

Аппаратно-программный комплекс на базе универсального лабораторного стенда для изучения 8-, 16- и 32-разрядных микроконтроллеров

В этой статье вниманию специалистов и преподавателей представляется комплекс аппаратных и программных средств для изучения 8-, 16- и 32-разрядных микроконтроллеров. Универсальный лабораторный стенд на основе платы UNI-DS3 и микроконтроллерных модулей специализации составляет аппаратную компоненту комплекса. В настоящее время лабораторный стенд поддерживает 8-разрядные микроконтроллеры 8051 и AVR (ATMEL), PICmicro (Microchip), 16-разрядные микроконтроллеры dsPIC, 32-разрядные ARM7 микроконтроллеры NXP и «системы на кристалле» PSoC фирмы Cypress Semiconductor. В качестве программных средств при обучении могут быть использованы компиляторы mikroBasic, mikroPascal, mikroC. Рассматриваемый лабораторный стенд разрабатывался именно как учебный. Особое внимание было уделено методическим аспектам передачи практических навыков разработки микроконтроллерной техники, в том числе в плане дизайна, конструкции и технологии изготовления.

Владимир БРОДИН
brodin@terraelectronica.ru
Петр ПЕРЕВОЗЧИКОВ
p.perevozchikov@terraelectronica.ru

Современный этап развития микроконтроллеров связан с появлением широкого круга задач, требующих увеличения разрядности процессорного ядра до 16/32 разрядов и перехода на языки программирования высокого уровня. Увеличивается число прикладных областей, задачи которых решаются с помощью операционных систем реального времени, функционирующих на микроконтроллерных платформах. Высокопроизводительные 32-разрядные микроконтроллеры с архитектурой ARM7 и ARM9, Cortex-M3 и другие стерли границу между ранее обособленными областями встраиваемых систем — компьютерной, на основе 32-разрядных процессоров с программированием на языках высокого уровня, и контроллерной, на основе 8-разрядных микроконтроллеров с программированием на ассемблере. Но и старые архитектуры не исчезли. Такие фирмы, как Atmel, Analog Devices, Winbond, Silicon Laboratories и ряд других использовали новые возможности микроэлектроники для выпуска на основе ядра 8051 микроконтроллеров с расширенными наборами периферийных модулей. Благодаря это-

му архитектура 8051, которой многие прочили забвение, обрела «второе дыхание» и стала стандартом «де-факто».

В целом можно заключить, что современный специалист в области встраиваемых систем должен владеть практическими навыками проектирования на основе широкой гаммы 8-, 16- и 32-разрядных микроконтроллеров с применением нескольких языков программирования. Задача обучения, повышения квалификации и переподготовки в настоящее время важна не только для образовательных учреждений, но и для индивидуальных специалистов, которые нуждаются в периодическом тренинге. В связи с этим весьма актуальными выглядят универсальные учебные средства по микроконтроллерам, наращиваемые по возможностям и позволяющие освоить широкую номенклатуру элементной базы и программных средств.

Компания mikroElektronika (Сербия) имеет значительный опыт разработки и производства аппаратных и программных учебных средств для микроконтроллеров. Ее изделия отличаются хорошей методической проработкой комплекса задач, связанных с переда-

чей практического опыта проектирования. В лабораторных стендах удачно выбраны комбинации процессорных ядер микроконтроллеров, наборов их внутренних интерфейсных блоков и модулей ввода/вывода на платах.

Комплект аппаратных средств от фирмы mikroElektronika включает универсальный лабораторный стенд на основе платы UNI-DS3 (рис. 1) и набора микроконтроллерных плат специализации, а также платы расширения. В настоящее время лабораторный стенд поддерживает 8-разрядные микроконтроллеры 8051 и AVR (ATMEL), PICmicro (Microchip), 16-разрядные микроконтроллеры dsPIC, 32-разрядные ARM7 микроконтроллеры NXP и «системы на кристалле» PSoC фирмы Cypress Semiconductor.

Аппаратные средства лабораторного стенда представляют собой конструктор из набора функциональных модулей. На универсальной плате установлены функциональные модули ввода/вывода и стабилизатор напряжения питания, используемый при подключении внешнего источника. На рис. 1 видно, что продуманное расположение функциональных

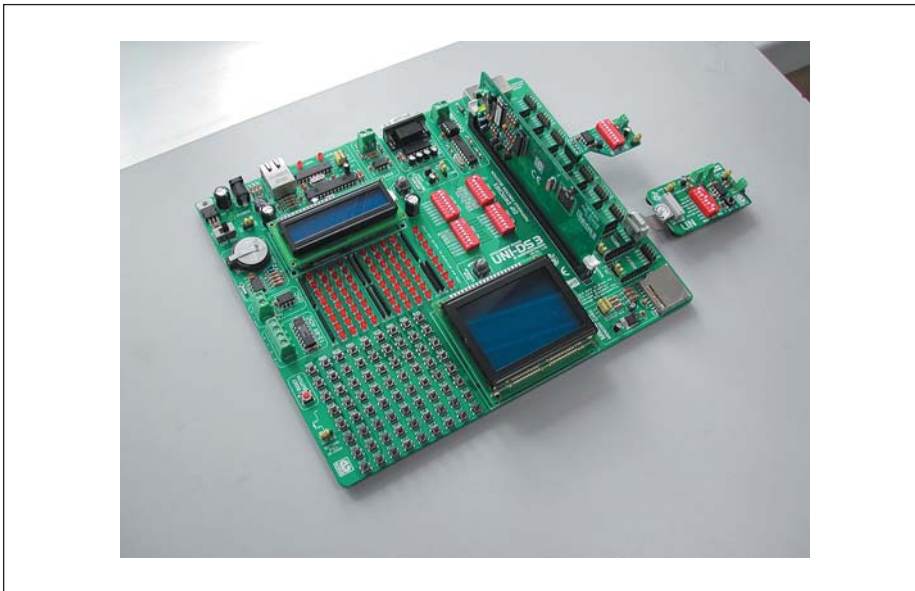


Рис. 1. Универсальный лабораторный стенд на основе платы UNI-DS3

модулей на плате подкреплена множеством поясняющих надписей и знаков, так что процесс работы становится во многом интуитивно понятен до чтения документации. Кроме фиксированного набора модулей ввода/вывода на плате стенда, производитель выпускает функциональные модули в виде небольших плат расширения. Все линии портов микроконтроллера на универсальной плате выведены на девять штыревых разъемов 2×5 выводов, к которым возможно подключение внешних плат, расширяющих номенклатуру изучаемых периферийных устройств.

На универсальной плате в качестве устройств ввода могут использоваться кнопки, подключенные ко всем линиям портов микроконтроллеров, 12-разрядный АЦП, часы реального времени, считыватель MMC/SD-карт. Для отображения данных на плате имеются светодиоды на всех линиях портов микроконтроллера, а также предусмотрены посадочные места со штыревыми разъемами для установки алфавитно-цифрового и графического дисплеев. Вывод данных может производиться на 12-разрядный ЦАП. Для двустороннего обмена установлены драйверы и разъемы RS-232, RS-485, CAN и Ethernet.

Универсальный лабораторный стенд UNI-DS3 имеет развитую систему коммутации, которая позволяет выборочно подключать к линиям портов микроконтроллера устройства ввода/вывода и формировать аппаратную конфигурацию микроконтроллерной системы в соответствии с требованиями проекта.

На плате универсального стенда имеется разъем, в который может быть установлена одна из плат специализации. На этих платах находятся целевые микроконтроллеры и схемы их ближайшего обрамления, включая интегрированные программаторы. В настоящее время набор плат специализации следующий:

- UNI-DS3 40 PIN PIC CARD (рис. 2). Плата предназначена для изучения новых 8-разрядных микроконтроллеров семейства PIC. На ней установлен микроконтроллер PIC18F4520, разработанный на основе технологии nanoWatt. Он имеет 8-разрядное ядро с производительностью 10 MIPS и аппаратным умножителем 8×8 разрядов. Ядро может тактироваться от внутреннего прецизионного генератора с программируемой частотой от 31 кГц до 8 МГц. Флэш-память программ составляет 32 кбайт,

ОЗУ равно 1536 байт, 256 байт EEPROM. В набор блоков ввода/вывода входит 10-разрядный АЦП (13 каналов, 100 KSPS), канал ЕССР (расширенный модуль захвата/сравнения/ШИМ) и канал ССР (стандартный модуль захвата/сравнения/ШИМ), интерфейсы EUSART и MSSP (SPI, I²C), два аналоговых компаратора, один 8-разрядный и три 16-разрядных таймера, сторожевой таймер. Напряжение питания может составлять от 2,0 до 5,5 В.

На плату интегрирован программатор PICFlash2, совмещающий функции программатора и внутрисхемного отладчика mikroICD.

- UNI-DS3 80 PIN PIC CARD (рис. 3). Плата предназначена для изучения 8-разрядных микроконтроллеров увеличенной производительности семейства PIC. На ней установлен микроконтроллер PIC18F8520 со встроенным умножителем 8×8 и интегрированным эмулятором. Ядро работает с 16-разрядными командами и 8-разрядными данными на частоте синхронизации 40 МГц (10 MIPS). Микроконтроллер имеет память программ 16384×16, ОЗУ 2 кбайт, 16 каналов 10 разрядного АЦП и два аналоговых компаратора, пять модулей ШИМ, два интерфейса USART, интерфейсы SPI и I²C. Линии портов снабжены драйверами, обеспечивающими ток до 25 мА. Микроконтроллер способен адресовать до 2 Мбайт внешней памяти.

На плату интегрирован программатор PICFlash2, совмещающий функции программатора и внутрисхемного отладчика mikroICD.

- UNI-DS3 64 PIN AVR CARD (рис. 4). Для изучения микроконтроллеров семейства AVR фирмы Atmel, одного из самых распространенных в практике отечественного проектирования. На плате установлен микроконтроллер ATmega128, имеющий 8-разрядное ядро с F_{max} = 16 МГц, 128 кбайт флэш-памяти программ, 4 кбайт ОЗУ, 4 кбайт EEPROM, 8 каналов 10-разрядного АЦП и аналоговый компаратор, два 8-разрядных счетчика/таймера с режимами сравнения, два 16-разрядных счетчика/таймера с режимами захвата/сравнения, RTC и WDT с отдельными генераторами,

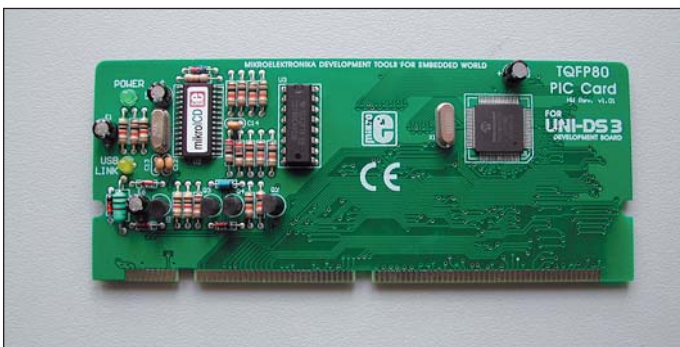


Рис. 2. Плата специализации UNI-DS3 40 PIN PIC CARD

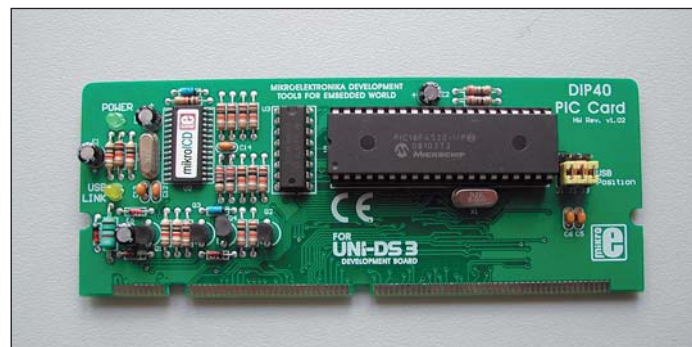


Рис. 3. Плата специализации UNI-DS3 80 PIN PIC CARD



Рис. 4. Плата специализации UNI-DS3 64 PIN AVR CARD

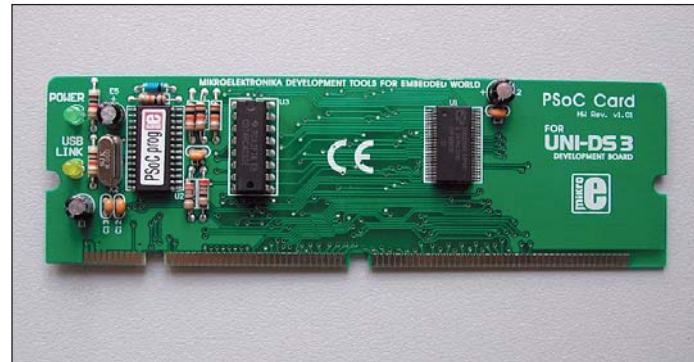


Рис. 5. Плата специализации UNI-DS3 48 PIN PSoC CARD

два 8-разрядных канала ШИМ и шесть каналов ШИМ с программируемым разрешением 2–16 разрядов, интерфейсы USART, SPI и TW, шесть режимов пониженного энергопотребления.

На плату интегрирован программатор AVRProg2. Предусмотрена возможность подключения JTAG-эмулятора AT JTAG ICE2.

- DS3 48 PIN PSoC CARD (рис. 5). Позволяет изучать применение БИС типа «система на кристалле» (PSoC) фирмы Cypress Semiconductor. На плате установлена БИС CY8C27643, объединяющая на одном кристалле микроконтроллер, цифровые блоки, аналоговые блоки, а также программируемые элементы внутренней коммутации. БИС этого типа позволяют создать индивидуальную схему для обработки смешанного набора сигналов и заменить несколько традиционных компонентов микроконтроллерных систем. Ядро M8C 8-разрядное с $F_{max} = 24$ МГц, имеется умножитель 8×8 с 32-разрядным накопителем, флэш-память программ 16 кбайт. Восемь цифровых блоков позволяют реализовать 8...32-разрядные таймеры, 8...32-разрядные счетчики, 8...16-разрядные ШИМ, генераторы псевдослучайных чисел и генераторы CRC16, а также интерфейсы UART, SPI, IrDA. Для реализации каждого устройства затрачивается от одного до четырех блоков. Двенадцать аналоговых блоков позволяют реализовать АЦП, ЦАП, усилители с программируемым усилением, программируемые компараторы и фильтры. На плате специализации находится программатор PSoC Prog2. Бесплатная версия системы проектирования PSoC Designer доступна на сайте www.cypressmicro.com.
- UNI-DS3 40 PIN 8051 CARD (рис. 6). Позволяет изучать микроконтроллеры 8051, ставшие уже классикой. На плате установлен микроконтроллер AT89S8253 фирмы Atmel. Он имеет 8-разрядное ядро, 12 кбайт ISP флэш-памяти программ, 2 кбайта EEPROM, три 16-разрядных счетчика/таймера, порты SPI и UART, WDT-таймер, два режима пониженного энергопотребления. На плате находится ISP-программатор 8051flash.
- UNI-DS3 64 PIN ARM CARD (рис. 7). Плата предназначена для изучения 32-разрядных микроконтроллеров семейства ARM7. На плате установлен микроконтроллер LPC2148 фирмы NXP (Philips). Он характеризуется небольшой стоимостью при высокой производительности ядра и функциональной мощности периферийных блоков, быстрой реакцией на прерывания и низким энергопотреблением. Это позволяет рассматривать его во многих случаях в качестве варианта замены 8-разрядных микроконтроллеров. Микроконтроллер имеет ядро ARM7TDMI с $F_{max} = 60$ МГц, флэш-память программ 512 кбайт с ISP/IAP, ОЗУ 40 кбайт, JTAG, интерфейс USB 2.0 Full Speed (12 МГц) с 8 кбайт ОЗУ данных и доступом через канал ПДП, два 10-разрядных

АЦП (14 аналоговых входов), 10-разрядный ЦАП, два 32-разрядных таймера/счетчика с 4 каналами выборки/сравнения, 6 каналов модуля ШИМ, сторожевой таймер, часы реального времени, два UART, два I²C, SPI и SSP, режимы энергосбережения Idle и Powerdown, питание +3,3 В, индивидуальное управление питанием модулей ввода/вывода; выводы совместимы с логическими уровнями от питания +5 В.

На плате находится ISP/IAP программатор ARMprog.

- UNI-DS3 80 PIN dsPIC CARD (рис. 8). Плата предназначена для изучения 16-разрядных микроконтроллеров семейства dsPIC, имеющих особую группу команд и аппаратные ресурсы для цифровой обработки сигналов. Семейство dsPIC включает три линейки микроконтроллеров: для работы с датчиками (18 выводов), для управления двигателями и системами электропитания (28–80 выводов), микроконтроллеры общего применения (40–80 выводов). На плате установлен микроконтроллер dsPIC 30F6014A общего назначения.

Процессорное ядро dsPIC работает с 24-разрядными командами, причем 3-операндные команды преобразования данных выполняются за один машинный цикл (4 периода тактовой частоты). Память данных разбита на два блока, обозначаемых как X и Y память данных. Микроконтроллерные команды работают только с X-областью памяти, а команды из группы DSP работают с обеими областями памяти. Ядро микроконтроллера имеет



Рис. 6. Плата специализации UNI-DS3 40 PIN 8051 CARD



Рис. 7. Плата специализации UNI-DS3 64 PIN ARM CARD



Рис. 8. Плата специализации UNI-DS3 80 PIN dsPIC CARD



Рис. 9. Плата расширения 12-разрядного ЦАП

40-разрядное АЛУ и два 40-разрядных аккумулятора, выполняет команды умножения 17×17 за один цикл.

Микроконтроллер dsPIC 30F6014A имеет 144 кбайт памяти программ, 8 кбайт ОЗУ и 4 кбайт EEPROM, пять 16-разрядных счетчиков/таймеров, восемь линий захвата и восемь линий сравнения, 16 каналов 12-разрядного АЦП, по два интерфейса UART, SPI и CAN, интерфейс I²C, 80-выводный корпус TQFP.

На плату интегрирован программатор dsPICprog2, совмещающий функции программатора и внутрисхемного отладчика mikroICD.

В соответствии с концепцией универсального стенда как конструктора, производитель выпускает более полусотни функциональных модулей ввода/вывода в виде небольших плат расширения. Часть этих функциональных модулей уже имеется на универсальной плате, а другие позволяют расширить набор функций. Все модули могут быть присоединены к универсальной плате стенда через штыревые разъемы, на которые выведены порты микроконтроллеров.

В набор функциональных модулей, уже имеющихся на плате, входит модуль 12-разрядного ЦАП (рис. 9). Он может быть подключен для увеличения количества аналоговых выходов.

На рис. 9 видно, что этот модуль, как и некоторые другие внешние модули, является настраиваемым. Конфигурация переключателей должна соответствовать типу микроконтроллера на установленной плате специализации.

Из функциональных модулей, отсутствующих на плате, можно обратить внимание на модули трехосевого акселерометра, инфракрасного датчика движения и цифрового потенциометра. Внешние платы акселерометра и датчика движения при подключении добавляются к набору модулей ввода группы датчиков и позволяют проводить натурные эксперименты.

Плата расширения на базе 3-осевого акселерометра выполнена на основе микросхемы ADXL330 (рис. 10). С ее помощью возможно как измерение динамического ускорения при движении, ударах и вибрации, так и измерение наклона в статике. Диапазон измеряемых ускорений равен $\pm 3g$. Выходы акселерометра буферизованы операционными усилителями микросхемы MCP6284.

Плата датчика движения включает пассивный инфракрасный датчик типа AMN1112, формирующий на выходе значение логической «1» при обнаружении движения объекта, излучающего энергию в инфракрасном диапазоне.

Плата цифрового потенциометра реализована на базе микросхемы MCP41010 (рис. 11), которая обеспечивает полное активное сопротивление 10 кОм и 256 ступеней регулирования. Такие микросхемы применяются в аналоговых цепях для цифрового регулирования величины активного сопротивления. Дистанционное управление осуществляется по интерфейсу SPI. Изучение цифрового потенциометра полезно, поскольку демонстрирует реализацию пассивного компонента электронных цепей в виде программируемой интерфейсной микросхемы, которая хранит значение текущего номинала при отключении питания и имеет команду отключения для снижения энергопотребления, как и микроконтроллеры.

Интересны платы MP3-плееров, а также плата аудиосуилителя, позволяющие добавить к стенду канал воспроизведения цифрового звука.

В наборе плат расширения имеется макетная плата, на которой можно смонтировать собственный фрагмент схемы и отладить его во взаимодействии с микроконтроллерной системой.

На сайте производителя доступны схемы всех плат расширения и схемы их подключения к стенду, а также примеры программ обслуживания.

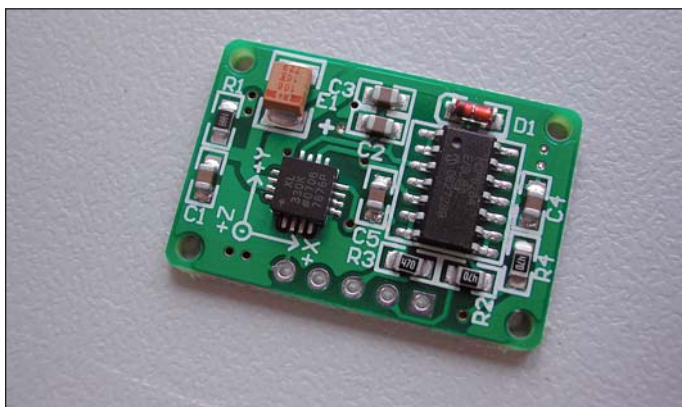


Рис. 10. Плата 3-осевого акселерометра

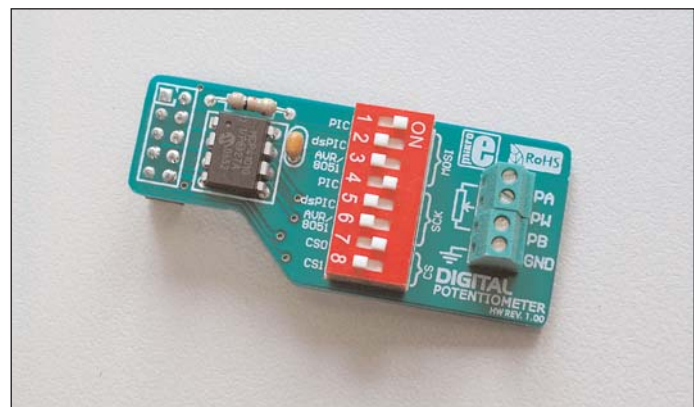


Рис. 11. Плата цифрового потенциометра

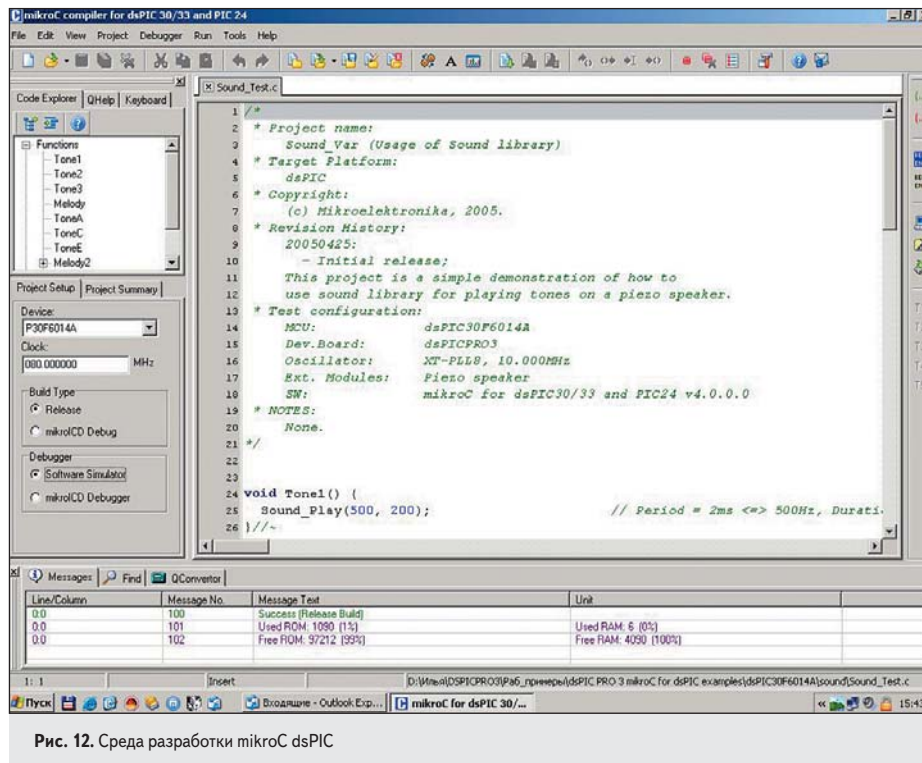


Рис. 12. Среда разработки mikroC dsPIC

Разработка прикладных программ для микроконтроллеров универсального стандарта может осуществляться с использованием систем программирования на языках mikroC, mikroBasic, mikroPascal от компании mikroElektronika. В настоящее время имеются следующие версии систем:

- mikroC для микроконтроллеров 8051, PIC (PIC12/16/18), dsPIC (dsPIC24/30/33), Sensory RSC-4x;
- mikroPascal для микроконтроллеров PIC (PIC12/16/18), dsPIC (dsPIC24/30/33), Atmel AVR;
- mikroBasic для микроконтроллеров PIC (PIC12/16/18), dsPIC (dsPIC24/30/33), Atmel AVR.

Все перечисленные системы имеют похожие оболочки (IDE — Integrated Development Environment) с удобным многооконным интерфейсом пользователя. Вид рабочего экрана системы mikroC dsPIC приведен на рис. 12.

Каждая система включает полный набор инструментальных модулей — редактор текста, компилятор, редактор связей, библиотекарь, отладчик и программатор флэш-памяти микроконтроллера.

Прикладная программа создается, транслируется и отлаживается как некоторый проект, структуру которого отображает **Code Explorer**. В его окне (слева вверху на рис. 12) можно видеть имена переменных, функций, подключаемых файлов и других элементов исходного текста программы. Щелчок по имени элемента приводит к переводу курсора в окне исходного текста на строку с его определением. Это удобно для поиска элементов в больших файлах. В этом окне может также отображаться список «горячих» клавиш

(**Keyboard**) и список доступных функций языка mikroC (**QHelp**). Двойной щелчок по имени функции открывает ее описание.

При создании проекта необходимо определить тип целевого микроконтроллера, его рабочую частоту, а также необходимость внедрения в формируемый код отладочной информации. Эти параметры проекта определяются с использованием окна **Project Setup** (слева внизу на рис. 12). В этом окне может также отображаться структура проекта (**Project Summary**) — наборы файлов исходного текста, подключаемых библиотечных функций и выходных файлов.

Окно редактора исходного текста находится в центре на рис. 12. Все системы программирования имеют мощные редакторы текста с выделением (цветом или увеличенной яркостью знаков) синтаксических конструкций и механизмами поддержки создания исходного текста на определенном языке программирования. Имеются механизмы **Code Assistant** (выдача списка зарезервированных имен по первым набранным буквам), **Parameter Assistant** (выдача списка параметров по имени функции), **Code Templates** (выдача фрагмента исходного текста по введенному имени).

Компания mikroElektronika поддерживает создание прикладных программ для микроконтроллеров большим количеством функций обслуживания периферийных устройств. Например, набор функций обслуживания аппаратуры в системе программирования mikroC dsPIC включает следующие библиотеки:

- ADC Library.
- Advanced SPI Ethernet Library.
- CAN Library.

- CANSPI Library.
- Compact Flash Library.
- DSP Library.
- Enhanced CAN Library.
- EEPROM Library.
- Flash Memory Library.
- Graphic LCD Library.
- I²C Library.
- Keypad Library.
- LCD Custom Library.
- LCD8 Custom Library.
- Manchester Code Library.
- Multi Media Card Library.
- OneWire Library.
- Port Expander Library.
- PS/2 Library.
- PWM Library.
- PWM Motor Library.
- RS-485 Library.
- Software I²C Library.
- Software SPI Library.
- Software UART Library.
- Sound Library.
- SPI Library.
- SPI Ethernet Library.
- SPI Graphic LCD Library.
- SPI LCD Library.
- SPI LCD8 Library.
- SPI T6963C Graphic LCD Library.
- T6963C Graphic LCD Library.
- UART Library.

Использование этих функций позволяет быстро продвигаться по пути приобретения практических навыков интеграции программного обеспечения и аппаратуры стандарта ME-UNI-DS3. Системы программирования на языке Си, разумеется, включают его стандартные функции:

- ANSI C Ctype Library.
- ANSI C Math Library.
- ANSI C Stdlib Library.
- ANSI C String Library.

После установки системы программирования в директории ProgramFiles\... \examples можно найти демонстрационные программы работы с периферийными устройствами, входящими в набор функциональных модулей платы ME-UNI-DS3. У системы mikroC dsPIC набор демо-программ для микроконтроллера — dsPIC30F6014A (рис. 13).

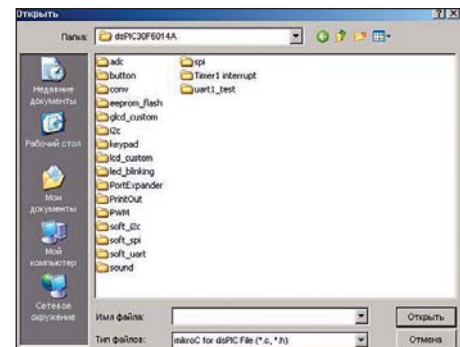


Рис. 13. Набор демо-программ для микроконтроллера dsPIC30F6014A

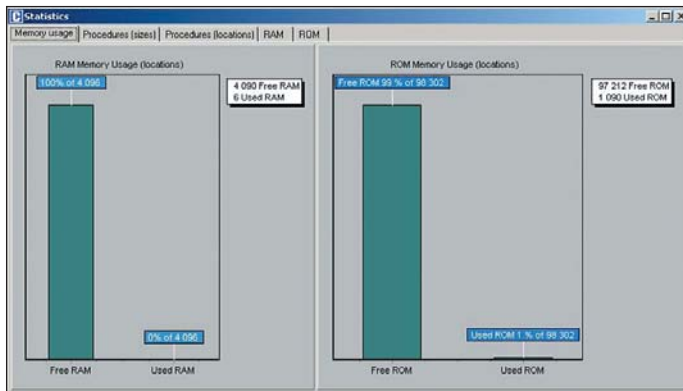


Рис. 14. Окно Statistics в конфигурации Memory Usage

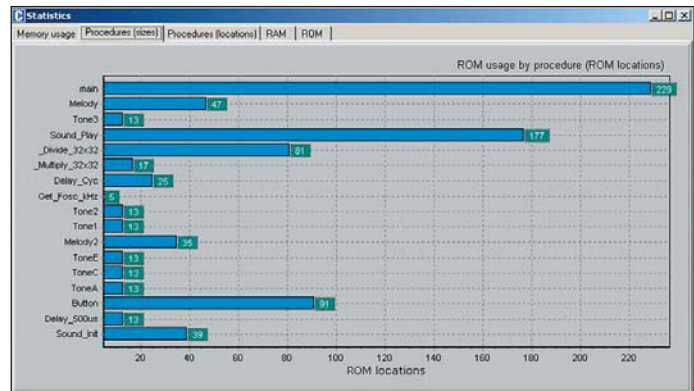


Рис. 15. Окно Statistics в конфигурации Procedures (sizes)

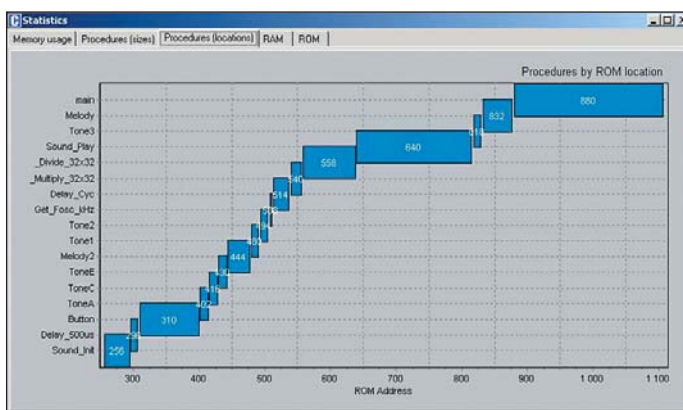


Рис. 16. Окно Statistics в конфигурации Procedures (locations)

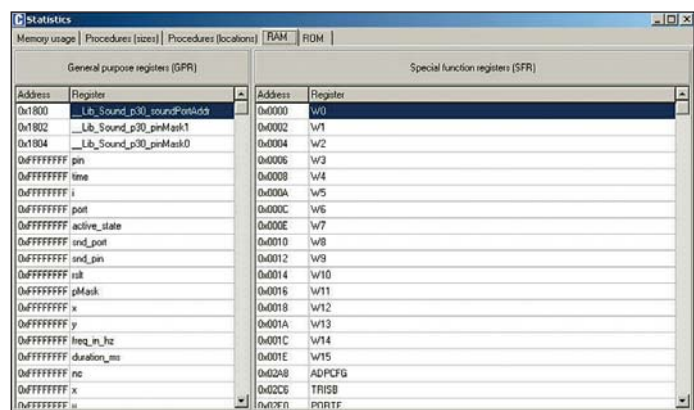


Рис. 17. Окно Statistics в конфигурации RAM

После успешной трансляции проекта можно увидеть информацию о загрузочном коде программы. Эта информация отображается в окне *Statistics*, которое может иметь следующие варианты отображения:

1. *Memory Usage* (рис. 14) отображает в форме гистограммы использование памяти программ и ОЗУ.
2. *Procedures (sizes)* (рис. 15) отображает в виде гистограммы занимаемый каждой функцией объем памяти программ.
3. *Procedures (locations)* (рис. 16) отображает набор функций программы в виде цепочки с указанием занимаемого объема памяти программ.
4. *RAM* (рис. 17) отображает распределение памяти данных с указанием адресов регистров общего назначения, регистров специальных функций и переменных.
5. *ROM* (рис. 18) отображает команды в памяти программ с указанием их адресов, кодов и символических имен.

Аппаратно-программный комплекс, включающий плату UNI-DS3, микроконтроллерную плату специализации и одну из рассматриваемых систем программирования, позволяет выполнять как автономную отладку разрабатываемой программы с использованием программно-логической модели, так и комплексную отладку аппаратуры и ПО в реальном времени с использованием аппаратного отладчика IDE (In-Circuit Debugger).

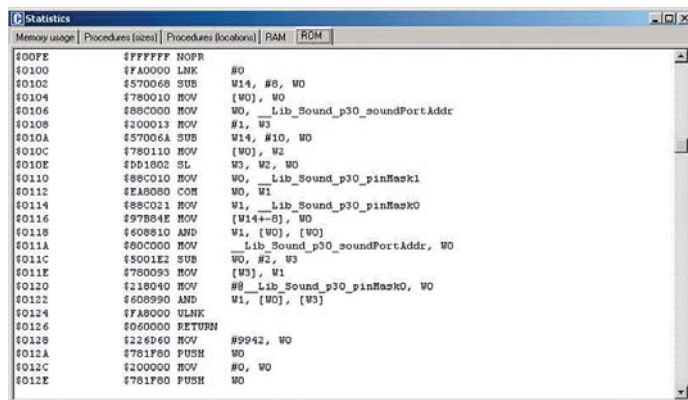


Рис. 18. Окно Statistics в конфигурации ROM

Для этого нужно выбрать соответствующую опцию проекта в окне *Project Setup*. При отладке возможен пошаговый режим выполнения команд, выполнение фрагмента программы до курсора, отладка с использованием механизма контрольных точек. Возможность наблюдения за изменением значений переменных и регистров специальных функций предоставляет окно *Watch*.

Создание проекта значительно ускоряют такие встроенные инструменты (*Tools*), как *ASCII Chart* (средство формирования кодов, удобное при работе с дисплеями), *USART*

Terminal (средство визуального программирования универсального последовательного порта), *Segment Display Decoder* (средство формирования кодов для 7-сегментного индикатора). На рис. 19–22 приведены окна инструмента *Filter designer tool*, системы mikroC dsPIC. Этот инструмент является средством формирования исходного текста на выбранном языке программирования, описывающего определенный в диалоговом окне тип фильтра с указанными параметрами.

В комплект поставки каждой системы программирования входят руководство пользо-

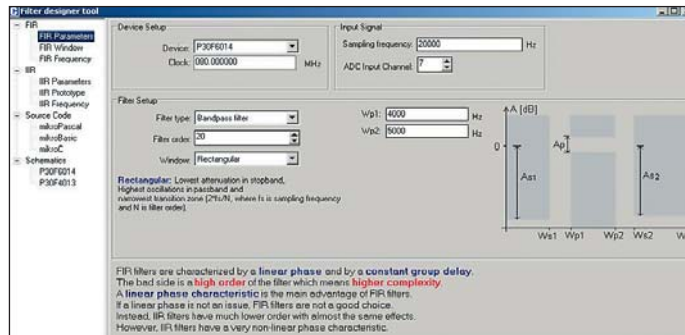


Рис. 19. Filter designer tool системы mikroC dsPIC — окно определения параметров фильтра

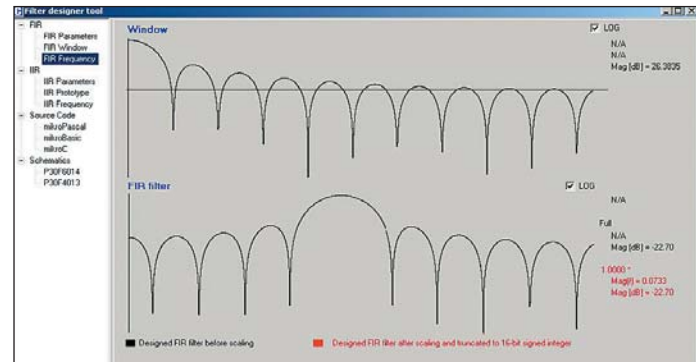


Рис. 20. Filter designer tool системы mikroC dsPIC — окно частотной характеристики

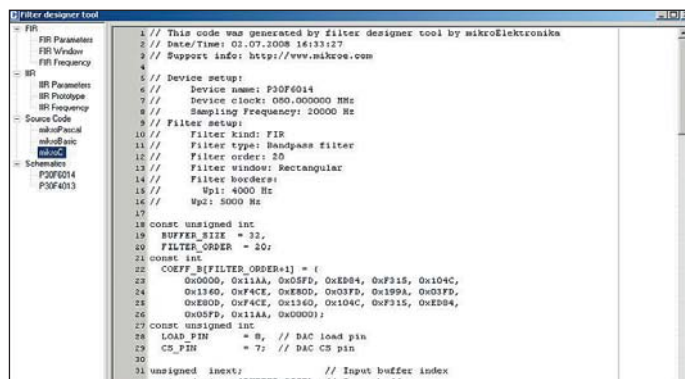


Рис. 21. Filter designer tool системы mikroC dsPIC — окно сформированного текста на языке Си

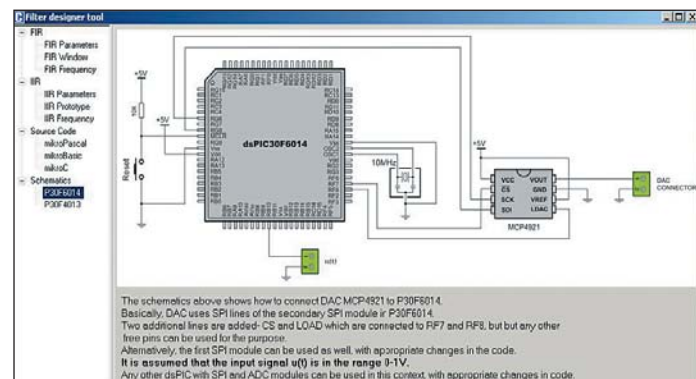


Рис. 22. Filter designer tool системы mikroC dsPIC — окно схемы соединений аппаратных компонент

вателя интегрированной системы и описание языка программирования.

Современная тенденция — непрерывное и быстрое обновление версий аппаратного и программного обеспечения средств отладки, в том числе и учебных. По этой причине мно-

гие производители переносят основной объем информационной поддержки своих изделий на свои корпоративные сайты. Компания mikroElektronika следует этой тенденции: на ее сайте можно ознакомиться с демонстрационными версиями систем программирования,

ограниченными по размеру компилируемого кода (2 кбайта). Доступны также примеры программ обслуживания модулей ввода/вывода для всех систем программирования, драйверы интегрированных программаторов и принципиальные схемы плат.