

Прецизионные системы сбора данных семейства MSC12xx фирмы Texas Instruments

(часть 4)

Павел Редькин (г. Ульяновск)

Автор завершает описание микросхем семейства MSC12xx. В этой части представлена информация о работе с демонстрационными программами обслуживания аналого-цифровых преобразователей, для которых в качестве первичного измерителя выступает устройство MSC12xx, а в качестве устройства отображения, обработки результатов и управления – персональный компьютер. Кроме того, приведена практическая конструкция на базе устройства MSC12xx – цифровой прецизионный вольтметр; рассказано о построении его управляющей программы и о методике калибровок и измерений

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ АЦП MSC12xx

Как уже упоминалось, многие управляющие программы для MSC12xx, предлагаемые производителем, в качестве интерфейса ввода/вывода требуют использования компьютерной терминальной программы или иной компьютерной программы поддержки с условием постоянного подключения системы к компьютеру через встроенный порт USART. К таким программным продуктам можно отнести демонстрационные программы обслуживания АЦП MSC12xx: MSC12xx EVM Demo и Texas Instruments MSC1210 ADC Demo Program. Они свободно распространяются TI [1] и входят в состав набора программного обеспечения разработки/отладки отладочных комплектов MSC12xxEVM. Каждый из этих продуктов включает в себя компьютерную программу с графическим интерфейсом поддержки обмена отладочной платой с ПЭВМ, а также встроенную управляющую программу (hex-файл прошивки), загружаемую во Flash-память микроконтроллера MSC12xx отладочной платы. Каждая из программ (MSC12xx EVM Demo и Texas Instruments MSC1210 ADC Demo Program) позволяет на базе отладочной платы MSC12xxEVM построить прецизионный цифровой вольтметр с широким набором настроек его параметров, а также режи-

мов и форматов отображения/обработки результатов измерений.

Программа Texas Instruments MSC1210 ADC Demo Program при установке создаёт на жёстком диске компьютера каталог MSC1210_ADC_Demo с одноимённым исполняемым файлом в нём, а программа MSC12xx EVM Demo – каталог Texas Instruments, содержащий исполняемый файл MSC12xx Demo.exe. Обе эти программы используют один и тот же файл прошивки Flash-памяти микроконтроллера – MSC1210_ADC_Demo.hex. Перед запуском любого из указанных исполняемых файлов необходимо подключить отладочную плату MSC12xxEVM через разъём XR6 UART0 (см. рис. 16) к COM-порту компьютера с помощью стандартного кабеля RS-232 и включить питание платы. При этом DIP-переключатели SA1, SA2 (рис. 16) в цепях обеспечения сброса микроконтроллера и загрузки его встроенной Flash-памяти с помощью сигналов DTR, RTS интерфейса RS-232 должны быть замкнуты.

После запуска исполняемого файла программа начнёт поиск подключённой к ПЭВМ отладочной платы путём опроса всех имеющихся COM-портов компьютера. В случае обнаружения подключённой платы программа начнёт загрузку во Flash-память микроконтроллера файла MSC1210_ADC_Demo.hex с жёсткого диска ПЭВМ. Процесс за-

грузки будет графически отображаться в нижней части окон программ MSC12xx EVM Demo и Texas Instruments MSC1210 ADC Demo Program. При этом программа самостоятельно определит значение тактовой частоты микроконтроллера отладочной платы и отобразит это значение в поле Clock Frequency своего окна. После завершения загрузки программа произведёт сброс микроконтроллера отладочной платы и сделает в своём главном окне графические кнопки RESET и Run ADC активными. Активными также станут кнопки настроек в полях ADC Setting, Input Channels, Display и другие, с помощью которых можно осуществлять следующие манипуляции:

- задавать параметры и режимы встроенного АЦП микроконтроллера,
- задавать параметры и режимы программируемого усилителя, цифрового фильтра, ЦАП смещения, входного буфера и других вспомогательных аналоговых узлов,
- выбирать активные входы АЦП,
- устанавливать (выбирать) величину опорного напряжения,
- производить калибровки,
- задавать режим усреднения результатов и т.д.

Когда встроенное АЦП MSC12xx не производит преобразования, все эти настройки по мере их изменения пользователем в окне программы передаются в отладочную плату из компьютера через COM-порт и записываются в соответствующие PCN (регистры специального назначения) микроконтроллера. Дополнительно программа позволяет выбирать единицы (вольты или дискретности АЦП) и формат (десятичный или шестнадцатеричный) представления результатов преобразования, объём графически отображаемой выборки результатов преобразований, пара-

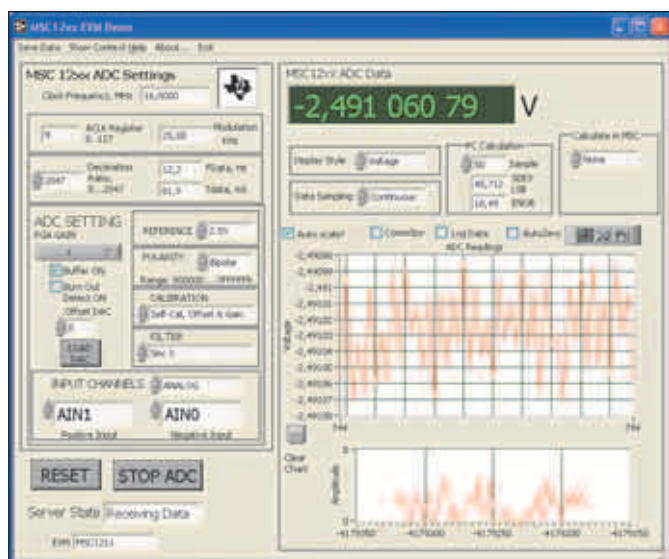


Рис. 19. Процесс осуществления преобразований в отладочной плате совместно с MSC12xx EVM Demo

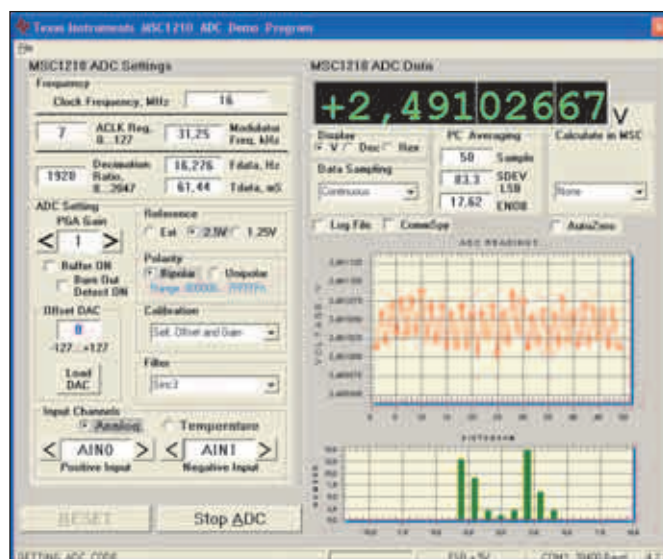


Рис. 20. Процесс осуществления преобразований в отладочной плате совместно с MSC1210 ADC Demo Program

метры, строящиеся по этой выборке гистограммы и т.д.

После щелчка левой кнопкой мыши на кнопке Run ADC встроенное АЦП микроконтроллера начинает выполнять преобразования, результаты которых непрерывно передаются из отладочной платы в компьютер и отображаются в поле MSC1210 ADC Data (MSC12xx ADC Data) окна программы. Кроме того, в соответствующих полях окна графически отображается выборка из заданного количества измерений и построенная по этой выборке гистограмма. Процесс работы программ MSC12xx EVM Demo и Texas Instruments MSC1210 ADC Demo Program совместно с отладочной платой иллюстрируется рис. 19 и 20 соответственно. Для изменения настроек АЦП или аналоговой периферии необходимо сначала остановить преобразования с помощью кнопки Stop ADC.

Экспериментируя с программами MSC12xx EVM Demo и Texas Instruments MSC1210 ADC Demo Program, можно легко подобрать оптимальные параметры АЦП и аналоговой периферии микроконтроллера под конкретные условия (входное измеряемое напряжение, требуемые точность и эффективное разрешение преобразования и т.д.), с тем чтобы затем установить найденную комбинацию параметров в конечной целевой пользовательской системе с MSC12xx. Кроме того, как уже отмечалось, каждую из этих программ совместно с платой удобно использовать в качестве прецизионного цифрового вольтметра.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ НА БАЗЕ MSC12xx

В заключение внимание читателей предлагается целевое пользовательское устройство, спроектированное на базе микросхемы MSC1211Y5. Это прецизионный цифровой вольтметр с индикацией результатов измерений на встроенном ЖКИ. Помимо «штатных» калибровок, имеющихся в составе MSC1211 и реализованных в пользовательском интерфейсе вольтметра, в устройстве обеспечена возможность дополнительной программной калибровки с сохранением её результатов во встроенной Flash-памяти данных. При разработке этого пользовательского устройства были поставлены следующие основные задачи:

- достижение максимально возможных для используемой аппаратной платформы точности и разрешающей способности измерений в выбранном диапазоне входных сигналов;
- реализация всего устройства на одной микросхеме;
- осуществление калибровочных операций в устройстве только с помощью цифрового пользовательского интерфейса (кнопки + ЖКИ) без проведения каких-либо аналоговых регулировок, подстроек и т.п. (за исключением аналоговой подстройки переменным резистором контрастности изображения ЖКИ).

Предложенный вариант цифрового вольтметра интересен прежде всего тем, что обеспечивает достаточно хорошие характеристики при ми-

нимальных аппаратных затратах: требуется всего одна микросхема и можно измерять микровольты! Традиционный подход к построению аналогового устройства предполагает использование по меньшей мере трёх микросхем: прецизионного ИОН, прецизионного АЦП и управляющего микроконтроллера.

Принципиальная схема вольтметра приведена на рис. 21. Она построена на базе отладочной платы MSC12xxEVM (см. рис. 16). Разъём XR2, адаптер уровней интерфейса RS-232 DD2 с элементами его «обвязки», а также супервизор перехода в режим программирования DD4 служат только для загрузки управляющей программы во встроенную Flash-память DD1 MSC1211Y5. После программирования Flash-памяти эти элементы из схемы можно удалить, оставив выводы DD1 P3.0/RxD0, P3.1/TxD0, PSEN/OSCCCLK/MODCLK неподключенными. При программировании перед запуском программы-загрузчика Flash-памяти необходимо однократно нажать на кнопку SB2 LOAD.

Для дополнительного сглаживания шумов во входном измеряемом напряжении и улучшения эффективной разрешающей способности преобразований используются фильтрующие цепочки R1, C5 и R2, C6. Эти элементы должны иметь малые размеры, располагаться по возможности ближе к корпусу микросхемы DD1. Кроме того, их целесообразно экранировать. Проводники, идущие от резисторов R1 и R2 к щупам разъёма XP1 Уизм, также должны быть заключены в эк-

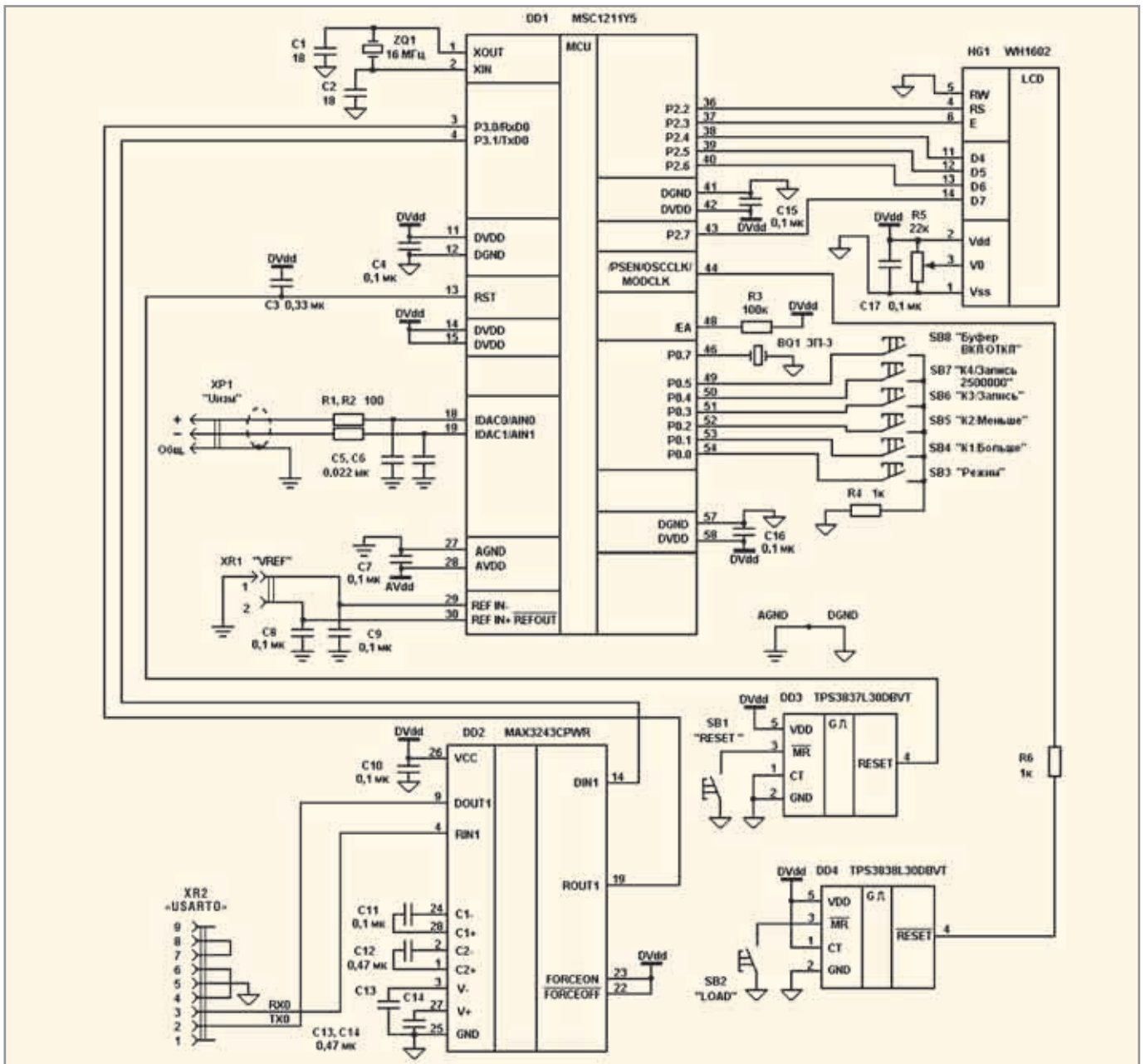


Рис. 21. Принципиальная схема цифрового прецизионного вольтметра на базе MSC1211

ран, соединённый с аналоговой «землёй» устройства, и иметь по возможности минимальную длину.

Пьезоэлектрический излучатель BQ1 предназначен для генерации звуковых сигналов пользовательского интерфейса вольтметра: «озвучивания» нажатий на клавиши, а также успешного завершения записи во встроенную в микросхему DD1 Flash-память данных. Звуковые сигналы генерируются программно, без использования встроенного модуля ШИМ/тонального генератора микроконтроллера.

Управление вольтметром осуществляется с помощью кнопок SB3 – SB8, которые в комментариях к исходному тексту управляющей программы будут именоваться для краткости кнопками 0 – 5 соответственно.

Встроенная управляющая программа вольтметра позволяет производить циклические измерения (преобразования) и все виды заложенных производителем в MSC1211 калибровок для модуля АЦП MSC1211 в выбранном дифференциальном канале (AIN0+ – AIN1–), в выбранном диапазоне входных сигналов (от 0 до напряжения встроенного ИОН), униполярном режиме и при частоте обновления выходных данных 2 Гц с использованием в качестве ИОН АЦП встроенного ИОН с выбранным напряжением 2,5 В. Кроме того, в программе задана характеристика цифрового фильтра третьего порядка вида sinc3. Программное управление входным буфером АЦП (его включение и отключение) реализовано в составе пользовательского

интерфейса вольтметра. При подключении отрицательного входа дифференциальной пары AIN1 к аналоговой «земле» устройство может производить измерения входного напряжения, подаваемого на вход AIN0, относительно общего провода.

Все перечисленные параметры настройки модуля АЦП могут быть легко изменены путём коррекции байтовых констант инициализации в исходном тексте управляющей программы, о чём будет подробнее сказано ниже.

Результат каждого преобразования пересчитывается программой в милливольты и индицируется в верхней строке ЖКИ в десятичном представлении в формате X,XXXXXX В, т.е. в целых и дробных вольтах с разрешением 1 мкВ. С учётом того, что в диа-

пазоне 2,5 В АЦП MSC12xx обеспечивает значение уровня собственных шумов около 1,5 мкВ [2], лучшее разрешение при индикации результата использовать не имеет смысла.

Вольтметр имеет три режима работы: «измерение» (режим 0), «калибровка 1» (режим 1) и «калибровка 2» (режим 2). Измерения и индикация входного напряжения производятся в каждом из этих режимов, однако в двух последних дополнительно доступны различные калибровочные операции (о них будет рассказано ниже). Переключение между режимами осуществляется по кольцу с помощью кнопки SB3 «Режим». Номер текущего режима (0, 1 или 2) отображается с левого края нижней строки ЖКИ. Кроме того, в любом режиме можно включить/отключить входной аналоговый буфер АЦП с помощью кнопки SB8 «Буфер ВКЛ/ОТКЛ». Включенное состояние буфера индицируется символом «В» с правого края нижней строки ЖКИ.

В режиме «измерение», в который вольтметр переходит после сброса по умолчанию, никакие калибровки не доступны, устройство только производит циклические измерения входного напряжения и индицирует измеренное значение на ЖКИ в указанном выше формате.

В режиме «калибровка 1», помимо измерений, при нажатии на кнопку SB4 «К1/Больше» происходит автокалибровка смещения АЦП, а при нажатии на кнопку SB5 «К2/Меньше» – усиления АЦП. При проведении этих двух калибровок наличие или отсутствие внешних сигналов на входах АЦП AIN0 и AIN1 роли не играет. При нажатии на кнопку SB6 «К3/Запись» производится системная калибровка смещения. Перед её проведением на входы АЦП AIN0 – AIN1 необходимо подать внешнее напряжение системного «нуля». Для этого достаточно замкнуть накоротко между собой щупы разъёма XP1 «+» и «-», ни с чем их не соединяя. После проведения двух вышеназванных калибровок смещения из результата преобразования будет автоматически вычитаться составляющая, обусловленная наличием внешнего смещения на входах АЦП при отсутствии входного измеряемого напряжения. При нажатии на кнопку SB7 «К4/Запись 2 500 000» производится системная калибровка усиления. Перед проведением системной калибровки усиления на входы АЦП

AIN0 – AIN1 необходимо подать внешнее напряжение системного верхнего предела шкалы. В схеме на рис. 21 для этого достаточно подключить отрицательный вход AIN1 к аналоговой «земле» AGND, а положительный вход AIN0 – к выводу REF IN+/REFOUT (вывод 30) DD1. После проведения двух вышеназванных калибровок усиления результат преобразования будет приведён к значению опорного напряжения, т.е. будет равен максимально возможному значению кода АЦП (FFFFFFh) при входном измеряемом напряжении, равном опорному.

После проведения любой из калибровок модуль АЦП автоматически переходит в режим циклических рабочих преобразований, поэтому результат проведения калибровки пользователь может наблюдать немедленно. Например, после проведения системной калибровки смещения можно оценить реальную (эффективную) разрешающую способность АЦП по уровню собственных шумов АЦП. После окончания калибровки и автоматического перехода АЦП в режим преобразований при замкнутых между собой входах АЦП AIN0 – AIN1 меняться будет только один младший разряд результата, а остальные разряды будут неизменными и нулевыми. Если считать, что этот меняющийся младший разряд отражает влияние собственных шумов АЦП, то получим значение собственных шумов АЦП в диапазоне единиц микровольт. Другими словами, АЦП интерпретирует внешнее короткое замыкание своих дифференциальных входов как нулевое входное напряжение с точностью до нескольких микровольт. На самом деле уровень собственных шумов АЦП MSC12xx ещё меньше [2], однако в нашем случае невозможно оценить его точнее, поскольку отображаемый на ЖКИ результат преобразования огрубляется программой при пересчёте из дискрет АЦП в микровольты.

Все указанные калибровки рекомендуется всегда производить перед началом рабочих измерений после включения питания (сброса) устройства. В противном случае потенциально достижимое эффективное разрешение реально достигнуто не будет. Заметим, что эту подготовительную процедуру можно несколько упростить. Для этого надо изменить программу, например, задать запуск

автоматической калибровки смещения и усиления от одной кнопки с некоторым программным интервалом.

Если проведение рабочих измерений предполагается при включенном аналоговом буфере АЦП, то и калибровки следует производить при включенном буфере. В связи с этим необходимо отметить следующее. Проводя системную калибровку усиления при выбранной схеме подачи на входы АЦП напряжения системного верхнего предела шкалы (соединение AIN1 с AGND и AIN0 – с REF IN+/REFOUT), для входа AIN1 выходим за нижний предел допустимого входного напряжения буфера АЦП относительно общего провода (этот предел составляет AGND + 50 мВ). Для такого случая производитель MSC12xx не гарантирует достоверность результатов преобразований, хотя, по наблюдениям автора, заметного влияния на результаты преобразований это обстоятельство не оказывает.

Для пояснения сути калибровочных операций, доступных пользователю в режиме «калибровка 2», необходимо привести описание процедуры получения результата измерений, отображаемого на ЖКИ. Результат вычисляется по следующей формуле: $U_{\text{вх}} = (n \times 2\,500\,000) / (2^{24} - 1)$ [мкВ], где n – результат АЦП в дискретах, 2 500 000 – константа-множитель, равная значению опорного напряжения в микровольтах, $2^{24} - 1 = \text{FFFFFFh}$ – константа-делитель, равная значению максимального результата АЦП в дискретах.

Константа-множитель 2 500 000 = 2625A0h входит в формулу в допущении, что величина опорного напряжения встроенного ИОН равна строго 2,5 В, однако, как было сказано в первой части статьи, точность заводской установки напряжения встроенного ИОН составляет 0,2%. Это даёт возможную ошибку измерений до 5000 мкВ. Для устранения источника этой ошибки в режиме «калибровка 2» реализована возможность пользовательской коррекции константы-множителя с сохранением скорректированного значения в Flash-памяти, встроенной в MSC1211. Строго говоря, во Flash-памяти хранится не вся эта константа, а только два её младших байта, которые выгружаются оттуда в ОЗУ при включении питания (сбросе) устройства, а затем используются в вычислениях. Старший байт константы, равный 26h, жёстко задан в программе. В режиме «калибровка 2», помимо измерений и

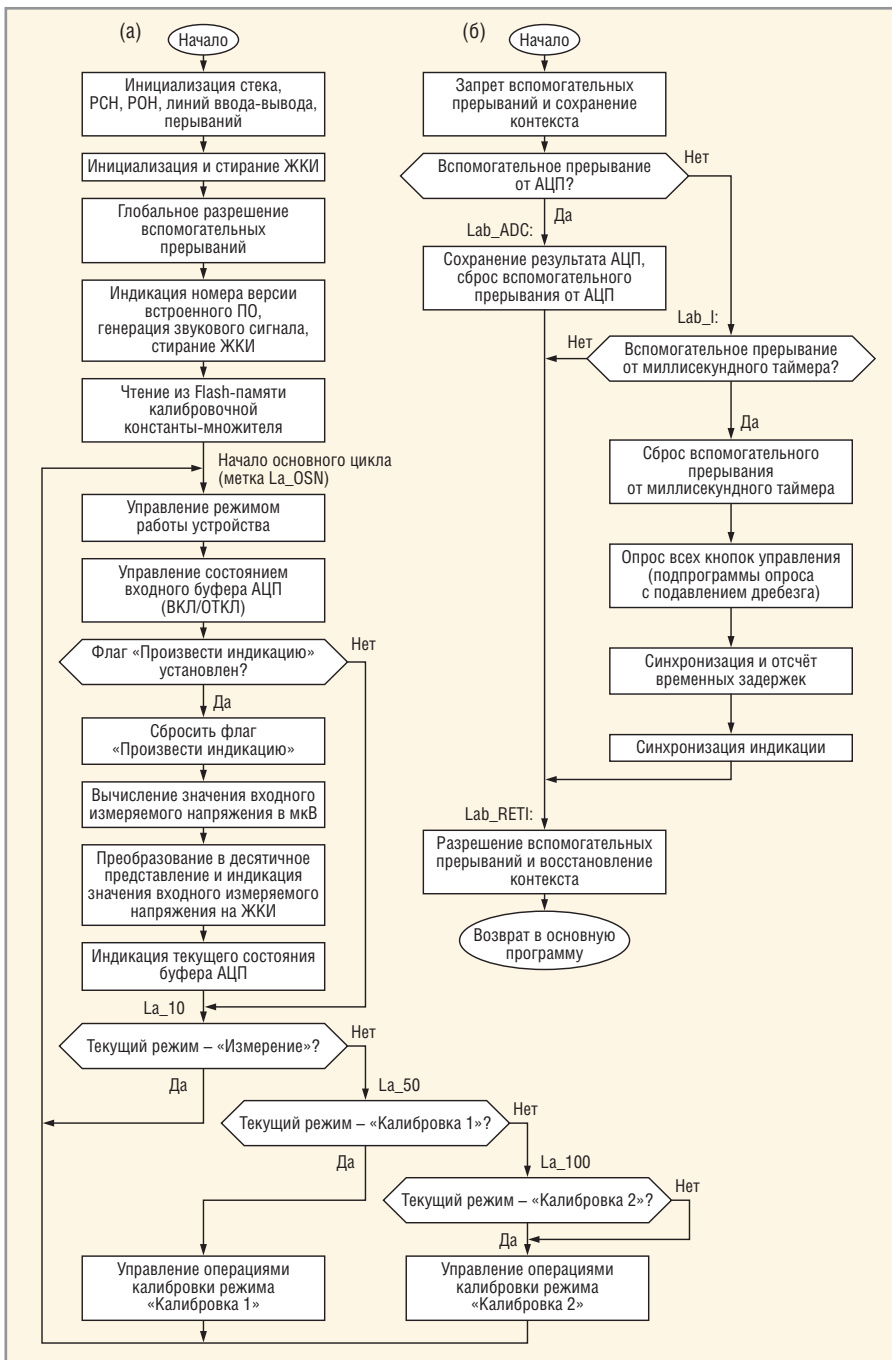


Рис. 22. Блок-схема алгоритма основной программы (а) и программы-обработчика вспомогательных прерываний (б)

индикации результата, текущее значение константы в десятичном виде индицируется в нижней строке ЖКИ. При нажатии на кнопку SB4 «K1/Больше» текущее значение константы, находящееся в ОЗУ MSC1211, увеличивается на единицу. При этом при переполнении младшего байта автоматически производится перенос в средний байт, что даёт возможность производить коррекцию значения константы в диапазоне от 260000h = 2 490 368 до 26FFFFh = 2 555 903. При нажатии на кнопку SB5 «K2/Меньше» текущее значение константы в ОЗУ уменьшается на единицу также с учё-

том автоматического переноса (заёма). При нажатии на кнопку SB6 «K3/Запись» производится сохранение текущего значения двух младших байт константы из ОЗУ во Flash-памяти данных. При нажатии на кнопку SB7 «K4/Запись 2 500 000» производится сохранение по тем же адресам Flash-памяти данных двух младших байт числа 2 500 000: 25h и A0h. Последняя операция включена в состав пользовательского интерфейса для начального задания номинального значения константы-множителя при первом включении устройства после «прошивки» Flash-памяти программ.

Таким образом, алгоритм компенсации ошибки измерений, обусловленной неточностью заводской установки напряжения встроенного ИОН, может быть следующим:

- измерить эталонным вольтметром значение напряжения встроенного ИОН MSC1211 с точностью до микровольта (измерение производить на выводе REF IN+/REFOUT относительно AGND с экранировкой проводов, минимальной длиной проводов и другими необходимыми мерами);
- подключить отрицательный вход AIN1 к аналоговой «земле» AGND, а положительный вход AIN0 – к выводу REF IN+/REFOUT, с соблюдением мер, указанных в предыдущем пункте;
- установить отображаемый на ЖКИ результат преобразований равным измеренному значению напряжения путём коррекции константы-множителя в режиме «калибровка 2», а затем сохранить текущее значение константы во Flash-памяти кнопкой «K3/Запись».

В качестве измеряемого напряжения не обязательно использовать напряжение встроенного ИОН. Можно взять любой другой достаточно стабильный источник, например, микросхему прецизионного ИОН AD780 [6]. Напряжение этого источника может быть отличным от 2,5 В, однако результат коррекции будет тем лучше, чем ближе измеряемое напряжение к указанному значению.

Все шаги указанного алгоритма следует производить после проведения «штатных» калибровок (режим «калибровка 1»). В отличие от «штатных» калибровок, которые нужно проводить после каждого сброса устройства, этот алгоритм допустимо выполнить лишь однократно.

На рис. 22а приведена блок-схема алгоритма основной программы вольтметра, на рис. 22б – блок-схема программы-обработчика прерываний. Исходный текст управляющей программы прецизионного цифрового вольтметра на базе MSC1211 содержится в файле Vmeter.a51, который доступен на сайте журнала. Там же доступен и соответствующий этому исходному тексту файл «прошивки» Vmeter.hex.

Программа использует только вспомогательные прерывания: от АЦП (генерируются по завершении каждого преобразования) и от миллисекундного таймера (генерируют-

ся с частотой 100 Гц). Прерывания от таймера используются в системе для вызова событий, которые должны происходить циклически: опрос кнопок управления (подпрограммы Pod_OPR_KNOP0 – Pod_OPR_KNOP5), отсчёт временных задержек (подпрограмма Pod_SINHR), задание частоты обновления информации на ЖКИ (подпрограмма Pod_SIN_IND).

После сброса основная программа производит начальную инициализацию РСН и РОН MSC1211 (все настройки модуля АЦП, в частности, задаются в подпрограмме инициализации РСН Pod_INIT_RSN), инициализацию подключенного ЖКИ, а затем выводит на индикатор номер версии встроенной управляющей программы (подпрограмма Pod_Ind_Ver), сопровождая индикацию звуковыми сигналами. Затем программа копирует в ОЗУ из Flash-памяти данных два байта константы-множителя. После этого начинается выполнение основного цикла, в котором всегда производится обработка следующих подпрограмм:

- обнаружения нажатий на кнопку SB3 «Режим» (подпрограмма управления режимом работы Pod_REGIM),
- обнаружения нажатий на кнопку SB8 «Буфер ВКЛ/ОТКЛ» (подпрограмма управления состоянием буфера АЦП Pod_BUF_ON_OFF),
- периодическое вычисление значения входного измеряемого напряжения, преобразование его в десятичное значение и индикация на ЖКИ (подпрограммы Pod_VICH_REZ, Pod_Ind_REZ),
- индикация текущего состояния буфера АЦП (подпрограмма Pod_Ind_BUF).

Далее программа определяет для себя текущий режим работы и в зависимости от этого делает потенциально активным тот или иной набор сервисных (калибровочных) операций. Набор калибровочных операций для режима «калибровка 1» содержится в подпрограмме Pod_KAL1, для режима «калибровка 2» – в подпрограмме Pod_KAL2. В режиме «калибровка 2» дополнительно производится индикация текущего значения константы-множителя (подпрограмма Pod_Ind_KAL).

Обновление результата измерений на ЖКИ производится с выбранной в программе частотой 10 Гц. Эта частота задается частотой прерываний от миллисекундного таймера (100 Гц) и

значением делителя (10) в подпрограмме синхронизации индикации Pod_SIN_IND.

Операции целочисленного деления и умножения, производимые в подпрограмме Pod_VICH_REZ, реализуются с помощью подпрограмм целочисленной арифметики для N-байтных чисел, вызываемых из подключаемого файла math_n.a51 [7]. Для преобразования форматов представления чисел в программе используются подпрограммы, вызываемые из подключаемого файла preobr.a51 [2]. Эти файлы свободно доступны как оригинальные исходные тексты встроенного программного обеспечения для 8051-совместимых микроконтроллеров, описанных в работе [4].

Используемые в программе в качестве подключаемых файлы knop.a51 и lcd_del.a51 были описаны в предыдущей части этой статьи, а файл HCRCConfig.a51 доступен на сайте журнала. Этот файл содержит ассемблерные директивы, определяющие содержимое аппаратных регистров конфигурации (HCR0, HCR1) MSC121x, которое автоматически записывается в них при программировании Flash-памяти.

Как можно видеть из файла HCRCConfig.a51, в аппаратном регистре конфигурации HCR0 битовое поле DFSEL имеет значение 110, что означает задание в MSC121x Flash-памяти данных размером 1 Кб (в области адресов 0400h-07FFh). Поскольку по умолчанию в «чистой» микросхеме MSC1211Y5 Flash-память данных не задана, первое программирование MSC1211Y5 кодом, полученным в результате трансляции Vmeter.a51, необходимо производить с предварительным стиранием аппаратных регистров конфигурации (включить поле Erase Hardware Config в загрузчике TI Downloader).

Используемый в программе в качестве подключаемого файл gom.a51 доступен на сайте журнала. Он также свободно предоставляется компанией TI [1] и содержит список меток с заданными адресами в области загрузочного ПЗУ MSC1211. Эти метки являются точками входа в подпрограммы загрузочного ПЗУ. Управляющая программа вольтметра использует две такие подпрограммы: _page_erase – стирание страницы Flash-памяти и _write_flash_chk – запись байта в ячейку Flash-памяти. Операции с

Flash-памятью данных в программе производят следующие пользовательские подпрограммы: Pod_RD_KAL, Pod_ER_FLASHD, Pod_WR_FLASHD, Pod_WR_FLASHD_K. Как уже говорилось, во Flash-памяти данных (по адресам 0400h, 0401h) программа хранит два младших байта трёхбайтовой константы-множителя. Для их модификации программа предварительно стирает 128-байтную страницу с адреса 0400h, а затем записывает в ячейки с адресами 0400h, 0401h новое содержимое. После успешной модификации Flash-памяти программа генерирует трехкратный звуковой сигнал (подпрограмма Pod_3_ZWUK).

Как уже было сказано ранее, проект был выполнен в среде IDE RIDE, а программирование MSC1211Y5 осуществлено с помощью загрузчика TI Downloader.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует заметить, что объём представленного в данной статье материала об устройствах семейства MSC12xx ограничен форматом журнала. Он не позволяет рассказать читателям о значительной части возможностей и особенностей замечательных устройств семейства MSC12xx. За рамками статьи остались также многочисленные сложнее аппаратные решения и области применения этих устройств, одним из отличительных признаков которых является принцип «построены на базе одной микросхемы!». Тем не менее, автор надеется, что эта статья подтолкнула читателей к поиску более подробной информации о микросхемах семейства MSC12xx.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.ti.com.
2. Редькин П.П. Прецизионные системы сбора данных семейства MSC12xx Texas Instruments: архитектура, программирование, разработка приложений (+CD). М.: Додэка-XXI, 2006.
3. www.analog.com.
4. Фрунзе А.В. Микроконтроллеры? Это же просто! В 3-х томах. М.: СКИМЕН, 2003.
5. MSC1211 Precision ADC with 8051 Microcontroller and Flash Memory Evaluation Module. SBAU086 – 2003, Texas Instruments Incorporated (www.ti.com).
6. 2.5V/3.0V High Precision Reference AD780. Analog Devices. Inc., 2002 (www.analog.com).
7. www.pyrometer.ru.

