

Микроконтроллеры AVR. Ступень 1

С.М. Рюмик, г. Чернигов

Тот, кто мягко ступает,
далеко продвинется на своем пути.
Китайская поговорка

Продолжаем начатый в прошлом году рассказ о микроконтроллерах (МК). Надеемся, что это поможет радиолюбителям шире применять их на практике.

Электронщики в шутку говорят, что после третьей изученной МК-платформы легко перейти на четвертую. Тем же, кто добросовестно выполнял задания из цикла статей об МК семейства MCS-51 (РА 3-12/2004), можно поставить галочку за первую пройденную платформу. "Пройденную" - это не значит "забытую" или "устаревшую", скорее, прибавившую знания в схемотехнике и программировании.

Если представить процесс изучения МК в виде покорения горной вершины, то первые "10 шагов" были сделаны по "равнине" платформы MCS-51. На очереди подъем по ступеням "предгорья" платформы AVR фирмы Atmel.

Почему в качестве второй выбрана именно платформа AVR? Специалисты определили ряд здоровых принципов выбора МК: не гнаться за экзотикой, не связываться с единственным семейством, не экономить на средствах отладки и программирования. Для платформы AVR все перечисленное выполняется. Вдобавок, соблюдается преемственность, поскольку ранее пройденный 8-разрядный МК AT89C2051 тоже был разработан на фирме Atmel.

Начинать изучение МК сразу с "модных" AVR, означало бы отход от основных педагогических принципов - постепенности и последовательности. К примеру, лет 20...30 назад среди вузов электронного профиля Украины существовало понятие "школы". Сплотные преподавательские составы "школ" Харьковского института радиоэлектроники, радиофакультетов Киевского политехнического и Харьковского авиационного институтов гарантировали базовые знания студентов. Молодые специалисты, прошедшие "школу", легко становились программистами, разбирающимися в схемотехнике, или радиоинженерами, умеющими составлять программы.

Точно так же и в изучении МК. Без прохождения "школы" платформы MCS-51 трудно будет понять нюансы в архитектуре AVR, поскольку ку не с чем сравнивать, не имея опыта.

История появления AVR

Фирма Atmel была основана в 1984 г. в знаменитой Кремниевой долине (Калифорния, США). В середине 90-х годов ее основной продукцией стали микросхемы памяти и перепрограммируемые МК платформы MCS-51. По сравнению с аналогичными изделиями фирм Intel, Philips, Temic, OKI, Siemens, микросхемы Atmel были дешевле, ни в чем не уступая им по качеству. Одна из составляющих успеха - создание филиалов производства в странах Юго-Восточной Азии.

Всем хороши были МК платформы MCS-51 за исключением энергопотребления и производительности. Там, где использовалось мало-мощное (батарейное) питание и требовалась высокая скорость обработки данных, разработчики предпочитали PIC-контроллеры фирмы Microchip Technologies, МК серии H8/300 фирмы Hitachi и МК фирмы Dallas Semiconductor.

Ситуация в корне изменилась в 1996 г., когда было объявлено о начале серийного производства принципиально новых 8-разрядных контроллеров платформы AVR.

У архитектуры AVR скандинавская родословная. В 1995 г. два норвежских изобретателя Альф Боген и Вергард Воллен предложили фирме Atmel концепцию нового МК. Идея была принята. Базовые принципы и система команд разрабатывались в норвежском отделении фирмы Atmel совместно со шведскими программистами фирмы IAR Systems. Имена разработчиков вошли в название платформы в виде двух первых заглавных букв - Alf Bogen / Vergard Wollan / Risc architecture.

Достоинства AVR: быстродействующий RISC-процессор, FLASH-память с низковольтным напряжением программирования, внутреннее перепрограммируемое ЭСПЗУ, мощные выходные порты, широкий диапазон питающего напряжения. И все это при малом потреблении тока, высокой скорости, а главное, при низкой цене. По совокупному интегральному параметру "энергопотребление - производительность - цена" AVR-контроллеры оказались лучшими в мире.

Классификация AVR

Платформа AVR насчитывает 4 семейства: "classic", "tiny", "mega", "LCD". В 1997 г. в каталоге фирмы Atmel впервые появились четыре "classic"-МК с маркировкой AT90Sxxx. В каталогах 1999 г. были представлены уже три семейства: "classic" (AT90S), "tiny" (ATtiny), "mega" (ATmega). В дальнейшем развитие "классического" семейства было заморожено в связи с большой номенклатурой МК и их самодостаточностью.

С 2000 г. начался перевод производства с технологических норм 0,5 мкм на 0,35 мкм. Изменения коснулись в основном семейств "tiny" и "mega". Разработчики не только уменьшили размеры кристаллов, но заодно увеличили тактовые частоты, объем ПЗУ, ввели новые интерфейсы, снизили удельное энергопотребление и исправили некоторые ошибки, проявлявшиеся при эксплуатации. Новые МК получили другие обозначения и позиционировались в качестве замены один к одному устаревшим микросхемам.

В 2004 г. МК, имеющие выводы для подключения ЖК-индикаторов, были выделены в отдельное семейство "LCD AVR". В октябре 2004 г. последним двум микросхемам семейства "classic" присвоен статус EOL (End-Of-Life), т.е. они не рекомендуются для новых разработок и в середине 2005 г. окончательно уйдут с производства. Из четырех семейств остались только три (табл. 1), зато какие!

Первоначально все микросхемы AVR заметно различались друг от друга по числу выводов корпуса: "tiny" - 8 выводов, "classic" - 40-44 вывода, "mega" - 64 вывода. В дальнейшем грани стерлись, но тенденция осталась. Для DIP-микросхем, которые чаще всего применяются в любительской практике, действует ряд: 8, 20, 28, 40 выводов.

Еще один нюанс. Первые цифры в названии AVR-контроллеров обозначают объем FLASH-ПЗУ в килобайтах. Например, ATtiny15L (1 Кб), ATtiny26 (2 Кб), AT90S4414 (4 Кб), ATmega8515 (8 Кб), ATmega162 (16 Кб), ATmega32 (32 Кб), ATmega 6450 (64 Кб), ATmega128 (128 Кб).

Программатор AVR

Практически все AVR-контроллеры имеют функцию внутрисистемного программирования ISP (In-System Programming). Это означает, что для заливки кодов программы не требуется извлекать МК из платы и устанавливать его в панель программатора. Теперь "гора сама идет к Магомету", т.е. компьютер через специальный адаптер подключается к разъему ISP, установленному на плате изделия (рис. 1). Адаптер нередко устроен таким образом, что по окончании программирования он автоматически отключается от выводов МК, не мешая работе остальных узлов. Процесс многократных экспериментов и перепрошивки, по сравнению с AT89C2051, теперь идет гораздо быстрее.

Шина связи МК с адаптером содержит 6 сигналов (табл. 2): три входных, один выходной и два по питанию. Информация передается в последовательном виде по протоколу SPI (Serial Programming Interface). Чтобы не запутаться в обозначениях, надо запомнить простое мнемоническое правило: выходной сигнал MISO единственный, который имеет в конце буквы "O" (output). А слово "MOSI" по звучанию похоже на японское приветствие телефонных абонентов (вместо "Алло").

Каждый из информационных сигналов подключается к определенному выводу МК, точнее, к линии порта, имеющей альтернативное на-

Таблица 1

Семейство AVR	Обозначения микросхем	Параметры
"tiny"	ATtiny13, 15L, 2313, 25, 26, 28L, 45, 85	1-8 Кб ПЗУ, 64-512 байт ОЗУ, DIP8-TQFP32
"mega"	Atmega48, 8, 88, 8515, 8535, 16, 162, 165, 168, 32, 325, 3250, 64, 645, 6450, 128	4-128 Кб ПЗУ, 256-4096 байт ОЗУ, DIP28-TQFP64
"LCD"	Atmega169, 329, 3290, 649, 6490	16-64 Кб ПЗУ, 1024-4096 байт ОЗУ, TQFP64-TQFP100



рис. 1

Таблица 2

Сигнал	Расшифровка	Функция	Назначение
SCK	Serial Clock	Вход МК	Тактовый сигнал в МК
MOSI	Master Out - Slave In	Вход МК	Информационный сигнал в МК
MISO	Master In - Slave Out	Выход МК	Информационный сигнал из МК
GND	Ground	Общий	Общий провод
RES	Reset	Вход МК	Лог."0" - программирование
VCC	Voltage Common Collector	Питание	Напряжение питания 2,7...5,5 В



звание MISO, MOSI или SCK (табл.3). Двойное назначение выводов заимствовано из платформы MCS-51. При всем разнообразии микросхем AVR, выводы SPI у них строго закреплены, даже два варианта корпусов DIP-40 имеют различие только по выводам питания.

Разъемы XP1, XS1 (рис.1) 10-контактные, соответственно вилка на плату BH-10 и розетка на плоский кабель IDC-10F. К сожалению, унификация в расайке выводов отсутствует. В табл.4 приведены наиболее часто встречающиеся варианты. Первый из них разработан фирмой Altera для программирования ПЛИС через адаптер ByteBlaster. Два последующих варианта применяются в отладочном комплексе STK200 (STK300) фирмы Atmel и в ее внутрисистемном программаторе AVR910 [1].

Практическое следствие: если на чужой плате с AVR-контроллером находится 10-контактный разъем под ISP, то не надо спешить подключать к нему свой программатор, ведь цоколевка может не совпадать.

Преимущество расайки а-ля "ByteBlaster" заключается в универсальности, поскольку одним и тем же устройством можно прошивать МК и программировать ПЛИС. Однако это требует специального программного обеспечения. Чтобы отделить "зерна от плевел", предлагается использовать две другие расайки (рис.2, а, б). Название "STK200" стало "де-факто" промышленным стандартом. Вариант "AVR910" позволяет использовать разъемы с меньшим числом контактов (жаль, что IDC-6 не существует!). Кроме того, он абсолютно безвреден при случайной установке 10-контактного разъема "задом наперед": ни МК, ни адаптер гарантированно не выйдут из строя.

Для любительских конструкций выбор одного из двух вариантов расайки непринципиален. Однако в целях единообразия на схемах адаптеров будет приведен вариант "AVR910". Разумеется, это всего лишь расположение контактов в разъеме, который никак не влияет на электрические параметры.

Выбор схемы адаптера

Первым делом напрашивается мысль изготовить фирменный адаптер по схеме, приведенной в [1]. Однако наличие в нем контроллера AT90S1200, который надо предварительно запрограммировать на каком-то другом программаторе, плюс неунифицированное программное обеспечение делают эту работу малопривлекательной.

С другой стороны, в Интернете, журнальных и книжных публикациях растиражированы клоны более простых, но не менее эффективных схем. Легко найти к ним и свободное программное обеспечение. Многочисленные похвальные отзывы людей, повторивших эти схемы, убеждают в правильности направления поиска.

Выбор электрической схемы адаптера зависит от трех факторов: управляющей компьютерной программы, предназначенной для прошивки МК;

типа порта, используемого в компьютере (COM или LPT);

требуемого уровня сервисных и защитных функций.

Управляющих программ, допускающих работу с AVR, известно много. Например, AVreal (<http://www.ln.com.ua/~real/avreal/>), IC-Prog (<http://www.ic-prog.com/>), PonyProg (<http://www.lancos.com/>), Willem Eeprom (<http://www.willem.org/>). Все они бесплатные и поддерживают широкую номенклатуру AVR-контроллеров. Любую из них можно использовать в дальнейшей работе, изготовив адаптер по приводимым на сайтах схемам. И все-таки, придется взять одну базовую программу, хотя бы для того, чтобы у читателей меньше возникало вопросов: "А почему не работает?".

Выбор остановим на программе PonyProg (автор Claudio Lanconelli, Италия). Во-первых, поддержка PonyProg заложена в Си-компиляторах и отладчиках. Во-вторых, с этой программой читатели уже работали в "Share 9", PA 11/2004, файл "mk9.zip", <http://www.ra-publish.sea.com.ua>.

Тип порта подключения к компьютеру определяется системной конфигурацией. Если LPT-порт постоянно занят под принтер, то выбирают COM-порт, и наоборот. Дополнительные аргументы. Длина соединительного кабеля между адаптером и COM-портом может составлять 5...8 м, а для LPT-порта - только 1,5...2 м. С другой стороны, схемы LPT-адаптеров проще в конструкции и содержат меньше деталей. Для справки, существуют промышленные адаптеры AVR с подключением к USB (ориентировочная цена 50-100 дол.), но в "гаражных условиях" такой прибор не сделаешь.

Сервисные и защитные функции предоставляют пользователю альтернативу выбора. Что лучше, сделать более простой или более сложный адаптер - решать каждому для себя. Критерий истины - это практика. Хотя именно она подсказывает, что лучше иметь не один адаптер, а два - на смену и для перепроверки.

Электрические схемы адаптеров

На сайте разработчика PonyProg <http://www.lancos.com/siprogsch.html> размещены схемы LPT- и COM-

Таблица 3

Корпус микросхемы	Сигналы интерфейса SPI и выводы МК					
	VCC	GND	RES	SCK	MOSI	MISO
DIP-8	8	4	1	7	5	6
DIP-20	20	10	1	19	17	18
DIP-28	7	8	1	19	17	18
DIP-40 (1)	40	20	9	8	6	7
DIP-40 (2)	10	11	9	8	6	7

Таблица 4

Контакт разъема IDC-10	Интерфейс		
	Byte Blaster	STK 200	AVR 910
1	SCK	MOSI	MISO
2	GND	VCC	VCC
3	MISO	NC	SCK
4	VCC	GND	MOSI
5	RES	RES	RES
6	NC	GND	GND
7	NC	SCK	NC
8	NC	GND	NC
9	MOSI	MISO	NC
10	GND	GND	NC

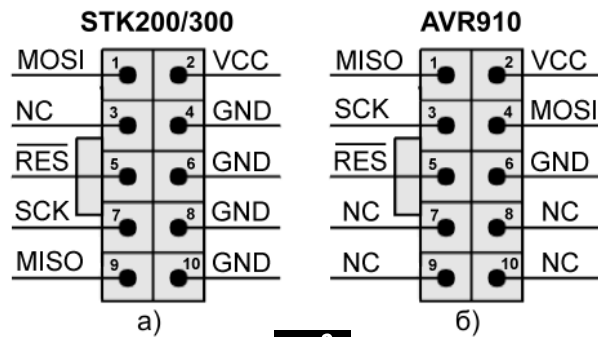


рис.2

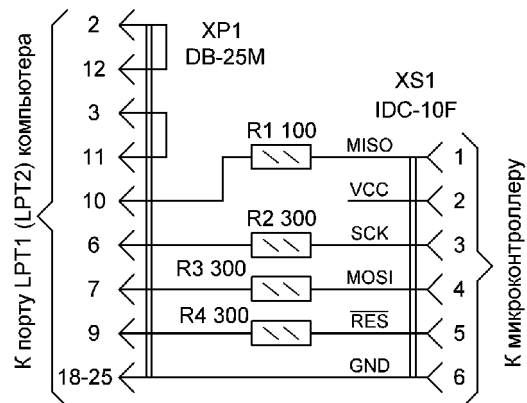


рис.3

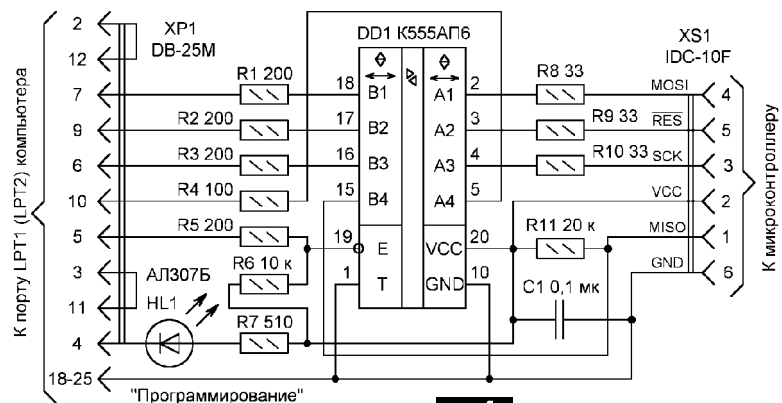


рис.4

адаптеров. Примем их за основу, но с модификациями, повышающими степень защиты и сервис.

Простейший вариант LPT-адаптера (рис.3) содержит резисторы R1-R4, которые ограничивают экстрастоки и уменьшают "звон" на фронтах импульсных сигналов. Закороченные выводы 2, 12 и 3, 11 разъема XP1 позволяют программе идентифицировать наличие аппаратной части.

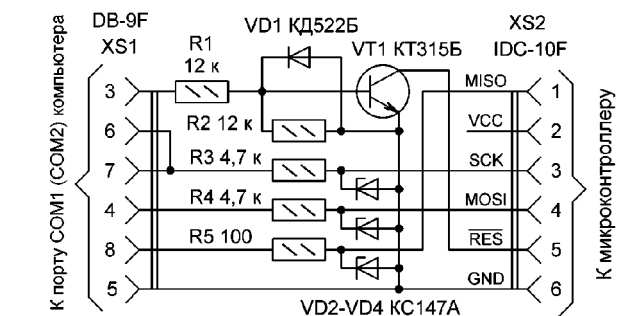


рис.5

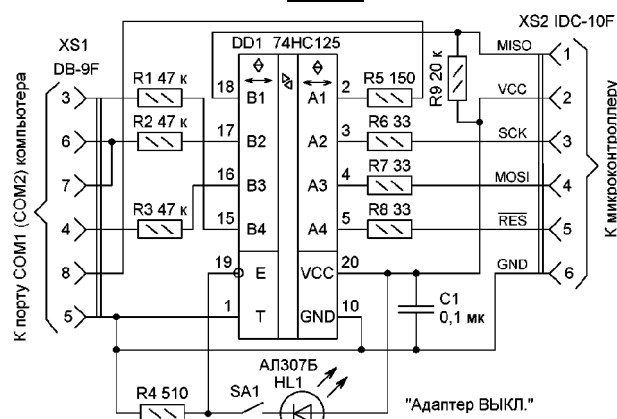


рис.6

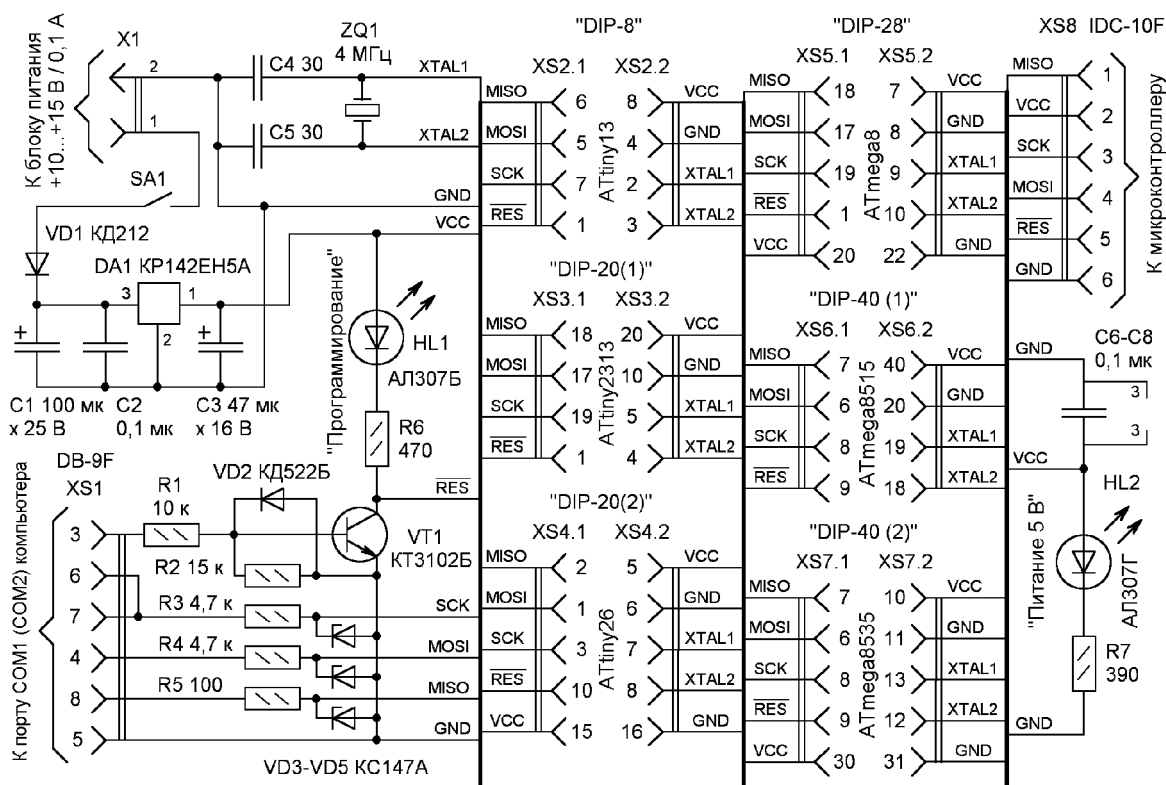


рис.7

Длина соединительного кабеля должна быть как можно меньше. Желательно использовать ленточный кабель, причем информационные сигналы необходимо чередовать с "земляными". Несмотря на простоту, адаптер устойчиво работает с подавляющим большинством компьютеров.

На рис.4 показана схема более интеллектуального LPT-адаптера, выходы которого автоматически переводятся в высокоимпедансное состояние по окончании программирования. Путь прохождения управляющего сигнала: контакт 5 разъема XP1, резистор R5, вывод 19 микросхемы DD1. Смену уровней лог."0" или лог."1" производит сама программа PonyProg. Она же в процессе программирования выставляет лог."0" на контакте 4 разъема XP1, заставляя светиться индикатор HL1.

Наличие мощных буферных повторителей в микросхеме DD1, с одной стороны, улучшает крутизну фронтов сигналов, а с другой - косвенно защищает компьютер от аварийных перенапряжений. Резисторы R1-R5, R8-R10 улучшают согласование импедансов, а в критической ситуации могут послужить еще и плавкими предохранителями.

Резистор R6 обеспечивает уровень лог."1" на входе E микросхемы DD1 при отстыковке кабеля от LPT-порта. Тем самым выходы буферов переводятся в отключенное состояние от линий интерфейса SPI в МК. Питание микросхемы DD1 (VCC=5 В) подается от платы программируемого устройства. Конденсатор C1 блокировочный. Он должен располагаться вблизи выводов 10, 20 микросхемы DD1.

Адаптер с буферной логической микросхемой хорошо применять в условиях повышенных промышленных помех. Впервые подобное устройство было разработано фирмой Kanda Systems в противовес отладочным комплектам STK200, STK300, совпадая с ними по расписке выходного разъема. С тех пор подобные адаптеры часто называют Kanda STK200/300.

На рис.5 показан простой адаптер для COM-порта. Назначение элементов: резисторы R1, R3-R5 ограничивают токи, стабилитроны VD2-VD4 ограничивают напряжение (4,7 В), резистор R2 закрывает транзистор VT1 при отсоединении кабеля от компьютера. Дiode VD1 ограничивает напряжение отрицательной полярности, поступающее из COM-порта. В других аналогичных схемах его не устанавливают, надеясь на высокое допустимое напряжение транзисторов BC547 (Philips), которые используются вместо VT1.

Схема неприхотлива в деталях и хорошо зарекомендовала себя на практике, по крайней мере, при управлении от программы PonyProg.

Более сложный COM-адаптер (рис.6) включает в себя буферную микросхему DD1, выходы которой переводятся в высокоимпедансное состояние вручную переключателем SA1. Небольшая тонкость: входы микросхемы DD1 не защищены стабилитронами, хотя уровни сигналов COM-порта колеблются от -10 до +10 В. Причина заключается в боль-



шом сопротивлении резисторов R1-R3 и наличии внутренних диодов по входам микросхемы DD1.

Питание 5 В (VCC) подается от платы программируемого устройства. Конденсатор C1 уменьшает импульсные помехи. Резисторы R5-R9 демпфируют выбросы на фронтах импульсов. Если индикатор HL1 погашен, то можно запрограммировать МК. Наличие свечения означает, что микросхему DD1 как будто бы изъяли из панели. Ручное отключение выходов адаптера иногда предпочтительнее программного, например при поисках причин неисправностей.

Приведенные схемы не являются догмой. Допускается изготовить другой вариант адаптера, например, как показано на сайтах <http://iron.fire.usi.ru>, <http://evm.wallst.ru/main/prog>, <http://www.ln.com.ua/~real/avreal/adapters.html#STK>.

Универсальный адаптер

При программировании большого количества разнообразных AVR-контроллеров или при их входном контроле удобно иметь универсальный адаптер с панелями под микросхемы DIP-8, DIP-20, DIP-28, DIP-40 (рис.7). Все выводы МК с маркировкой MISO, MOSI, SCK, RES, VCC, GND соединяются параллельно. Разумеется, одновременно на таком адаптере можно запрограммировать только одну микросхему, вставляемую в панель XS2-XS7. Какие из двух разновидностей 20- или 40-выводных микросхем вставлять в панель "DIP-20(1)", "DIP-20(2)", "DIP-40(1)", "DIP-40(2)", необходимо смотреть по справочным данным DATASHEET на сайте фирмы Atmel <http://www.atmel.com>.

Кварцевый резонатор ZQ1 совместно с конденсаторами C4, C5 входит в типовую схему включения задающего генератора МК. Некоторые типы МК могут быть запрограммированы и без резонатора, от своего внутреннего RC-генератора, но "кашу маслом не испортишь". Единственное требование - для устойчивой генерации резонатор ZQ1

должен располагаться как можно ближе к выводам XTAL1, XTAL2 МК.

Сопряжение с COM-портом выполнено аналогично схеме, показанной на рис.5. Индикатор HL1 светится только в процессе программирования. Индикатор HL2 указывает на наличие напряжения 5 В, которое формируется стабилизатором DA1. Конденсаторы C1-C3, C6-C8 блокировочные. Диод VD1 защищает адаптер от неверной подачи питающего напряжения. К разъему X1 подключается любой малогабаритный блок питания, например, в корпусе "сетевая вилка", обеспечивающий напряжение 10...15 В при токе 100 мА.

Для радиолюбителей универсальный адаптер представляет альтернативу программирования через разъем ISP, хотя он тоже предусмотрен (XS8). Реальный случай - в миниатюрной конструкции для разъема ISP физически нет места. Или в схеме не хватает входных/выходных линий, и необходимо задействовать MISO, MOSI, SCK в режиме полноценных портов.

Опытный мастер обязательно предусмотрит на плате панель под МК и в любой момент сможет вынуть микросхему из устройства, чтобы запрограммировать внешним программатором. Такой подход гораздо практичнее, чем запаивание AVR "намертво" (вдруг захочется переставить МК в другую конструкцию).

Параллельный программатор

Все ранее рассмотренные адаптеры используют сигналы последовательного интерфейса SPI. Нередко комплекс, состоящий из управляющей программы и адаптера (рис.3-7), называют последовательным программатором AVR.

Если существует последовательный, значит, должен быть и параллельный программатор AVR. На сайте ChaN (http://elm-chan.org/works/avr/repert_e.html, Япония) приведена схема подобного устройства для 20- (рис.8) и 8-выводных (рис.9) микросхем. Там же

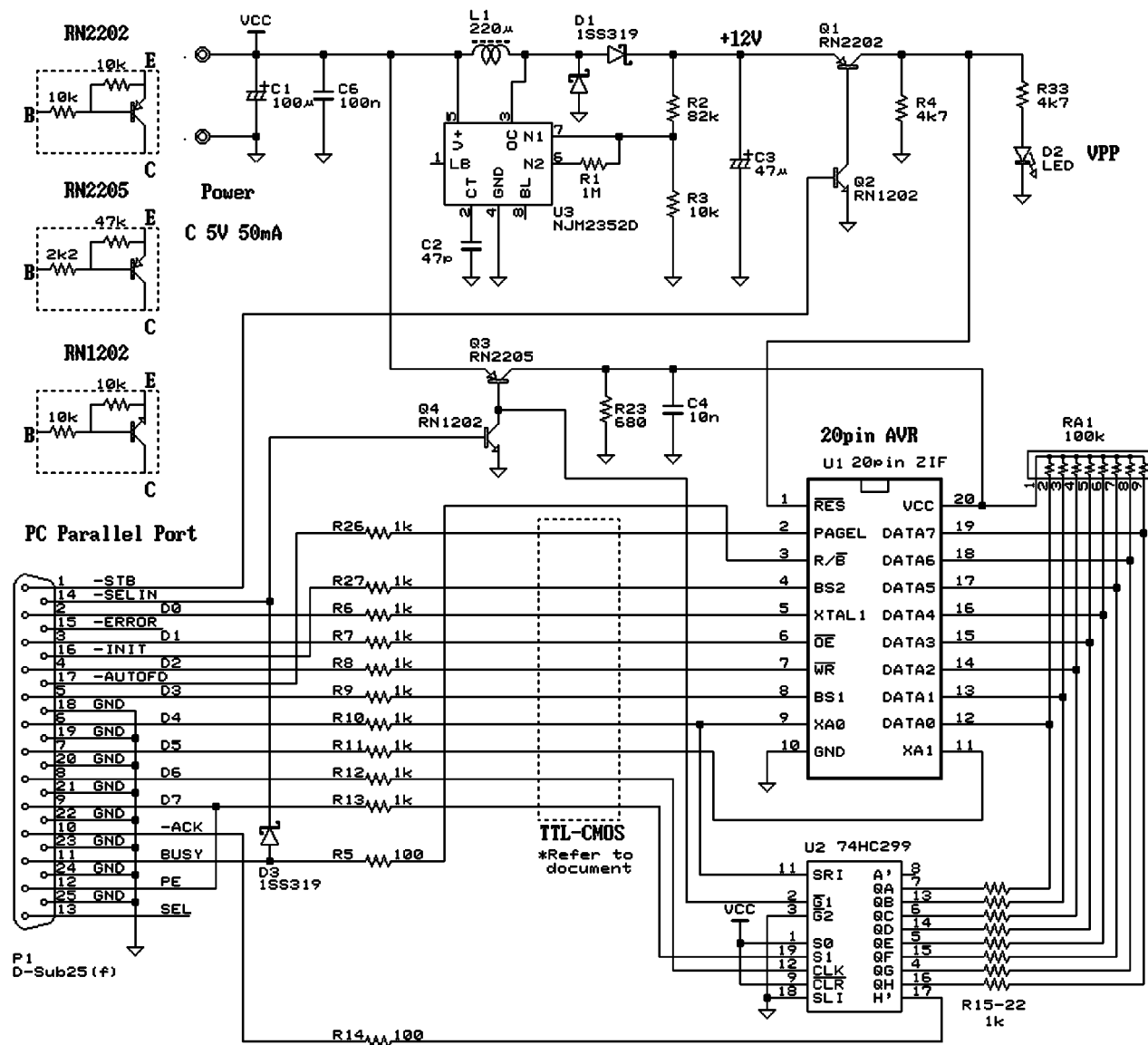


рис.8

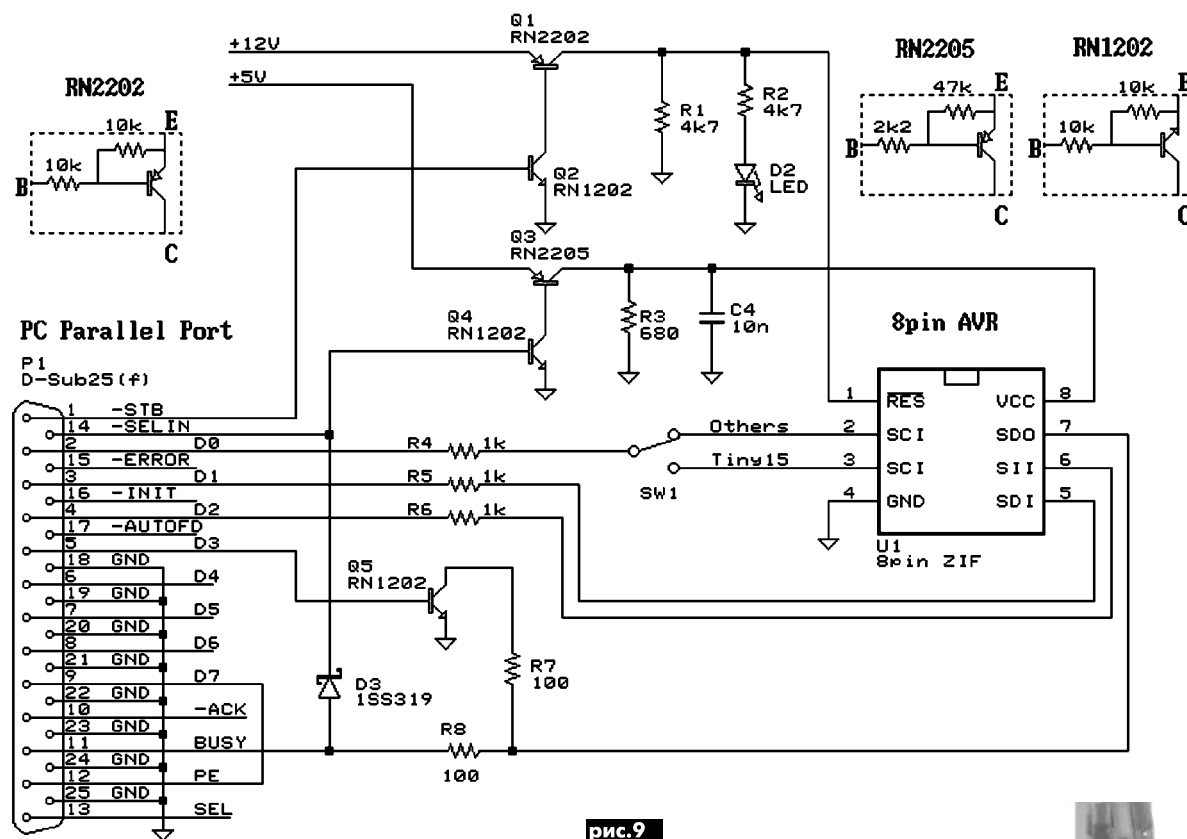


рис.9

выложена управляющая программа под DOS (<http://el-mchan.org/works/avr/avrtool.zip>, 69 K6) и Win-9x/XP (<http://el-mchan.org/works/avr/avrtool32.zip>, 91 K6). Микросхемы в корпусах DIP-28, DIP-40 программируются через переходник к 20-контактной панели.

Параллельный программатор позволяет прошивать МК не хуже последовательного, но использует значительно большее число линий связи и повышенное до 12 В напряжение. Как следствие, сложная схемотехника и уникальное программное обеспечение. Главное преимущество параллельного программатора заключается в способности восстановления неосторожно установленных программных битов, переводящих вход RESET МК в дополнительную линию порта. Это обычно случается у новичков при экспериментах на последовательном программаторе. После такой "трепанации" интерфейс ISP отключается, ведь входа сброса RESET как такового уже не существует. Последовательный программатор выдает сообщение о бракованном МК при его абсолютной годности.

Параллельный программатор, как скорая помощь, "вылечивает" МК, позволяя вновь устанавливать программные биты в нужное положение. К счастью, в программе PonyProg опасные биты изначально заблокированы, поэтому даже при ошибочных действиях ввести МК в режим непрограммируемости нельзя.

Если подытожить, то параллельный программатор - это сложная, не совсем обязательная, но довольно полезная в хозяйстве радиолюбителя вещь.

Конструкция и детали

Обычно адаптеры выполняют на отдельной печатной плате, соединенной шлейфом проводов длиной 20...30 см с 10-контактным разъемом ISP и 1,5...2-метровым кабелем с компьютером. Поскольку деталей немного, то используют "макетку" и монтаж тонкими проводами МГТФ-0,1. Плату закрывают корпусом или обвязывают скотчем.

Иногда детали адаптера размещают прямо в разъеме LPT- или COM-порта. Работоспособность такого устройства требует проверки, особенно если не применяются буферные микросхемы. Если на компьютере вместо 9-контактного установлен 25-контактный COM-разъем, то в схемах, показанных на рис.5, 6, меняют расписку выводов, например: 3-2, 4-20, 5-7, 6-6, 7-4, 8-5 (DB9-DB25).

Резисторы, конденсаторы, стабилитроны, диоды - любые малогабаритные. Буферные микросхемы в Интернете рекомендуют из серии HC, например 74HC245 вместо K555АП6 (рис.4). При этом в разрыв цепи VCC устанавливают диод Шотки анодом к контакту 2 розетки XS1. Его назначение - не допустить попадания напряжения 3 В, "просачивающегося" от LPT-порта в МК при отсутствии на последнем питания

5 В. Не рекомендуется замена KP1533АП6, KP1554АП6 ввиду неустойчивого программирования при подключении к цепи GND общего провода осциллографа.

В универсальном адаптере (рис.7), при его интенсивной работе, лучше установить панели XS2-XS6 с нулевым усилием прижатия, хотя это и дорого.

В параллельном программаторе (рис.8) преобразователь DC-DC на микросхеме U3 NMJ2352D можно заменить внешним источником питания 12 В, 50 мА. Его положительный вывод подключают к плюсовой, а отрицательный - к минусовой обкладкам конденсатора C3. Элементы L1, D1, U3, C2, R1-R3 при этом удаляют. Замена микросхемы 74HC299 - KP1554ИР24. "Цифровые" транзисторы RN1202, RN2202, RN2205 можно заменить двумя обычными резисторами и транзисторами KT3102, KT3107, в зависимости от типа структуры. Схемы соединения и номиналы резисторов показаны на рис.8, 9.

Розетка IDC-10F - однократного применения, о чем часто забывают или не знают. Случается, что при обжимке плоского кабеля в розетку некоторые выводы закорачиваются. Тогда обламывают пластмассовые детали верхней части розетки, аккуратно припаивают провода непосредственно к ее контактам и заливают всю конструкцию компаундом.

Допустимо вообще отказаться от 10-контактных разъемов и применить любые другие имеющиеся соединители с числом контактов не менее 6, например магнитофонные пары СГ-6, СШ-6. Для домашних разработок это не составит проблем, единственное, что воспользоваться в другом месте таким адаптером не удастся.

Еще одно оригинальное решение предложено в Японии: сделать разъем конструктивным и "надевать" его прямо на выводы МК (рис.10). Главное, чтобы конструкция не смещалась относительно выводов микросхемы и досрочно не разрушилась, как картонный домик.

Практическое задание. Собрать AVR-адаптер по одной из схем, показанных на рис.3-6, или по аналогичной, допускающей работу с программой PonyProg. По возможности сделать универсальный и параллельный программаторы.

Литература

1. AVR910: In-System Programming. - Atmel, 2000, <http://sinbad.narod.ru/isp.htm> (русский перевод).

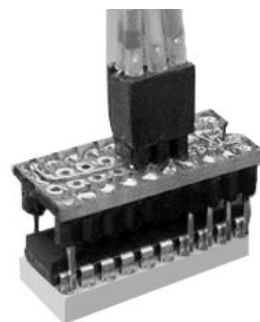


рис.10