

05, май 2016

УДК 004.31

Методика активации одноплатных микропроцессорных систем¹

Лобанов В.С., магистрант

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления»*

Белинский А.Д., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления»*

Гришин М.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления»*

Ефремов М.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления»*

Научный руководитель: Суятинов С.И., к.т.н., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления»*

ssi@bmstu.ru

Введение

Использование встраиваемых вычислительных систем на основе микропроцессоров (МП) в технических устройствах самого различного назначения позволяет существенно улучшить их эксплуатационные и потребительские свойства [1-2]. Это обстоятельство стимулирует фирмы-производители электронной техники к постоянному совершенствованию микропроцессоров и одноплатных микропроцессорных систем (МПС) на их основе. Современные МПС при относительно низкой стоимости порядка 100-300 \$ и габаритах порядка 10x8 см² обеспечивают требуемое быстродействие и позволяют решать множество различных задач.

Параллельно с развитием МПС развиваются методы и технические средства их отладки. В частности, с появлением технологий JTAG появилась возможность

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект 16-07-00878

внутрисхемного программирования и отладки программ, а также проверки на качество припайки микросхем к плате, межплатного и внутрисоечного монтажа плат и блоков. Стандарт позволяет оптимизировать процесс тестирования за счет встраивания специальной архитектуры в современные чипы, обеспечивающей доступ к выводам (точнее, к специальным блокам ввода-вывода) с помощью 4-х проводного последовательного интерфейса. Эта архитектура позволяет не только контролировать их состояние, но и управлять ими.

Внедрением и распространением стандарта *JTAG* занимаются такие компании, как *Intel*, *Altera*, *Atmel* и другие. Как правило, фирмы-производители снабжают текущие версии своих изделий подробной технической документацией. Однако высокая скорость обновления выпускаемых микропроцессорных систем привела к тому, что на рынке появилась широкая номенклатура «условно» устаревших изделий, т.е. МПС по некоторым функциональным возможностям, уступающим последним разработкам, но вполне пригодным для большого спектра промышленных применений, лидируя по показателю «цена-качество». Особенно популярны такие системы у студентов, начинающих осваивать микропроцессорную технику.

Одной из проблем освоения ранее разработанных изделий является их несовместимость с современными средствами отладки. В большинстве случаев эта несовместимость обусловлена несовпадением интерфейсов и проявляется в том, что *host*-компьютер системы отладки «не видит» настраиваемую микропроцессорную систему. Таким образом, на первом этапе настройки (отладки) возникает задача активации. Под активацией в данном случае понимается процесс настройки, в результате которого устанавливается связь между МПС и *host*-компьютером инструментальной среды отладки.

В данной работе анализируются возможные причины «нестыковки» МПС и персонального компьютера (ПК) и предлагается методика их устранения и активации МПС.

Разработка методики

Типовая структура инструментальных средств отладки показана на рис. 1.

На персональном компьютере устанавливается соответствующее программное обеспечение (ПО), позволяющее управлять процессом отладки. В последнее время производители МП интегрируют в свои новые разработки модули с функциями встроенной отладки – отладчики на кристалле (*on-chip debug*). Для поддержки функций встроенной отладки необходим специальный канал связи с компьютером. Чаще всего в

качестве такого канала используется тестовый последовательный интерфейс типа *JTAG* или его производная.

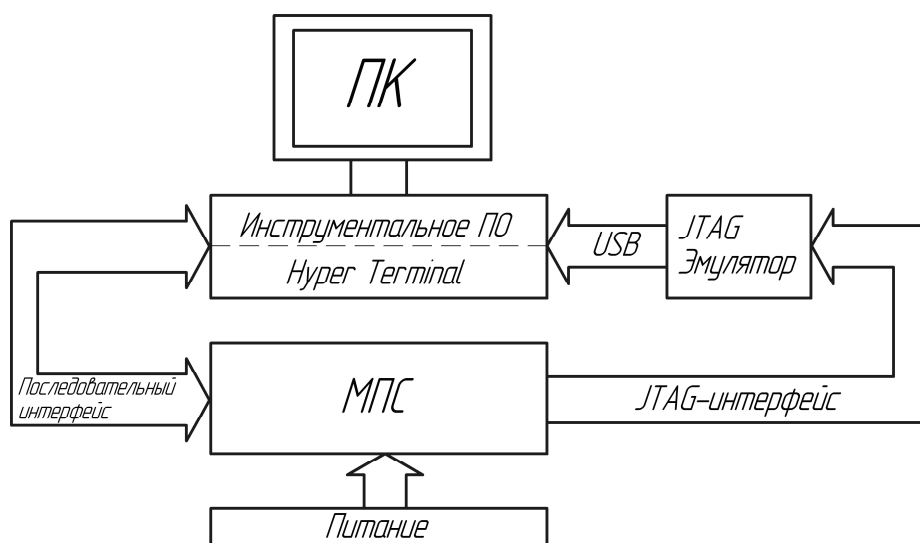


Рис. 1. Типовая структура инструментальных средств отладки

Средство отладки, использующее встроенный в кристалл микропроцессора отладочный модуль, называют *JTAG* эмулятором. Для работы с *JTAG* эмулятором требуется специальное ПО. Это программное обеспечение входит в состав инструментальных средств и поставляется разработчиком МПС.

Вместе с тем, учитывая тенденции к стандартизации как ПО, так и интерфейсов, имеется достаточно большой выбор универсального ПО, пригодного для отладки МПС различных производителей. В таблице 1 приведены варианты свободно распространяемого ПО инструментальных систем и сайты, где их можно найти.

Таблица 1

Программное обеспечение средств отладки МПС

Наименование	Сайт	Примечание
Пакет программ <i>J-Link</i>	http://www.segger.com	Для работы с <i>JTAG</i> эмулятором <i>J-Link</i>
<i>IAR Embedded Workbench</i>	http://www.iar.com	
<i>CrossWorks</i>	http://www.rowley.co.uk	
Пакет программ <i>MDK-ARM</i> (<i>Microcontroller Development Kit</i>)	http://www.keil.com	

Через различные интерфейсы к ПК подключены сама МПС и дополнительные устройства. В более ранних разработках, как правило, использовались интерфейсы последовательной связи стандарта *RS 232*. В последних разработках чаще используются

USB, Ethernet. В зависимости от состава оборудования, может потребоваться использовать дополнительные источники питания.

Проблема активации связана с несоответствием интерфейсных функций. То есть интерфейс не обеспечивает конструктивную, электрическую и информационную совместимость сопрягаемых устройств. Исходя из этого, необходимо обеспечить эту совместимость, последовательно реализуя нижеприведенные этапы.

Этап 1. На этом этапе проверяется конструктивная совместимость разъемов, гнезд, контактов. В случае несоответствия, необходимо использовать различные переходники. В настоящее время промышленно выпускаются такие устройства, обеспечивающие не только конструктивную, но и информационную совместимость. Однако зачастую имеющиеся в свободном доступе переходники не соответствуют конструктивным особенностям сопрягаемых устройств. В этом случае его созданием занимаются самостоятельно.

Этап 2. Здесь необходимо обеспечить электрическую совместимость. Для этого проверяются уровни напряжения, соответствующие логическому нулю или единице. В случае несоответствия используют дополнительные преобразователи напряжения и источники питания. Как правило, этот этап не вызывает особых затруднений.

Результатом проведенной подготовительной работы на первых двух этапах, является возможность подключения устройства к ПК.

Этап 3. На третьем этапе устройство подключаются к ПК и проверяется информационная совместимость. Нарушения этой совместимости проявляются в том, что ПК «не видит» подключенные устройства. Информационная несовместимость, как правило, возникает из-за разной синтаксической нагрузки, которую несут передаваемые и принимаемые сигналы. Эта разница возникает, например, в случае использования устаревших драйверов. Поэтому необходимо обновить драйверы.

Этап 4. Инициализация загрузчиков. На этом этапе проверяется возможность загрузки во *Flash*-память операционной системы и/или исполняемых кодов программы пользователя.

Пример активации устройства *Ethernut 3.0 rev. E*

Покажем применение представленной методики активации на примере микропроцессорной системы *Ethernut 3.0*. Рассматриваемая МПС, несмотря на условно устаревшую модель, обладает весьма внушительными характеристиками, позволяющими использовать ее в таких высокотехнологичных системах как [3]:

- миниатюрные веб-сервера с использованием протоколов *HTTP*, *Telnet*, *DHCP*, *DNS*, *PPP* и др.;
- дистанционный мониторинг и управление через Интернет;
- «Умный дом».

Вместе с тем активировать эту одноплатную микропроцессорную систему на современном оборудовании по стандартной методике не удастся.

Состав инструментального оборудования в рассматриваемом примере показан на рис. 2. Для записи отладки программ используется внутрисхемный *JTAG* - эмулятор *AT91SAM-ICE* совместно с пакетом программ *J-Link*.

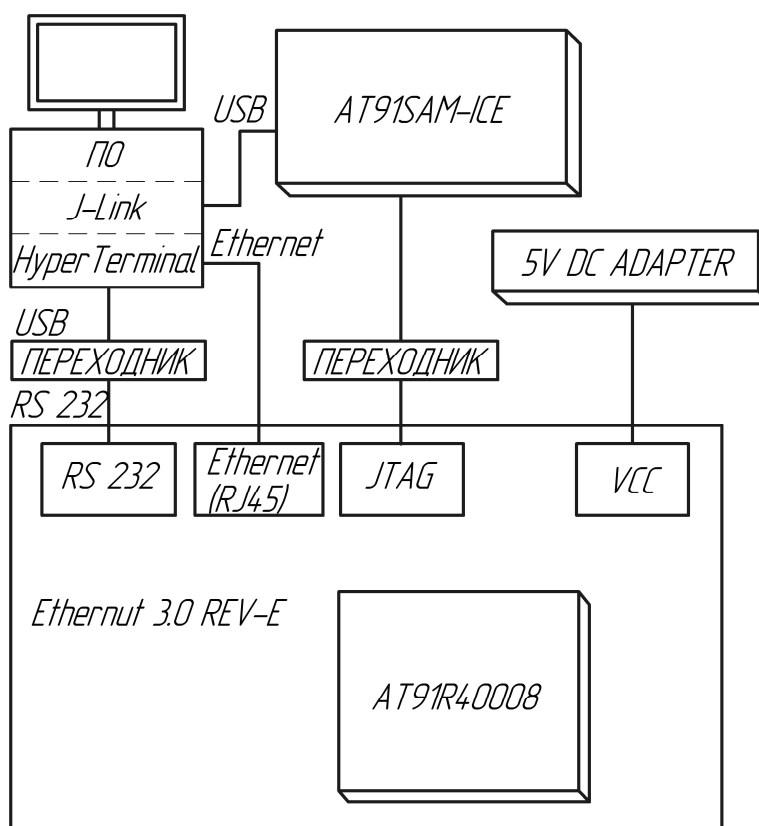


Рис. 2. Состав инструментального оборудования

Этап 1-2. Рассматриваемая МПС имеет три интерфейса последовательной связи с ПК, соответствующие стандартам *RS-232* (*COM*-порт ПК), *Ethernet* и *USB*. Поскольку персональные компьютеры последних выпусков не имеют *COM*-портов, необходим переходник с *RS 232* на *USB*. Приобрести такой переходник не составляет проблем.

Анализ спецификаций устройств *Ethernut 3.0 rev. E* и *AT91SAM-ICE* [4] обнаружил конструктивную несовместимость, поскольку данные устройства имеют физически разные разъемы: 10 *pin* и 20 *pin*, соответственно (рис. 3). Вместе с тем обнаружено, что

функциональную нагрузку несут только семь сигналов, часть из которых выведены на параллельные линии. Кроме того, обнаружено, что сигналы совместимы по электрическим параметрам (этап 2). Поэтому проблема обеспечения конструктивной и электрической совместимости решается с помощью переходника, коммутирующего механическим образом соответствующие сигналы.

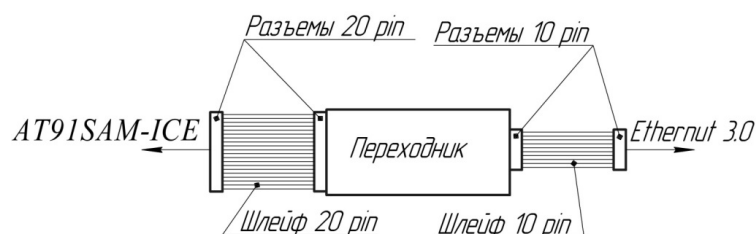


Рис. 3. Переходник, коммутирующий выходные сигналы

Сравнение конфигурации выводов разъемов JTAG устройств Ethernet 3.0 и AT91SAM-ICE позволило установить соответствие между выводами разъемов JTAG. В таблице 2 представлена коммутация выводов рассматриваемых устройств.

Таблица 2

Конфигурация переходника Ethernet 3.0 – AT91SAM-ICE

Вывод разъема JTAG устройства Ethernet 3.0		Вывод разъема JTAG устройства AT91SAM-ICE	
1	TCK	9	TCK
2	GND	4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18	GND
3	TDO	13	TDO
4	VCC3	1	VDD
5	TMS	7	TMS
6	NMR	3	nTRST
7	VCC3	2	VDD
8	Не подкл.	—	
9	TDI	5	TDI
10	GND	20	GND

В соответствии с данными таблицы, разработана принципиальная схема переходника Ethernet 3.0 – AT91SAM-ICE (рис. 4).

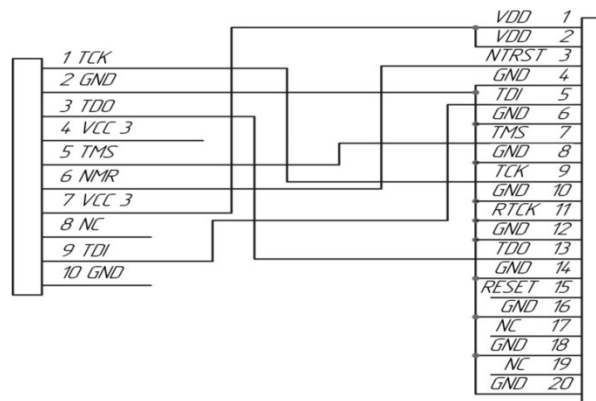


Рис. 4. Принципиальная схема переходника *Ethernut 3.0 – AT91SAM-ICE*

Этап 3. Подключение устройства к ПК можно осуществить через интерфейсы RS 232 и *Ethernet* или использовать *JTAG*-эмулятор *AT91SAM-ICE*. В первых двух случаях можно использовать программу *HyperTerminal* из набора стандартных программ ПК. Во втором случае можно использовать пакет программ *J-Link*, заранее установленный на ПК. Для активации устройства использовались следующие программы пакета *J-Link* [5]:

- *J-Link Commander* – программа для подключения плат, нахождения МП и их идентификации. Также эта программа позволяет выявить ошибки в подключении;
- *J-Link DLL Updater* – программа для поиска устройств и обновления драйверов для них;
- *J-Link GDB сервер* – программа для создания сервера передачи информации от компьютера к плате и обратно;
- *J-Mem* – программа для считывания ячеек памяти.

При запуске программы *J-Link Commander* появилось сообщение об ошибке: «Невозможно найти устройство на базе ARM7/ARM9 в *JTAG* цепи». Данная ошибка появилась из-за информационной несовместимости. Для ее устранения с сайта www.segger.com была скачена обновленная программа *J-Link Commander*, через которую обновились драйверы устройства *AT91SAM-ICE*.

Подключив устройство *AT91SAM-ICE* и плату *Ethernut 3.0* к переходнику, *JTAG* устройство было обнаружено, что свидетельствует об обеспечении информационной совместимости.

Последним в методике активации МПС реализуется этап 4, на котором проверяется наличие и работоспособность программы начальной загрузки (загрузчика). Загрузчик - это специальная программа, которая располагается в памяти микроконтроллера и может самостоятельно перепрограммировать его. Она не просто выполняет какие-то действия, а

затем передает управление основной программе (переходит на адрес, который соответствует началу основной программы), она, в первую очередь, самостоятельно записывает эту основную программу в *flash*-память по нужным адресам.

В рассматриваемом случае после того, как был собран переходник для *JTAG*-устройства, на плате не запускался загрузчик. Программирование МПС и, в частности, восстановление загрузчика можно осуществить с помощью *JTAG*-эмулятора. Рассмотрим установку программ с использованием *JTAG*-эмулятора *AT91SAM-ICE* на примере загрузчика *Bootmon*.

Для программирования *Ethernut 3.0* необходимо выставить переключки в нужное положение, которое указано в технической документации.

Скомпилированный бинарный файл загрузчика был предварительно скачен с официального сайта.

Подключив плату *Ethernut 3.0* через *JTAG*-эмулятор *AT91SAM-ICE* к ПК, запускаем программу *JLink.exe* из пакета *J-Link*. Если все подключено верно, то программа должна обнаружить подключенное устройство.

Далее с помощью команды *Device* устанавливаем программу на работу с нашим микропроцессором (*AT91R4008*). Для загрузки программы во *flash*-память устройства используем команду *loadbin*, указав адрес файла и адрес памяти, куда должно быть загружено приложение [6]. В нашей плате загрузчик располагается по адресу *0x00000000*. Для проверки правильности загруженных данных предназначена программа *verifybin*.

Заключение

Сформулированы основные этапы методики активации микропроцессорных систем, последовательная реализация которых позволяет активировать любую МПС. Методика включает этапы, обеспечивающие конструктивную, электрическую и информационную совместимость, а также инициализацию или установку программы начального загрузчика.

В соответствии с данной методикой приведена типовая структура применяемых инструментальных средств отладки. При использовании методики была успешно активирована плата *Ethernut 3.0 rev. E*.

Опыт работы с другими подобными устройствами показал, что типичными причинами неработоспособности МПС при первоначальном включении являются: конструктивная несовместимость, плохое качество монтажа при самостоятельном изготовлении переходников и устаревшие драйверы.

Список литературы

- [1] Булдакова Т.И., Коблов А.В., Суятинов С.И. Информационно-измерительный комплекс совместной регистрации и обработки биосигналов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 6. С. 41-46.
- [2] Анищенко В.С., Булдакова Т.И., Довгалецкий П.Я. Концептуальная модель виртуального центра охраны здоровья населения // Информационные технологии. 2009. № 12. С. 59-64.
- [3] Ethernet 3.0 Rev. E. Режим доступа: <http://www.ethernut.de/en/hardware/enut3/enut30e.html> (дата обращения 22.01.2016).
- [4] AT91SAM-ICE User Guide. Режим доступа: www.atmel.com/images/doc6206.pdf (дата обращения 22.01.2016).
- [5] J-Link / J-Trace User Guide. Режим доступа: https://www.segger.com/cms/admin/uploads/%20%20productDocs/UM08001_JLink.pdf (дата обращения 22.01.2016).
- [6] Магда Ю.С. Программирование и отладка C/C++ приложений для микроконтроллеров ARM. М.: ДМК Пресс, 2014. 168 с.