USB с преобразователем USB-RS232.

Для сопряжения COM-порта ПК с МК подойдет любой преобразователь сигналов RS-232 в уровни логических сигналов от 0 до 3,3 В, например, микросхема ADM3232. Линия передачи TXD последовательного порта компьютера, после преобразователя уровней, должна подключаться к входу PA10 микроконтроллера, а линия приёмника RXD, через аналогичный преобразователь, – к выходу PA9.

При необходимости использования энергонезависимых часов МК, к нему следует подключить элемент питания типа CR2032 с напряжением 3 В и кварцевый резонатор на частоту 32768 Гц. Для этого МК оснащён выводами Vbat/GND и OSC32_IN/OSC32_OUT. Предварительно вывод Vbat необходимо отключить от шины питания 3,3 В.

Оставшиеся свободными выводы МК можно использовать по необходимости. Для этого их следует подключить к разъёмам, которые расположены по периметру печатной платы для МК, по аналогии с популярными устройствами Arduino и отладочной платой STM32VLDISCOVERY [2].

Таким образом, в зависимости от назначения и способа применения МК, к нему можно подключать необходимые элементы, чтобы задействовать другие функциональные блоки и порты, например, ADC, DAC, SPI, I²C и т.п. В дальнейшем эти устройства будут рассмотрены подробнее.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Сегодня многие компании предлагают средства для создания и отладки программ микроконтроллеров STM32. К их числу относятся Keil от ARM Ltd, IAR Embedded Workbench for ARM, Atollic TrueStudio, Coocox IDE, GCC и Eclipse IDE. Разработчик может выбрать программные средства по своему предпочтению. Ниже будет описан инструмент Keil uVision 4 от компании Keil [3], который поддерживает огромное число типов МК, имеет развитую систему отладочных средств и может быть использован бесплатно с ограничениями размера генерируемого кода 32 кбайт (что, фактически, максимально для рассматриваемых МК).

Среда программирования Keil uVision 4 позволяет скомпилировать хорошо оптимизированный и компакт-

ный код программы. Кроме того, компания Keil может предоставить операционные системы реального времени, библиотеки программ, стеки USB, стеки TCP/IP и т.п. Комплект поставки среды разработки Keil содержит большое количество примеров программ, которые можно использовать в качестве учебного материала.

Для установки среды Keil uVision 4 необходимо предварительно зарегистрироваться на Интернет-странице [4] компании, заполнив в форме анкеты (см. рис. 7) соответствующие поля для типа МК, а также поля, выделенные жирным шрифтом. После успешной регистрации в окне проводника появится ссылка на архивный файл инсталляции MDK470.EXE версии 4.70 или более поздней. Требуется скачать данный файл на ПК. Процесс установки программы с настройками по умолчанию не вызывает затруднений.

После установки и запуска Keil uVision 4 появится основное окно программы (см. рис. 8), которое уже содержит пример готового проекта. Закроем этот проект с помощью элементов управления главного меню Project→Close Project и откроем более

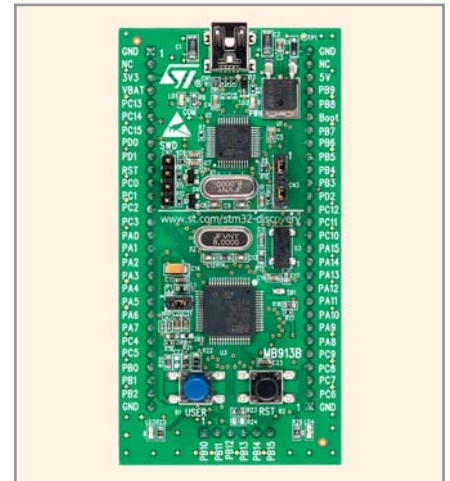


Рис. 6. Отладочное устройство STM32VLDISCOVERY

простой проект. Для этого воспользуемся командами Project→Open Project и выберем в каталоге Examples/Blinky файл Blinky.uvproj. Данный проект является самым простым и удобным для начального этапа освоения программирования МК.

Назначение программы этого проекта заключается в регулярном изменении состояния выходов портов PB8–PB15. Подключив к этим выводам светодиоды с последовательно вклю-

Enter Your Contact Information Below

First Name:	<input type="text"/>
Last Name:	<input type="text"/>
Professional Title:	<input type="text"/>
E-mail:	<input type="text"/>
Company:	<input type="text"/>
Company Web Site:	<input type="text"/>
Address:	<input type="text"/>
	<input type="text"/>
City:	<input type="text"/>
State/Province:	Select Your State or Province <input type="text"/>
Zip/Postal Code:	<input type="text"/>
Country:	Select Your Country <input type="text"/>
Phone:	<input type="text"/>
Fax:	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Send me e-mail when there is a new update.	

NOTICE:

If you select this check box, you will receive an e-mail message from Keil whenever a new update is available. If you don't wish to receive an e-mail notification, don't check this box.

I am using devices from: Analog Devices Nuvoton
 (Select all that apply) Atmel NXP
 Cypress Other
 Energy Micro Samsung
 Freescale SiLabs
 Fujitsu ST
 Holtek TI
 Infineon Toshiba

Which ARM architectures are you using? Cortex-M0 Cortex-M4
 (Select all that apply) Cortex-M1 Other
 Cortex-M3

Do you have any questions or comments?

Рис. 7. Форма регистрации на Интернет-странице компании Keil

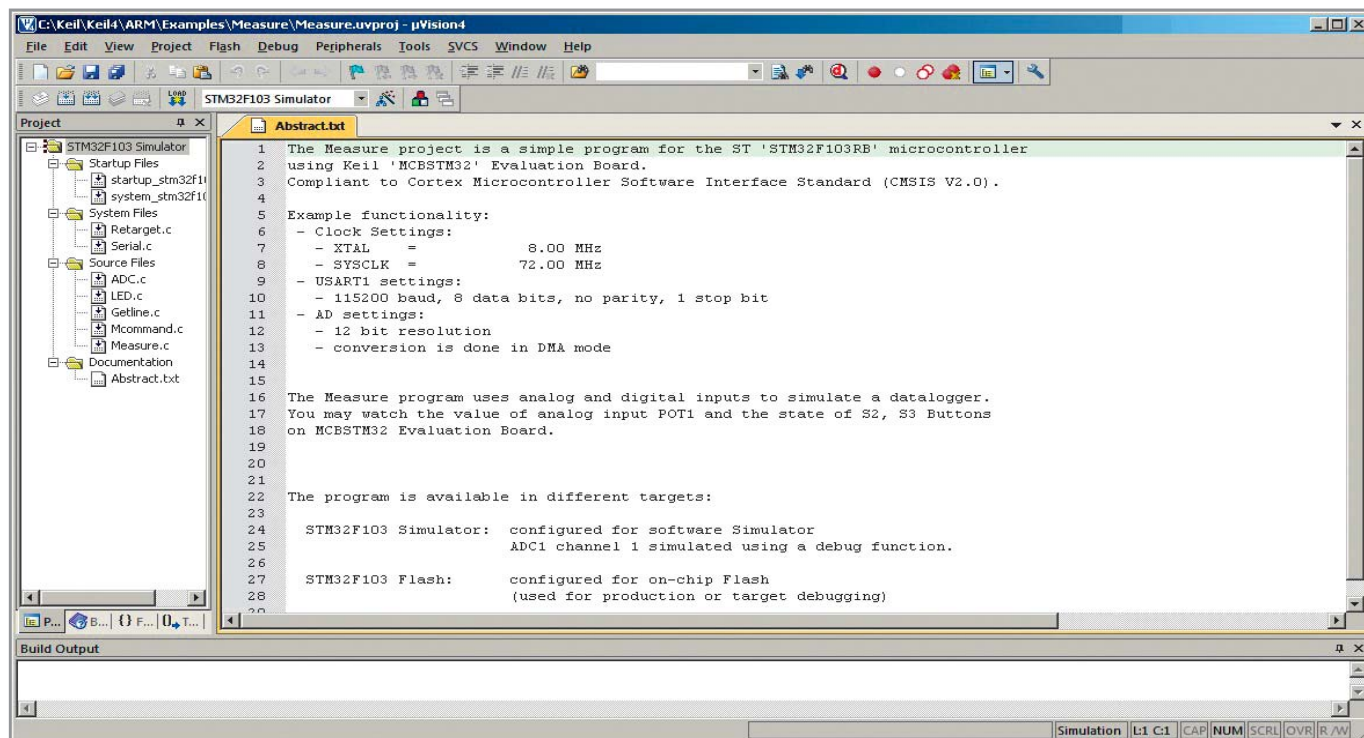


Рис. 8. Основное окно программы Keil uVision 4

чёмными резисторами 1 кОм для ограничения тока, можно наблюдать очередное загорание светодиодов.

В листинге 1 представлен проект написанной на языке C программы Blinky.c, которая реализует функцию

задержки, а в листинге 2 головной модуль программы проекта main.

Данный проект настроен под STM32F103RB, который отличается от рассматриваемого прибора STM32F100C4 большей функциональностью. Это позволит использовать все средства симуляции и виртуальные приборы среды разработки, поскольку при настройке проекта на использование МК STM32F100C4 некоторые элементы и функции симулятора будут недоступны.

Процедуру перенастройки проекта на МК STM32F100C4 лучше осуществлять после отладки программы, непосредственно перед созданием прошивки. Поэтому можно смело скомпилировать проект, нажав F7, и запустить симулятор среды с помощью Ctrl+F5. При этом откроется окно симулятора среды разработки (см. рис. 9) и появится возможность пошагового выполнения программы и просмотра содержимого любых функциональных блоков МК.

Теперь можно открыть окна для просмотра состояния регистров порта PB, используя команды Peripherals → General Purpose I/O-GPIOB, и наблюдать за их изменением в процессе пошагового выполнения программы с помощью клавиш F11 и F10 или с помощью команд меню Debug.

После того как вы убедитесь в нормальной работе программы в симуляторе, следует откорректировать настройку проекта и перекомпилировать проект для

Листинг 1

```

/*-----
wait function
*-----*/
void wait (void) {
    int d;
    for (d = 0; d < 2000000; d++); /* only to delay for LED flashes */
}

```

Листинг 2

```

/*-----
Main Program
*-----*/
int main (void) {
    unsigned int i; /* LED variable */

    RCC->APB2ENR |= (1UL << 3); /* Enable GPIOB clock */

    GPIOB->CRH = 0x33333333; /* PB.8..16 defined as Outputs */

    while (1) { /* Loop forever */
        for (i = 1<<8; i < 1<<15; i <= 1) { /* Blink LED 0,1,2,3,4,5,6 */
            GPIOB->BSRR = i; /* Turn LED on */
            wait (); /* call wait function */
            GPIOB->BRR = i; /* Turn LED off */
        }
        for (i = 1<<15; i > 1<<8; i >= 1) { /* Blink LED 7,6,5,4,3,2,1 */
            GPIOB->BSRR = i; /* Turn LED on */
            wait (); /* call wait function */
            GPIOB->BRR = i; /* Turn LED off */
        }
    }
}

```

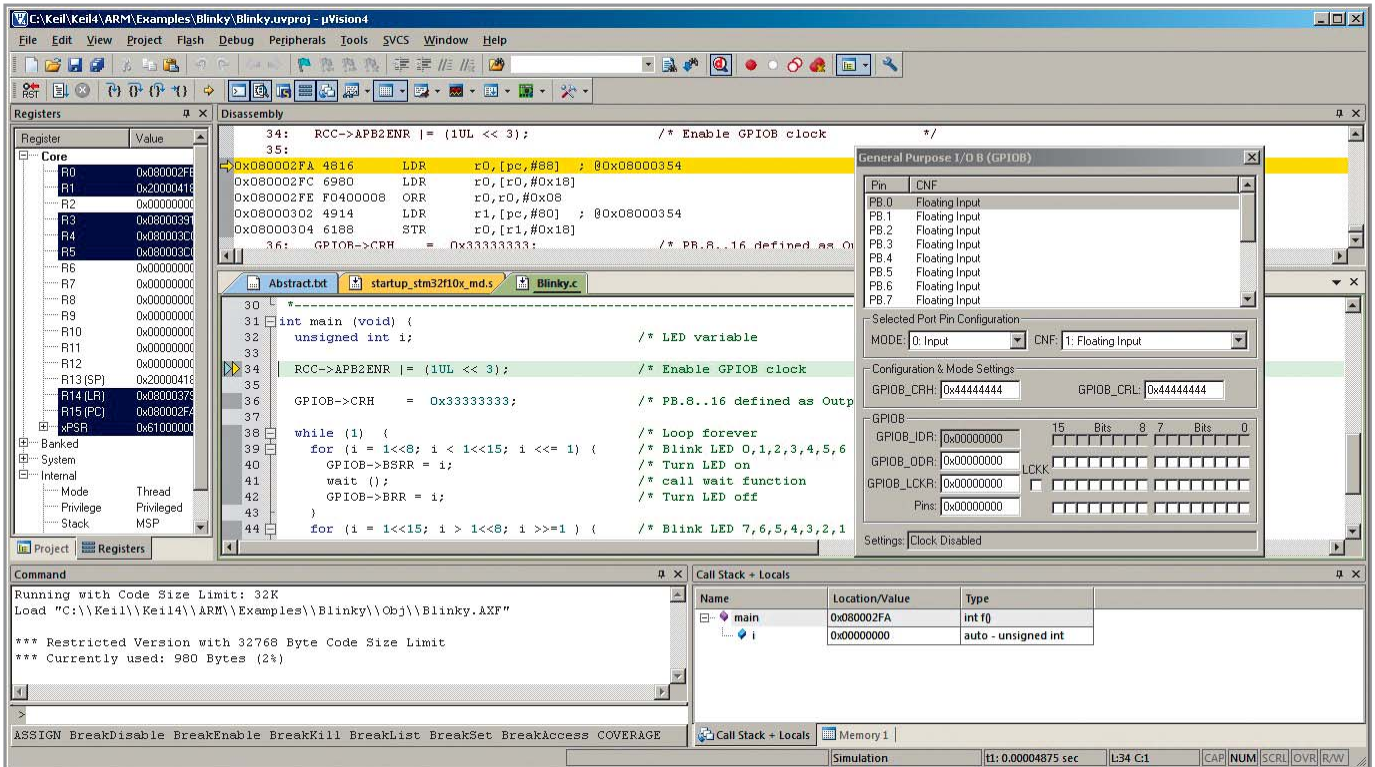


Рис. 9. Окно симулятора среды разработки

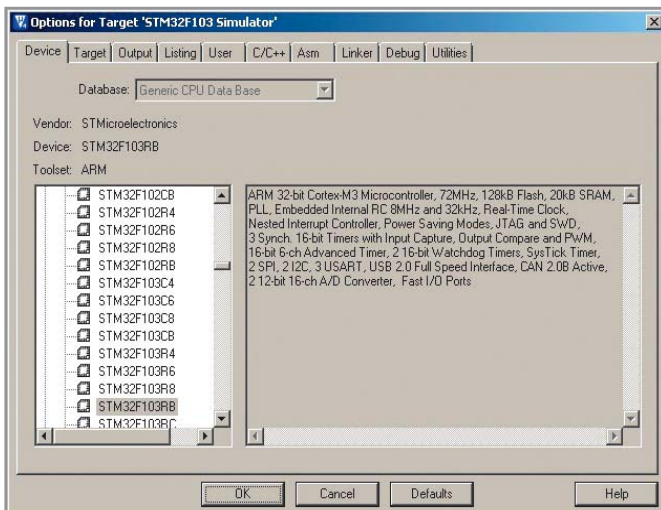


Рис. 10. Окно настройки проекта

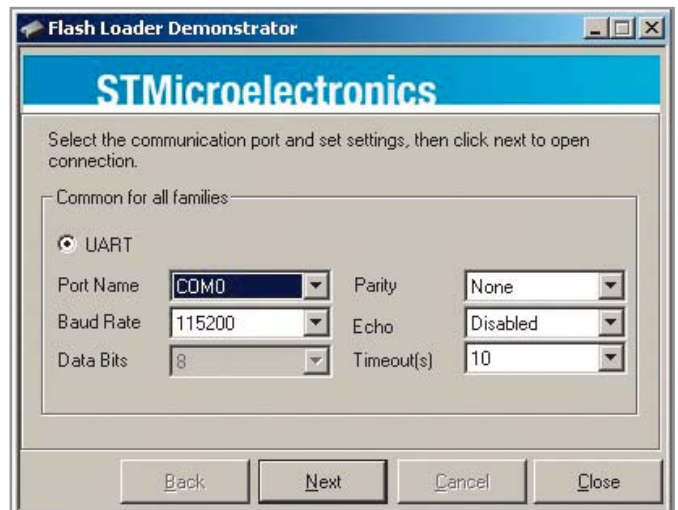


Рис. 11. Окно программы программатора

нашего типа МК. Для этого нажимаем комбинацию Ctrl+F5, которая открывает окно настройки проекта, показанное на рисунке 10. В закладке Device необходимо выбрать тип МК STM32F100C4, а в окне с закладкой Output – отметить строку «Create HEX File» для создания файла прошивки. После чего следует закрыть окно настроек и перекомпилировать проект, нажав клавишу F7.

Теперь остаётся прошить полученный код программы в МК и насладиться результатами своего труда. Для этого необходимо скачать и установить на компьютер бесплатную программу программатора с Интернет-страницы STMicroelectronics [5] и выполнить следующие действия:

- подключить COM-порт компьютера через преобразователь уровней 0–3,3 В к соответствующим выводам UART1 МК;
- установить переключатель способа загрузки J1 в положение встроенного загрузчика;
- произвести сброс МК путём отключения питания или кратковременным замыканием конденсатора C1, подключённого к входу сброса МК;
- запустить установленную программу программатора, показанную на рисунке 11;
- выбрать в программе номер последовательного порта и последовательно выполнить процедуру програм-

мирования МК, указав в качестве прошивки созданный ранее файл с расширением HEX.

В следующих статьях будут представлены функциональные блоки МК с примерами их использования и программирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.st.com>.
2. <http://www.st.com/stm32-discovery>.
3. <http://www.keil.com>.
4. <https://www.keil.com/demo/eval/arm.htm>.
5. http://www.st.com/internet/com/SOFTWARE_RESOURCES/SW_COMPONENT/SW_DEMO/stm32-stm8_flash_loader_demo.zip.

