

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Новгородский государственный университет
имени Ярослава Мудрого

Гурьянов С.А.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ СЕМЕЙСТВА MICROCHIP

Новгород

2011

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Новгородский государственный университет
имени Ярослава Мудрого
Институт электронных и информационных систем

Кафедра радиосистем

Гурьянов С.А.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ СЕМЕЙСТВА MICROCHIP

Курс лекций по дисциплине

**"ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ"**

для специальности 210302.65 "Радиотехника"

Новгород

2011

УДК 621.38

ББК

Гурьянов С.А. Микроконтроллеры семейства MICROCHIP: Курс лекций / ФГБОУ «Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого», Великий Новгород, 2011 г. – 77 с.

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Быстров Н.Е.

д-р техн. наук, проф. Рассветалов Л.А.

В учебном пособии рассмотрена структура микроконтроллера семейства MICROCHIP, система команд микроконтроллера, примеры программ, устройства ввода-вывода.

Учебное пособие отвечает новым образовательным стандартам и предназначено для подготовки специалистов по специальности 210302.65 "Радиотехника".

Учебное пособие одобрено советом института электронных и информационных систем Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Новгородский государственный университет
имени Ярослава Мудрого, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.

1. Характеристики микроконтроллеров семейства PIC16C5X
2. Конструктивное исполнение PIC16C5X
3. Архитектура кристаллов PIC16C5X
4. Синхронизация микроконтроллера
5. Организация памяти микроконтроллера
6. Файл регистров микроконтроллера
 - 6.1. Регистр STATUS
 - 6.2. Регистры косвенной адресации памяти данных
 - 6.3. Программный счетчик
7. Модуль таймера/счетчика
 - 7.1. Сторожевой таймер
8. Регистры ввода/вывода
9. Особенности конфигурации центрального процессора
 - 9.1. Защита кода программ
 - 9.2. Типы генераторов
 - 9.3. Сброс контроллера
 - 9.4. Режим пониженного энергопотребления
 - 9.5. Код идентификации кристалла
10. Система команд PIC-контроллера
 - 10.1 Описание команд микроконтроллеров семейства PIC16C5X
11. 14-разрядные микроконтроллеры семейства PIC16CXX
12. Микроконтроллеры семейства PIC16C62X
 - 12.1. Организация памяти микроконтроллеров семейства PIC16C62X
 - 12.2. Особенности организации портов ввода/вывода микроконтроллеров
 - 12.3. Особенности организации прерываний микроконтроллеров PIC16C62X
 - 12.4. Специальные регистры микроконтроллеров PIC16C62X
 - 12.5. Изменения в системе команд микроконтроллеров PIC16C62X
13. Микроконтроллеры семейства PIC16C84 семейства PIC16C62X

Введение

Одним из главных направлений современной техники является переход к интеллектуальным механизмам и системам. Наличие встроенной системы контроля становится необходимым элементом любого современного конкурентноспособного товара, начиная от современных бытовых систем и заканчивая элементами сложных автоматических комплексов, работающих в экстремальных эксплуатационных условиях.

Одной из перспективных платформ, обеспечивающих возможность создания многофункциональных встроенных систем контроля, является предлагаемая фирмой MICROCHIP TECHNOLOGY INC платформа PIC.

PIC (Peripheral Interface Controller) – это семейство микроконтроллеров, разработанных специально для применения во встроенных системах управления и контроля для разнообразных технических применений. Преимуществом данного семейства является сочетание высокого быстродействия, малого энергопотребления, высокой степени интеграции памяти и периферийных устройств в малом корпусе при достаточно низкой цене.

Платформа PIC в настоящее время представлена семействами 8-бит микроконтроллеров 12СХХ, 14000, 16С15Х, 16С5Х, 16С55Х, 16С6Х, 16С7Х, 16С8Х, 16С9Х, 17С4Х и 17С75Х. Каждое семейство, в свою очередь, имеет ряд разновидностей.

Высокая производительность PIC-микроконтроллеров достигается из-за применения RISC (Reduced Instruction Set Computer) архитектуры. Данная архитектура микроконтроллеров предполагает, что все инструкции имеют одинаковую длину и выбираются за один машинный цикл. Набор инструкций PIC платформы специально предназначен для задач управления, ввода/вывода сигналов.

Платформа PIC реализует следующие принципы построения:

- Гарвардская архитектура с физическим разделением памяти программ, памяти данных, с использованием двух отдельных шин доступа к памяти данных и памяти программ с возможностью одновременной работы по этим шинам;
- RISC – подобная организация ядра процессора;
- Все команды имеют длину в одно слово;
- Использование концепции регистрового файла.

Благодаря этим особенностям архитектуры PIC-микроконтроллеры по сравнению с микропроцессорами других фирм отличаются двухкратным уменьшением необходимой памяти и четырехкратным увеличением производительности для часто встречающихся операций.

Результаты сравнительного анализа однокристалльных микроЭВМ и PIC-контроллера при выполнении типовых тестовых программ: упакованное BCD

преобразование, проверка бита с ветвлением по нему, цикл по счетчику, побитный сдвиг байта, программная задержка времени; приведены в таблице 1.

В данной таблице приведены результаты тестирования

- PIC-микроконтроллера PIC16C5x с тактовой частотой 20 МГц,
- контроллера фирмы Motorola MC68HC04 с тактовой частотой 11 МГц,
- Motorola MC68HC05 - 4,2 МГц,
- контроллера фирмы Zilog Z86CXX - 12 МГц,
- контроллера фирмы National COP800 - 20 МГц.

Таблица 1.

Микроконтроллер	PIC16C5x	COP800	MC86HC04	MC68HC05	Z86Cxx
Относ. размер кодов	1.00	1.29	1.82	2.24	1.51
Скорость выполнения	1.00	0.11	0.02	0.14	0.21

Фирма Microchip представляет пользователю широкий набор PIC-контроллеров, отличающихся друг от друга количественными характеристиками, встроенными аппаратными функциями и соответственно ценой. Широкий выбор позволяет достичь оптимального соотношения между эффектом от применения того или иного PIC-а и затратами. Микроконтроллеры семейства выпускаются в различном исполнении: корпуса DIP, SOIC, SSOP, PQFP, PLSS.

DIP - обычный пластмассовый двухрядный корпус. Используется для однократно программируемых (OTP) EPROM версий кристаллов.

CERDIP Window - керамический двухрядный корпус с кварцевым окном. Используется для ультрафиолетовых (UF) EPROM версий.

SOIC - малогабаритный DIP корпус.

SSOP - корпус для поверхностного монтажа.

Рабочая температура микроконтроллеров изменяется от варианта исполнения:

- коммерческое - рабочая температура от 0 до +70С,
- промышленное - (-40... +85С),
- для подвижных объектов - (-40 +125С).

Наибольшее распространение получили микроконтроллеры семейств PIC16/17, краткое описание характеристик которых приведено в таблице 2.

Семейство	Характеристика	Максимальная тактовая частота, МГц	Объем памяти программ, Кбайт	Объем памяти данных, Байт
PIC16C5X	Базовая модель	20	0.5...2*12	25...73
PIC16C6X	Средняя модель	20	1...4*14	35...192
PIC16C7X	Компаратор			
PIC17C8X	A/D	25	2...8*16	232...454
PIC17CXX	ЕEPROM			
PIC17CXX	Макси-модель			

А в таблице 3 приведены основные параметры этого семейства PIC-контроллеров.

Таблица 3

ТИП	ПАМЯТЬ				ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ							
	PIC	ПЗУ	РПЗУ	ОЗУ	РОЗУ	В/В	АЦП	ШИМ	Прер	Таймер	Посл	Пар
	EP ROM	EEP ROM	RAM	EE RAM	I/O	ADC	CCP	INT	Timers	UART	PSP	Pack
16C54	512		25		12				1+WD			18
16C55	512		25		20				1+WD			28
16C56	1K		25		12				1+WD			18
16C57	2K		72		20				1+WD			28
16C58	2K		73		12				1+WD			18
16C61	1K		36		13			3	1+WD			18
16C64	2K		128		33		1	8	2+WD	SPI	1	40
16C65	4K		192		33		2	11	2+WD	SPI	1	40
16C71	1K		36		13	4*8		4	1+WD	/SCI		18
16C73	4K		192		22	5*8	2	11	2+WD	SPI		28
16C74	4K		192		33	8*8	2	12	2+WD	SPI	1	40
									/SCI			
16C84		1K	36	64	13			4	1+WD			18
17C42	2K		232		33		2	11	3+WD	SCI		40
17C44	8K		454		33		2	11	3+WD	SCI		40

Внутренняя программная память микроконтроллеров бывает двух исполнениях: однократно программируемое ПЗУ и многократное с ультрафиолетовым стиранием или электрически перепрограммируемым ПЗУ. Все микросхемы имеют бит секретности. Объем ПЗУ зависит от типа PIC-контроллера: от 512*12 бит, для самых простых приложений и до 8K*16

бит для более сложных. Встроенное ОЗУ данных с 8-ми битной организацией варьируется по объему от 32 до 454 байт, как вариант 64*8 EERAM.

PIC-контроллер может работать от внешнего кварцевого резонатора и от обычной RC цепочки. При этом диапазон тактовой частоты процессора может изменяться от 32 КГц до 20МГц. Внешних цепей для формирования сигнала сброса не требуется. Микропроцессор вырабатывает его автоматически при включении питания или при подаче внешнего сигнала сброса MCLR. Напряжение питания может изменяться в пределах от 2,5 до 6,25В. Это делает, его незаменимым для портативных приложений с питанием от батарей. Ток потребления зависит от выбранной частоты генерации. При наименьшей частоте в 32 кГц ток потребления составляет всего 15 мкА. Далее ток возрастает до 3 мА с ростом частоты до 4МГц и в пределе может стать 20 мА на частоте 20 МГц. Для минимизации энергопотребления применяют импульсную работу PIC-контроллера. Этот режим работы называется режимом пониженного энергопотребления (SLEEP). Микроконтроллер находится в "спящем" режиме с полным сохранением содержимого памяти, пока внешнее событие не потребует какого-то его действия. Выход из указанного режима определяется поступлением внешнего сигнала MCLR, или сигнала от встроенного программируемого сторожевого таймера (Watchdog Timer). Количество линий ввода/вывода варьируется от 12 до 33, в зависимости от корпуса. Все линии двунаправленные с произвольным программированием их на ввод/вывод. Несмотря на КМОП технологию, линии вывода достаточно мощны и в состоянии напрямую управлять сегментами светодиодного индикатора. Втекающий и вытекающий ток изменяется до 25 мА на всех линиях одновременно и до 50 мА только на одной. Эта особенность линий вывода позволяет реализовать простое сопряжение со схемами пользователя. Некоторые модели имеют также и встроенный 8-битный АЦП с системой прерываний, вырабатываемых этим АЦП и компараторами кодов на линиях ввода/вывода; выход с широтноимпульсной модуляцией и канал последовательной передачи данных. Во всех моделях PIC-контроллеров имеется встроенный таймер с программируемым делителем.

Использование 14-разрядных процессоров PIC16XX дает возможность программирования разрабатываемых устройств непосредственно в составе уже готовых изделий по последовательному каналу связи.

Программное обеспечение для контроллеров данной платформы выпускается многими фирмами. Например, пакет PIC-Master фирмы Microchip для PIC-контроллера, рассчитанный на все типы микросхем этой фирмы, включает в себя: макроассемблер, отладчик симулятор, внутрисхемный эмулятор и программатор.

PIC-Master представляет собой полномасштабный инструмент для промышленных разработок повышенной сложности и позволяет моделировать современные системы встроенного контроля. Данный программный продукт позволяет проводить одновременную симуляцию 8 PIC-процессоров в режиме реального времени.

Пакет программ фирмы Microchip PIC-Start служит для оценки возможностей платформы и предназначен для работы с ней начинающих, хотя и позволяет разрабатывать достаточно сложные применения.

Для сокращения сроков освоения изделий, использующих PIC-платформу, фирма MICROCHIP обеспечивает поставку устройств с однократно программируемой памятью с целым спектром возможностей по поставке:

- линия OTP-устройств (One Time Programmable), предназначенных для выпуска пилотных серий образцов поставляемых изделий с защитным программным обеспечением заказчика и возможностью прошивки бита конфигурации;
- линия QTR-устройств (Quick Turnaround Production) предлагает возможность поставки средних и крупных партий устройств с прошитым программным обеспечением заказчика и проверкой качества прошивки;
- линия SQTR-устройств (Serialized Quick Turnaround) предлагает возможность поставки серий устройств с персонализацией чипов за счет прошивки индивидуального номера, причем этот номер может быть случайным, псевдослучайным или последовательным числом.

1. Характеристики микроконтроллеров семейства PIC16C5X

PIC16C5X производимый Microchip Technology относится к семейству 8-битных КМОП микроконтроллеров с внутренним ПЗУ, которые отличаются низкой стоимостью и высокой производительностью.

Они основаны на RISC архитектуре центрального процессора и программируются всего через 33 команды, шириной в одно 12 разрядное слово ПЗУ. Все команды выполняются за один цикл (при тактовой частоте 20 МГц время выполнения команды равно 200нс). Расширение памяти программ до двенадцати разрядов приводит к сжатию кода до 2:1 по сравнению с 8-битными микроконтроллерами этого же класса.

PIC16C5X имеют встроенные устройства, присущие большинству прикладных систем, что позволяет снизить стоимость, потребляемую мощность и увеличить надежность разрабатываемого устройства. Данный контроллер имеет внутренний таймер. Встроенная схема сброса и запуска генератора позволяют избавиться от внешних RC схем. Экономичный режим потребления SLEEP, Watchdog таймер и устройство защиты кода программы увеличивают мощность и надежность системы.

В данном семействе существуют микросхемы с ультрафиолетовым стиранием. Одновременно выпускаются однократно программируемые (OTP) кристаллы, сочетающие низкую цену и гибкости OTP версий.

Серия PIC16C5X подходит для широкого спектра приложений от схем высокоскоростного управления автомобильным и электрическими двигателями до экономичных удаленных приемопередатчиков, регистрирующих приборов и связанных процессоров. Наличие ПЗУ позволяет подстраивать параметры в прикладных программах (коды передатчика, скорости двигателя, частоты приемника и т. д.). Малые размеры корпусов, как для обычного, так и для поверхностного монтажа, делает эту серию микроконтроллеров пригодной для портативных приложений. Низкая цена, экономичность, быстрое действие, простота использования и гибкость ввода/вывода делает серию PIC16C5X привлекательной даже в тех областях, где ранее не применялись микроконтроллеры. Например, таймеры, замена жесткой логики в больших системах, сопроцессоры. Устройства серии PIC16C5X имеют большой выбор ПЗУ и ОЗУ разных размеров, разное количество линий ввода/вывода, различные виды возбуждения генераторов, разную скорость, климатическую и типы корпусов. Из четырех кристаллов PIC16C5X можно выбрать устройство с подходящими ПЗУ/ОЗУ и конфигурацией ввода/вывода. Ниже приведена таблица 4, демонстрирующая характеристики семейства PIC16C5X.

Общая характеристика семейства 12-разрядных процессоров

Тип	16C54	16C55	16C56	16C57	16C58
ROM	512 байт	512 байт	1 Кб	2Кб	2Кб
RAM, байт	25	25	25	72	73
Вход/выход	12	20	12	20	12
Мах. частота, МГц	20	20	20	20	20
Периферия	Таймер 0				
Число контактов	18	28	18	28	18
Технология	EPROM	EPROM	EPROM	EPROM	EPROM
	ROM			ROM	ROM
	OTP	OTP	OTP	OTP	OTP

Данные микросхемы выпускаются для диапазона напряжений питания от 2,5 до 6,25В в корпусах – 18-DIP, CERDIP, SOIK, и 20-SSOP.

Основные характеристики модели PIC 16C5X:

- только 33 простых команды
- все команды выполняются за один
- цикл (200ns при частоте 20 МГц), кроме команд перехода (2 цикла)
- рабочая частота от 32 кГц до 20 МГц
- 12- битовые команды
- 8 - битовые данные
- от 512 до 2К *12 - объем программной памяти на кристалле EPROM
- от 32 до 80 *8 - объем оперативного запоминающего устройства
- 7 специальных аппаратных регистров SFR
- двухуровневый аппаратный стек
- прямая, косвенная и относительная адресация данных и команд
- от 12 до 20 линий ввода-вывода с индивидуальной настройкой;
- 8-битный таймер/счетчик TMR0 с 8-битным программируемым предварительным делителем
- автоматический сброс при включении (POR)
- таймер запуска генератора (DRT)
- Watchdog Timer (WDT) с собственным встроенным генератором, обеспечивающим повышенную надежность
- бит секретности для защиты кода программ
- экономичный режим энергопотребления (SLEEP)

- программируемые биты для установки режима возбуждения встроенного генератора:
 - * RC- генератор (RC),
 - * обычный кварцевый резонатор (XT),
 - * высокочастотный кварцевый резонатор (HS),
 - * экономичный низкочастотный кристалл (LP);
- экономичная высокоскоростная КМОП EPROM технология
- статический принцип в архитектуре
- широкий диапазон напряжений питания
 - * коммерческий: 2.5 ... 6.25В,
 - * промышленный: 2.5 ... 6.25В,
 - * автомобильный: 2.5 ... 6.0В;
- низкое потребление
 - * 20 мА при питании 6В и частоте 20 МГц,
 - * < 2 мА при питании 5В и частоте 4 МГц,
 - * 15 мкА при питании 3В и частоте 32 кГц,
 - * < 3 мкА при SLEEP режиме при питании 3В.

2. Конструктивное исполнение PIC16C5X

На рис. 1 представлено конструктивное исполнение микроконтроллеров PIC16C5X, а в таблице 5 указано назначение выводов микроконтроллеров.

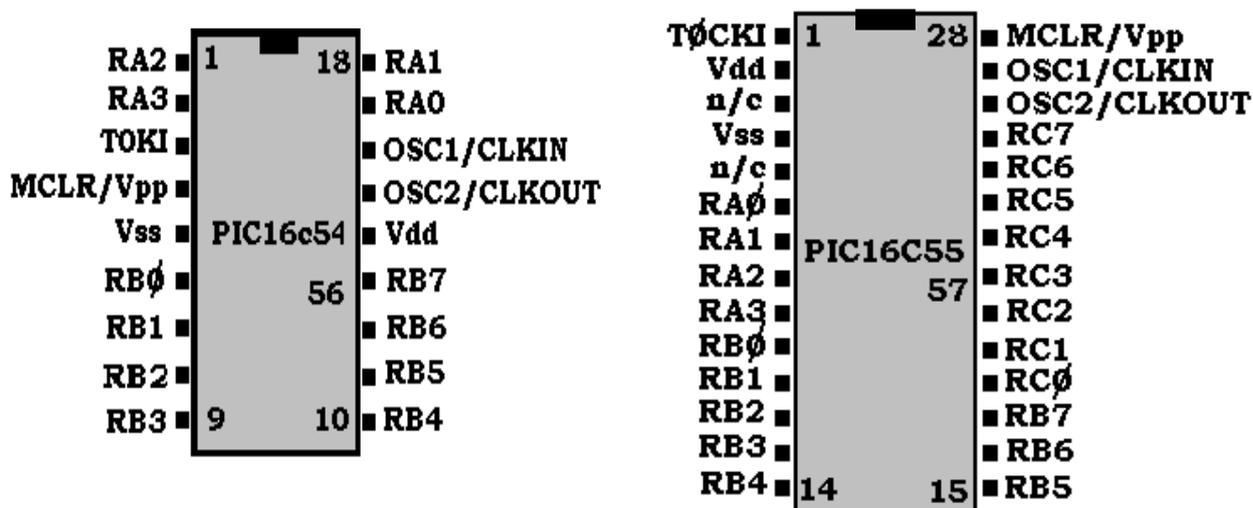


Рис. 1. Конструктивное исполнение микроконтроллеров PIC16C5X

Назначение выводов микроконтроллера

Обозначение	Наименование	Функциональное назначение
RA0-RA3	Порт А	4-битный квазидвунаправленный порт ввода/вывода
RB0-RB7	Порт В	8-битный порт ввода/вывода
RC0-RC7	Порт С	8-битный порт ввода/вывода
Т0СК1	Счетчик	Вход таймера/счетчика. Если вывод не используется, необходимо подсоединить к Vss или Vdd, чтобы избежать случайных срабатываний и уменьшить потребление тока
MCLR/Vpp	Сброс	Нулевой уровень на этом входе генерирует сигнал сброса контроллеров PIC16C5X. Напряжение питающего напряжения включает встроенную задержку на запуск генератора (18 мс). Этот вход должен быть подключен к Vdd напрямую или через резистор. При программировании вход напряжения программирования Vpp.
OSC1/CLKIN	Генератор	Вход для подключения кварцевого или керамического резонатора, внешней RC цепи или вход внешней тактовой частоты.
OSC2/ SCLKOUT	Генератор (выход)	Для типов возбуждения "XT", "HS", "LP": вход кварцевого или керамического резонатора. Не используется, если применяется внешний тактовый генератор. Для типа возбуждения "RC": на этом выходе присутствует сигнал CLKOUT" с частотой составляет 1/4 Fosc.
Vdd	Напряжение питания	
Vss	Общий (земля)	
n/c	Не используется	

3. Архитектура кристаллов PIC16C5X

На рис. 3 представлена структурная схема микроконтроллера серии PIC16C5X. Архитектура микроконтроллера основана на концепции отдельных шин и областей памяти для данных и команд (Гарвардская архитектура). Шина данных (DATA BUS) и память данных (SRAM) – имеют ширину 8 бит, а программная шина (PROGRAMM BUS) и программная память (EPROM/ROM) имеют ширину 12 бит. Такая концепция обеспечивает простую, но мощную систему команд. Битовые, байтовые и регистровые операции выполняются с высокой скоростью (за один цикл) и с перекрытием по времени выборки команд и циклов выполнения. 12-битовая ширина программной памяти обеспечивает выборку 12-битовой команды за один цикл (кроме команд перехода), а двухступенчатый конвейер – одновременную выборку и выполнение команды. Программная память для PIC16C5X расположена только внутри кристалла.

PIC16C5X содержит 8-битное АЛУ и рабочий регистр W (Work-наподобие аккумулятора) шириной 8 бит для временного хранения результатов и данных. АЛУ способно выполнять операции сложения, вычитания, сдвига, а также логические операции. В командах с двумя операндами один обычно находится в рабочем регистре W, а второй в одном из файловых регистров, либо является константой.

Рабочий регистр W нельзя адресовать непосредственно. В зависимости от выполняемой команды АЛУ может воздействовать на биты переноса (C), десятичного переноса (DC) и нуля (Z) в регистре статуса (STATUS). Биты C и DC работают как биты заема при операции вычитания.

На рис. 3 "OPTION" и "TRIS" – команды микроконтроллера, под воздействием которых происходит запись данных в регистр конфигурации OPTIN и регистры портов TRISA, TRISB и TRISC.

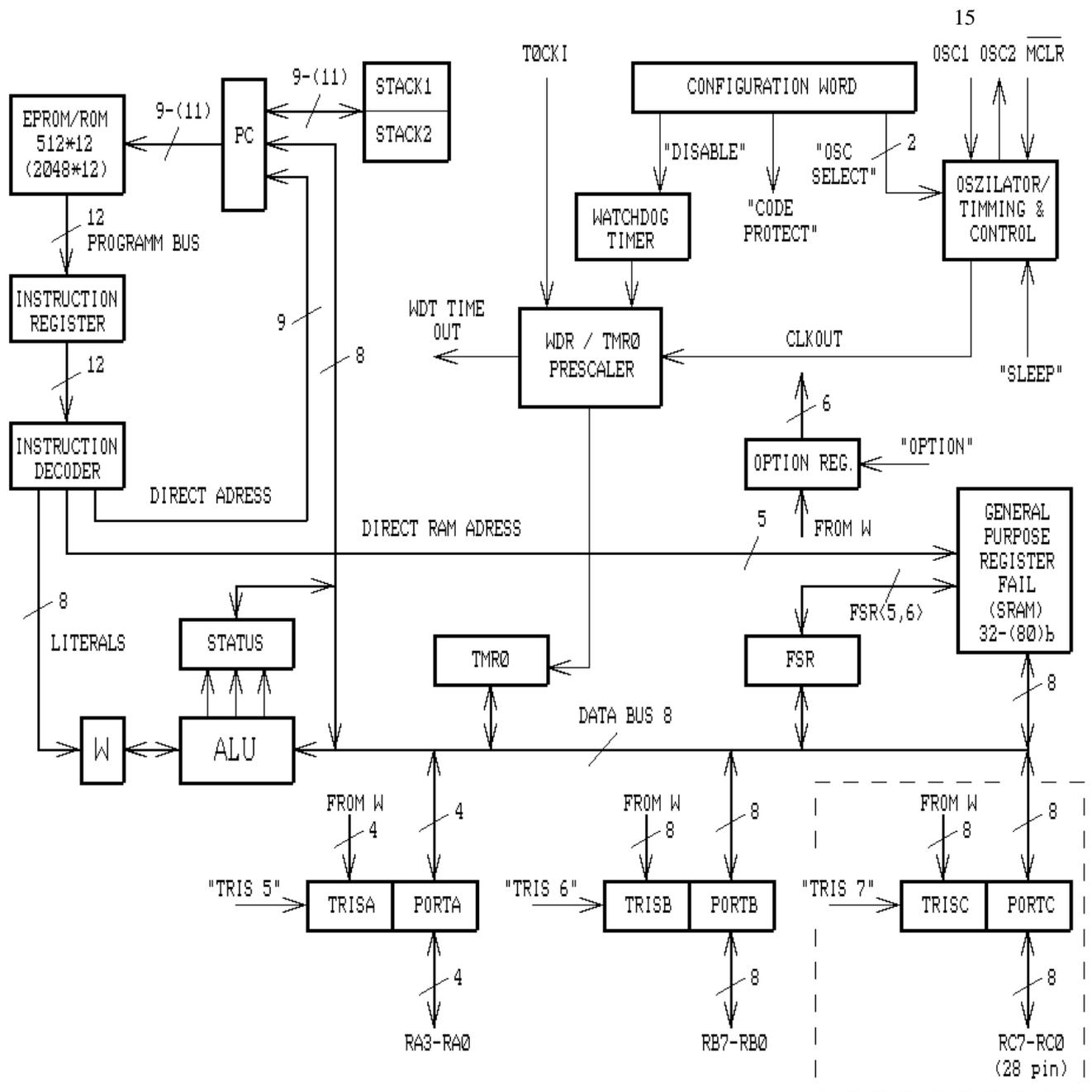


Рис. 3. Структурная схема микроконтроллера серии PIC16C5X.

4. Синхронизация микроконтроллера

Синхронизация микроконтроллеров PIC16C5X осуществляется блоком синхронизации (OSZILLATOR/TIMING & CONTROL). PIC- контроллер может работать от внешнего кварцевого резонатора, от обычной RC цепочки и внешней тактовой частоты. Включение частотно-задающих цепей представлено в разделе . При этом диапазон тактовой частоты процессора может изменяться от 32 кГц до 20МГц.

Тактовая частота синхронизатора делится внутренними схемами на четыре для генерации четырех не перекрывающихся тактовых последовательностей (Q1-Q4). Программный счетчик инкрементируется каждый такт Q1, команда выбирается из памяти программ и защелкивается в регистре команд в такте Q4. Команда декодируется и выполняется в течение следующих тактов Q1 - Q4. На рис. 4 приведена временная диаграмма синхронизации контроллера. "Цикл команды" состоит из четырех Q тактов (Q1-Q4). Команда выбирается в одном цикле, а исполняется в следующем. Однако, вследствие конвейеризации каждая команда реально исполняется за один цикл. Если команда вызывает изменение программного счетчика.

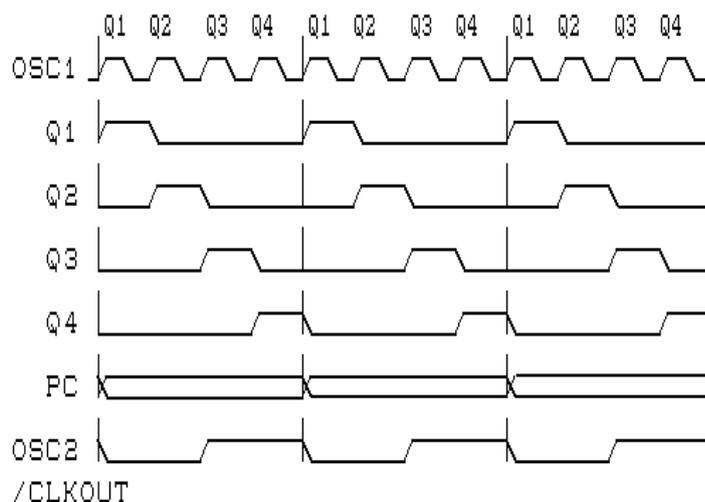


Рис. 4. Временная диаграмма синхронизации PIC-контроллера. (например переход GOTO), то для ее исполнения требуется два цикла. Цикл выборки начинается с инкрементирования программного счетчика в такте Q1. В цикле выполнения выбранная команда защелкивается в регистре команд в такте Q1. Затем команда декодируется и исполняется в тактах Q2, Q3 и Q4. Чтение памяти данных осуществляется в такте Q2, а запись - в такте Q4.

5. Организация памяти микроконтроллера

Память PIC16C5X разделена на два блока – память программ и память данных. Каждый блок памяти имеет собственную шину, поэтому доступ к ним может осуществляться одновременно. Память данных, в свою очередь может быть разделена на регистры общего назначения и регистры специальных функций. Регистры специальных функций используются для управления внутренними модулями.

Встроенная программная память (EPROM) имеет ширину слова 12 бит. Организация программной памяти представлена на рис. 5. Прямо адресованы могут быть до 512 (000h – 1FFh) слов программной памяти. Программная память большего объема адресуется постранично, путем выбора одной из четырех доступных страниц, длиной 512 слов каждая. Переключением страниц заведуют биты PA0 и PA1 в регистре словосостояния (STATUS) для контроллеров PIC16C56 и PIC16C57. Последовательность выполнения программы контролируется программным счетчиком (PC), который автоматически инкрементируется во время исполнения программы. Управление ходом программы, с поддержкой разных режимов адресации (непосредственная, косвенная, относительная), может осуществляться следующими командами: проверка бита и перескок (Bit Test and Skip), вызов подпрограммы (Call), безусловный переход (Goto), загрузка вычисленного адресов программный счетчик. Встроенный двухуровневый стек (STACK) используется для возврата из подпрограмм.

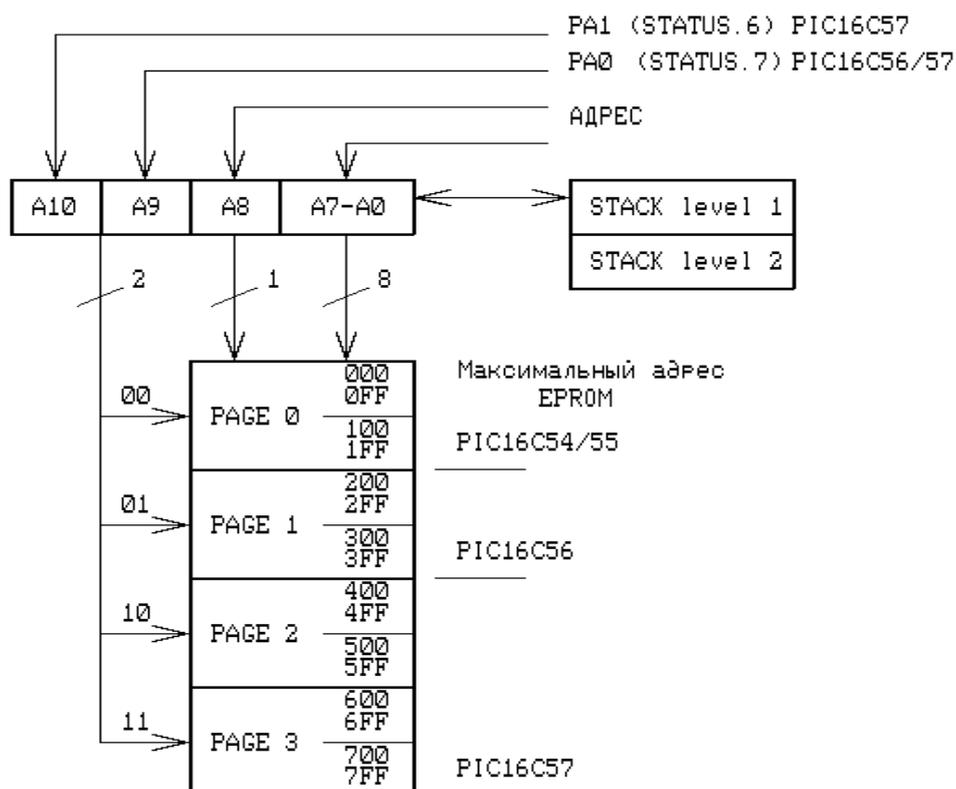


Рис. 5. Организация программной памяти контроллера PIC16C5X.

Память данных контроллера представляет собой файл регистров, который может быть длиной от 32 до 80 адресуемых 8-битовых регистров, включая порты ввода/вывода. На рис. 6 представлена карта памяти данных. Файл регистров по 8-битовой шине данных непосредственно соединяется с 8-битным арифметическо-логическим устройством (ALU). Первые 32 байта ОЗУ адресуются прямо и называются "Банк 0". Если кристалл PICa имеет увеличенную память, то она наращивается банками по 16 байт в каждом. Данные могут адресоваться прямо или косвенно битами 5 и 6 регистра выбора банка (FSR). Непосредственная адресация констант "LITERAL" организуется при помощи специальных команд, которые загружают в рабочий регистр W данные из программной памяти.

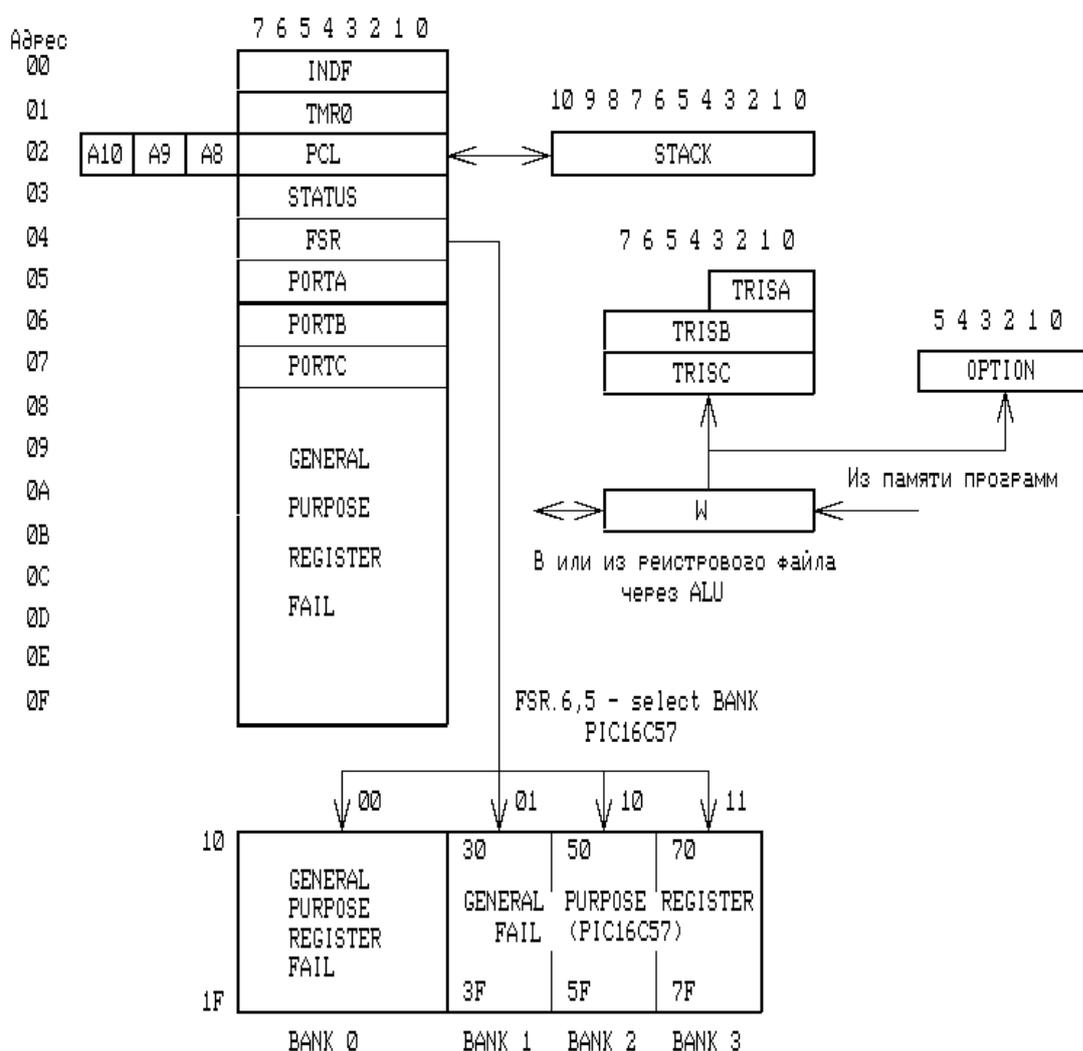


Рис. 6. Организация памяти данных микроконтроллера PIC16C5X.

Файл регистров может быть разделен на две функциональные группы: регистры специальных функций (SFR) и регистры общего назначения (GENERAL PURPOSE REGISTERS FILE). К регистрам специальных функций относятся: регистр таймера (TMR0), программный счетчик (PC), регистр статуса (STATUS), регистр выбора банка (FSR), регистры ввода/вывода

(PORTA, POTRB и PORTC). Регистры общего назначения используются для хранения данных и переменных пользователя. Кроме этого в контроллере существует отдельный регистры специальных функций, используемый для управления конфигурацией контроллера и режимами определителя частоты (OPTION) .

6. Файл регистров микроконтроллера.

Файл регистров контроллера PIC16C5X включает в себя регистры специальных функций, адреса расположения которых в файле регистров, назначение и значения представлены в таблице 6, и регистры общего назначения.

Таблица 6.

Регистры специальных функций.

Адрес	Имя	7	6	5	4	3	2	1	0	Power-On Reset	MCLR- WDT- Reset
00h	INDF	Переключатель контекста								-----	-----
01h	TMR0	8-битный таймер/счетчик								xxxxxxxx	uuuuuuuu
02h	PCL	Младшие 8 бит счетчика команд								11111111	11111111
03h	STATUS	PA2	PA1	PA0	TO	PD	Z	DC	C	00011xxx	000??uuu
04h	FSR	Указатель косвенной адресации								xxxxxxxx	uuuuuuuu
05h	PORTA	-	-	-	-	RA3	RA2	RA1	RA0	----xxxx	----uuuu
06h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	xxxxxxxx	uuuuuuuu
07h	PORTC	RC7	RC6	RC5	RC4	RC3	RC2	RC1	RC0	xxxxxxxx	uuuuuuuu

Регистры общего назначения для целей пользователя расположены в файле регистров для PIC16C54/55/56 с адреса 07h до адреса 1Fh (регистр PORTC в данной конфигурации не используется). А для PIC16C57 с адреса 08h до 0Fh. Это регистры общего назначения, которые выбираются всегда вне зависимости от номера выбранного банка. 10h - 1Fh - регистры общего назначения, когда выбран BANK0 (для PIC16C54/55/56 существует только этот банк), 30h - 3Fh - BANK 1, 50h - 5Fh - BANK 2 и 70h - 7Fh - BANK 3 для PIC16C57. Регистры с адресами 20h-2Fh, 40h-4Fh и 60h - 6Fh идентичны представленным регистрам, т. е. физически не существуют. Регистр специальных функций INDF (переключатель контекста), расположенный по адресу 00h в файле регистров, также физически не существует, т. е. обращение к нему невозможно. Кроме этого в контроллере применен специальный регистр, используемый для управления конфигурацией и режимами делителя частоты (OPTION), не имеющий физического адреса в регистровом файле

6.1. Регистр STATUS.

Регистр STATUS называется регистром статуса или словосостояния и расположен по адресу 03h в файле регистров. Он содержит арифметические флаги АЛУ, состояние контроллера при сбросе и биты выбора страниц для программ с объемом памяти, превышающим 512 слов (PIC16C56/57). Наименование разрядов регистра статуса представлено на рис.7, где R/W - доступность указанных битов для операции чтение/запись и R - только чтение, а их назначение в таблице 7.

Биты C, DC, Z устанавливаются в результате выполнения операций в арифметико-логическом устройстве. Биты 5-6 регистра статуса называются битами адреса страниц PA0-PA1 программной памяти (только для PIC16C56/PIC16C57). Когда исполняются команды GOTO, CALL и команды, когда программный счетчик изменяется, например MOVWF (передача данных из регистра W в счетчик команд PC), биты адреса страниц PA0-PA1 загружаются в биты программного счетчика A9-A10. Таким образом, прямой адрес, указанный в слове команды, указывает на место внутри определенной страницы памяти. Команда RETLW не изменяет биты выбора страниц. После сигнала СБРОС биты регистра статуса PA0-PA1 обнуляются.

Биты статуса TO (Time Out) и PD (Power Down) являются аппаратными, т. е. программное изменение данных битов невозможно. Это следует иметь ввиду при выполнении команды с использованием регистра статуса. Например, команда CLRF (обнуление регистра STATUS) сбросит все биты, кроме битов TO и PD, а затем установит бит Z=1. После выполнения этой команды регистр статуса может и не иметь нулевое значение (из-за битов TO и PD) 000??100. Поэтому рекомендуется для изменения регистра статуса использовать только команды битовой установки BCF, BSF, MOVWF, которые не изменяют остальные биты статуса.

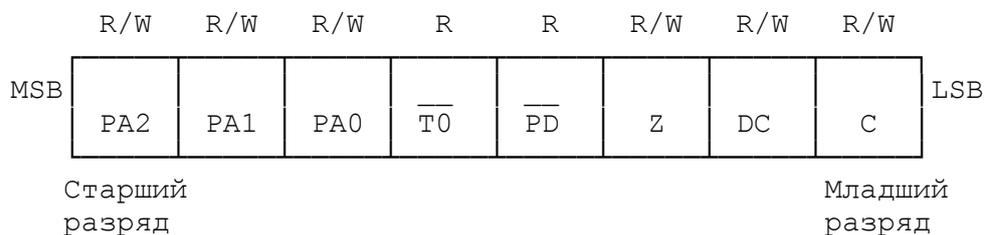


Рис. 7. Наименование разрядов регистра STATUS.

Символ	Позиция	Имя и назначение
C	3.7	Флаг переноса/заема. Устанавливается и сбрасывается при выполнении арифметических и операций сдвига при переполнении.
DC	3.6	Флаг десятичного переноса/заема. Устанавливается и сбрасывается при выполнении команд сложения и вычитания и сигнализирует о переносе или заеме в бите 3.
Z	3.5	Флаг нулевого результата.

\overline{PD}	3.4	арифметической или логической операции является ноль. Power Down (режим хранения данных). Устанавливается в "1" при включении питания или команде CLRWDT. Сбрасывается в "0" командой SLEEP (установка режима микропотребления)
\overline{TO}	3.3	Time Out. Флаг срабатывания Watchdog таймера. Устанавливается в "1" при включению питания и командами CLRWDT, SLEEP. Сбрасывается в "0" по завершению выдержки времени таймера WDT.
PA0	3.2	Для PIC16C56:
PA1	3.1	PA0 - Бит выбора страницы 0 = Страница 0 (000-1FF) 1 = Страница 1 (200-3FF) PA1 - Бит общего назначения. Для PIC16C57: PA1, PA0 - оба бита выбора страниц 00 = Страница 0 (000-1FF) 01 = Страница 1 (200-3FF) 10 = Страница 2 (400-5FF) 11 = Страница 3 (600-7FF)
PA2	3.0	Бит общего назначения (зарезервировано для будущих разработок)

На состояние битов TO и PD влияют следующие события:

- включение, при этом биты устанавливаются в TO=1 и PD=1;
- WDT timeout, TO=0 и PD=X;
- Sleep команда, TO=1 и PD=0;

- CLRWDT команда, T0=1 и PD=1.

Событие WDT timeout происходит независимо от состояния T0 бита и не влияет на бит PD. Sleep команда выполняется независимо от состояния PD бита. По состоянию битов регистра статуса T0 и PD можно определить, чем был вызван СБРОС контроллера. В таблице 8 показаны состояния битов T0 и PD после различных операций СБРОСА.

Таблица 8.

T0	PD	"Сброс" был вызван следующими событиями
0	0	Выход из SLEEP по завершению задержки Watchdog
0	1	Завершение задержки Watchdog (Не режим SLEEP)
1	0	Выход из SLEEP по внешнему сигналу MCLR
1	1	Включение питания
X	X	"0"- импульс на входе MCLR

Биты T0 и PD сохраняют текущее состояние до тех пор, пока не произойдет новое событие из перечисленных в таблице. При внешнем сбросе контроллера импульсом низкого уровня на входе кристалла MCLR состояние битов T0 и PD не изменяется.

6.2. Регистры косвенной адресации памяти данных.

Регистр INDF, имеющий адрес 00h, не является физическим регистром и используется совместно с регистром выбора файлов FSR (адрес в области памяти 04h) для косвенной адресации памяти данных микроконтроллера. В кристаллах серии PIC16C5x переключение контекстов не предусмотрено и поэтому регистр INDF указывает всегда только на один регистр - указатель косвенной адресации FSR.

FSR представляет собой 5-битный (PIC16C54/55/56) или 7-битный (PIC16C57) регистр. Биты FSR<4:0> используются для адресации памяти данных от адреса 00h до 1Fh. Биты 0-4 указанного регистра выбирают один из 16 нижних регистров (00h - 0Fh) и 16 верхних регистров (10h - 1Fh) в регистре файлов. Бит FSR<4> отвечает за выбор нижней или верхней области памяти, а биты FSR<3:0> за непосредственный выбор регистра.

Биты FSR<7:5> не используются и всегда читаются как единицы. Если косвенная адресация не используется, регистр FSR может быть использован как 5-ти битовый регистр общего назначения.

Для PIC16C57 биты 5 и 6 регистра FSR определяют номер текущего банка данных. Первые 16 байт каждого банка представляют собой физически одни и те же регистры. Когда бит 4 в регистре FSR установлен в единицу (указывает на верхние 16 байт), биты 5 и 6 выбирают один из четырех банков по 16 регистров каждый. Выбор банков представлен на рис. 6 в разделе 1.5. Бит 7 регистра FSR не используется и всегда читается как единица.

6.3. Программный счетчик.

Программный счетчик PC обеспечивает доступ к 12-битным ячейкам встроенной постоянной памяти (EPROM), объем которой составляет 512 ячеек для PIC16C54/55, 1024 ячейки для PIC16C56 и 2048 ячеек для контроллера PIC15C57. Поэтому в зависимости от типа PIC, программный счетчик PC и соответствующий двухуровневый аппаратный стек имеют ширину от 9 до 11 бит.

При сбросе все биты программного счетчика устанавливаются в единицы. В процессе выполнения программы PC автоматически инкрементируется при выполнении каждой команды, если команда сама не изменит его в следующих случаях:

- При исполнении команды "GOTO" в программный счетчик загружаются младшие 9 бит (PC <8:0>). В случае использования PIC16C56 или PIC16C57, в старшие два бита программного счетчика (PC<10:9>) загружаются биты выбора страниц PA1 и PA0 из регистра статуса. При помощи команды "GOTO" можно переместиться в любое место программы.
- При исполнении команды "CALL" в программный счетчик загружаются младшие 8 бит (PC <7:0>), а девятый бит обнуляется. Значение PC, увеличенное на единицу, в этом случае сохраняется в стеке. В случае PIC16C56/PIC16C57, в старшие два бита счетчик команд (PC<10:9>) загружаются биты выбора страниц PA1, PA0 из регистра статуса.
- Команда "RETLW" выгружает в программный счетчик содержимое из вершины стека.

Если программный счетчик участвует в команде (например MOVWF PC, ADDWF PC, BSF PC,5), то 8 бит результата выполнения команды будут загружены в младшие 8 бит программного счетчика. Девятый бит PC будет обнулен. В случае PIC16C56/PIC16C57, в старшие биты PC<10:9> будут загружены биты выбора страниц PA1, PA0 из в регистре статуса. Так как девятый бит программного счетчика обнуляется при выполнении команды "CALL" или команд, записывающих свой результат в PC, то вызов подпрограмм или осуществление вычисляемого перехода ограничены первой половиной выбранной страницы программной памяти, т. е. первые 256 адресов.

Когда программный счетчик показывает на последний адрес рабочей страницы, то после инкрементирования он будет показывать на первый адрес следующей страницы. Однако, биты выбора страниц в регистре статуса STATUS не изменятся, и следующие по ходу программы команды "GOTO", "CALL", "ADDWF PCL" и т. д. Будут возвращать программу на предыдущую страницу до тех пор, пока не будут программно изменены биты выбора страниц в регистре статуса.

Например, при выполнении команды "NOP", расположенной по адресу "1FFH" (страница 0), программный счетчик увеличится до "200H" (страница 1), но команда "GOTO xxx", расположенная по адресу "200H", вернет программу на адрес "xxx" на странице 0 (т.к. биты выбора страниц в регистре статуса останутся равными 0). По сигналу "Сброс" устанавливается нулевая страница памяти, а биты программного счетчика устанавливаются в "1", указывая на последний адрес первой страницы. Таким образом, команда "GOTO xxx", записанная по этому адресу, автоматически вызовет продолжение программы с адреса "xxx" страницы 0.

В кристаллах PIC16C5X используется двухуровневый аппаратный стек. Это означает, что он может хранить одновременно не более двух адресов возврата. Команда "CALL" инкрементирует текущее значение программного счетчика и записывает его в стек на уровень 1. При записи на уровень 1 стека его предыдущее значение автоматически записывается на уровень 2. Если вызывается более двух вложенных подпрограмм, то только два последних адреса возврата будут сохранены.

В модификациях PIC16C56/PIC16C57, при выполнении команды "CALL" биты выбора страниц из регистра статуса загружаются в старшие значащие разряды программного счетчика. Девятый бит всегда обнуляется. Это означает, что подпрограмма всегда должна быть расположена в нижней половине страницы памяти (по адресам 000h..0FFh, 200h...2FFh, 400h...4FFh, 600h...6FFh). Однако, так как стек имеет ту же ширину, что и программный счетчик, то подпрограммы могут вызываться из любого места программы и возврат будет происходить корректно.

При выполнении команды "RETLW" в программный счетчик выгружается содержимое стека первого уровня. Одновременно содержимое стека второго уровня копируется в стек первого уровня. Если исполняются более двух команд "RETLW" друг за другом, в стеке обеих уровней будет записано значение второго уровня.

Для модификаций PIC16C56/PIC16C57 возврат из подпрограммы всегда будет на ту страницу, из которой подпрограмма была вызвана, несмотря на текущее значение битов выбора страниц в регистре статуса. При этом в W регистр будет загружаться константа, которая предусмотрена в команде "RETLW" (код возврата у процедуры функции). Это в частности используется для организации таблиц данных в программной памяти.

7. Модуль таймера/счетчика.

Модуль таймера/счетчика TMR0 в контроллерах семейства PIC16CX включает:

- 8-битный регистр таймера/счетчика;
- 8-битный программируемый делитель;
- блок выбора внешних тактовых сигналов (внутренний/внешний);
- бит выбора фронта переключения от внешнего тактового сигнала.

Содержимое таймера/счетчика инкрементируется фронтом внешнего сигнала или внутренним сигналом синхронизации, равным $F_{osc}/4$. На рис. 8 представлена структурная схема таймера/счетчика TMR0.

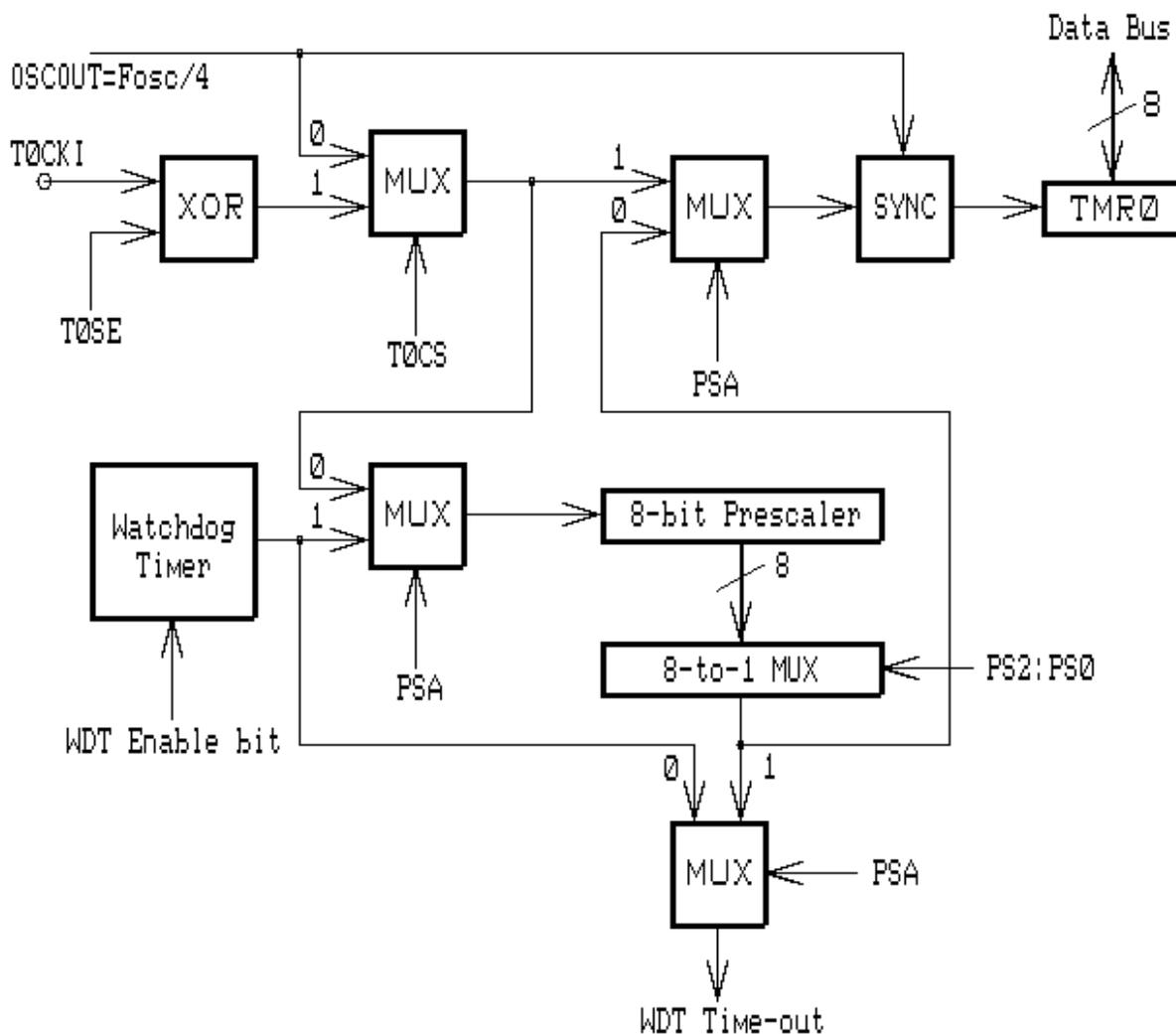


Рис. 8. Структурная схема таймера/счетчика TMR0.

Режимами работы таймера/счетчика TMR0 управляет регистр OPTION, называемый регистром конфигурации делителя и таймера. Регистр OPTION это 6-разрядный регистр, доступный только для программной записи и не имеющий физического адреса в пространстве памяти. Данный регистр определяет специфику подключения делителя к таймеру TMR0 или Watchdog таймеру WDT, коэффициент его деления, источник счетных им-

пульсов и фронт сигнала для таймера TMR0. Данный регистр загружается с помощью команды "OPTION". Во время исполнения данной команды содержимое регистра W загружается в указанный регистр. По сигналу СБРОС все биты этого регистра устанавливаются в единичное состояние. На рис. 9 представлено наименование разрядов регистра OPTION, а в таблице 9 - их назначение.

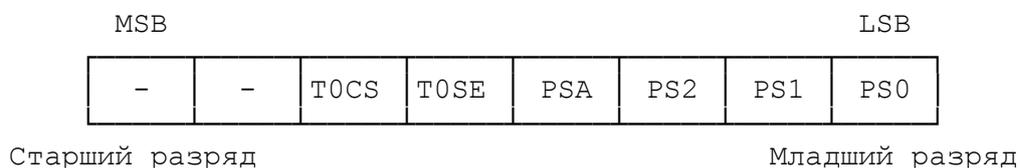


Рис. 9. Наименование разрядов регистра OPTION.

Таблица 9.

Назначение разрядов регистра OPTION

Символ	Позиция	Имя и назначение																											
-	бит 7	Не используются.																											
-	бит 6																												
T0CS	бит 5	Выбор источника сигнала для TMR0: 0 - сигнал от внутреннего генератора 1 - внешний сигнал на входе T0CKI																											
T0SE	бит 4	Выбор фронта сигнала T0CKI: 0 - инкремент по положительному фронту на входе T0CKI 1 - инкремент по отрицательному фронту на входе T0CKI																											
PSA	бит 3	Бит работы делителя: 0 - таймером TMR0 или 1 - Watchdog таймером WDT																											
PS2 PS1 PS0	бит 2 бит 1 бит 0	Биты PS2...PS0 настройки делителя																											
		<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">PS2...0</th> <th style="width: 20%;">TMR0</th> <th style="width: 20%;">WDT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">0 0 0</td><td style="text-align: center;">1 : 2</td><td style="text-align: center;">1 : 1</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0 0 1</td><td style="text-align: center;">1 : 4</td><td style="text-align: center;">1 : 2</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0 1 0</td><td style="text-align: center;">1 : 8</td><td style="text-align: center;">1 : 4</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0 1 1</td><td style="text-align: center;">1 : 16</td><td style="text-align: center;">1 : 8</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1 0 0</td><td style="text-align: center;">1 : 32</td><td style="text-align: center;">1 : 16</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1 0 1</td><td style="text-align: center;">1 : 64</td><td style="text-align: center;">1 : 32</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1 1 0</td><td style="text-align: center;">1 : 128</td><td style="text-align: center;">1 : 64</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1 1 1</td><td style="text-align: center;">1 : 256</td><td style="text-align: center;">1 : 128</td></tr> </tbody> </table>	PS2...0	TMR0	WDT	0 0 0	1 : 2	1 : 1	0 0 1	1 : 4	1 : 2	0 1 0	1 : 8	1 : 4	0 1 1	1 : 16	1 : 8	1 0 0	1 : 32	1 : 16	1 0 1	1 : 64	1 : 32	1 1 0	1 : 128	1 : 64	1 1 1	1 : 256	1 : 128
PS2...0	TMR0	WDT																											
0 0 0	1 : 2	1 : 1																											
0 0 1	1 : 4	1 : 2																											
0 1 0	1 : 8	1 : 4																											
0 1 1	1 : 16	1 : 8																											
1 0 0	1 : 32	1 : 16																											
1 0 1	1 : 64	1 : 32																											
1 1 0	1 : 128	1 : 64																											
1 1 1	1 : 256	1 : 128																											

Бит 5 T0CS в регистре Option, определяет источник счетных импульсов для работы таймера/счетчика: внутренний или внешний источник. При T0CS = 1 сигналом синхронизации для таймера/счетчика TMR0 или для делителя, если он подключен к таймеру, является сигнал, поступающий на

ножку T0CKI корпуса микроконтроллера. Этот режим называется режимом счетчика. Значение бита 4 T0SE в регистре Option определяет, происходит ли счет по заднему фронту (T0SE=1) или по переднему фронту (T0SE=0) сигнала на выводе T0CKI. Требования к временным параметрам входного сигнала рассмотрен ниже. При T0CS=0 таймер TMR0 инкрементируется по сигналу внутренней синхронизации ($F_{osc}/4$). Этот режим называется режимом таймера. В данном случае значение бита T0SE в регистре Option и сигнал на ножке T0CKI не имеют значения. Однако вывод T0CKI следует подключить к Vdd или к Vss, чтобы случайно не включить режим тестирования и обеспечить корректность в режиме низкого потребления. При поступлении синхроимпульсов на таймер/счетчик TMR0, независимо от источника и наличия делителя, содержимое таймера инкрементируется и по достижении значения 0FFH сбрасывается в 0, далее счет продолжается с начала. Счетные импульсы задерживаются в таймере на два командных цикла. Например, после записи информации в TMR0, инкрементирование его произойдет через два командных цикла. Такой процесс происходит при выполнении всех команд, которые производят запись или чтение-модификацию-запись регистра таймера (например MOVF TMR0, CLRF TMR0). Если необходимо проверить содержимое таймера TMR0 на равенство нулю без останова счета, следует использовать инструкцию MOVF TMR0,W.

В модуле таймера/счетчика существует 8-битный счетчик, который используется или как входной делитель перед таймером TMR0 или как делитель выходной частоты после Watchdog таймера. Делитель может быть подсоединен только к TMR0 или к Watchdog таймеру, что определяется битом 3 PSA регистра OPTION. При установленном бите PSA делитель подключается к выходу Watchdog таймера, а таймер в этом случае имеет коэффициент деления входной частоты, равный 1:1. При PSA=0 делитель подключен ко входу таймера TMR0. Делитель не доступен ни для чтения, ни для программной записи. Биты 2-0 PS2-PS0 в регистре OPTION устанавливают коэффициент деления делителя. Когда делитель присоединен к TMR0, все команды производящие запись в таймер (например, CLRF TMR0, MOVWF TMR0, BSF TMR0,x и т.д.) будут одновременно обнулять и делитель. Когда делитель подключен к WDT, команда CLRWDT также обнулит делитель вместе с Watchdog таймером.

Переключение делителя осуществляется программно. Чтобы избежать несанкционированного сигнала "Сброс" во время переключения делителя с TMR0 на WDT, надо выполнить определенную последовательность команд.

```
clrf TMR0 ;сброс таймера
clrwtd ;сброс Watchdog таймера
movlw B'XXXX1XXX' ;выбрать WDT и новое значение делителя
```

option

Во время переключения делителя с WDT на TMR0 выполняется следующая последовательность команд.

```
clrwdt ;обнулить WDT и делитель.
```

```
movlw B'XXXX0XXX' ;выбрать TMR0, новое значение для делителя
```

```
option ;и источник сигнала.
```

При работе таймера/счетчика от внешних сигналов возникают некоторые проблемы с параметрами входного сигнала. Входные сигналы стробируются внутренним сигналом синхронизации в блоке SYNC (рис. 9). Таким образом появляется некоторая задержка между фронтом входного сигнала и моментом инкрементирования TMR0. Стробирование сигнала производится после предделителя. Опрос производится дважды в течение каждого командного цикла, чтобы определить положительный и отрицательный фронты входного сигнала. Поэтому сигнал на входе схемы синхронизации должен иметь высокий и низкий уровень не менее двух периодов синхронизации. Когда предделитель не используется, входной сигнал поступает непосредственно на TMR0, поэтому требования к нему следующие:

$$T_h = T_{OSKI} \text{ high time} \geq 2T_{osc} + 20\text{ns}$$

$$T_l = T_{OSKI} \text{ low time} \geq 2T_{osc} + 20\text{ns}.$$

Когда предделитель используется, на вход TMR0 подается сигнал, поделенный на число, установленное в счетчике делителя. Сигнал после предделителя всегда симметричен. В этом случае требования к внешнему сигналу таковы:

$$T = T_{OSKI} \text{ period} \geq (4T_{osc} + 40\text{ns})/N$$

$$T_h = T_{OSKI} \text{ high time} \geq 10\text{ns}$$

$$T_l = T_{OSKI} \text{ low time} \geq 10\text{ns}.$$

Так как выход предделителя синхронизируется внутренним сигналом тактовой частоты, то существует небольшая задержка между появлением фронта внешнего сигнала и временем фактического инкремента TMR0. Эта задержка находится в диапазоне $3 \cdot T_{osc} - 7 \cdot T_{osc}$. Таким образом измерение интервала между событиями будет выполнено с точностью $4 \cdot T_{osc}$ ($\pm 200\text{нс}$ при кварце 20 МГц).

7.1. Watchdog таймер.

Watchdog таймер представляет собой встроенный RC генератор, не требующий внешних цепей. WDT сохраняет работоспособность даже при полной остановке основного генератора, как это бывает при исполнении команды SLEEP. WDT предназначен для выработки сигнала системного сброса. Формирование такого сигнала может быть запрещено путем записи нуля в специальный бит управления WDTE, который расположен вне программной памяти EPROM. Данная операция производится на этапе программирования микросхем при записи слова конфигурации.

Номинальная временная задержка WDT составляет 18 мс (без использования делителя). Она зависит от температуры, напряжения питания, особенностей типа микросхемы, что объясняется RC схемой формирования временного интервала. Для формирования больших временных задержек к WDT необходимо подключить делитель (рис. 9) с коэффициентом деления до 1:128, который программируется путем записи в регистр OPTION. Таким образом могут быть реализованы задержки до 2.3 секунды.

Команды контроллера "CLRWDT" и "SLEEP" обнуляют WDT и делитель, если он подключен к WDT. При этом запускается задержка времени и через заданное время формируется сигнал СБРОС. После формирования сигнала сброса от WDT обнуляется бит TO в регистре статуса.

8. Регистры ввода/вывода.

Данный контроллер использует до 20 разрядов ввода/вывода, которые подразделяются физически на три порта ввода/вывода, имеющие физические адреса в файле регистров.

Порт А (адрес в файле регистров 5) является 4-битовым портом ввода/вывода. Используются только младшие 4 бита порта (RA0-RA3). Старшие биты 4-7 всегда считываются как нули.

Порт В (адрес в файле регистров 6) является 8-битовым портом ввода/вывода.

Порт С (адрес в файле регистров 7) является 8-битовым портом ввода/вывода для PIC16C55/C57. Для PIC16C54/C56 - это внутренний регистр памяти общего назначения с адресом 07h.

Обращение к регистрам ввода/вывода осуществляется также как любому другому регистру. Режим работы портов ввода/вывода определяется с помощью управляющих регистров ввода/вывода (TRISA, TRISB, TRISC), не имеющих физических адресов в файле регистров контроллера. Каждая ножка порта ввода/вывода может быть запрограммирована отдельно на ввод или вывод. При выполнении команд "TRIS f" содержимое регистра W загружается в один из управляющих регистров ввода/вывода. Если бит управляющего TRISx регистра установлен в единичное значение, то соответствующая линия будет работать на ввод данных. Нулевое значение бита управления переключает линию на вывод и одновременно выводит на нее содержимое соответствующего регистра защелки. Управляющие TRISx регистры доступны только для записи. После сигнала "Сброс" все порты ввода/вывода устанавливаются на режим ввода, что электрически эквивалентно третьему состоянию, а управляющие регистры ввода/вывода (TRISA, TRISB, TRISC) устанавливаются в единицы (конфигурация на ввод). Следует иметь в виду, что при выполнении команды "чтение" (например MOVF PORTB,W) всегда считывается фактический уровень сигнала на ножке порта, независимо от того, определен этот порт на ввод или на вывод. При операциях ввода значения портов не защелкиваются. Входной сигнал должен присутствовать пока идет процесс чтения. При операциях вывода значения портов защелкиваются в выходных регистрах и сохраняют значение до следующей команды записи. Запись в порт вывода происходит в конце командного цикла. А при чтении, данные должны быть стабильны в начале командного цикла. Структура портов ввода/вывода представлена на рис.10.

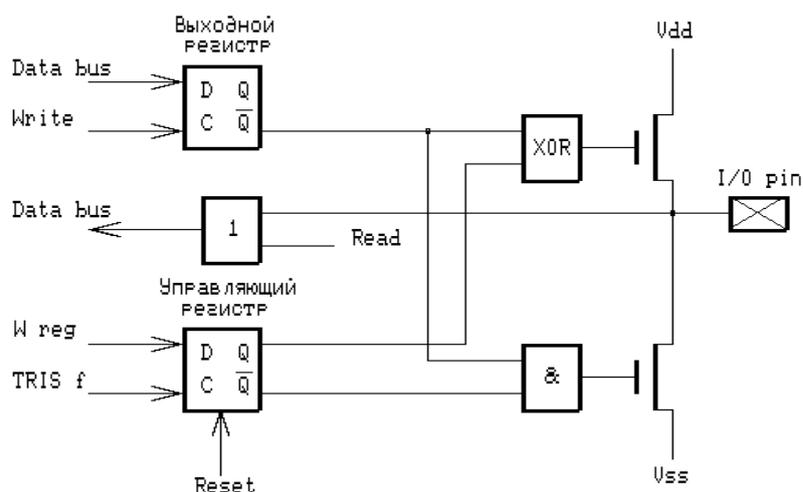


Рис. 10. Организация ввода/вывода контроллера.

На рисунке не показаны диоды, которые защищают вывод порта от внешних импульсов большого напряжения. Они ограничивают импульсное напряжение на выводе значениями от $(V_{ss} - 0,6)$ до $(V_{dd} + 0,6)$ В. Статическое напряжение превышающее указанные пределы способно вывести кристалл из строя.

Некоторые команды работы с портами ввода/вывода выполняются как чтение+запись. Например, команды BCF и BSF считывают значение порта, модифицируют один указанный бит и выводят результат обратно. Например, команда BSF PORTB, 5 для бита 5 регистра порта В сначала считывает все восемь бит. Затем выполняются действия над битом 5 и новое значение байта целиком записывается в выходные защелки. Если другой бит регистра порта В данный момент используется как входной, входной сигнал на этой ножке будет считан и записан обратно в выходную защелку, затирая ее предыдущее состояние. До тех пор пока эта ножка остается в режиме ввода, никаких проблем не возникает. Однако, если позднее данная линия переключается в режим вывода, ее состояние будет неопределенным.

Для выводов типа "монтажное ИЛИ", работающих в инверсной логике, рекомендуется использовать резисторы, соединенные с плюсом источника питания. Этот вывод должен находиться в третьем состоянии до тех пор, пока не будет выведено нулевое значение на данный вывод. Тогда и внешние устройства могут быть установлены в нулевое значение. Выводы типа "монтажное И" могут быть реализованы аналогично, только резисторы соединяются с "землей". Выход в этом случае должен находиться в третьем состоянии пока не будет выдано единичное значение. Значения резисторов

выбираются из необходимых требований на максимальные выходные токи портов ввода/вывода.

При работе с внешними устройствами, имеющими высокий уровень помех, возможно неконтролируемое изменение состояния портов и, следовательно, неправильный ход программы. В этом случае может быть испорчено содержимое управляющего регистра ввода/вывода TRIS, и ножка ввода/вывода, используемая как вход, может переключиться в режим вывода. Поэтому рекомендуется регулярно устанавливать все режимы работы портов ввода/вывода, обновляя содержимое управляющего регистра ввода/вывода перед каждым чтением или записью в порт.

9. Особенности конфигурации центрального процессора

Контроллеры семейства PIC16C5X позволяют на этапе программирования задавать некоторые параметры конфигурации центрального процессора. Для этого в микросхеме применен отдельный регистр EPROM, включающий четыре бита конфигурации. Два бита Fosc0 и Fosc1 служат для выбора типа генератора, один бит разрешает работу Watchdog таймера - WDTE, и один бит служит для защиты кода программы от считывания - CP. На рис. 11 представлено наименование разрядов регистра конфигурации, а в таблице 10 - их назначение. Для ультрафиолетового типа корпуса эти биты могут стираться.

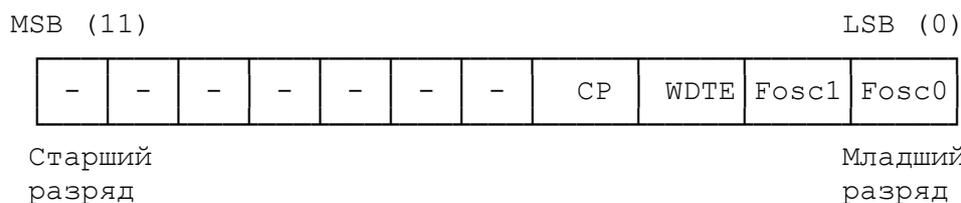


Рис.11. Наименование разрядов конфигурации.

Назначение разрядов конфигурации

Таблица 10.

Символ	Позиция	Имя и назначение
-	bit 11-4	Не используются в данной конфигурации
CP	bit 3	Бит защиты кода 0 - защита кода включена 1 - защита кода выключена
WDTE	bit 2	Бит разрешения Watchdog таймера 0 - WDT отключен 1 - WDT включен
Fosc1	bit 1	Биты выбора типа генератора 11 - RC генератор 10 - HS генератор 01 - XT генератор 00 - LP генератор
Fosc0	bit 0	

9.1. Защита кода программ.

Программный код, который записан в память программ, может быть защищен от считывания при помощи установки бита защиты PC в слове конфигурации в ноль. Кроме того, при установленном бите защиты становится невозможным перепрограммирование адресов памяти, начинающихся с 040h. Но при этом возможно перепрограммирование адресов 000h-03fh, кода идентификации и битов конфигурации. Биты конфигурации и код идентификации могут быть прочитаны независимо от установки бита защиты кода.

При считывании данных защищенного кристалла, чтение любого адреса памяти дает результат 0000 0000 XXXXb, где X- это 0 или 1.

9.2. Типы генераторов.

Контроллеры PIC16C5X работают с четырьмя различными встроенными генераторами. Тип генератора программируется на предприятии для однократно программируемых серий, или разработчиком программы для ультрафиолетовых контроллеров. Возможная конфигурация генератора задается разрядами Fosc1 и Fosc0 слова конфигурации (табл. 11), где применяемое обозначение:

- XT - стандартный кварцевый генератор,
- HS - высокочастотный кварцевый генератор,
- LP - низкочастотный генератор для экономичных приложений,
- RC - RC-генератор.

Однократно программируемые контроллеры имеют заводскую установку конфигурации генератора. Контроллеры маркируются суффиксами "XT", "RC", "HS", "LP", которые следуют за номером партии для идентификации типа генератора и диапазона рабочих частот.

PIC16C5X-XT, -HS или -LP требуют подключения кварцевого или керамического резонатора к выводам OSC1 и OSC2. Схема подключения представлена на рис. 12а.

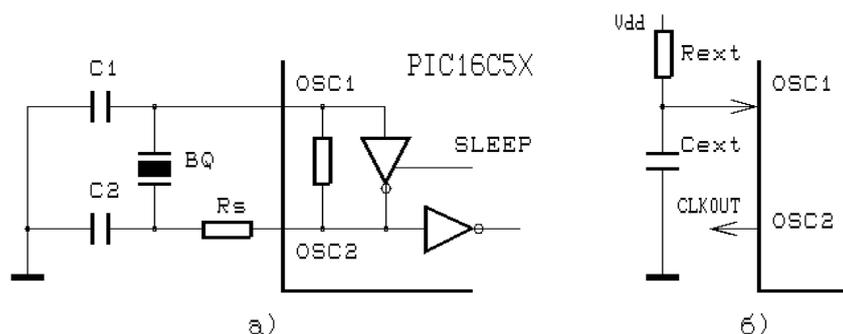


Рис. 12. Схема подключения кварцевого резонатора или RC генератора.

На рисунке установлен резистор R_s , который может потребоваться для генератора "HS", особенно при частотах ниже 20 МГц для гашения гармоник. Он также может потребоваться в режиме "XT" с резонатором типа AT strip-cut. Конденсаторы для керамического резонатора выбираются в соответствии с заданной частотой генерации из таблицы 12.

Тип генератора	Частота резонатора	Конденсатор C1=C2
XT	455 КГц	68 - 150 пФ
	2 МГц	15 - 68 пФ
	4 МГц	10 - 100 пФ
HS	8 МГц	10 - 68 пФ
	16 МГц	10 пФ

Таблица 12

Конденсаторы для кварцевого резонатора выбираются в соответствии с заданной частотой генерации из таблицы 13.

Тип генератора	Частота резонатора	Конденсатор C1=C2
LP	32 КГц	33 - 68 пФ
	200 КГц	15 - 33 пФ
XT	100 КГц	68 - 100 пФ
	2 МГц	10 - 22 пФ
	4 МГц	10 - 22 пФ
HS	4 МГц	10 - 22 пФ
	8 МГц	22 - 47 пФ
	20 МГц	22 - 47 пФ

Таблица 13.

Применение более высокой емкости увеличивает стабильность генератора, но также увеличивает время запуска. Когда не предъявляются требования к быстродействию и к точности по времени, реализуется RC генератор (рис.12б). Но следует иметь в виду, что частота зависит от питающего напряжения, значений резистора R_{ext} , конденсатора C_{ext} и температуры. Кроме того, частота генератора незначительно изменяется от партии к партии контроллеров. На частоту генерации также влияет собственная емкость корпуса кристалла, что существенно для малых значений C_{ext} . Для значений R_{ext} ниже 2.2 кОм генератор работает нестабильно или не "заводится". При очень больших значениях R_{ext} (более 1 МОм) генератор становится чувствительным к помехам, влажности и монтажным утечкам тока. Рекомендуемая величина R_{ext} находится между 5 кОм и 100 кОм. Хотя генератор работоспособен и при отсутствии внешнего конденсатора ($C_{ext} = 0$), рекомендуется использовать емкость более 20 пФ для увеличения стабильности работы. С малой C_{ext} частота генератора сильно зависит от монтажных емкостей. Разброс будет тем больше, чем больше величина R_{ext} (так как влияние токов утечки на частоту RC генератора сильнее при больших R) и чем меньше величина C_{ext} (так как в этом случае сильнее проявляется влияние монтажных емкостей). При RC генераторе сигнал с частотой генератора, деленной на 4, присутствует на ножке OSC2/CLKOUT, и может быть использован для целей тестирования или синхронизации других схем. При применении внешнего генератора сигнал синхронизации подается на вход OSC1/CLKIN.

9.3. Сброс контроллера.

Сброс контроллера может быть вызван четырьмя условиями:

- Включение питания,
- Подача сигнала на вход MCLR в обычном режиме,
- Подача сигнала на вход MCLR во время режима SLEEP,
- Срабатывание Watchdog таймера.

Устройство будет находиться в состоянии сброса все время пока действует таймер запуска генератора (Devise Reset Timer - DRT) или сигнал на входе MCLR имеет низкий уровень. По сигналу "Сброс" контроллер производит следующие действия:

- Генератор работает или готов к запуску (включение или выход из SLEEP режима) .
- Все выходы портов ввода/вывода кристалла устанавливаются в третье состояние, путем установки регистров "TRIS" в единичное состояние, что означает режим ввода.
- Старшие три бита статус-регистра RA2-PA0 (биты выбора страниц) обнуляются.
- Программный счетчик устанавливается в единичное состояние, т.е. адрес входа в программу равен 0FFh на нулевой странице памяти.
- Биты регистра "OPTION" устанавливаются в единичное состояние.
- Watchdog таймер и его делитель обнуляются.
- Для RC генераторов сигнал CLKOUT на выводе OSC2 удерживается в нулевом состоянии.

Состояние регистров специальных функций после сигнала "Сброс" представлено в таблице 6 раздела 6. Следует также отметить, что состояние регистра состояния STATUS зависит от типа сброса контроллера:

- Сброс по питанию - 0001 1xxx,
- Сброс по входу MCLR - 000u uuuu,
- Сброс по входу MCLR из режима SLEEP - 0001 0uuu,
- Сброс WDT из режима SLEEP - 0000 0uuu,
- Сброс WDT из обычного режима - 0000 1uuu,

где xxx - неизвестное состояние битов, uuu - неизменное состояние.

Кристаллы PIC16C5X имеет встроенную схему сброса при включении питания. Чтобы использовать эту схему, необходимо подключить вывод MCLR к напряжению питания Vdd. Генератор, построенный на кварцевых или керамических резонаторах, требует обязательной задержки после включения питания для обеспечения стабильной генерации. Для этого, встроенный таймер запуска генератора (Devise Reset Timer - DRT) держит устройство в состоянии сброса примерно 18 мс после того, как сигнал на входе MCLR достигнет уровня логической единицы. Таким образом, внешняя

цепочка RC , связанная с выводом MCLR не требуется. Таймер запуска DTR начинает счет выдержки времени когда сигнал MCLR достиг высокого уровня. По истечении этой выдержки (в среднем 18 мс) процесс внутреннего сброса завершается. При медленном нарастании Vdd возникает проблема. Задержка на запуск генератора завершилась, а питание еще не достигло своего минимального значения Vdd(min) работоспособности. Встроенная схема сброса обеспечивает работу при скорости нарастания Vdd при включении питания не ниже 0.05В/мс. Необходимо также, чтобы исходный уровень питания был равен 0В. Встроенная схема сброса также не будет работать при низкой частоте синхронизации кристалла, которая требует задержку на запуск значительно более 18 мс. В таких случаях рекомендуется использовать внешние RC цепочки для сброса по входу MCLR, включаемые в стандартном виде.

Watchdog таймер также использует таймер запуска DRT. Это важно для случаев, где WDT используется для автоматического вывода PIC16C5X из режима SLEEP.

9.4. Режим пониженного энергопотребления.

Для минимизации энергопотребления контроллер PIC16C5X применяет режим пониженного энергопотребления (SLEEP). В этом случае микроконтроллер находится в "спящем" режиме с полным сохранением содержимого памяти, пока внешнее событие не потребует какого-то его действия. Вход в режим SLEEP осуществляется командой "SLEEP". По этой команде, если Watchdog таймер разрешен, то он сбрасывается и начинает счет времени. Бит PD (режим хранения данных) в регистре статуса сбрасывается (режим микропотребления), а бит TO (флаг срабатывания WDT) устанавливается. Синхрогенератор выключается, а порты ввода/вывода сохраняют состояние, которое они имели до входа в режим SLEEP. Для снижения потребляемого тока в этом режиме контакты, работающие на вывод должны иметь такие значения, чтобы не протекал ток между кристаллом и внешними цепями. Контакты, работающие на ввод должны быть соединены внешними резисторами с высоким или низким уровнем, чтобы избежать токов переключения, вызываемых плавающими высокоомными входами. Это относится и ко входу таймера T0CKI. Вход MCLR должен иметь высокий уровень напряжения.

Выход из указанного режима осуществляется поступлением внешнего нулевого сигнала сброса на входе MCLR, или сигнала от встроенного программируемого сторожевого таймера (Watchdog Timer).

В обоих случаях PIC16C5X будет находиться в режиме сброса в течение времени запуска генератора, а затем только начнется выполнение программы.

Бит PD в регистре статуса, который устанавливается при включении, но обнуляется командой "SLEEP", может быть использован для определения состояния процессора до "просыпания": или процессор был в режиме SLEEP ("горячий старт") - PD=0, или было просто включено питание ("холодный старт") - PD=1. А бит TO позволяет определить, чем был вызван выход из режима SLEEP: или внешним сигналом на входе MCLR TO=1, или срабатыванием WDT TO=0. В случае наличия RC цепочки на входе MCLR для увеличения задержки на запуск не рекомендуется выход из режима SLEEP по срабатыванию WDT. В этом случае внешний конденсатор сброса не будет разряжаться и задержка на запуск генератора будет равна обычной длительности.

9.5. Код идентификации кристалла.

Контроллеры PIC16C5X имеют отдельный 16-битный регистр EPROM, предназначены для хранения идентификационного кода (ID) пользователя, контрольной суммы или другой информации. К ним нет доступа по программе, они программируются - программатором. При этом программируются только четыре младших разряда данного регистра. Старшие восемь разрядов необходимо устанавливать в единицу.

10. Система команд PIC-контроллера.

Команды микроконтроллера PIC16C5x представляют собой 12-битовые слова, которые включают код операции и поле для одного или двух операндов, участвующих в этой команде. Система команд PIC16C5x может быть разделена на байт-ориентированные команды, бит-ориентированные и команды передачи управления.

Для написания команд семейства контроллеров PIC используются следующие обозначения.

"W"- основной рабочий регистр, участвующий в операциях (аккумулятор).

В байт-ориентированных командах "f" обозначает собой адрес в регистровом файле (от 00h до 1Fh), который участвует в операции. "f" представляет один из 32 регистров PIC-контроллера, который участвует в выполнении команды с учетом текущего номера банка. Для обозначения регистров возможно применение зарезервированных обозначений, например, PORTA, TMR0 и т.д..

Флаг "d" в качестве бита со значениями 0 и 1 определяет место расположения результата. Если "d"=0, то результат записывается в регистр W, при "d"=1 результат располагается в регистре "f", указанном в команде. Возможно применение непосредственно обозначений W и f в качестве флага регистра получателя.

При использовании бит-ориентированных команд применяется обозначение "b", которое определяет номер бита регистра, участвующего в команде, а "f" - это регистр текущего банка, в котором данный бит расположен.

Для команд передачи управления и операций с константами "k" обозначает восьми или девятибитную константу или адрес перехода. Шестнадцатиричная константа записывается непосредственно без префиксов. Десятичная и двоичная константа должна иметь перед числом префикс D или B соответственно, а число записывается в кавычках: "23".

Все команды микроконтроллера выполняются в течение одного командного цикла, что определяется RISC структурой центрального процессора. В двух случаях исполнение команды занимает два командных цикла. Это исполнение условной команды или проверка условия и переход. В таблице 14 приведен полный перечень команд PIC-контроллера.

Команды микроконтроллеров семейства PIC16C5X.

Таблица 14.

Байт-ориентированные команды.				
Мнемокод		Название команды	Статус	Время
ADDWF	f, d	Сложение W с f	C, DC, Z	1
ANDLW	k	Логическое И константы и W	Z	1
ANDWF	f, d	Логическое И W и f	Z	1
CLRF	f	Сброс регистра f	Z	1
CLRWF		Сброс регистра W	Z	1
COMF	f, d	Инверсия регистра f	Z	1
DECWF	f, d	Декремент регистра f	Z	1
DECFSZ	f, d	Декремент f, пропустить команду, если 0	-	1 (2)
INCF	f, d	Инкремент регистра f	Z	1
INCFSZ	f, d	Инкремент f, пропустить команду, если 0	-	1 (2)
IORLW	k	Логическое ИЛИ константы и W	Z	1
IORWF	f, d	Логическое ИЛИ W и f	Z	1
MOVF	f, d	Пересылка регистра f	Z	1
MOVLW	k	Пересылка константы в W	-	1
MOVWF	f	Пересылка W в f	-	1
NOP		Холостая команда	-	1
OPTION		Загрузка W в OPTION регистр	-	1
RLF	f, d	Сдвиг f влево через перенос	C	1
RRF	f, d	Сдвиг f вправо через перенос	C	1
SUBWF	f, d	Вычитание W из f	C, DC, Z	1
SWAPF	f, d	Обмен местами тетрад в f	-	1
TRIS	f	Загрузка TRIS регистра	-	1
XORLW	k	Исключающее ИЛИ константы и W	Z	1
XORWF	f, d	Исключающее ИЛИ W и f	Z	1
Бит ориентированные команды				
BCF	f, b	Сброс бита в регистре f	-	1
BSF	f, b	Установка бита в регистре f	-	1
BTFSC	f, b	Пропустить команду, если бит равен нулю	-	1 (2)
BTFSS	f, b	Пропустить команду, если бит равен единице	-	1 (2)
Команды переходов				
CALL	k	Вызов подпрограммы	-	2
CLRWDI		Сброс Watchdog таймера	\overline{TO} , \overline{PD}	2
GOTO	k	Переход по адресу	-	2
RETLW	k	Возврат из подпрограммы с загрузкой константы в W	-	2
SLEEP		Переход в режим SLEEP	\overline{TO} , \overline{PD}	2

10.1 Описание команд микроконтроллеров семейства PIC16C5X

Синтаксис: ADDWF f,d

Операнды: f - (00h,1Fh)

d - (0,1)

Операция: W + f -> d

Биты статуса: C, DC, Z

Описание: Сложение содержимого регистра "W" с содержимым регистра "f".

Синтаксис: ANDLW k

Операнды: k - (00h,7Fh)

Операция: W And k -> W

Биты статуса: Z

Описание: Операция логического И между содержимым "W" регистра и константой "k". Результат будет находиться в регистре "W".

Синтаксис: ANDWF f,d

Операнды: f - (00h,1Fh)

d - (0,1)

Операция: W And f -> d

Биты статуса: Z

Описание: Операция логического И между содержимым "W" регистра и содержимым регистра "f".

Синтаксис: BCF f,b

Операнды: f - (00h,1Fh)

b - (0,7)

Операция: 0 -> f

Биты статуса: Нет

Описание: Бит "b" в регистре "f" сбрасывается в ноль.

Синтаксис: BSF f,b

Операнды: f - (00h,1Fh)

b - (0,7)

Операция: 1 -> f

Биты статуса: Нет

Описание: Бит "b" в регистре "f" устанавливается в единицу.

Синтаксис: BTFSC f,b

Операнды: f - (00h,1Fh)

b - (0,7)

Операция: Пропуск команды, если $f\langle b \rangle = 0$

Биты статуса: Нет

Описание: Если бит "b" в регистре "f" равен нулю, то следующая команда пропускается.

Синтаксис: BTFSS f,b

Операнды: f - (00h,1Fh)

b - (0,7)

Биты статуса: Нет

Описание: Если бит "b" в регистре "f" равен единице, то следующая команда пропускается.

Синтаксис: CALL k

Операнды: k - (000h,7FFh)

Операция: PC+1 -> стек;

k -> PC<7:0>,

0 -> PC<8>,

STATUS<6:5> -> PC<10:9>

Биты статуса: Нет

Описание: Вызов подпрограммы. Адрес возврата помещается в стек. Восьмибитовая константа записывается в программный счетчик (PC<7:0>). Девятый бит программного счетчика обнуляется. Биты страниц из регистра статуса f3<6:5> загружаются в программный счетчик (PC<10:9>).

Синтаксис: CLRF f

Операнды: f - (00h,1Fh)

Операция: 00h -> f

Биты статуса: Z = 1

Описание: Содержимое регистра "f" обнуляется.

Синтаксис: CLRW

Операнды: -

Операция: 00h -> W

Биты статуса: Z = 1

Описание: Обнуляется "W" регистр.

Синтаксис: CLRWDT

Операнды: -

Операция: 00h -> WDT,

00h -> WDT prescaler

Биты статуса: TO = 1, PD = 1

Описание: Сбрасывается Watchdog таймер. Сбрасывается делитель, работающий с WDT.

Синтаксис: COMF f,d

Операнды: f - (00h,1Fh)

d - (0,1)

Операция: f -> d

Биты статуса: Z

Описание: Содержимое регистра "f" инвертируется.

Синтаксис: DECF f,d

Операнды: f - (00h,1Fh)

d - (0,1)

Операция: f-1 -> d

Биты статуса: Z

Описание: Декрементируется содержимое регистра "f".

Синтаксис: DECFSZ f,d

Операнды: f - (00h,1Fh)

d - (0,1)

Операция: f-1 -> d;

переход, если d=0

Биты статуса: Нет

Описание: Содержимое регистра "f" декрементируется.

Если результат равен нулю, то следующая команда пропускается.

Синтаксис: GOTO k

Операнды: k - (000h,7FFh)

Операция: k -> PC<8:0>;

STATUS<6:5> -> PC<10:9>

Биты статуса: Нет

Описание: Безусловный переход. Девять бит констант загружаются в программный счетчик PC<8:0>. Биты страниц из регистра статуса f3<6> загружаются в программный счетчик (PC<10:9>).

Синтаксис: INCF f,d

Операнды: f - (00h,1Fh)

d - (0,1)

Операция: $f+1 \rightarrow d$

Биты статуса: Z

Описание: Инкрементируется содержимое регистра "f".

Синтаксис: INCFSZ f,d

Операнды: f - (00h,1Fh)

d - (0,1)

Операция: $f+1 \rightarrow d$;

переход, если $d=0$

Биты статуса: Нет

Описание: Содержимое регистра "f" инкрементируется. Если результат равен нулю, то следующая команда пропускается.

Синтаксис: IORLW k

Операнды: k - (00h,FFh)

Операция: $W \text{ Or } k \rightarrow W$

Биты статуса: Z

Описание: Логическое "ИЛИ" содержимого регистра "W" и восьмибитовой константы. Результат помещается в "W" регистр.

Синтаксис: IORWF f,d

Операнды: f - (00h,7Fh)

d - (0,1)

Операция: $W \text{ Or } f \rightarrow d$

Биты статуса: Z

Описание: Логическое "ИЛИ" содержимого регистра "W" и содержимого регистра "f".

Синтаксис: MOVF f,d

Операнды: f - (00h,7Fh)

d - (0,1)

Операция: $f \rightarrow d$

Биты статуса: Z

Описание: Пересылка содержимого регистра "f".

Синтаксис: MOVLW k

Операнды: k - (00h,FFh)

Операция: $k \rightarrow W$

Биты статуса: Нет

Описание: Восьмибитовая константа загружается в регистр "W".

Синтаксис: MOVWF f

Операнды: f - (00h,7Fh)

Операция: W -> f

Биты статуса: Нет

Описание: Переслать содержимое регистра "W" в регистр "f"

Синтаксис: NOP

Операнды: -

Операция: Нет операции

Биты статуса: Нет

Описание: Холостая команда.

Синтаксис: OPTION

Операнды: -

Операция: W -> OPTION

Биты статуса: Нет

Описание: Содержимое "W" регистра загружается в регистр OPTION.

Синтаксис: RETLW k

Операнды: k - (00h,FFh)

Операция: k -> W;

стек -> PC

Биты статуса: Нет

Описание: Регистр "W" загружается восьмибитовой константой. Программный счетчик загружается из стека (адрес возврата).

Синтаксис: RLF f,d

Операнды: f - (00h,7Fh)

d - (0,1)

Операция: f<n> -> d <n+1>,

f<7> -> C,

C -> d<0>

Биты статуса: C

Описание: Содержимое регистра "f" сдвигается влево на один бит через флаг C.

Синтаксис: RRF f,d

Операнды: f - (00h,7Fh)

d - (0,1)

Операция: $f\langle n \rangle \rightarrow d\langle n-1 \rangle,$

$f\langle 0 \rangle \rightarrow C,$

$C \rightarrow d\langle 7 \rangle$

Биты статуса: C

Описание: Содержимое регистра "f" сдвигается влево на один бит через флаг C.

Синтаксис: SLEEP

Операнды: -

Операция: 00h \rightarrow WDT,

00h \rightarrow WDT prescaler

Биты статуса: TO = 1, PD = 0

Описание: Флаг режима SLEEP (PD) обнуляется. Флаг сбрасывания Watchdog таймера (TO) устанавливается. Таймер и его делитель обнуляются. Процессор входит в режим SLEEP с остановкой генератора.

Синтаксис: SUBWF f,d

Операнды: f - (00h,7Fh)

d - (0,1)

Операция: f - W \rightarrow d

Биты статуса: C, DC, Z

Описание: Вычитание "W" регистра из содержимого регистра "f". (прибавление двоичного дополнения).

Синтаксис: SWAPF f,d

Операнды: f - (00h,7Fh)

d - (0,1)

Операция: $f\langle 0:3 \rangle \rightarrow d\langle 4:7 \rangle,$

$f\langle 4:7 \rangle \rightarrow d\langle 0:3 \rangle$

Биты статуса: Нет

Описание: Старшая и младшая тетрады регистра "f" меняются местами.

Синтаксис: TRIS f

Операнды: f - (5,7)

Операция: W \rightarrow TRIS register f

Биты статуса: Нет

Описание: Один из TRIS регистров (f=5,6 или 7) загружается содержимым "W" регистра.

Синтаксис: XORLW k

Операнды: k - (00h, FFh)

Операция: W XOR k -> W

Биты статуса: Z

Описание: Логическая операция исключающего ИЛИ между содержимым регистра "W" и восьмибитовой константой.

Результат сохраняется в "W" регистре.

Синтаксис: XORLW f, d

Операнды: f - (00h, 7Fh)

d - (0, 1)

Операция: W XOR f -> d

Биты статуса: Z

Описание: Логическая операция исключающего ИЛИ между содержимым регистра "W" и содержимым "f" регистра.

Примечания:

1. Девятый бит программного счетчика будет обнуляется любой командой, которая осуществляет запись в программный счетчик PC (регистр 2) (например, CALL, MOVWF 2 и т. д.), кроме команды GOTO.

2. При модифицировании регистра ввода/вывода (например MOVF 6,1), значение, используемое для модификации считывается непосредственно с ножек кристалла. Например, если значение защелки вывода для ножки, запрограммированной на вывод равно "1", но внешний сигнал на этом выводе "0", то этот "0" считывается с порта.

3. Команда "TRIS f", где f=5,6 или 7 записывает содержимое регистра "W" в защелки указанного порта. "1" устанавливает линию на ввод и электрически в третье состояние.

4. Если операндом "f" команды является TMR0 (1 в файле регистров) и d=1, то делитель, если он подключен к TMR0, будет обнулен.

11. 14-разрядные микроконтроллеры семейства PIC16CXX

Следующим этапом развития PIC-контроллеров является выпуск 14-разрядных микроконтроллеров семейства PIC16CXX. В данных микроконтроллерах были введены следующие изменения:

1. Длина команды увеличена до 14 бит. Это позволяет организовать ПЗУ и ОЗУ с увеличенным размером страницы: (2К байта вместо 512 байт) и (128 байт вместо 32 байт)..
2. Старший регистр программного счетчика (PCLATH) управляет переключением страниц в программной памяти. Биты выбора страниц RA2, RA1, RA0, которые использовались для этого в кристалле PIC 16C5X - изъяты из регистра STATUS.
3. Страничная организация памяти и регистр STATUS - модифицированы.
4. Добавлены четыре новые команды: RETURN, RETFIE, ADDLW, SUBLW. В двух командах TRIS и OPTION отпала необходимость, однако они сохранены для программной совместимости с PIC16C5X.
5. Регистры OPTION и TRIS сделаны адресуемыми по номеру
6. Добавлена возможность работать по прерыванию. Адрес вектора прерывания равен 0004h.
7. Величина стека увеличена до восьми уровней.
8. Адрес сброса при включении изменен на 0000h.
9. Распознаются пять различных типов сбросов (выходов из режима SLEEP). Инициализация регистров изменена. Они устанавливаются в зависимости от типа сброса.
10. Добавлен выход из режима SLEEP через прерывание.
11. Для более надежного запуска, добавлены следующие аппаратные задержки: таймер запуска (OST) и таймер включения питания (PWRT). Эти таймеры могут быть использованы избирательно, чтобы избежать ненужных задержек, как при включении, так и при выходе из режима SLEEP.
12. Порт В имеет активные нагрузки и прерывание при изменении входных сигналов.
13. Ножка T0CKI (вход таймера) совмещена с ножкой порта А (RA4).
14. Регистр с адресом 07h (порт С) не существует и не является регистром общего назначения.
15. Регистр FSR (адрес 4), в котором хранится указатель при косвенной адресации, стал шириной в восемь бит.
16. Реализован встроенный автомат программирования EEPROM. Пользователь может запрограммировать PIC16C84, используя только пять ножек: Vdd, Vss, MCLR/Vpp, RB6 (тактовая частота), RB7 (вход/ выход данных).

Таблица 15.

Общая характеристика семейства 14-разрядных процессоров

Тип	16C61	16C62	16C63	16C64	16C65	16C620	16C621	16C622	16C71	16C73	16C74	16C84
EPROM	1 Кб	2 Кб	4 Кб	2 Кб	4 Кб	512	1 Кб	2 Кб	1 Кб	4 Кб	4 Кб	-
EEPROM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 Кб
RAM, байт	36	128	192	128	192	80	80	128	36	192	192	36
DATA EEPROM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64
Число контактов	18	28	28	40,44	40,44	18,20	18,20	18,20	18	28	40,44	18
Вход/выход	13	22	22	33	33	13	13	13	13	22	33	13
Макс.частота, МГц	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Таймеры	TMR 0	TMR 0,1,2	TMR 0,1,2	TMR 0,1,2	TMR 0,1,2	TMR 0	TMR 0	TMR 0	TMR 0	TMR 0,1,2	TMR 0,1,2	TMR 0
Выходов ШИМ	-	2	2	1	2	-	-	-	-	2	2	-
АЦП	-	-	-	-	-	-	-	-	4	5	8	-
Аналоговые компараторы	-	-	-	-	-	2	2	2	-	-	-	-
Внешнее Uоп	-	-	-	-	-	Есть	Есть	Есть	-	-	-	-
Последовательный порт	-	SPI/12C	SPI/12C SCI	SPI/12C	SPI/12C SCI	-	-	-	-	SPI/12C SCI	SPI/12C SCI	-
Параллельный порт	-	-	-	Есть	Есть	-	-	-	-	-	Есть	-
Число источников прерываний	3	10	10	8	11	4	4	4	4	11	12	4
Корпус	DIP SOIC	DIP SOIC	DIP SOIC	DIP PLCC QFP	DIP PLCC QFP	DIP SOIC SSOP	DIP SOIC SSOP	DIP SOIC SSOP	DIP SOIC	DIP SOIC	DIP PLCC QFP	DIP SOIC

12. Микроконтроллеры семейства PIC16C62X

Микроконтроллеры семейства PIC16C62X являются наиболее простыми из 14-разрядных PIC-контроллеров. Это объясняется минимальным набором устройств ввода/вывода. Отличительной особенностью данных контроллеров является наличие аналоговых компараторов с источником опорного напряжения. К данному направлению контроллеров относятся микросхемы 16C620, 16C621 и 16C622, отличающиеся объемом памяти программ и памяти данных.

Основные характеристики модели PIC 16C62X:

- только 35 простых команды; - все команды выполняются за один цикл (200ns при частоте 20 МГц), кроме команд перехода (2 цикла);
- рабочая частота от 32 кГц до 20 МГц;
- * возможность прерываний от 4 источников;
- 14- битовые команды;
- 8 - битовые данные;
- от 512 до 2К *14 - объем программной памяти на кристалле EPROM;
- от 80 до 128 *8 - объем оперативного запоминающего устройства;
- 16 специальных аппаратных регистров;
- 8-уровневый аппаратный стек;
- - прямая, косвенная и относительная адресация данных и команд;
- 13 линий ввода-вывода с индивидуальной настройкой;
- мощные выходы для подключения светодиодных индикаторов;
- * модуль аналоговых компараторов:
 - * 2 аналоговых компаратора;
 - * программируемый модуль опорного напряжения;
 - * переключение внутреннего или внешнего опорного напряжения;
 - * подключение выходов компараторов к выходам контроллера;
- 8- битный таймер/счетчик TMR0 с 8-битным программируемым предварительным делителем;
- автоматический сброс при включении (POR);
- * таймер включения питания (PWRT);
- * таймер включения генератора (OST);
- * защита от понижения напряжения питания;
- Watchdog Timer (WDT) с собственным встроенным генератором;
- бит секретности для защиты кода программ;
- экономичный режим энергопотребления (SLEEP);
- программируемые режимы возбуждения встроенного генератора:
 - * последовательное программирование в системе;
- 4 программируемых кода идентификации;
- экономичная высокоскоростная КМОП EPROM технология;
- статический принцип в архитектуре;

- широкий диапазон напряжений питания от 3 до 6В,
- низкое потребление
 - < 2 мА при питании 5В и частоте 4 МГц,
 - 15 мкА при питании 3В и частоте 32 кГц,
 - < 1 мкА при SLEEP режиме при питании 3В.

Знаком * отмечены основные отличия данных контроллеров от базового 16С5Х.

На рис. 13 и 14 представлено конструктивное исполнение микроконтроллеров PIC16C62X, а в таблице 16 указано назначение выводов микроконтроллеров.

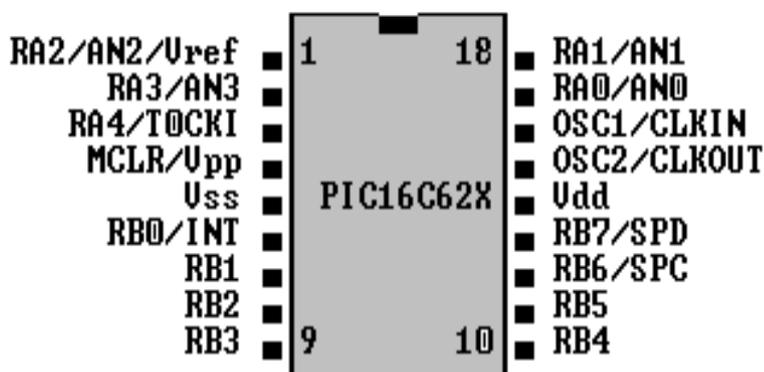


Рис.13. Конструктивное исполнение микроконтроллеров PIC16C62X в корпусах PDIP и SOIC.

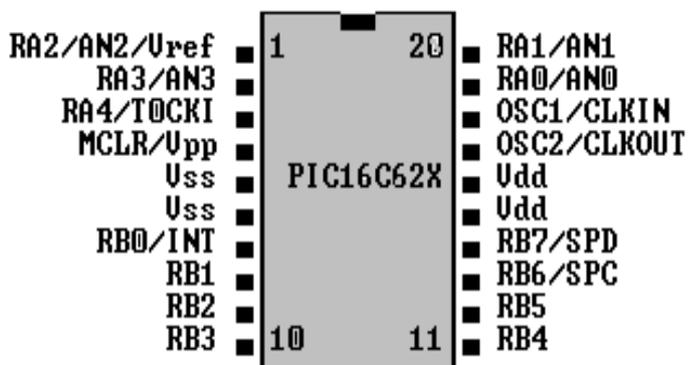


Рис. 14. Конструктивное исполнение микроконтроллеров PIC16C62X в корпусах SSOP.

Обозначения выводов микроконтроллеров PIC16C62X

Обозначение	Функциональное назначение
RA0/AN0 RA1/AN1 RA2/AN2/Vref RA3/AN3 RA4/T0CKI	4- битный квазидвухнаправленный порт А Порт А /Вход аналогового компаратора Порт А /Вход аналогового компаратора Порт А /Вход аналогового компаратора/ Выход опорного напряжения Порт А /Вход аналогового компаратора/ Выход компаратора Вход таймера/счетчика / Выход компаратора
RB0/INT RB1 RB2 RB3 RB4 RB5 RB6 RB7	8- битный квазидвухнаправленный порт В Порт В /Вход внешнего прерывания Порт В Порт В Порт В Порт В с возможностью прерывания Порт В с возможностью прерывания Порт В с возможностью прерывания/ Частота для последовательного программирования Порт В с возможностью прерывания/ Данные для последовательного программирования
$\overline{\text{MCLR}}$	Вход сигнала сброса
OSC1 /CLKIN	Вход для подключения генератора
OSC2 /CLKOUT	Вход/выход генератора
Vdd	Напряжение питания
Vss	Общий провод

На рис. 15 представлена структурная схема микроконтроллеров серии PIC16C62X.

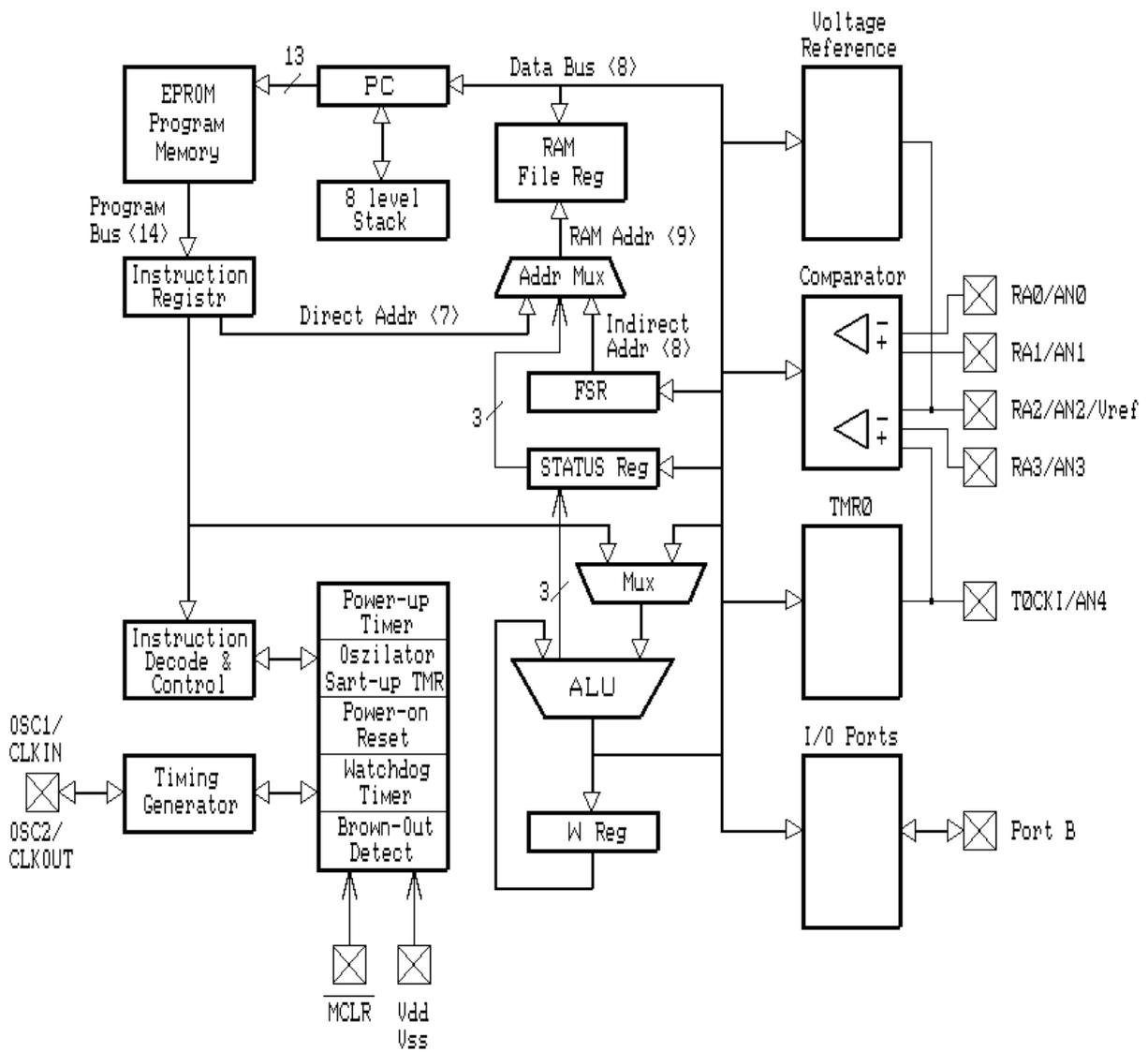


Рис. 15. Структурная схема микроконтроллера серии PIC16C62X.

12.1. Организация памяти микроконтроллеров семейства PIC16C62X

Основными блоками контроллера являются память программ и память данных, структура которых представлена на рис. 16 и 17 соответственно.

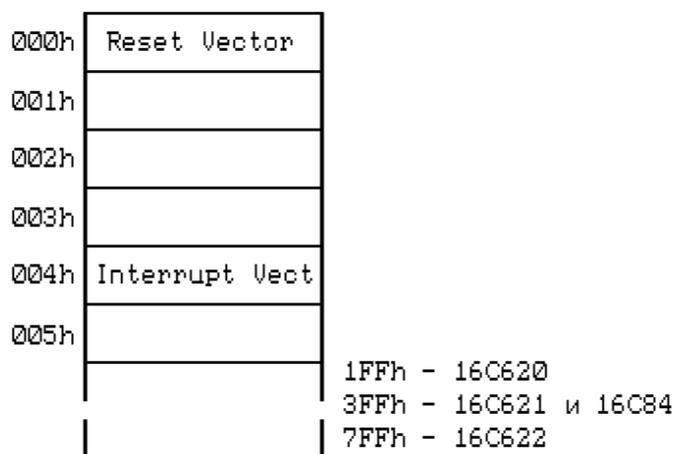


Рис. 16. Структура памяти программ микроконтроллеров серии PIC16C62X.

Программный счетчик в PIC16C62X имеет ширину 13 бит и способен адресовать 8K*14 бит объема программной памяти. Однако, физически на кристалле имеется только 2K*14 памяти (адреса 0000h 07FFh). Вектор сброса находится по адресу 0000h, вектор прерывания находится по адресу 0004h. Младший байт программного счетчика PCL доступен для чтения и записи и находится в области памяти данных по адресу 02h. Старший байт программного счетчика PCH из-меняется через PCLATH регистр, адрес которого в области памяти данных равен 0Ah.

Область памяти данных контроллера может быть поделена на область регистров специальных функций и область регистров общего назначения, которые в свою очередь делятся на банки. В регистре статуса STATUS (адрес 03h) есть биты выбора страниц ОЗУ, которые позволяют обращаться к четырем страницам будущих модификаций этого кристалла.

Адрес	Bank 0	Bank 1	Адрес
00	INDF	INDF	80
01	TMR0	OPTION	81
02	PCL	PCL	82
03	STATUS	STATUS	83
04	FSR	FSR	84
05	PORTA	TRISA	85
06	PORTB	TRISB	86
0A	PCLATH	PCLATH	8A
0B	INTCON	INTCON	8B
0C	PIR1	PIE1	8C
		PCON	8E
1F	CMCON	VRCON	9F
20	GENERAL		A0
21	PURPOSE		
	REGISTER		BF - 16C622
7F			

6F - 16C620, 16C621

Рис. 17. Структура памяти данных микроконтроллеров серии PIC16C62X.

Назначение разрядов регистра STATUS представлено в таблице 17. Для PIC16C62X используется только бит RP0, т.е. существуют в данной модификации только банк 0 и 1. Для PIC16C620 и 16C621 память данных простирается от адреса 20h до адреса 6Fh (объем 80 байт), а для PIC16C622 - банк 0 с адреса 20h до 7Fh и банк 1 с адреса A0h до BFh (объем 128 байт). Память данных контроллера включает в себя регистры специальных функций, адреса расположения которых, назначение и значения представлены в таблице 18. Некоторые регистры специальных функций располагаются на странице 1 области памяти данных. Поэтому для адресации к ним, необходимо также дополнительно установить в единицу бит выбора банка RP0 в регистре статуса. К ячейкам ОЗУ можно адресоваться прямо или косвенно, через регистр указатель FSR (адрес 04h).

Таблица 17.

Назначение разрядов регистра STATUS
(адрес 03h или 83h, POR=00011XXXb)

Символ	Бит	Имя и назначение	
C	7	Флаг переноса/заема.	
DC	6	Флаг десятичного переноса/заема.	
Z	5	Флаг нулевого результата.	
\overline{PD}	4	Power Down (SLEEP режим)	
\overline{TO}	3	Time Out (Флаг срабатывания WDT)	
RP0	2	Биты выбора банков данных для прямой адресации 00 = Банк 0 (00-7F) 01 = Банк 1 (80-FF) 10 = Банк 2 (100-17F) 11 = Банк 3 (180-1FF) Бит RP1=0 для PIC16C62X	
RP1	1		
IRP	0		Бит выбора банков данных для косвенной адресации 0 = Банк 0,1 (00-FF) 1 = Банк 2,3 (100-1FF) Для PIC16C62X не используется

Данный кристалл PIC16C62X имеет восьмиуровневый аппаратный стек шириной 13 бит. Область стека не принадлежит ни к программной области ни к области данных, а указатель стека пользователю недоступен. Текущее значение программного счетчика посылается в стек, когда выполняется команда CALL или производится обработка прерывания. При выполнении процедуры возврата из подпрограммы (команды RETLW, RETFIE или RETURN), в программный счетчик записывается содержимое стека. Регистр PCLATH (адрес 0Ah) не изменяется при операциях со стеком.

Таблица 18.

Регистры специальных функций.

Адрес	Имя	7	6	5	4	3	2	1	0	Power-On Reset	Other Reset
Bank0											
00h	INDF	Переключатель контекста								-----	-----
01h	TMR0	8-битный таймер/счетчик								xxxxxxxx	uuuuuuuu
02h	PCL	Младшие 8 бит счетчика команд								00000000	00000000
03h	STATUS	IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C	00011xxx	000??uuu
04h	FSR	Указатель косвенной адресации								xxxxxxxx	uuuuuuuu
05h	PORTA	-	-	-	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	---xxxxx	---uuuuu
06h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	xxxxxxxx	uuuuuuuu
07h	PORTC	RC7	RC6	RC5	RC4	RC3	RC2	RC1	RC0	xxxxxxxx	uuuuuuuu
0Ah	PCLATH	-	-	-	Буфер для 5 бит PC					---00000	---00000
0Bh	INTCON	GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000000x	0000000x
0Ch	PIR1	-	CMIF	-	-	-	-	-	-	-0-----	-0-----
1Fh	CMCON	C20U	C10U	-	-	CIS	CM2	CM1	CM0	00--0000	00--0000
Bank1											
80h	INDF	Переключатель контекста								-----	-----
81h	OPTION	RBPU	INTE	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	11111111	11111111
82h	PCL	Младшие 8 бит счетчика команд								00000000	00000000
83h	STATUS	IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C	00011xxx	000??uuu
84h	FSR	Указатель косвенной адресации								xxxxxxxx	uuuuuuuu
85h	TRISA	-	-	-	TRA4	TRA3	TRA2	TRA1	TRA0	---11111	---11111
86h	TRISB	TRB7	TRB6	TRB5	TRB4	TRB3	TRB2	TRB1	TRB0	11111111	11111111
8Ah	PCLATH	-	-	-	Буфер для 5 бит PC					---00000	---00000
8Bh	INTCON	GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000000x	0000000x
8Ch	PIE1	-	CMIE	-	-	-	-	-	-	-0-----	-0-----
8Eh	PCON	-	-	-	-	-	-	POR	BO	-----0x	-----u?
9Fh	VRCON	Vren	Vroe	Vrr	-	Vr3	Vr2	Vr1	Vr0	000-0000	000-0000

12.2. Особенности организации портов ввода/вывода микроконтроллеров семейства PIC16C62X

Организация портов ввода/вывода данного контроллера несколько отличается от базового семейства PIC-контроллеров. Регистры управления портов ввода/вывода TRIS расположены в области памяти на странице 1. Установка бита управляющего TRIS регистра в единицу программирует соответствующую линию на ввод. Нулевое значение переключает линию на вывод и одновременно выводит на нее содержимое соответствующего регистра защелки.

У каждой ножки порта В имеется небольшая активная нагрузка (около 100мкА) на линию питания. Она автоматически отключается, если этот вывод запрограммирован как вывод. Более того, управляющий бит RBPU в регистре OPTION (бит 7) может отключить (RBPU=1) все нагрузки. Сброс при включении питания также отключает все нагрузки. Назначение разрядов регистра OPTION представлено в таблице 19. Разряды 0-5 данного регистра выполняют такие же функции как и для базового семейства PIC-контроллеров.

Таблица 19.

Назначение разрядов регистра OPTION
(адрес 81h, POR=0FFh)

Символ	Бит	Имя и назначение
$\overline{\text{RBPU}}$	7	Бит работы режима pull-up для порта В 0 - разрешен 1 - запрещен
INTEDEG	6	Бит выбора фронта прерывания RB0/INT 0 - отрицательный 1 - положительный
T0CS	5	Выбор источника сигнала для TMR0
T0SE	4	Выбор фронта сигнала T0CKI
PSA	3	Бит работы делителя
PS2	2	Биты PS2...PS0 настройки делителя
PS1	1	
PS0	0	

Четыре линии порта В (RB.7-RB.4) имеют способность вызывать прерывание при изменении значения сигнала на любой из них. Если эти линии настроены на ввод, то они опрашиваются и защелкиваются в цикле чтения Q1. Новая величина входного сигнала сравнивается со старой в каждом командном цикле. При несовпадении значения сигнала на выводе и в за-

щелке, генерируется высокий уровень сигнала несовпадения. Выходы детекторов "несовпадений" RB4, RB5, RB6, RB7 объединяются по ИЛИ и генерируют прерывание RBIF, запоминаемое в регистре INTCON (бит 0). Любая линия, настроенная на вывод, не участвует в этом сравнении. Прерывание может вывести кристалл из режима SLEEP. В подпрограмме обработки прерывания следует сбросить запрос прерывания одним из следующих способов:

- Запретить прерывания при помощи обнуления бита RBIE разрешения прерываний порта RB в регистре INTCON (бит 3).
- Произвести считывание данных порта В. Эта команда завершит состояние сравнения.
- Обнулить бит RBIF (флаг прерываний одного из разрядов порта RB) в регистре INTCON (бит 0).

Прерывание по несовпадению и программно устанавливаемые внутренние активные нагрузки на этих четырех линиях могут обеспечить простой интерфейс например с клавиатурой, с выходом из режима SLEEP по нажатию клавиш.

Кроме этого один из разрядов порта RB (вывод RB0) совмещен с входом внешнего прерывания INT.

12.3. Особенности организации прерываний микроконтроллеров PIC16C62X

Прерывания в PIC16C84 реализованы от четырех источников:

- внешнее прерывание с ножки RB0/INT,
- прерывание от переполнения счетчика/таймера RTCC,
- прерывание от компараторов,
- прерывание от изменения сигналов на ножках порта RB<7:4>.

Все прерывания имеют один и тот же вектор/адрес обработки прерываний - 0004h. При осуществлении прерывания в управляющем регистре прерываний INTCON, назначение разрядов которого представлены в таблице 20, записывается флаг источника запроса прерывания. Все прерывания могут быть замаскированы индивидуально соответствующим битом в регистре прерываний INTCON или общим битом разрешения прерываний.

Бит общего разрешения/запрещения прерывания GIE (INTCON.7) разрешает все индивидуально незамаскированные прерывания (GIE=1) или запрещает их (GIE=0). Каждое прерывание в отдельности может быть дополнительно разрешено/запрещено установкой/сбросом соответствующего бита в регистре INTCON. Бит GIE обнуляется при сбросе. Когда начинается обработка прерывания, бит GIE также

Таблица 20.

Назначение разрядов управляющего регистра прерываний INTCON
(адрес 0Bh или 8Bh, POR=0000000?b)

Символ	Бит	Имя и назначение
GIE	7	Бит разрешения всех прерываний 0 - запрещены 1 - разрешены
PEIE	6	Бит разрешения периферийных прерываний
TOIE	5	Бит разрешения прерывания T0IF
INTE	4	Бит разрешения прерывания INT
RBIE	3	Бит разрешения прерываний порта RB
T0IF	2	Флаг прерывания от таймера 0 - сброшен 1 - установлен
INTF	1	Флаг внешних прерываний
RBIF	0	Флаг прерываний одного из разрядов порта RB

обнуляется, чтобы запретить дальнейшие прерывания. Адрес возврата посылается в стек, а в программный счетчик загружается адрес подпрограм-

мы обработки прерываний 0004h. В подпрограмме обработки прерывания источник прерывания может быть определен по соответствующему биту в регистре флагов. Этот флаг-бит должен быть программно сброшен внутри подпрограммы. Флаги запросов прерываний не зависят от соответствующих маскирующих битов и бита общего маскирования GIE. Команда возврата из прерывания RETFIE завершает прерывающую подпрограмму и устанавливает бит GIE, чтобы опять разрешить прерывания. Время реакции на прерывание для внешних событий, таких как прерывание от вывода INT или порта В, составляет приблизительно пять циклов. Это на один цикл меньше, чем для внутренних событий, таких как прерывание по переполнению от таймера TMR0.

Для внешнего прерывания по входу RB0/INT имеется возможность переключения фронта срабатывания: по нарастающему (INTEDG=1 в регистре OPTION бит 6), либо по спадающему фронту (INTEDG=0). Когда фронт обнаруживается на ножке INT, то бит запроса INTF в регистре INTCON (бит 1) устанавливается. Это прерывание может быть замаскировано установкой управляющего бита INTE в ноль (INTCON.4). Бит запроса INTF должен быть очищен прерывающей программой перед тем, как опять разрешить это прерывание. Прерывание INT может вывести процессор из режима SLEEP.

Прерывание от таймера TMR0 вырабатывается при переполнении таймера/счетчика при переходе от значения FFh к 00h. В этом случае устанавливается бит запроса T0IF в регистре INTCON (бит 2). Данное прерывание можно замаскировать битом T0IE в регистре INTCON (бит 5). Бит запроса T0IF должен быть сброшен программно при обработке прерывания. Прерывание от таймера не может вывести процессор из SLEEP потому, что таймер не функционирует в этом режиме.

Любое изменение сигналов на четырех входах порта RB.7 - RB.4 установит бит RBIF (INTCON.0). Это прерывание может быть разрешено/запрещено установкой/сбросом бита маски RBIE (INTCON.3). Сброс запроса RBIF осуществляется также программой обработки прерывания. Кроме этого данный контроллер поддерживает и другие прерывания, называемые периферийными. В регистре INTCON существует бит разрешения периферийных прерываний PEIE (INTCON.6). В качестве периферийных прерываний в контроллерах PIC16C62X выступают прерывания от компаратора, бит разрешения которых CMIE находится в регистре PIE1 (таблица 21), а флаг прерывания CMIF - и регистре PIR1 (таблица 22).

Таблица 21.

Назначение разрядов регистра PIE1
(адрес 8Ch, POR=00h)

Символ	Бит	Имя и назначение
SMIE	5	Бит разрешения прерывания компаратора SMIF 0 - запрещены 1 - разрешены

Таблица 22.

Назначение разрядов регистра PIR1
(адрес 0Ch, POR=00h)

Символ	Бит	Имя и назначение
SMIF	5	Флаг прерывания компаратора 0 - сброшен 1 - установлен

Кроме этого возможна обработка флага сброса по питанию POR и флага обнаружения падения напряжения питания BO, которые расположены в регистре PCON (таблица 23).

Таблица 23.

Назначение разрядов регистра PCON
(адрес 8Eh, POR=-----0?b)

Символ	Бит	Имя и назначение
$\overline{\text{POR}}$	1	Флаг сброса по питанию 0 - установлен 1 - не установлен
BO	0	Флаг обнаружения падения напряжения

12.4. Специальные регистры микроконтроллеров PIC16C62X

В контроллерах семейства PIC16C62X применяются аналоговые компараторы с возможностью программирования их конфигурации и опорного напряжения. Этими функциями занимаются регистры специальных функций CMCON (таблица 24) - программирование режимов работы компаратора и регистр VRCON (таблица 25) - программирование источников опорного напряжения.

Таблица 24.
Назначение разрядов регистра CMCON
(адрес 1Fh, POR=00h)

Символ	Бит	Имя и назначение
C2OUT	7	Бит выхода компаратора 2 0 - $V+ < V-$ 1 - $V+ > V-$
C1OUT	6	Бит выхода компаратора 1
CIS	3	Переключатель входов компаратора
CM2	2	Режимы работы компараторов
CM1	1	
CM0	0	

В регистре программирования компараторов имеется возможность программирования выходного потенциала компараторов - биты C2OUT и C1OUT, переключения входов компаратора в соответствии с указанными схемами - бит CIS и биты CM2 - CM0 задания режимов работы компаратора.

Таблица 25.

Назначение разрядов регистра VRCON
(адрес 9Fh, POR=00h)

Символ	Бит	Имя и назначение
Vren	7	Бит включения опорного напряжения 0 - выключена 1 - включена
Vroe	6	Бит разрешения выхода напряжения
Vrr	5	Бит выбора диапазона напряжения 0 - высокий 1 - низкий
Vr3	3	Биты выбора опорного напряжения
Vr2	2	Если Vrr=1, то $Vref = \langle Vr \rangle / 24 * Vdd$
Vr1	1	Если Vrr=0, то $Vref = \langle Vr \rangle / 32 * Vdd +$
Vr0	0	$1/4 * Vdd$

Слово конфигурации, записываемое при программировании контроллеров, для микросхем PIC16C62X расширено за счет введения 8 битов защиты

кода CP1-CP0 и бита обнаружения падения напряжения BODEN.

Назначение разрядов конфигурации представлено в таблице 26.

Таблица 26.
Назначение разрядов конфигурации
(адрес 2007h)

Символ	Бит	Имя и назначение
CP1	13	Биты защиты кода
CP0	12	
CP1	11	
CP0	10	
CP1	9	
CP0	8	
BODEN	7	
CP1	5	
CP0	4	
PWRTE	3	Бит разрешения работы таймера включения по питанию 0 - разрешен 1 - запрещен
WDTE	2	Бит разрешения Watchdog таймера 0 - WDT отключен 1 - WDT включен
Fosc1	1	Биты выбора типа генератора
Fosc0	0	

12.5. Изменения в системе команд микроконтроллеров PIC16C62X

Система команд 14-разрядных контроллеров расширена за счет введения 4 дополнительных команд, представленных в таблице 27. Ниже дано описание представленных команд. Команды "TRIS" и "OPTION" базового комплекта оставлены для программной совместимости, а выполнение их эмулируется через команды пересылки регистра W в соответствующие регистры специальных функций TRIS и OPTION, расположенных в области памяти данных контроллера.

Таблица 27.

Мнемокод	Название команды	Статус	Время
ADDLW k	Сложение W с константой	C, DC, Z	1
RETFIE	Возврат из прерывания	-	2
RETURN	Возврат из подпрограммы	-	2
SUBLW k	Вычитание W из константы	C, DC, Z	1

Синтаксис: ADDLW k

Операнды: k - (00h, 7Fh)

Операция: k + W -> W

Биты статуса: C, DC, Z

Описание: Сложение содержимого регистра "W" с константой "k". Результат будет находиться в регистре "W".

Синтаксис: RETFIE

Операнды: -

Операция: стек -> PC

Биты статуса: Нет

Описание: Программный счетчик загружается из стека (адрес возврата).

Синтаксис: RETURN

Операнды: -

Операция: стек -> PC

Биты статуса: Нет

Описание: Программный счетчик загружается из стека (адрес возврата).

Синтаксис: SUBLW k

Операнды: k - (00h, 7Fh)

Операция: k - W -> W

Биты статуса: C, DC, Z

Описание: Вычитание содержимого регистра "W" из константы "k". Результат будет находиться в регистре "W".

13. Микроконтроллеры семейства PIC16C84

PIC16C84 относится к семейству PIC-контроллеров фирмы Microchip. Основным отличием данного контроллера является наличие 64-байт EEPROM памяти данных и внутреннего 1К x 14 бит электрически перепрограммируемого EEPROM для памяти программ. Встроенный автомат программирования EEPROM кристалла PIC16C84 позволяет легко подстраивать программу и данные под конкретные требования даже после завершения ассемблирования и тестирования.

Основные характеристики модели PIC 16C84:

- только 35 простых команды; - все команды выполняются за один цикл (200ns при частоте 20 МГц), кроме команд перехода (2 цикла);
- рабочая частота от 32 кГц до 20 МГц;
- возможность прерываний;
- 14- битовые команды;
- 8 - битовые данные;
- 1К *14 - объем программной памяти на кристалле EEPROM;
- 36 *8 - объем оперативного запоминающего устройства SRAM;
- 15 специальных аппаратных регистров;
- 8-уровневый аппаратный стек;
- прямая, косвенная и относительная адресация данных и команд;
- четыре источника прерывания:
 - внешний вход RB0/INT _
 - переполнение таймера TMR0
 - прерывание при изменении сигналов на линиях порта RB.7-RB.4
- ** по завершению записи данных в память EEPROM
- 13 линий ввода-вывода с индивидуальной настройкой;
- мощные выходы для подключения светодиодных индикаторов (25 ма);
- 8- битный таймер/счетчик TMR0 с 8-битным программируемым предварительным делителем;
- автоматический сброс при включении (POR);
- таймер включения питания (PWRT);
- таймер включения генератора (OST);
- Watchdog Timer (WDT) с собственным встроенным генератором, обеспечивающим повышенную надежность;
- бит секретности для защиты кода программ;
- экономичный режим энергопотребления (SLEEP);
- программируемые биты для установки режима возбуждения встроенного генератора:

- встроенное последовательное программирование EEPROM памяти данных и программ в системе;
- экономичная высокоскоростная КМОП EPROM технология;
- статический принцип в архитектуре;
- широкий диапазон напряжений питания от 2 до 6В,
- низкое потребление
 - * < 2 мА при питании 5В и частоте 4 МГц,
 - * 60 мкА при питании 2В и частоте 32 кГц,
 - * 26 мкА при SLEEP режиме при питании 2В.

На рис. 18 представлено конструктивное исполнение микроконтроллеров PIC16C84, а в таблице 27 указано назначение выводов микроконтроллеров.

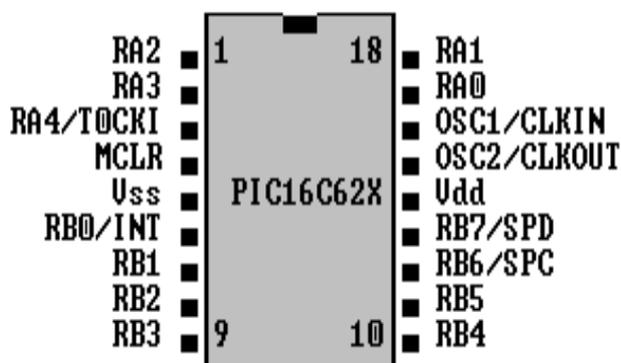


Рис. 18. Конструктивное исполнение микроконтроллеров PIC16C84 в корпусах PDIP и SOIC.

Таблица 27

Обозначение	Функциональное назначение
RA0 RA1 RA2 RA3 RA4/T0CKI	4- битный квазидвухнаправленный порт А Порт А Порт А Порт А Порт А Вход таймера/счетчика / Порт А
RB0/INT RB1 RB2 RB3	8- битный квазидвухнаправленный порт В Порт В /Вход внешнего прерывания Порт В Порт В Порт В

RB4 RB5 RB6	Порт В с возможностью прерывания Порт В с возможностью прерывания Порт В с возможностью прерывания/ Частота для последовательного программирования
RB7	Порт В с возможностью прерывания/ Данные для последовательного программирования
$\overline{\text{MCLR}}$	Вход сигнала сброса
OSC1 /CLKIN	Вход для подключения генератора
OSC2 /CLKOUT	Вход/выход генератора
Vdd	Напряжение питания
Vss	Общий провод

На рис. 19 представлена структурная схема микроконтроллеров серии PIC16C84.

Область ОЗУ контроллера может иметь объем 128 x 8. К ячейкам ОЗУ можно адресоваться прямо или косвенно, через регистр указатель FSR (адрес 04h). Это также относится и к EEPROM памяти данных-констант. Организация ОЗУ данного контроллера представлена на рис.20. В регистре статуса STATUS (адрес 03h) есть биты выбора страниц ОЗУ, которые позволяют обращаться к четырем страницам будущих модификаций этого кристалла. Однако для PIC16C84 память данных существует только до адреса 02Fh. Первые 12 адресов используются для размещения регистров специального назначения, адреса расположения которых в области памяти данных, назначение и значения представлены в таблице 28. Регистры с адресами 0Ch-2Fh могут быть использованы, как регистры общего назначения, которые представляют собой статическое ОЗУ. Некоторые регистры специального назначения продублированы на обеих страницах ОЗУ. Когда установлена страница 1, то обращение к адресам 8Ch-AFh фактически адресует страницу 0.

Основным отличием данного кристалла является наличие внутренней памяти данных объемом 64x8 EEPROM бит, которая позволяет производить запись и чтение во время нормальной работы контроллера. Эта память не принадлежит области регистров ОЗУ. Доступ к ней осуществляется через два

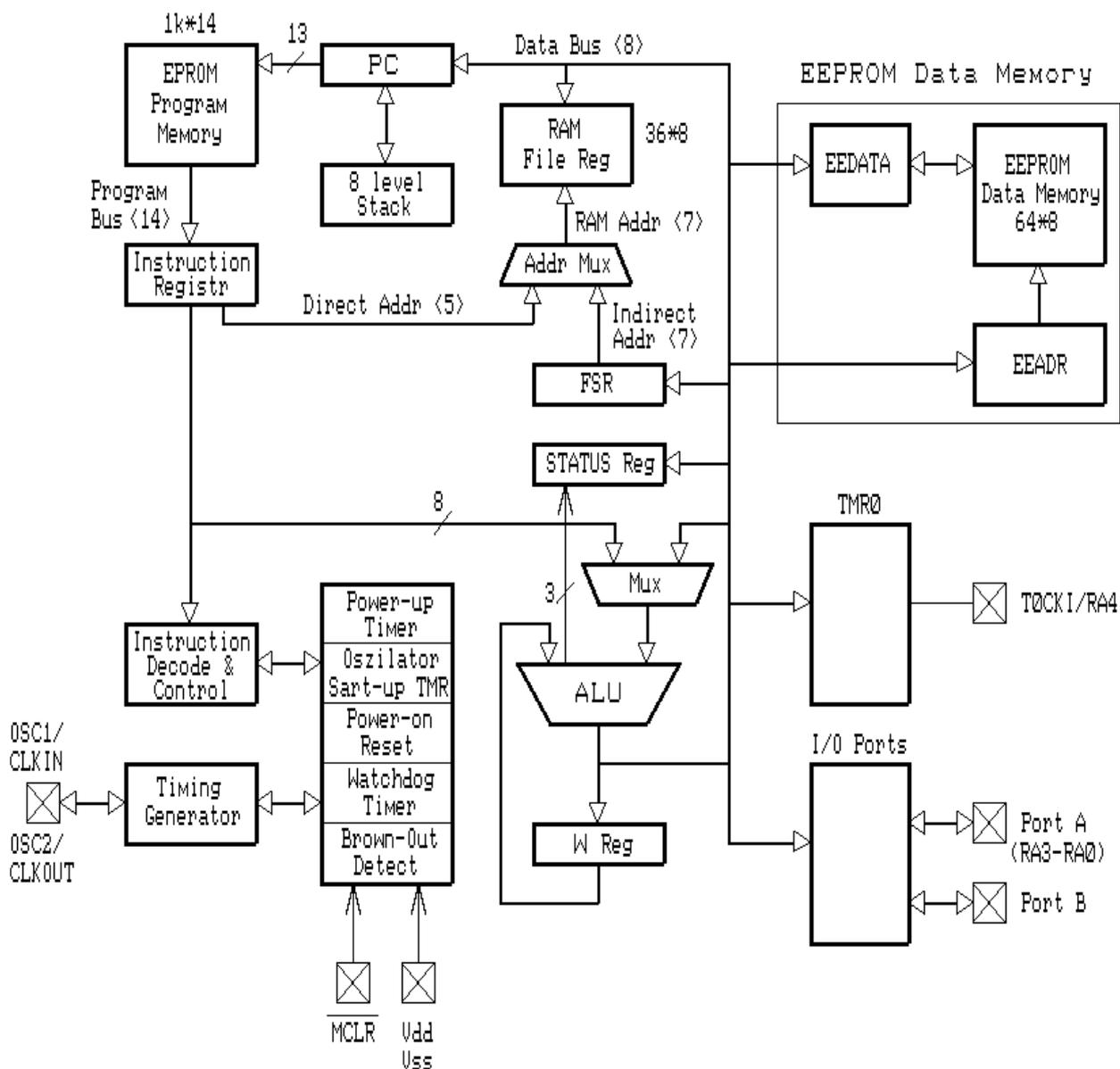


Рис.19 Структурная схема микроконтроллеров серии PIC16C84.

регистра специальных функций: EEDATA (адрес 08h), который содержит в себе восьмибитовые данные для чтения/записи, и EEADR (адрес 09h), который содержит в себе адрес текущей ячейки. Дополнительно имеется два управляющих регистра: EECON1 (адрес 88h) и EECON2 (адрес 89h). При записи байта в данную область памяти автоматически стирается предыдущее значение и записываются новые данные. Все эти операции производит встроенный автомат записи EEPROM. Содержимое ячеек этой памяти сохраняется при выключении питания.

Процесс чтения данных из памяти EEPROM начинается с записи требуемого адреса в регистр EEADR и установки бита RD в регистре EECON1 (бит 0) в единицу. Данные записываются в следующем командном цикле в регистр EEDATA.

Адрес	Bank 0	Bank 1	Адрес
00	INDF	INDF	80
01	TMR0	OPTION	81
02	PCL	PCL	82
03	STATUS	STATUS	83
04	FSR	FSR	84
05	PORTA	TRISA	85
06	PORTB	TRISB	86
08	EEDATA	EECON1	8A
09	EEADR	EECON2	8B
0A	PCLATH	PCLATH	8C
0B	INTCON	INTCON	8B
0C			8C
	GENERAL	Mapped	
	PURPOSE		
2F	REGISTER		AF

Рис. 20. Структура памяти данных микроконтроллеров серии PIC16C84.

При записи данных в память EEPROM сначала необходимо записать требуемый адрес в регистр EEADR и данные в регистр EEDATA. Затем выполняется специальная последовательность команд перед непосредственной записью:

```
movlw 55h
movwf EECON2
movlw AAh
movwf EECON2
```

Следующая команда устанавливает бит WR в регистре EECON1 (бит 1), после чего процесс записи начинается.

```
bsf EECON1,WR
```

Во время выполнения этой программы, все прерывания должны быть запрещены для точного выполнения временной диаграммы. Время записи - примерно 10 мс. В конце процесса записи бит WR регистра EECON1 автоматически обнуляется, а флаг завершения записи EEIF (запрос на прерывание) в этом же регистре EECON1 (бит 4), устанавливается.

Адрес	Имя	7	6	5	4	3	2	1	0	Power-On Reset	Other Reset
Bank0											
00h	INDF	Переключатель контекста								-----	-----
01h	TMR0	8-битный таймер/счетчик								xxxxxxxx	uuuuuuuu
02h	PCL	Младшие 8 бит счетчика команд								00000000	00000000
03h	STATUS	IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C	00011xxx	000??uuu
04h	FSR	Указатель косвенной адресации								xxxxxxxx	uuuuuuuu
05h	PORTA	-	-	-	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	---xxxxx	---uuuuu
06h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	xxxxxxxx	uuuuuuuu
07h											
08h	EEDATA	EEPROM регистр данных								xxxxxxxx	uuuuuuuu
09h	EEADR	EEPROM регистр адреса								xxxxxxxx	uuuuuuuu
0Ah	PCLATH	-	-	-	Старшие 5 бит сч.команд					-0-----	-0-----
0Bh	INTCON	GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000000x	0000000x
Bank1											
80h	INDF	Переключатель контекста								-----	-----
81h	OPTION	RBPU	INTE	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	11111111	11111111
82h	PCL	Младшие 8 бит счетчика команд								00000000	00000000
83h	STATUS	IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C	00011xxx	000??uuu
84h	FSR	Указатель косвенной адресации								xxxxxxxx	uuuuuuuu
85h	TRISA	-	-	-	TRA4	TRA3	TRA2	TRA1	TRA0	---11111	---11111
86h	TRISB	TRB7	TRB6	TRB5	TRB4	TRB3	TRB2	TRB1	TRB0	11111111	11111111
87h											
88h	EECON1	-	-	-	EEIF	WRER	WREN	WR	RD	---0x000	---0?000
89h	EECON2	EEPROM регистр управления								-----	-----
8Ah	PCLATH	-	-	-	Старшие 5 бит сч.команд					-0-----	-0-----
8Bh	INTCON	GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000000x	0000000x

Для предотвращения случайных записей в память данных предусмотрен специальный бит WREN в регистре EECON1 (бит 2). Рекомендуется держать

RD	0	Бит чтения (устанавливается программно, сбрасывается аппаратно) 0 - чтение закончено 1 - запускает цикл чтения
----	---	--

Программный счетчик в PIC16C84 имеет ширину 13 бит и способен адресовать 8Kx14 бит объема программной памяти. Однако, физически на кристалле имеется только 1Kx14 памяти (адреса от 0000h до 03FFh). Вектор сброса контроллера находится по адресу 0000h, а вектор прерывания - по адресу 0004h. Отличием организации памяти программ данного кристалла является наличие внутреннего автомата программирования EEPROM. Пользователь может программировать микросхему PIC16C84, используя только пять ножек: Vdd, Vss, MCLR/Vpp, RB6 (тактовая частота программирования), RB7 (вход/выход данных программирования). В режиме программирования на ножку MCLR подается напряжение программирования Vpp. Запись в программную память осуществляется побитно, последовательно с использованием только двух ножек RB6 (тактовая частота программирования) и RB7 (вход/выход данных программирования). PIC16C84 непригоден для применений, в которых часто модифицируется программа. EEPROM PIC16C84 рассчитан на ограниченное число циклов стирания/записи.