

Приложение к статье "Прецизионный вольтметр-генератор на микроконтроллере MSC1211" (начало в "Радио", 2008, № 3, с. 22—25)

П. РЕДЬКИН, г. Ульяновск

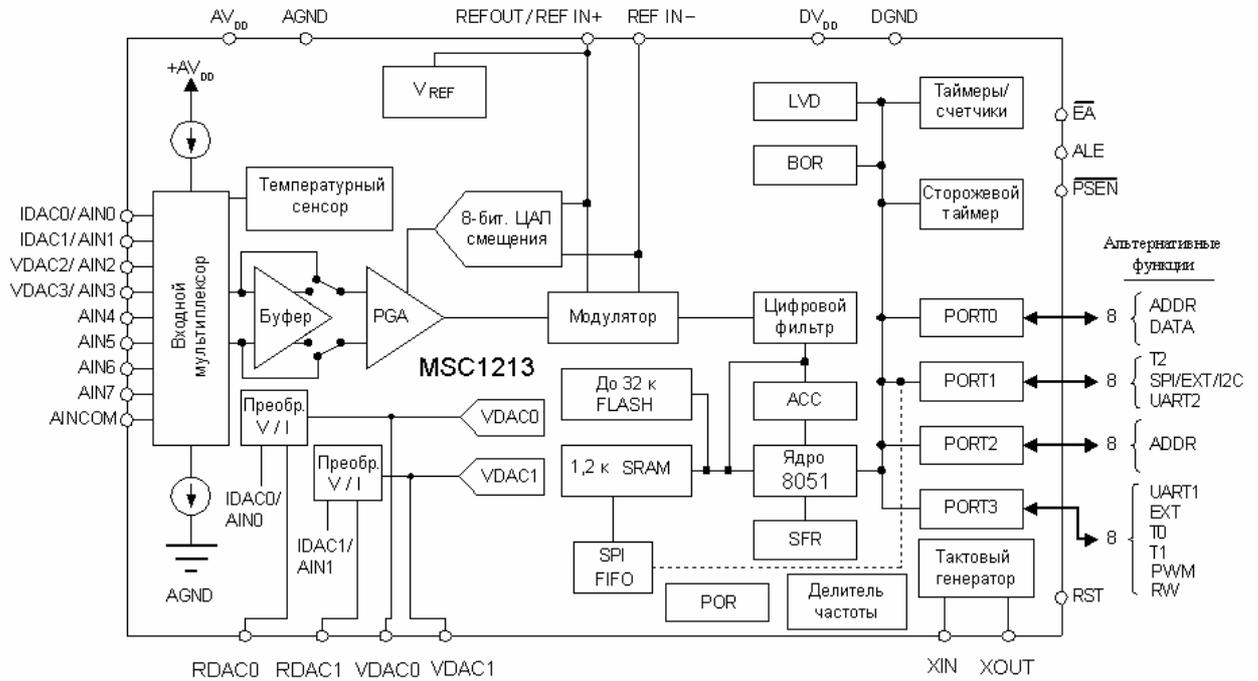


Рис. П.1. Структурная схема аналогового МК MSC1213

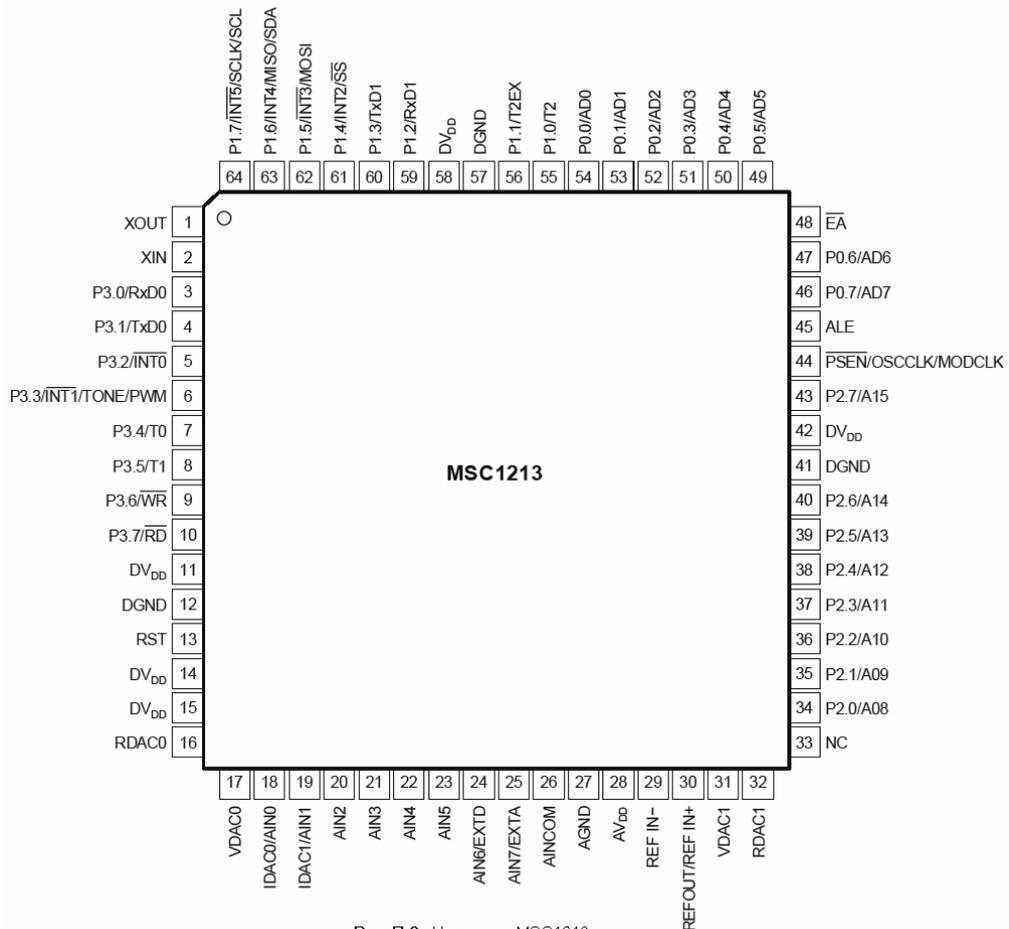


Рис. П.2. Цоколевка MSC1213

1. Процессорное ядро, организация памяти и система прерываний MSC12xx

Процессорное ядро МК семейства MSC12xx совместимо со стандартом 8051. Различие между ядрами MSC12xx и стандартным 8051-МК заключается только в производительности - у MSC12xx один командный цикл занимает 4, а не 12, как заложено в стандарте 8051, тактовых циклов. Темп счета встроенных таймеров/счетчиков (в режиме таймеров) у MSC12xx может программироваться как 12 или 4 тактовых циклов за командный цикл.

Все МК семейства MSC12xx имеют на кристалле следующие типы памяти:

- память регистров специального назначения (PCH), в соответствии со стандартом 8051 состоящая из 128 8-разрядных PCH;
- встроенная Flash-память программ/данных, используемая для хранения управляющей программы и данных приложения;
- встроенная регистровая (сверхоперативная) память, состоящая из 256 регистров общего назначения (POH).

Помимо этого МК подсемейства MSC121x дополнительно имеют расширенное 1024-байтовое СОЗУ (SRAM), а также обеспечивают возможность подключения внешней оперативной памяти и внешней памяти программ с общим объемом до 64к.

Кроме перечисленных типов памяти все устройства MSC12xx имеют в своем составе несколько десятков байт аппаратной памяти конфигурации, которая, в частности, включает в себя аппаратные регистры конфигурации. Память конфигурации физически расположена во Flash-памяти программ с адреса 8000h. Программе она доступна только для чтения. На **рис. П.3** приводится карта памяти устройств подсемейства MSC121x, состоящая из сегмента памяти программ и сегмента памяти данных.

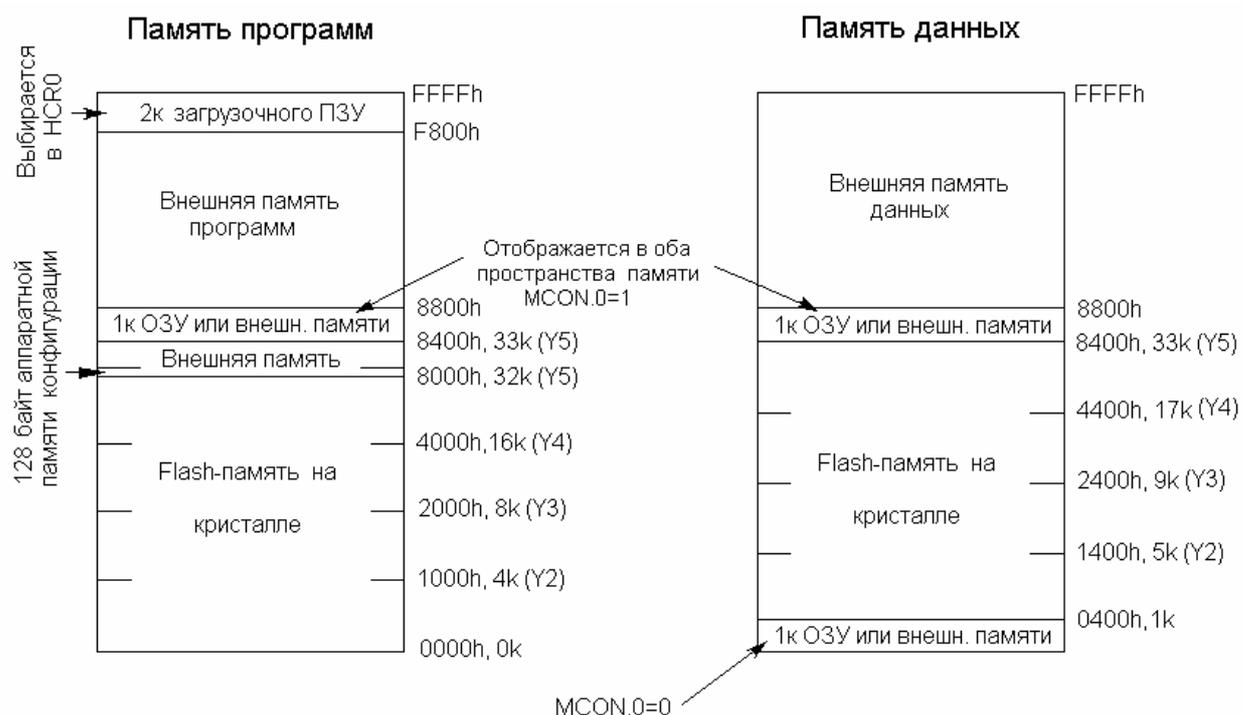


Рис. П.3

Каждый из сегментов представляет собой массив размером 64 Кбайт, адресуемый побайтно с 0000h до 0FFFFh. Сегменты могут накладываться друг на друга, так как обращение к ним в МК производится по-разному. Память программ выбирается в МК автоматически при выполнении программы, а для чтения областей программной памяти непосредственно (как данных) используется команда `MOVC`. Для обращения к памяти данных используются команды `MOVX` и `MOV`. В зависимости от значения разряда 0 РСН `MCON` область ОЗУ может отображаться в две различные области памяти данных (рис. П.3). В случае, если область ОЗУ отображается в память данных с адреса 8400h до адреса 8800h, то она одновременно отображается и в память программ по тем же адресам.

Вся наличная Flash-память в устройстве может быть сконфигурирована пользователем или только как память программ, или только как память данных, или как оба типа памяти в задаваемой программистом пропорции.

Устройства `MSC120x` имеют на кристалле 1к, а `MSC121x` - 2к кода загрузочного ПЗУ (ROM), который выполняется при начальном программировании Flash-памяти МК. Код загрузочного ПЗУ состоит из нескольких десятков служебных подпрограмм, к которым может обращаться и пользовательская программа при операциях с Flash-памятью и встроенными `USART`.

Карта всей регистровой памяти МК `MSC12xx` приведена на **рис. П.4**.

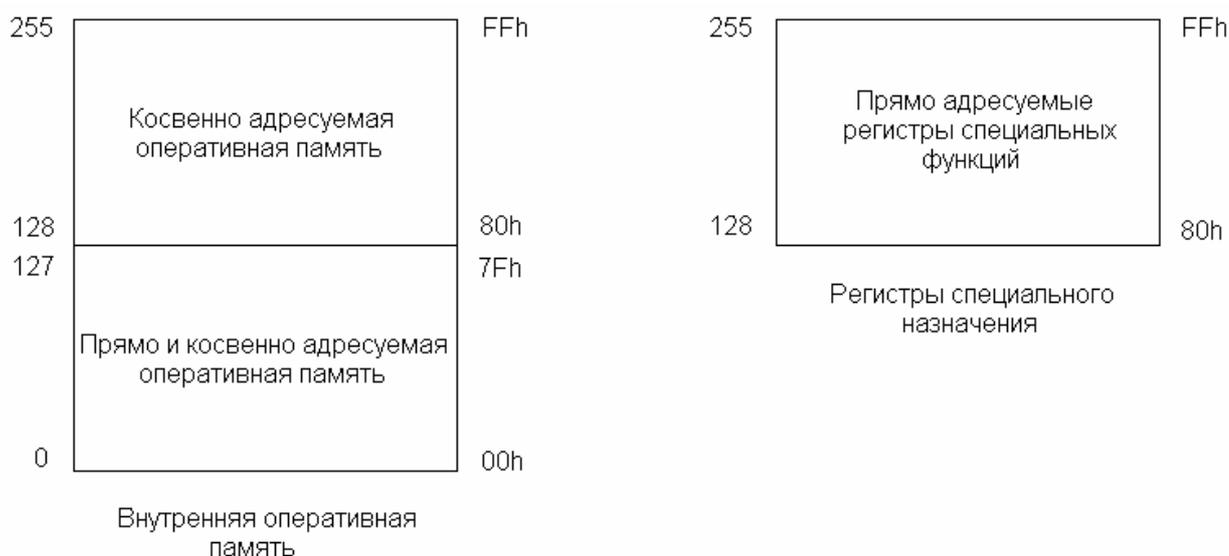


Рис. П.4

Она состоит из 256 РОН и 128 адресов РСН. При этом 128 старших РОН и 128 адресов РСН разделяют одно и то же пространство адресов от 80h до 0FFh, однако, к этим РОН программа может обращаться только при помощи косвенной адресации, а к РСН - только при помощи прямой. К РОН с адресами от 00h до 7Fh программа может обращаться при помощи и прямой, и косвенной адресации.

Типы РСН и их расположение в регистровой памяти MSC12xx соответствуют стандарту 8051, однако у MSC12xx имеется ряд дополнительных РСН, отсутствующих в этом стандарте, в связи с наличием на кристалле соответствующей нестандартной периферии.

Для получения более подробной информации о программной модели 8051-совместимых МК рекомендуется обратиться к [1, 2].

В МК семейства MSC12xx имеется от 20 до 21 источника прерываний. Среди них есть внутренние, например, генерируемые по переполнению таймеров/счетчиков, и внешние, например, генерируемые при поступлении на соответствующие входы МК внешних активных уровней или перепадов.

Все прерывания MSC12xx производитель делит на пять типов:

- прерывания от последовательных портов (USART) 0 и 1,
- внешние прерывания 0, 1, 2, 3, 4, 5,
- прерывания от таймеров/счетчиков 0, 1, 2,
- прерывание от сторожевого таймера,
- вспомогательные прерывания.

В МК MSC12xx прерывания могут иметь три уровня приоритета: наивысший, высокий и низкий. Уровни приоритета конкретных прерываний в некоторых пределах могут выбираться программно. Наивысший приоритет имеют только вспомогательные прерывания с общим адресом вектора, равным 33h.

К вспомогательным относятся следующие прерывания:

- прерывание при пониженном напряжении питания цифровой части DVdd или от аппаратной точки останова,
- прерывание при пониженном напряжении питания аналоговой части AVdd,
- прерывание при приеме через порт SPI/ I²C,
- прерывание при передаче через порт SPI,
- прерывание от специализированного "миллисекундного" таймера,
- прерывание от АЦП,
- прерывание от встроенного аппаратного сумматора,
- специализированное "секундное" прерывание.

Для всех других прерываний может быть программно назначен высокий или низкий уровень приоритета. Приоритет среди вспомогательных прерываний аппаратно не задается. Каждый из источников обычных прерываний MSC12xx может быть разрешен индивидуально, кроме того, все источники могут быть разрешены глобально. То же самое касается и всех вспомогательных прерываний, имеющих отдельные индивидуальные и глобальные разрешения. При переходе к обслуживанию некоторых прерываний автоматически сбрасываются вызвавшие их флаги.

Пробуждение МК из "спящего" режима (IDLE) может быть инициировано всеми источниками вспомогательных и тремя источниками прерываний обычных.

2. Цифровая периферия MSC12xx

МК подсемейства MSC120x имеют встроенный модуль ФАПЧ. При наличии ФАПЧ МК может синхронизироваться от внутреннего генератора с частотой 13,4 МГц или 25,6 МГц (режим IOM), внешних синхроимпульсов (режим ECM) и от системы ФАПЧ (режим PLL). При отсутствии ФАПЧ (подсемейство MSC121x) возможна синхронизация только в режиме ECM. В этом режиме МК может тактироваться от внешнего кварцевого или керамического резонатора или от внешнего генератора. В режиме PLL МК может использовать для тактирования внешний кварцевый резонатор на частоту 32768 Гц, из которой ФАПЧ синтезирует заданную тактовую частоту ядра.

Линии ввода/вывода общего назначения МК MSC12xx сгруппированы в четыре порта, каждому из которых соответствует свой PCH: P0, P1, P2, P3. Кроме этого, каждой линии сопоставлена пара специальных разрядов из другого PCH. В зависимости от значения этих разрядов каждая линия P_{x.x} может быть программно сконфигурирована как выход стандарта 8051, выход CMOS, выход с открытым стоком или вход. Линии ввода/вывода MSC12xx в режиме выхода CMOS обеспечивают весьма высокую нагрузочную способность: вытекающий/втекающий ток одной линии может достигать 100 мА, а суммарный выходной ток всех выводов может достигать 200 мА. Кроме функций

ввода/вывода общего назначения, большинство выводов MSC12xx имеет альтернативные функции, выбираемые программно (см. рис. П.1, П.2).

В дополнение к встроенным таймерам/счетчикам, соответствующим стандарту 8051, все МК MSC12xx имеют на кристалле еще два специфических системных таймера, каждый из которых способен генерировать вспомогательное прерывание:

- "микросекундный" таймер - используется для формирования базовых интервалов для записи во Flash-память, а также во встроенном модуле ШИМ/тонального генератора;

- "миллисекундный" таймер - используется для формирования базовых интервалов для стирания Flash-памяти, для генерации миллисекундных прерываний, для формирования базовых интервалов при генерации секундных прерываний, а также в модуле сторожевого таймера.

Помимо этого в MSC12xx аппаратно генерируются последовательности синхроимпульсов с периодами ($n \cdot 100$) мс ("стотысячная") и ($m \cdot 1$) с ("секундная"), где коэффициенты n и m задаются программно.

Встроенные последовательные порты USART0/1 MSC12xx поддерживают работу на стандартных скоростях обмена до 57,6 Кбит/с.

Входящий в состав МК подсемейства MSC121x аппаратный модуль широтно-импульсного модулятора (ШИМ) может работать в режиме ШИМ или в режиме тонального генератора. В режиме ШИМ он генерирует ШИМ-сигнал с частотой до половины тактовой частоты МК. В режиме тонального генератора на выходе модуля могут быть сгенерированы прямоугольные импульсы типа "меандр" или тональный сигнал со ступенчатой структурой и частотой до половины тактовой частоты МК.

МК семейства MSC12xx имеют встроенный интерфейс SPI, поддерживающий режимы ведущего и ведомого, полнодуплексный обмен данными, две полярности синхросигнала, две фазы синхросигнала, два порядка передачи разрядов в байте и сигнал выбора ведомого. Модуль SPI устройств MSC121x, кроме того, имеет встроенный буфер FIFO (кроме MSC1210), обеспечивающий режим прямого доступа к памяти (DMA). Максимальная скорость передачи данных через SPI соответствует половине тактовой частоты МК.

Устройства MSC12xx поддерживают обмен по двухпроводному интерфейсу, совместимому со стандартом I²C. При этом интерфейс I²C разделяет с интерфейсом SPI одни и те же выводы МК и одну и ту же аппаратную логику, вследствие чего они не могут функционировать одновременно. Интерфейс I²C MSC12xx обеспечивает операции ведущего и ведомого I²C, стандартный и быстрый режимы передачи, а также распознавание общего вызова на шине I²C.

3. Аналоговая периферия и АЦП MSC12xx

В составе МК подсемейства MSC120x имеется 8-разрядный одноканальный модуль ЦАП с токовым выходом, а в составе устройств MSC1211/1212 - 16-разрядный 4-канальный модуль ЦАП, у которого два канала имеют выход по напряжению, а другие два могут программно конфигурироваться (токовый выход/выход по напряжению). В устройствах MSC1213/1214 имеется 16-разрядный 2-канальный модуль ЦАП с программно конфигурируемыми каналами.

Выходной ток 8-разрядного ЦАП выводится через ножку IDAC устройства и может быть использован в целевой системе в качестве тока возбуждения внешних резистивных датчиков, а также для генерации внешнего опорного напряжения АЦП. В качестве источника опорного напряжения 16-разрядного модуля ЦАП с выходом по напряжению может быть использовано напряжение питания аналоговой части МК (AVdd) или напряжение встроенного/внешнего ИОН.

МК семейства MSC12xx содержат встроенный программируемый детектор пониженного напряжения питания аналоговой и цифровой части.

Все МК семейства MSC12xx, кроме MSC1202, имеют модуль АЦП разрядностью 24 разряда. (Разрядность АЦП MSC1202 - 16 разряд). АЦП состоит из входного мультиплексора (MUX), дополнительного буфера (BUF), усилителя с программируемым коэффициентом усиления (PGA), ЦАП смещения, дельта-сигма модулятора, программируемого цифрового фильтра, блоков калибровки усиления и смещения, аппаратного сумматора и еще нескольких аналоговых и цифровых узлов.

Функциональная схема модуля АЦП MSC12xx с указанием РСН обслуживания его узлов показана на **рис. П.5**.

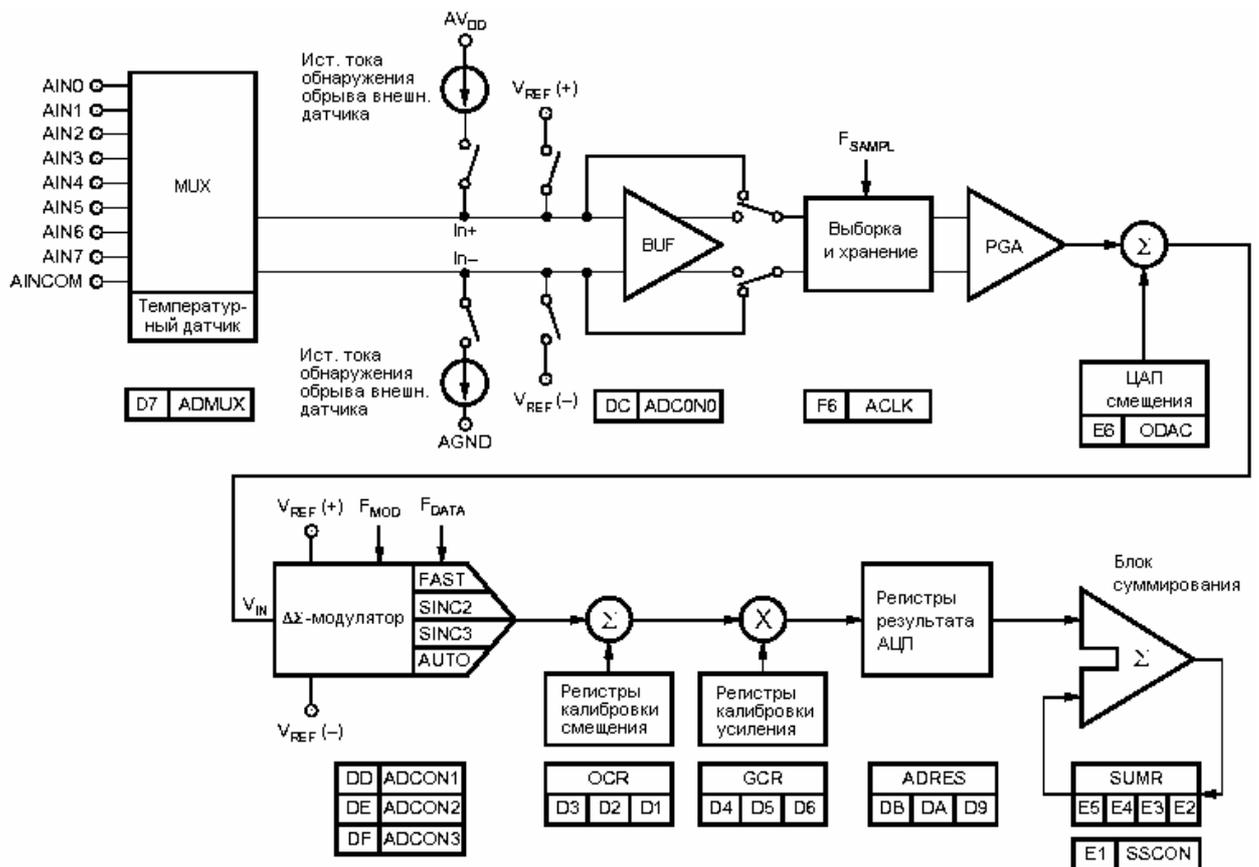


Рис. П.5

Входной мультиплексор позволяет программно конфигурировать каждый аналоговый вход как положительный или отрицательный в составе дифференциальной пары и произвольно группировать аналоговые входы в дифференциальные пары. В МК MSC1200, MSC1210—MSC1214 девять аналоговых входов, которые могут быть сгруппированы в четыре дифференциальных пары в любых комбинациях. В МК 1201 и MSC1202 семь аналоговых входов, которые могут быть сгруппированы в три дифференциальных пары.

К входам дополнительного буфера АЦП программно может быть подключен встроенный температурный датчик. Дифференциальное напряжение датчика линейно зависит от температуры кристалла МК в интервале от $-40...85$ °С.

Наличие в АЦП входного буфера позволяет минимизировать влияние входного сопротивления АЦП на источник измеряемого напряжения, что дает возможность производить измерения сигналов источников с высоким выходным сопротивлением. Типичное значение входного импеданса MSC12xx без буфера составляет 5 МОм (определяется заданной частотой выборки АЦП), а с буфером - 10 ГОм.

У программируемого усилителя PGA коэффициент усиления по может быть программно выбран из набора значений: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128. Применение PGA реально улучшает эффективное разрешение АЦП (ENOB) при измерении малых напряжений. При PGA=1 для интервала входных напряжений $\pm 2,5$ В производителем заявлено разрешение 1,5 мкВ. При PGA=128 для интервала входных напряжений ± 19 мВ

заявлено разрешение 75 нВ. Напряжение на входе PGA может быть смещено на величину, достигающую половины значения полного интервала входных напряжений, путем использования встроенного модуля ЦАП-смещения. Величина и знак смещения задаются программно.

Для компенсации ошибок преобразования в АЦП предусмотрены режимы калибровок. Калибровки позволяют скомпенсировать ошибки смещения и усиления, обусловленные влиянием внутренних цепей АЦП (автокалибровки) и внешних цепей целевой системы (системные калибровки). При проведении автокалибровки смещения дифференциальные входы АЦП внутри МК замыкаются между собой. При проведении автокалибровки усиления на дифференциальные входы АЦП внутри устройства подается напряжение максимума шкалы (встроенного ИОН). Перед проведением любой из системных калибровок необходимо вручную подать на выбранные дифференциальные входы АЦП соответствующие уровни напряжения системного нуля и системного верхнего предела шкалы.

Для цифрового фильтра на выходе модулятора АЦП может программно задаваться характеристика вида "sinc²", "sinc³" или характеристика так называемого "быстрого преобразования". Параметры цифрового фильтра (области режекции) задаются программно. Наличие цифрового фильтра позволяет значительно ослабить влияние на результат АЦП шумов и помех в постоянном или медленно меняющемся измеряемом напряжении.

АЦП МК MSC12xx может использовать как встроенный, так и внешний ИОН. Для встроенного ИОН может быть задано напряжение 1,25 В (при AVdd в интервале 2,7...5,25 В) и 2,5 В (при AVdd в интервале 4,5...5,25 В).

Максимально высокую эффективную разрешающую способность модуль АЦП MSC12xx обеспечивает только при очень малой производительности (**рис. П.6**).

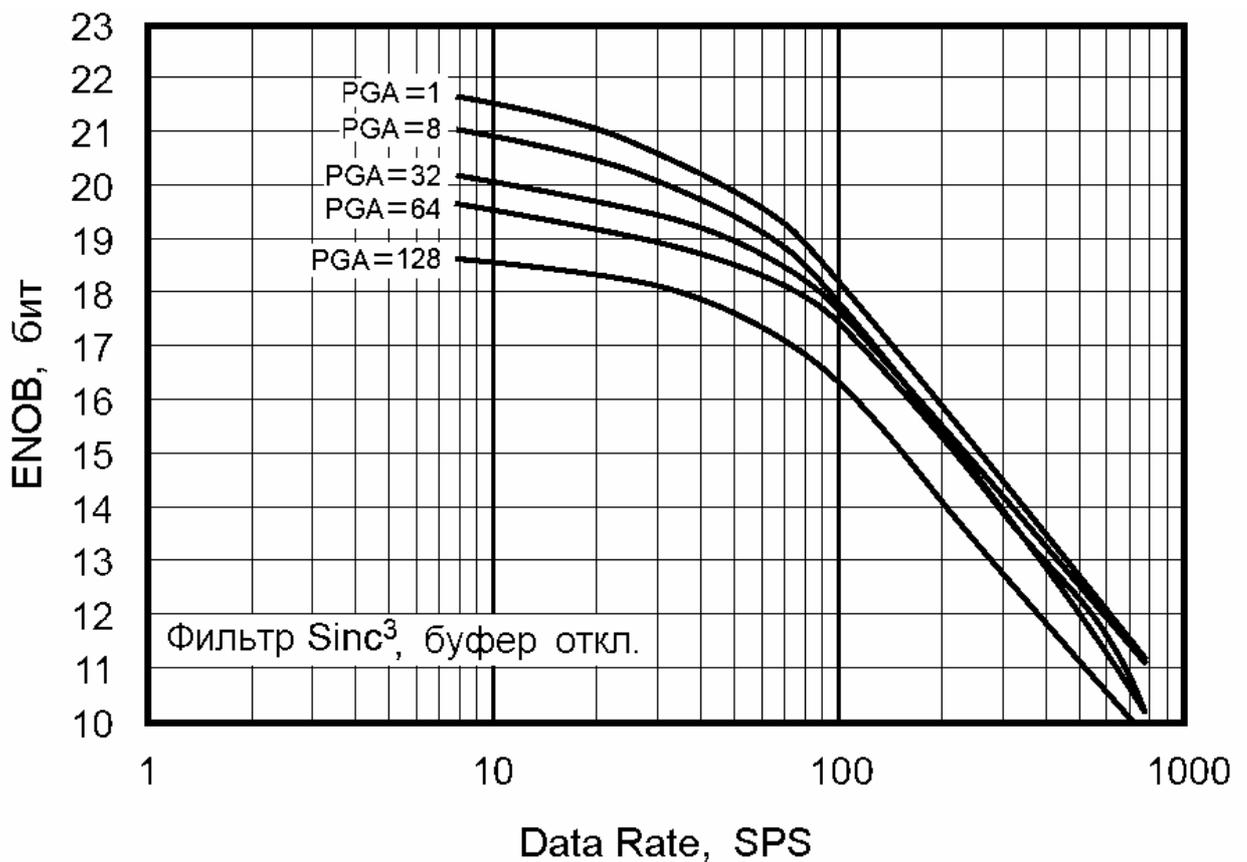


Рис. П.6

Так, для достижения ENOB свыше 20 разрядов частота обновления выходных данных АЦП не должна превышать 50 Гц, что соответствует производительности АЦП 50 SPS. Возможно задание частоты обновления выходных данных до сотен Гц, однако, как видно из рисунка, эффективное разрешение при этом составит всего 10—15 разрядов.

В составе АЦП МК MSC12xx имеется 32-разрядный аппаратный сумматор, который может быть использован как для обработки результатов АЦП, так и для посторонних вычислений. Сумматор состоит из 32-разрядного регистра суммирования/сдвига, составленного из четырех РСН. При записи какого-либо значения в эти регистры производится суммирование в заданном режиме работы сумматора. Сумматор может функционировать в режимах "ручного" суммирования (накопления) значений, "ручного" вычитания значений, автоматического суммирования (накопления) результатов АЦП, "ручного" деления содержимого на значение, автоматического суммирования результатов АЦП с последующим автоматическим делением накопленной суммы на значение.

4. Конфигурирование МК

Пользовательское конфигурирование кристалла MSC12xx производится на этапе программирования устройства с помощью нескольких аппаратных регистров конфигурации (HCRx), размещенных в области памяти аппаратной конфигурации (рис.

П.3). В конфигурационных регистрах может быть задана защита Flash-памяти от несанкционированного чтения, разрешение ее внутрисистемного программирования, разрешение использования в приложении загрузочного ПЗУ, долевое распределение Flash-памяти на память данных и память программ, разрешение сброса от сторожевого таймера, выбор порога детектора провалов напряжений питания, разрешение сброса от этого детектора, а также выбор линий портов 0, 1, 2 в качестве линий ввода/вывода общего назначения или интерфейса обмена с внешней памятью.

В устройствах MSC121x имеется также встроенный модуль двух точек останова, который может генерировать прерывание, когда производится обращение к заданному в качестве точки останова адресу памяти программ или данных.

5. Разработка-отладка приложений на базе MSC12xx

Для создания проектов на базе МК MSC12xx автор использовал работающую в ОС Windows интегрированную среду разработки-отладки (IDE) RIDE фирмы Raisonance. Бесплатная версия этой среды Eval51 с ограничением объема компилируемого пользовательского кода доступна на Интернет-странице <<http://raisonance.com/download/index.php>>. RIDE объединяет в единую оболочку с графическим интерфейсом менеджер библиотек (LIB-51), редактор исходных текстов, программный отладчик-симулятор, компилятор ANSI C (RC-51), ассемблер (MA-51) и компоновщик (LX-51). Вид главного окна RIDE показан на **рис. П.7**.



Рис. П.7

В качестве исходных кодов (source) RIDE может использовать программные коды, написанные на ассемблере (расширение «.a51») или на С (расширение «.c»). Файл исходного кода транслируется, если это ассемблерный файл, или компилируется, если это файл на С. Результатом трансляции/компиляции является объектный файл (расширение «.obj»). Затем производится компоновка всех файлов проекта и создание в результате абсолютного объектного файла (расширение «.aof»). Из этого файла RIDE создает файл простого кода «прошивки» МК (расширение «.hex»). При создании проекта RIDE также создает файл настройки конфигурации проекта (расширение «.prj»).

Возможен следующий порядок создания проекта в RIDE. В главном окне RIDE следует выбрать в опции меню «Project» подопцию «New...», после чего откроется окно «Project», показанное на **рис. П.8**.

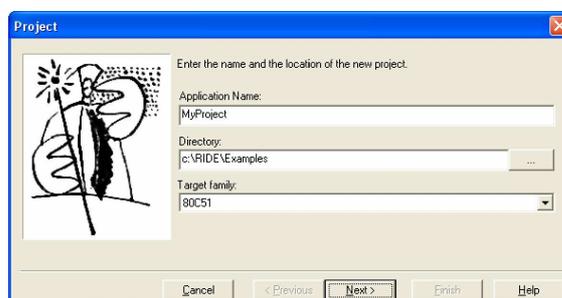


Рис. П.8.

В поле «Application Name:» этого окна следует задать имя создаваемого проекта, а в поле «Directory:» - указать путь каталогу проекта, который следует предварительно создать. Затем следует щелкнуть левой клавишей «мыши» на кнопке «Next >», после чего откроется окно «Target», в котором необходимо выбрать требуемый МК, например, MSC1211Y5, пометив его курсором, как показано на **рис. П.9**. После этого следует щелкнуть левой клавишей «мыши» на кнопке «Finish».

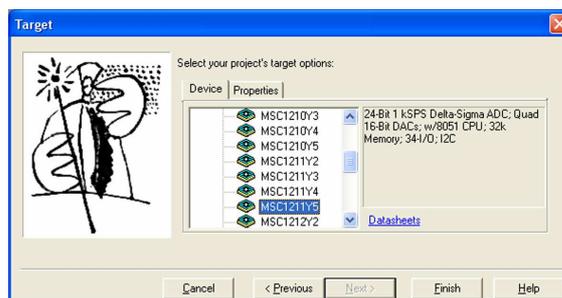


Рис. П.9.

В каталоге проекта необходимо создать файл источника (исходного кода) проекта. Для этого сначала следует выбрать в опции меню «File» подопцию «New», после чего откроется меню, показанное на **рис. П.10**, в котором следует выбрать тип создаваемого файла исходного кода: ассемблерный файл или файл на С. В открывшемся затем окне редактора файла untitled с расширением соответственно «.a51» или «.c» можно написать файл исходного кода средствами редактора или выгрузить в это окно содержимое

программного буфера.

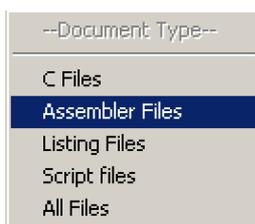


Рис. П.10

Затем созданный файл сохраняется в директории проекта. После этого необходимо в опции меню «Project» выбрать подопцию «Add node Source/Application». В появившемся дереве файлов и каталогов следует выбрать ранее созданный исходный файл и щелкнуть левой клавишей «мыши» на кнопке «Открыть». При этом в окне дерева проекта RIDE появиться заданный файл источника с указанием в квадратных скобках инструментальной программы его обработки, например, «vm_gen.a51 [MA51]» (рис. П.11).

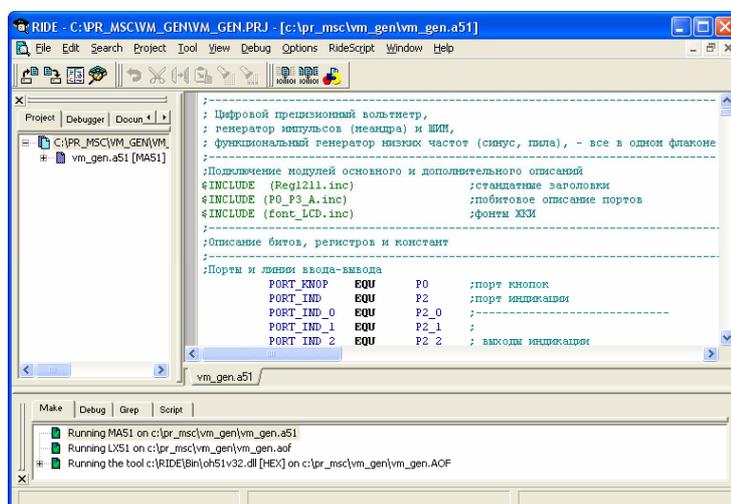


Рис. П.11.

После создания проекта его следует оттранслировать/откомпилировать, выбрав в опции меню «Project» подопцию «Build all». После завершения трансляции в окне «Make» в нижней части экрана появятся сообщения об успешном создании hex-файла и/или об ошибках и замечаниях, обнаруженных в ходе трансляции. Для автоматического перехода курсора на обнаруженную транслятором/компилятором ошибку в исходном коде следует дважды щелкнуть левой клавишей «мыши» на сообщении об этой ошибке.