Обзор PIC-контроллеров.

© Александр Торрес
altor@geocities.com, 2:461/28

Давным-давно, в 1965, компания **General Instruments** (GI) основала Отделение Микроэлектроники (Microelectronics Division), начавшей с разработки первых жизнеспособных EPROM и EEPROM. Затем GI Microelectronics Division занималось разработкой широкой гаммы цифровых и аналоговых устройств - семейства AY3-xxxx AY5-xxxx. (Да-да, это именно то, о чем Вы подумали! Именно звуковые процессоры от GI - AY3-8910 и AY3-8912 стояли практически во всех Синклерах, Ямахах, всех MSX-компьютерах в 70/80-е годы)

В области микропроцессоров GI в начале 70-х появился CP1600. Это был настоящий 16-разрядный процессор, но с не очень хорошей работой с внешними устройствами. Поэтому, для тех применений, где нужен хороший ввод-вывод GI разработала **Peripheral Interface Controller** (сокращенно **PIC**), в середине 1975г. Он был сконструирован для очень быстрого (в понятиях 75-го года!) ввода-вывода и небольшого объема вычислений, поэтому его система команд была весьма небольшой. В общем, Вы можете увидеть, что из этого вышло - архитектура нижнего ряда сегодняшних чипов PIC16C5x - это архитектура, разработанная в 1975 году. Представленный в 1975г PIC-контроллер производился по NMOS технологии и был доступен только в масочном варианте, но это была поистине великолепная микросхема! В начале 80-х GI переживала трудные дни в своем основном бизнесе, и произвела реструктуризацию, сконцентрировавшись на разработке силовых полупроводников (в настоящее время компания General Instruments весьма успешно работает на этом рынке под названием General Semiconductors). GI Microelectronics Division было переименовано в GI Microelectronics Inc и существовало одно время как отдельный филиал, а затем было продано вместе с заводом в г. Чандлер, Аризона (Chandler, Arizona).

Это была длительная работа представителей рискового капитала, они избавились от производства большинства микросхем линеек AY3, AY5 и других, и сконцентрировались на разработках и производстве PIC и различных видов EPROM/EEPROM с параллельным и последовательным доступом. В итоге все это было названо компания **Arizona Microchip Technology Inc**., или просто Microchip, которая была четко спозиционирована на рынок встраиваемых систем управления (Embedded Control).

Сейчас Microchip одна из лидирующих компаний в своей области. Так если в 1990 году по объему продаж он был на 20-м месте, в 1993-м – на 8-м, то в 1997 году, несмотря на сильнейшую конкуренцию со стороны Атмела (ее новые микроконтроллеры типа AVR), Микрочип выходит на 2-е место, пропустив впереди себя только Моторолу (Атмел пока далеко позади):

	1993	1994	1995	1996	1997
1	Motorola	Motorola	Motorola	Motorola	Motorola
2	Mitsubishi	Mitsubishi	Mitsubishi	Mitsubishi	**Microchip**
3	NEC	NEC	NEC	ST	NEC
4	Hitachi	Philips	Philips	NEC	Mitsubishi
5	Philips	Intel	**Microchip**	**Microchip**	Philips
6	Intel	**Microchip**	ST	Philips	Toshiba
7	ST	Zilog	Intel	Zilog	Hitachi
8	**Microchip**	ST	Hitachi	Hitachi	Fujitsu
9	Matsushita	Matsushita	Toshiba	Fujitsu	ST

Чем же так хороши, и чем же так привлекли внимание разработчиков микроконтроллеры типа PIC? Напомним, что аббревиатура PIC означает Peripheral Interface Controller. Очень часто возникает необходимость в небольшом дешевом микропроцессоре, с несложными математическими вычислениями, способном осуществлять ввод-вывод сигналов с большой скоростью, обладающий низким потреблением и развитой периферией. Это питающееся от телефонной линии оборудование (АОНы, микро-АТС), портативные приборы с батарейным питанием, автомобильные сигнализации, АЦП, подключаемые к последовательному порту компьютера и от него же и питающиеся, медицинские приборы и т.д. PIC-контроллеры выпускаются как в больших, так и малых корпусах и имеют небольшую стоимость. Как вам понравится настоящий (!) микропроцессор (12Cxxx) в 8-ногом ДИП корпусе, со встроенным тактовым генератором, цепочкой сброса и 6-ю ножками ввода вывода? Или PIC16C505 – контролер в 14-выводном корпусе со встроенным генератором всего за 49 центов!? (В США).

Большинство полезных качеств PIC-контроллеров сосредоточено в 3-х словах: CMOS, RISC, Harvard. Современная CMOS технология позволяет выпускать микроконтроллеры, работающие на частотах от 0 Гц до 40 Мгц. Потребляемый ток, который зависит от частоты, составляет единицы мА для частот 1-10 Мгц, и

десяток мкА для более низких частот, а перевод в спящий режим (SLEEP) доводит потребление до единиц мкА. При этом благодаря RISC системе команд и Гарвардской архитектуре быстродействие даже на низких частотах остается достаточно большим - требуется всего 4 такта на одну команду (8 для команд переходов). Сравните с широко распространенным семейством 51-х однокристалок, у которых машинный цикл составляет 12 тактов, а команды могут иметь и не один цикл. (Компания Atmel в своем новом семействе AVR-контроллеров, которые тоже RISC, довела машинный цикл до 1 такта). RISC архитектура предполагает, что все команды имеют одну длину, в то время как при традиционной архитектуре команды имеют переменную длину. Это приводит не только к хорошему быстродействию, но и к экономии программной памяти. Три семейства PIC контроллеров имеют 12, 14 и 16 разрядные команды, и соответственно 33, 35 и 58 инструкций. Традиционные микропроцессоры (CISC) имеют существенно большее число команд, их которых чаще всего используется меньше половины, а некоторые вообще редко используются. В RISC-процессорах реализованы наиболее часто необходимые команды, а более сложные реализуются их комбинациями. Учитывая статистическое распределение частоты применения различных команд, программа в кодах RISC процессора получается меньше по объему и быстрее работает.

Я не удержусь, и приведу некоторые сравнительные данные, без которых, по-моему, не обходится ни одна обзорная статья о PIC-контроллерах. Это тест, проведенный фирмой Микрочип довольно давно. Сравнивались участки функционально одинаковых программ для разных контроллеров - упакованное BCD-преобразование, проверка бита и ветвление, цикл по счетчику, побитное выталкивание бита (преобразование параллельного кода в последовательный), программная выдержка времени. Сравнивался PIC16C5x @ 20MHz и:

Motorola MC68HC04 @ 11mhz,
Motorola MC68HC05 @ 4.2MHz,
Intel 8048 @ 11mhz,
Zilog Z86Cxx @ 12MHz,
National COP800 @20mhz.

Результаты сравнительного анализа однокристальных микро ЭВМ и PIC контроллера приведены ниже.

	PIC16Cx	COP800	MC86HC04	MC68HC05	Z86Cxx	8048
Относительный размер кодов	1.00	1.29	1.82	2.24	1.51	1.58
Скорость выполнения	1.00	0.11	0.02	0.14	0.21	0.11

Можно конечно оспаривать результаты этих тестов (что неоднократно происходит в ru.embedded и su.hardw.*), тем более что в нем не представлены более новые микроконтроллеры, тем не менее, – автор неоднократно убеждался, что в небольшой памяти PIC-кконтроллеров можно разместить достаточно много, гораздо больше, чем в соответствующей памяти для 8051 или Z80, к тому же при хорошем знании команд программы весьма хорошо оптимизируются.

Кроме экономного использования программной памяти, высокого быстродействия, низкого потребления и широкого диапазона питания (от 2 до 6В. для некоторых устройств), еще одним бесспорным достоинством PIC-контроллеров, является развитость встроенных аппаратных средств.

Начнем с тактового генератора. В большинстве контроллеров применен универсальный генератор, режим которого программируется на работы с тремя типами внешних кварцев (высокочастотный, среднечастотный и низкочастотный) или с внешней RC-цепочкой, для тех применений, где стабильность тактовой частоты не критична. Некоторые типы контроллеров имеют режим встроенного генератора, имеется в виду, что внешних цепей не требуется вовсе, а также не тратятся драгоценные выводы корпуса. Кроме тактового, во всех контроллерах имеется внутренний RC-генератор, использующийся для работы "Сторожевого Пса" (Watch Dog), или просто "собаки". Этот генератор, если он включен при программировании, тактирует специальный счетчик, который должен периодически сбрасываться программой через определенные промежутки времени, не большие заданного. Если в результате зависания или некорректности работы программы (по-простому - глюков) счетчик не будет вовремя сброшен, произойдет перезапуск контроллера. Особым случаем применения "собаки" является дежурный режим. Контроллер может находиться в состоянии спячки (SLEEP) с крайне низким потреблением, при этом с периодом срабатывания "собаки" выходить из спячки, просматривать входные сигналы и, если ничего не произошло - спать дальше. Если же произошли определенные изменения состояния входов - перейти к программе обработки, выполнив которую можно снова заснуть. Конечно, если для обработки ненужно высокое быстродействие, то можно просто использовать низкую тактовую частоту. Но когда нужно микро потребление энергии в среднем, и большое быстродействие на некоторое время - лучший выход это именно использование спящего режима с периодическим пробуждением без или совместно с прерыванием по изменению (см. ниже). Сигнал "сброс" (MCLR) может формироваться внешними или внутренними цепями, что упрощает и удешевляет схемотехнику.

Практически все контроллеры имеют хотя бы один счетчик-таймер, который может использоваться для счета внешних импульсов, генерации периодических прерываний или отсчета временных интервалов.

Связь с внешним миром осуществляется при помощи портов ввода-вывода, которые в PIC-контроллерах имеют свои особенности. К примеру - в 51-х контроллерах используются выходы с открытым стоком, для использования которых на ввод нужно записать "1". Это иногда дает некоторое упрощение, но не позволяет получить Z-состояние выходи и большое входное сопротивление входа. В PIC-контроллерах каждому порту соответствует два регистра - данных и направления (TRIS). При этом в зависимости от содержания регистра направления каждый вывод может быть индивидуально запрограммирован или на ввод или на вывод. На всякий случай, во многих контроллерах имеется один вывод с открытым стоком, который требует подключения нагрузки при работе на выход. Все входы контроллеров защищены от перенапряжения диодами на 0 и VCC и имеют высокую нагрузочную способность (20-25 мА). Некоторые порты имеют индивидуально подключаемые к входам источники тока, играющие роль pull-up резисторов. Отдельные входы могут быть запрограммированы так, что вызывают прерывание при изменении своего состояния (доступно также в спящем режиме!).

Для работы с аналоговыми сигналами определенные типы контроллеров имеют встроенные АЦП или компараторы. Существуют контроллеры, со встроенным управлением ЖКИ-индикаторами, выходами ШИМ, разнообразными последовательными интерфейсами (синхронный, асинхронный, I2C, SPI), имеющие встроенную энергонезависимую память данных, для запоминания разных констант, настроек и т.п. Для работы вместе с более мощными микропроцессорными системами, некоторые контроллеры имеют PSP (Parallel Slave Port).

Структурно, PIC-контроллеры состоят из памяти программ, памяти данных (регистры), АЛУ, портов ввода-вывода и периферийных устройств.

Я не хочу подробно расписывать структурные схемы, системы команд, "тонкие подробности функционирования" и маленькие "хитрости" по применению контроллеров - это темы для отдельных статей или для чтения подробной технической документации, поэтому в заключение приведу таблицу разновидностей PIC-контроллеров, по которой можно представить себе их большое разнообразие и выбрать контроллер для конкретного применения.

Большинство PIC-контроллеров выполнено в OTP-исполнении, т.е. однократно программируемый кристалл. Для отладки используется специальный отладочный вариант с окошком для стирания ультрафиолетом. (На самом деле сам кристалл и там и там один и тот же, поэтому в принципе, если в OTP добраться до самого кристалла, то его можно стереть. Правда нужно еще сделать подложку для стекания зарядов, да и добраться трудновато :)

Для начинающих лучше всего подойдет контроллер 16F84, имеющий электрически стираемую память программ или Flash. (Строго говоря там не флеш а ЕЕПРОМ, но сейчас любые виды энергонезависимой памяти принято называть флеш). Если же Вы собираетесь работать с OTP, то ни в коем случае не устанавливайте биты защиты (секретности) в новых отладочных кристаллах с ультрафиолетовым стиранием (с буквами A или B) – Вы их потом не сотрете и использовать кристалл для другой прошивки не удастся! Иногда помогает выдержка под лампой с течении 6-ти и более часов, но вероятность этого невелика, поэтому не рискуйте отладочными JW кристаллами, которые в несколько раз дороже «боевых» OTP.

Запись программы в кристалл может осуществляется двумя методами - параллельным и последовательным. Старое семейство (16C5xx) и первые микросхемы серии 17Cxxx имели только параллельный режим записи, все остальные кроме параллельного, имеют последовательный режим, который позволяет использовать более простые программаторы и осуществлять запись программы в установленную в плате микросхему (ISP - внутрисхемное программирование).

Номенклатура контроллеров с электрически перезаписываемой памятью программ постепенно увеличивается, хотя в этом направлении Микрочип почему-то сильно отстает от своего основного конкурента - Атмел, выпускающего давно семейство MCS-51 с флеш-памятью и приступившего к выпуску новой серии AVR-контроллеров, которые кроме флеша обладают многими другими преимуществами. Это тем более странно, что компания Микрочип выпускает широкую гамму просто микросхем ЕЕПРОМ, являясь одним из лидеров в этой области, но почему-то тянет с флеш-памятью в PIC-контроллерах.

По конструктивному исполнению PIC-контроллеры выпускаются в обычном пластмассовом корпусе (DIP), керамическом корпусе с окном (JW, отладочные варианты), широкой гамме планарных и других корпусов (SIOC, PLCC, PQFP, etc.) , а также в виде кристаллов для гибридных схем (die, micromodule, etc.)

Номенклатура PIC-контролеров

Тип	Память программ	EEPROM данных	ОЗУ	Макс. такт., Мгц	Число выводов сигналов/всего	АЦП, каналов/бит	Компараторы	Доп. периферия	Выходы ШИМ	Brown Out	Таймеры	Внутрисх. прогр.	Вх./вых. ток	Число команд	Внутр. генератор
12C508, 508A	512x12		25	4	6/8						1	Да	25	33	Да
12C509, 509A	1024x12		25	4	6/8						1	Да	25	33	Да
12CE518	512x12	16	25	4	6/8						1	Да	25	33	Да
12CE519	1024x12	16	41	4	6/8						1	Да	25	33	Да
12C671	1024x14		128	10	6/8	4/8					1	Да	25	35	Да
12C672	1024x14		128	10	6/8	4/8					1	Да	25	35	Да
12CE673	1024x14	16	128	10	6/8	4/8					1	Да	25	35	Да
12CE674	2048x14	16	128	10	6/8	4/8					1	Да	25	35	Да
16C52	384x12		25	4	12/18						1		10	33	
16C54, 54A, 54B	512x12		25	20	12/18						1		20/25	33	
16C55, 55A	512x12		24	20	20/28						1		20/25	33	
16C56, 56A	1024x12		25	20	12/18						1		20/25	33	
16C57, 57C	2048x12		72	20	20/28						1		20/25	33	
16C58A, 58B	2048x12		73	20	12/18						1		20/25	33	
16C505	1024x12		72	20	12/14						1	Да	25	33	Да
16HV540*	512x12		25	20	12/18						1			33	
16HV570*	2048x12		72	20	20/28					Да	1				
14C000	4096X14		192	20	20/28	8/16	2	I2C/SMB/2xDAC /Temp/Vref			2	Да	25	35	Да
16C461*	1024x14		128	10	12/14						1	Да	25	35	Да
16C554	512x14		80	20	13/18						1	Да	25	35	
16C558	2048x14		128	20	13/18						1	Да	25	35	
16C61	1024x14		36	20	13/18						1	Да	25	35	
16C62A	2048x14		128	20	22/28			I2C, SPI	1	Да	3	Да	25	35	
16C63, 63A	4096x14		192	20	22/28			I2C/SPI/USART	2	Да	3	Да	25	35	
16C64A	2048x14		128	20	33/40			PSP/I2C/SPI	1	Да	3	Да	25	35	
16C65A, 65B	4096x14		192	20	33/40			I2C/SPI/USART/ PSP	2	Да	3	Да	25	35	
16C66	8192x14		368	20	22/28			I2C/SPI/USART	2	Да	3	Да	25	35	
16C67	8192x14		368	20	33/40			PSP/I2C/SPI	2	Да	3	Да	25	35	
16C620, 620A	512x14		80	20	13/18		2			Да	1	Да	25	35	
16C621, 621A	1024x14		96	20	13/18		2			Да	1	Да	25	35	
15C622, 622A	2048x14		128	20	13/18		2			Да	1	Да	25	35	
16CE623	512x14	128	96	20	13/18		2			Да	1	Да	25	35	
16CE624	1024x14	128	96	20	13/18		2			Да	1	Да	25	35	
16CE625	2048x14	128	128	20	13/18		2			Да	1	Да	25	35	
16C642	4096x14		176	20	22/28		2			Да	1	Да	25	35	
16C662	4096x14		176	20	33/40		2	PSP		Да	2	Да	25	35	
16C710	512x14		36	20	13/18	4/8				Да	1	Да	25	35	
16C71	1024x14		36	20	13/18	4/8					1	Да	20	35	
16C711	1024x14		68	20	13/18	4/8				Да	1	Да	25	35	
16C712*	1024x14		128	20	13/18	4/8			1	Да	3	Да	25	35	
16C715	2048x14		128	20	13/18	4/8				Да	1	Да	25	35	
16C716*	2048x14		128	20	13/18	4/8			1	Да	3	Да	25	35	
16C717*	2048x14		256	20	15/18	6/10		I2C/SPI/LVD	1	Да	3	Да	25	35	Да
16C72	2048x14		128	20	22/28	5/8		I2C/SPI	1	Да	3	Да	25	35	
16C73A, 73B	4096x14		192	20	22/28	5/8		I2C/SPI/USART	2	Да	3	Да	25	35	

16C74A, 74B	4096x14		192	20	33/40	8/8		I2C/SPI/USART/ PSP	2	Да	3	Да	25	35	
16C770*	2048ч14		256	20	15/20	6/12		I2C/SPI/LVD	1	Да	3	Да	25	35	Да
16C771*	4096x14		256	20	15/20	6/12		I2C/SPI	1		3	Да	25	35	Да
16C773*	4096x14		256	20	22/28	6/12		I2C/SPI/USART/ LVD	2	Да	3	Да	25	35	
16C774*	4096x14		256	20	33/40	10/12		I2C/SPI/USART/ LVD	2	Да	3	Да	25	35	
16C76	8192x14		368	20	22/28	5/8		I2C/SPI/USART	2	Да	3	Да	25	35	
16C77	8192x14		368	20	33/40	8/8		I2C/SPI/USART	2	Да	3	Да	25	35	
16F83	512x14 FLASH	64	36	10	13/18						1	Да	20	35	
16F84, 84A	1024x14 FLASH	64	68	10	13/18						1	Да	20	35	
16C471*	1024x14		128	20	12/14	4/10			1	Да	3	Да	25	35	Да
16C472*	2048x14		128	20	12/14	4/10			1	Да	3	Да	25	35	Да
16C772*	2048x14		128	20	22/28	6/10		I2C/SPI	1	Да	3	Да	25	35	
16C923	4096x14		176	8	52/64			LCD/I2C/SPI	1		3	Да	25	35	
16C924	4096x14		176	8	5/8			LCD/I2C/SPI	1	Да	3	Да	25	35	
17C42A	2048x16		232	33	33/40			USART	2		4		20/35	58	
17C43	4096x16		454	33	33/40			USART	2		4		20/35	58	
17C44	8192x16		454	33	33/40			USART	2		4		20/35	58	
17C752	8192x16		678	33	50/64	12/10		2xUSART/ mI2C/SPI	3	Да	4		20/35	58	
17C756, 756A*	16384x16		902	33	50/64	12/10		2xUSART/ mI2C/SPI	3	Да	4		20/35	58	
17C762	8192x16		678	33	66/84	16/10		2xUSART/ mI2C/SPI	3	Да	4	Да	20/35	58	
17C766	16384x16		902	33	66/84	16/10		2xUSART/ mI2C/SPI	3	Да	4	Да	20/35	58	
18C241*	8192x16		512	40	23/28	5/12	2	SPI/CAN	2	Да	4	Да	25		
18C242*	8192x16		512	40	22/28	5/10		mI2C/SPI/ USART/LVD	2	Да	3	Да		58	
18C442*	8192x16		512	40	33/40	8/10		PSP/USART/ mI2C/SPI/LVD	2	Да	3	Да		58	
18C252*	16384x16		1536	40	22/28	5/10		USART/ mI2C/SPI/LVD	2	Да	3	Да		58	
18C441*	8192x16		1024	40	52/68	12/12	2	SPI/CAN/LVD	2	Да	4	Да	25		
18C452*	16384x16		1536	40	33/40	8/10		PSP/USART /mI2C/SPI/LVD	2	Да	3	Да		58	
18C601*	bootROM		2048	40	31/68	12/12	2	USART/mI2C/ SPI/EPM	2	Да	4				
18C641*	8192x16		1024	33	50/64	5/10		PSP/USART/I2C/ SPI/CAN	3	Да	4	Да		58	
12F675*	1024x14 FLASH	16	128	10	6/8	4/10					1	Да	25	35	Да
12F676*	2048x14 FLASH	16	128	10	6/8	4/10					1	Да	25	35	Да
12F640*	512x14 FLASH	16	128	10	6/8						1	Да	25	35	Да
12F641*	1024x14 FLASH	16	128	10	6/8						1	Да	25	35	Да
16F627*	1024x14 FLASH	128	80	20	16/18		2	USART/SPI	1	Да	3	Да	25	35	Да
16F628*	2048x14 FLASH	128	128	20	16/18		2	USART/SPI	1	Да	3	Да	25	35	Да
16F716*	2048x14 FLASH	128	128	20	16/18	4/10			1	Да	3	Да	25	35	
16F718*	4096x14 FLASH	128	128	20	18/20	4/10		USART/SPI	1	Да	3	Да	25	35	
16F825*	2048x14 FLASH	64	128	20	22/28		2	USART	1	Да	3	Да	25	35	
16F872*	2048x14 FLASH	64	128	20	22/28	5/10		I2C/SPI	1	Да	3	Да	25	35	
16F873*	4096x14	128	192	20	22/28	5/10		USART/	2	Да	3	Да	25	35	

	FLASH							I2C/SPI							
16F874*	4096x14 FLASH	128	192	20	33/40	8/10		PSP/USART/I2C/ SPI	2	Да	3	Да	25	35	
16F876*	8192x14 FLASH	256	368	20	22/28	5/10		PSP/USART/I2C/ SPI	2	Да	3	Да	25	35	
16F877*	8192x14 FLASH	256	368	20	33/40	8/10		PSP/USART/I2C/ SPI	2	Да	3	Да	25	35	
18F641*	8192x16 FLASH		1536	40	52.68	12./12	2	I2C/SPI/CAN/ EPM	2	Да	4	Да	25		
18F652*	16384x16 FLASH		2048	40	52/68	12/12		2xUSART/mI2C/ SPI/2xDAC,PGA/ LVD	5	Да	4	Да	25		
18F852*	16384x16 FLASH		2048	40	68/84	16/12		2xUSART/mI2C/ SPI/2xDAC/PGA/ LVD	5	Да	4	Да	25		

Условные сокращения:

*	Новые или только анонсированные изделия
PSP	Parallel Slave Port
USART	Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter
I2C	Inter-Integrated Circuit Bus
mI2C	Master Inter-Integrated Circuit Bus
SPI	Serial Peripheral Interface
SMB	System Management Bus
EPM	External Program Memory
DAC	Digital Analog Converter
PGA	Programmable Gain Amplifier
LVD	Low Voltage Detection

Источники информации :

- PIC Microcontroler DATABOOK
- Microchip Product Line Card
- Microchip World Magazine
- Internet PICLIST
- www.microchip.com
- www.Geosities.com/SiliconValley/Lab/6311
- www.Geosities.com/SiliconValley/Way/5807

г. Харьков, 1999г.