

ВСТУПЛЕНИЕ

Это техническое замечание описывает программную утилиту, используемую для калибровки смещения и ошибок усиления АЦП. Программный код, приведенный в этом замечании, может быть найден по адресу http://www.analog.com/microconverter/technotes_code.html. Этот документ описывает как функции программной утилиты, так и ее использование в стандартных приложениях.

ADuC812 содержит два коэффициента калибровки АЦП, один для калибровки смещения и один для калибровки усиления. Оба коэффициента представляют собой 14-разрядное слово, расположенное в области SFR-регистров. Коэффициент смещения разделен на *ADCOFSH* (6 бит) и *ADCOFSL* (8 бит), а коэффициента усиления на *ADCGAINH* (6 бит) и *ADCGAINL* (8 бит).

Каждый ADuC812 перед отгрузкой предварительно калибруется на заводе, и коэффициенты калибровки запоминаются в скрытой области FLASH/EE памяти. При каждом включении питания ADuC812 внутренняя подпрограмма конфигурации копирует эти коэффициенты в регистры калибровки усиления и смещения в области SFR.

Точность АЦП MicroConverter может изменяться от системы к системе вследствие макета платы, заземления, тактовой частоты и др. Для получения наилучшей точности вашей системы, необходимо провести программную калибровку.

КОЭФФИЦИЕНТЫ КАЛИБРОВКИ СМЕЩЕНИЯ И УСИЛЕНИЯ

Коэффициент калибровки смещения компенсирует ошибки смещения постоянного тока в обоих АЦП и входном сигнале. Увеличение коэффициентов смещения компенсирует положительное смещение и эффективно передвигает передаточную функцию АЦП вниз. Уменьшение коэффициентов смещения компенсирует отрицательное смещение и эффективно передвигает передаточную функцию АЦП вверх. Максимальное смещение, которое может быть компенсировано, составляет $\pm 5\%$ от V_{REF} , что в среднем равно ± 125 мВ при опорном напряжении 2.5 В.

Подобным образом коэффициенты калибровки усиления компенсируют ошибки усиления постоянного тока в обоих АЦП и входном сигнале. Увеличение коэффициента усиления компенсируется для меньших диапазонов аналоговых входных сигналов и масштабирует передаточную функцию АЦП вверх, эффективно увеличивая крутизну передаточной функции. Уменьшение коэффициента усиления компенсируется для больших диапазонов аналоговых входных сигналов и масштабирует передаточную функцию АЦП вниз, эффективно уменьшая крутизну передаточной функции. Максимальный диапазон аналогового входного сигнала, который может выровнять коэффициент усиления, составляет $1.025 \cdot V_{REF}$ а минимальный $0.975 \cdot V_{REF}$, что в среднем равно $\pm 2.5\%$ от V_{REF} .

ПОДПРОГРАММА КАЛИБРОВКИ СМЕЩЕНИЯ АЦП ADUC812

Подпрограмма калибровки смещения, описанная ниже, называется

CALZEROSCALE – калибрует смещение АЦП

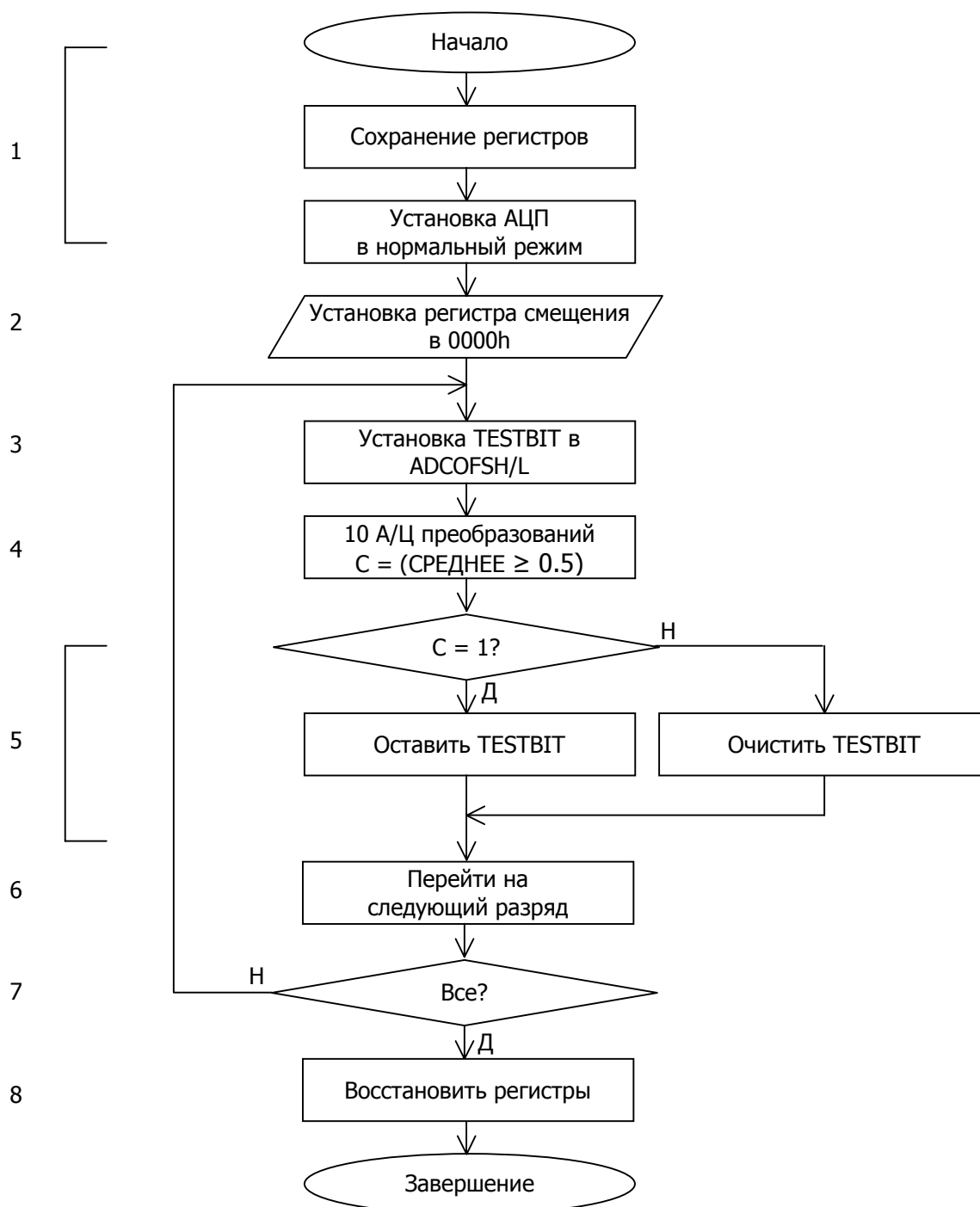
Эта подпрограмма содержится в файле «812cal.asm», сопровождающий это техническое замечание. Она устраняет ошибку смещения АЦП на заданном канале, передаваемом в подпрограмму через аккумулятор (ACC). Выбранный канал при вызове подпрограммы должен внешне удерживаться на нулевом напряжении $\pm(5\%$ от V_{REF}).

Эта подпрограмма использует алгоритм последовательного приближения. При первой итерации подпрограмма устанавливает старший бит (*TESTBIT*) в регистрах *ADCOFSH/L* (т.е. устанавливает в регистрах *ADCOFSH/L* значение 2000h). Производятся десять циклов преобразования, и если среднее этих результатов больше или равно 0.5, то устанавливается признак переноса (*Carry flag – C*). Если $C = 1$, то *TESTBIT* остаются в установленном состоянии, в противном случае *TESTBIT* очищается. При второй итерации *TESTBIT* устанавливается для MSB-1 бита, и производится тот же тест. Он повторяется для каждого из 14 разрядов регистров *ADCOFSH/L*.

Подпрограмма использует 8 байт стека для хранения регистров, применяемых в коде. Эти регистры восстанавливаются по завершению подпрограммы.

АЛГОРИТМ КАЛИБРОВКИ СМЕЩЕНИЯ

1. Служебный код - сохранение регистров, используемых в подпрограмме, в стеке, установка АЦП, и др.
2. Очистка коэффициента калибровки смещения (регистр *ADCOFSH/L*) в 0000h.
3. установка *TESTBIT* в коэффициенте калибровки смещения. При первой итерации устанавливается MSB (старший) разряд.
4. Проведение 10 циклов А/Ц преобразования, расчет среднего значения и формирование признака переполнения (средний результат ≥ 0.5).
5. Если $C = 1$, оставить *TESTBIT* установленным, иначе очистить *TESTBIT*.
6. Перемещение к следующему разряду. При первой итерации это разряд MSB-1.
7. Повторять пункты 3, 4, 5 и 6 до тех пор, пока все разряды регистра *ADCOFSH/L* не будут протестированы.
8. Восстановить регистры из стека.



ПОДПРОГРАММА КАЛИБРОВКИ УСИЛЕНИЯ АЦП ADUC812

Вторая подпрограмма калибрует ошибки усиления АЦП и называется:

CALFULLSCALE – калибрует усиление АЦП

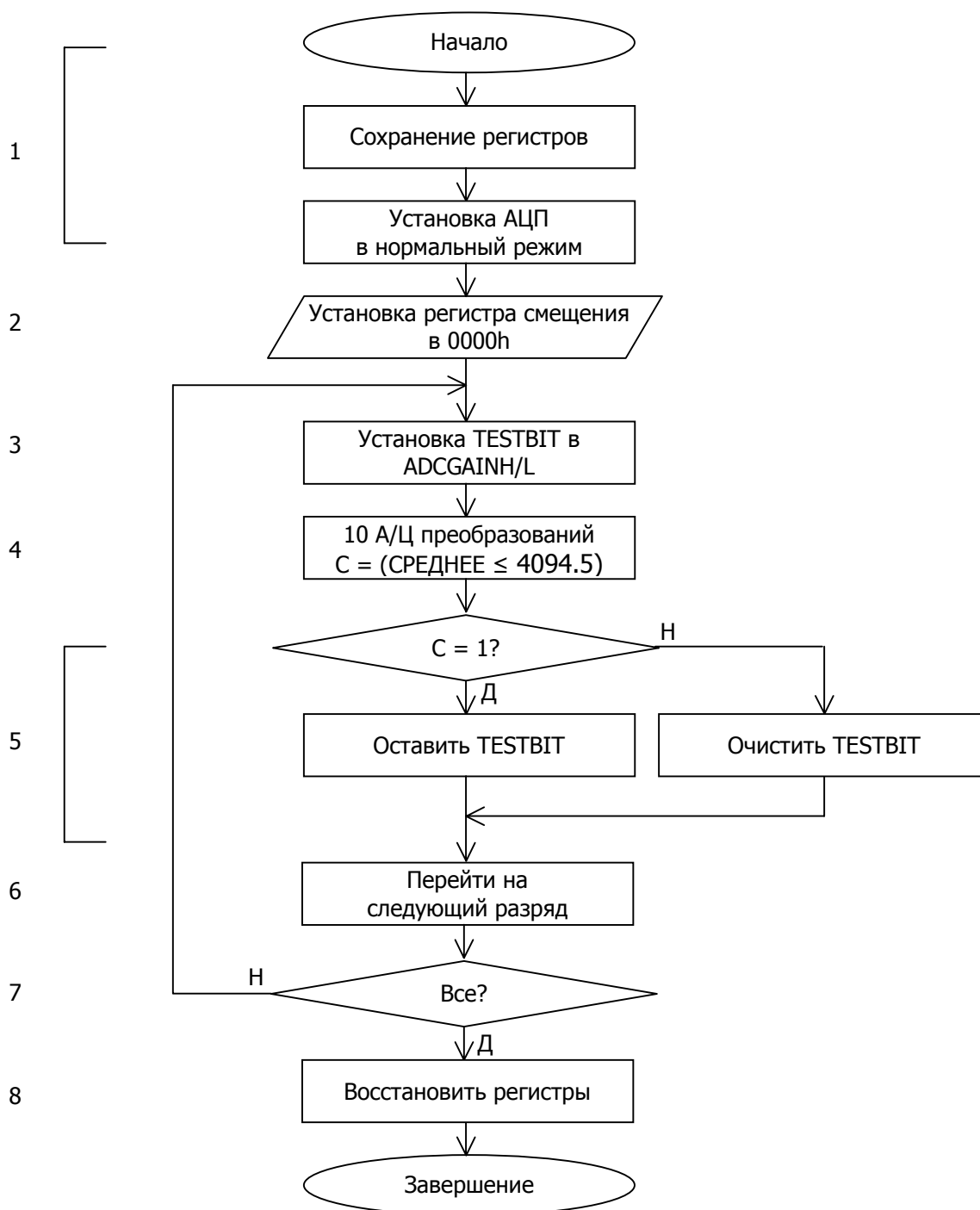
Эта подпрограмма также находится в файле «812cal.asm», сопровождающий это техническое замечание. Она устраняет ошибку усиления АЦП на заданном канале, передаваемом в подпрограмму через аккумулятор (ACC). Выбранный канал при вызове подпрограммы должен внешне удерживаться на полном опорном напряжении (в пределах $\pm 2.5\%$ от V_{REF}).

Эта подпрограмма также использует алгоритм последовательного приближения. При первой итерации подпрограмма устанавливает *TESTBIT* в старшем разряде регистров *ADCGAINH/L* (т.е. регистры *ADCGAINH/L* содержит значение 2000h). Производятся десять циклов преобразования, и если среднее этих результатов меньше 4094.5, то устанавливается признак переноса (*Carry flag – C*). Если $C = 1$, то *TESTBIT* остаются в установленном состоянии, в противном случае *TESTBIT* очищается. При второй итерации *TESTBIT* устанавливается для MSB-1 бита, и производится тот же тест. Он повторяется для каждого из 14 разрядов регистров *ADCGAINH/L*.

Подпрограмма использует 8 байт стека для хранения регистров, применяемых в коде. Эти регистры восстанавливаются по завершению подпрограммы.

АЛГОРИТМ КАЛИБРОВКИ УСИЛЕНИЯ

1. Служебный код - сохранение регистров, используемых в подпрограмме, в стеке, установка АЦП, и др.
2. Очистка коэффициента калибровки смещения (регистр *ADGAINH/L*) в 0000h.
3. установка *TESTBIT* в коэффициенте калибровки смещения. При первой итерации устанавливается MSB (старший) разряд.
4. Проведение 10 циклов А/Ц преобразования, расчет среднего значения и формирование признака переполнения (средний результат ≤ 4094.5).
5. Если $C = 1$, оставить *TESTBIT* установленным, иначе очистить *TESTBIT*.
6. Перемещение к следующему разряду. При первой итерации это разряд *MSB-1*.
7. Повторять пункты 3, 4, 5 и 6 до тех пор, пока все разряды регистра *ADCGAINH/L* не будут протестированы.
8. Восстановить регистры из стека.



ОЦЕНКА ПОДПРОГРАММ КАЛИБРОВКИ СМЕЩЕНИЯ И УСИЛЕНИЯ

Если вы хотите оценить качество подпрограмм калибровки без написания своего кода, вы можете сделать это с использованием программного кода, сопровождающего это техническое замечание. Следующие описание касается пользователей макетной платы ADuC812 QuickStart Development System и программных средств разработки. Оно также предполагает, что программы установлены в каталог «C:\ADuC». Программа «812cal100.asm» включает в себя файлы «812cal.asm» и «uartio.asm» и позволяет оценить подпрограммы калибровки смещения и усиления с использованием отконфигурированной программы HyperTerminal, соединенной с ADuC812 QuickStart Development Kit.

Эта программа демонстрирует как заводские коэффициенты калибровки смещения и усиления вашего устройства, так и новые программные коэффициенты, генерируемые этой утилитой. Для запуска программы выполните следующие действия:

1. Скопируйте файл «812cal100.hex» в каталог «ADuC\Download».
2. Убедитесь, что переключатель LK3 (PSEM) установлена, запустите программу Download, при появлении запроса имени файла введите «812cal100.hex» и нажмите ОК. Программа Download отобразит на экране следующую информацию, показывая, что последовательное соединение установлено.

```
DOWNLOAD.EXE: ADuC program downloader ver 2.05
6TH Sept. 1999 C.King Accutron Ltd.
Initialising Com1 at 9600 baud:.....OK!
Resetting the target device: ADuC812 reset OK!
Target firmware revision 2.01
Erasing code and data memory . . OK
Downloading 812cal100.hex:.....
.....Downloaded OK!
```

3. Эта программа может соединяться с любым VT100 терминалом или программой эмуляции терминала (например, HyperTerminal для Windows), сконфигурированной для 9600 бод, 8N1. Пользователи HyperTerminal могут использовать поставляемый файл конфигурации «9600COM1.ht». двойным щелчком мыши откройте этот файл в окне HyperTerminal.
4. Уберите переключатель LK3 (PSEM) и нажмите кнопку *RESET* на макетной плате. На экране должен появиться следующий текст.

```
Analog Devices MicroConverter ADuC812 - Calibration Demo Routine

offset coefficients (ADCOFS): default=1A38 / present=1A38
gain coefficients (ADCGAIN): default=1EC8 / present=1EC8

ADC results (channel 0): 004,006,000,002,006,005,002,007,000,009

options: 0 - convert again & refresh screen
         1 - perform zero-scale calibration
         2 - perform full-scale calibration
         3 - select new primary ADC channel   ...choose option:_
```

Значения коэффициентов калибровки по умолчанию (*default*) являются теми заводскими значениями, которые загружаются во время конфигурации при включении. Текущие значения коэффициентов калибровки (*present*) – это те значения, которые содержатся в данный момент в регистрах *ADCOFSH/L* и *ADCGAINH/L*. И значения по умолчанию, и текущие значения различны для каждого ADuC812. Результаты АЦП (*ADC results*) содержат значения десяти последовательных А/Ц преобразований на выбранном канале (по умолчанию 0). Номер канала может быть изменен с использованием третьего пункта меню, что будет сделано после калибровки АЦП.

5. Калибровка нуля (опция 1) выбирается вводом с клавиатуры «1». На экране появятся две новые строки, в которых будет содержаться запрос на выбор входа АЦП и напоминание, что пользователь должен соединить вход с *AGND*.

```
Analog Devices MicroConverter ADuC812 - Calibration Demo Routine

offset coefficients (ADCOFS): default=1A38 / present=1A38
gain coefficients (ADCGAIN): default=1EC8 / present=1EC8

ADC results (channel 0): 004,006,000,002,006,005,002,007,000,009

options: 0 - convert again & refresh screen
         1 - perform zero-scale calibration
         2 - perform full-scale calibration
         3 - select new primary ADC channel    ...choose option:1

apply 0V to an ADC input, and enter the channel number (0-7)
of that input to launch the zero-scale calibration routine:_
```

6. После ввода номера канала начинается калибровка нуля.

```
performing zero-scale calibration...OK

Analog Devices MicroConverter ADuC812 - Calibration Demo Routine

offset coefficients (ADCOFS): default=1A38 / present=1AA9
gain coefficients (ADCGAIN): default=1EC8 / present=1EC8

ADC results (channel 0): 000,000,003,000,000,000,001,000,002,000

options: 0 - convert again & refresh screen
         1 - perform zero-scale calibration
         2 - perform full-scale calibration
         3 - select new primary ADC channel    ...choose option:_
```

На картинке видно, что значение коэффициента калибровки смещения по умолчанию осталось прежним, а текущее значение изменилось. В приведенном примере значение регистра калибровки смещения увеличилось. Это означает что передаточная функция АЦП сместилась вниз, и среднее значение А/Ц преобразований стало ближе к нулю.

7. Следующий этап это проведение полномасштабной калибровки. Выбор опции 2 переводит пользователя к следующему экрану.

```
Analog Devices MicroConverter ADuC812 - Calibration Demo Routine

offset coefficients (ADCOFS): default=1A38 / present=1AA9
gain coefficients (ADCGAIN): default=1EC8 / present=1EC8

ADC results (channel 0): 000,000,003,000,000,001,000,002,000

options: 0 - convert again & refresh screen
         1 - perform zero-scale calibration
         2 - perform full-scale calibration
         3 - select new primary ADC channel    ...choose option:2

apply VREF to an ADC input, and enter the channel number (0-7)
of that input to launch the full-scale calibration routine:_
```

Этот экран содержит запрос на выбор входа АЦП и напоминание, что пользователь должен соединить вход с VREF. После того, как номер канала будет введен, программа проведет калибровку полной шкалы.

```
performing full-scale calibration...OK

-----

Analog Devices MicroConverter ADuC812 - Calibration Demo Routine

offset coefficients (ADCOFS): default=1A38 / present=1AA9
gain coefficients (ADCGAIN): default=1EC8 / present=1EE7

ADC results (channel 0): FFF,FFF,FFF,FFF,FF2,FFF,FFD,FFF,FFF,FFF

options: 0 - convert again & refresh screen
         1 - perform zero-scale calibration
         2 - perform full-scale calibration
         3 - select new primary ADC channel    ...choose option:_
```

Текущий коэффициент калибровки усиления изменился на 1EE7h. Так как это значение больше чем значение по умолчанию это означает, что передаточная функция АЦП повысилась и увеличилась ее крутизна. Калибровка АЦП закончена.

8. После калибровки канал 0 АЦП был соединен с источником напряжения установленным на средний уровень (1.25 В). Используя опцию 0 были получены следующие результаты.


```
Analog Devices MicroConverter ADuC812 - Calibration Demo Routine
```

```
offset coefficients (ADCOFS): default=1A38 / present=1AA9
```

```
gain coefficients (ADCGAIN): default=1EC8 / present=1EE7
```

```
ADC results (channel 0): 7FB,800,7FD,802,800,801,800,803,7FE,801
```

```
options: 0 - convert again & refresh screen
```

```
         1 - perform zero-scale calibration
```

```
         2 - perform full-scale calibration
```

```
         3 - select new primary ADC channel    ...choose option:_
```

9. Опция 3 разрешает пользователю выбрать для преобразования другой канал. Канал 2 был подсоединен к среднему уровню напряжения (1.25 В) и выбран через опцию 3. При выборе канала после проведения калибровки АЦП с помощью другого, необходимо учитывать спецификации входа мультиплексора АЦП межканального соответствия ошибки смещения и ошибки усиления. Они в среднем равны $\pm 1\text{LSB}$ и $\pm 1.5\text{LSB}$ соответственно при $V_{DD} = 5\text{В}$.

```
enter new channel for ADC conversions (0-8):2
```

```
Analog Devices MicroConverter ADuC812 - Calibration Demo Routine
```

```
offset coefficients (ADCOFS): default=1A38 / present=1AA9
```

```
gain coefficients (ADCGAIN): default=1EC8 / present=1EE7
```

```
ADC results (channel 0): 807,800,7FF,801,7FF,7FF,800,806,7FD,7FF
```

```
options: 0 - convert again & refresh screen
```

```
         1 - perform zero-scale calibration
```

```
         2 - perform full-scale calibration
```

```
         3 - select new primary ADC channel    ...choose option:_
```

Результаты А/Ц преобразования теперь получены от канала 2, как показано выше.

Несмотря на то, что вы можете использовать немодифицированную макетную плату ADuC812 для просмотра функций утилиты калибровки, как описано выше, однополярный операционный усилитель, который буферизирует входы АЦП на макетной плате, будет снижать характеристики (по шуму и повторяемости) на напряжениях близких к «земле». Поэтому, лучшие результаты калибровки смещения будут достигнуты при запуске АЦП непосредственно от низкоомного источника, как калибратор напряжений или биполярный операционный усилитель. Характеристики калибровки усиления существенно не затрагиваются однополярным операционным усилителем при использовании опорного напряжения 2.5 В.

Следует заметить, что новые коэффициенты являются результатом программной калибровки, и их значения хранятся в области SFR в регистрах *ADCOFSH/L* и *ADCGAINH/L*. Эти значения будут потеряны при отключении питания или сбросе ADuC812. При включении или сбросе утилита конфигурации всегда копирует заводские значения коэффициентов из скрытой области FLASH/EE памяти.

ИНТЕГРАЦИЯ ПОДПРОГРАММ КАЛИБРОВКИ СМЕЩЕНИЯ И УСИЛЕНИЯ В ВАШ КОД

Способ интеграции подпрограмм калибровки в ваш код показан ниже. Он использует директиву «\$INCLUDE», которая подключает и интегрирует в ваш код программу «812cal.asm» (330 байт). Этот пример требует подключения канала 0 АЦП к $AGND$ и канала 1 к V_{REF} перед запуском кода. Следует заметить, что для достижения оптимальной калибровки смещения АЦП, она должна быть произведена *раньше чем калибровка усиления*.

```

MAIN: SETB LED
...
; заметьте, что номер канала передается через ACC
...
    MOV A, #00H          ; передать номер канала подпрограмме калибровки смещения
    CALL CALZEROSCALE   ; произвести калибровку смещения
    MOV A, #01H          ; передать номер канала подпрограмме калибровки усиления
    CALL CALFULLSCALE   ; произвести калибровку усиления
    JMP MAIN

$INCLUDE(812CAL.asm)    ; директива ассемблера для подключения подпрограммы
END

```

ОТКАЛИБРОВАТЬ ОДНАЖДЫ И ЗАПОМНИТЬ КОЭФФИЦИЕНТЫ В FLASH/ЕЕ ПАМЯТИ

Иногда предпочтительно провести калибровку один раз при производстве вашего изделия. Это избавляет от дополнительных калибровок при каждом включении питания. В этом случае можно использовать энергонезависимую FLASH/ЕЕ память для хранения результатов калибровки. Эти результаты, однажды запомненные, могут быть скопированы в регистры коэффициентов калибровки в SFR области.

В приведенном примере страница 0 FLASH/ЕЕ памяти используется для хранения четырех байт калибровочных данных (2 байта на смещение + 2 байта на усиление). Код проводит калибровку нуля и последующую калибровку усиления. Он считывает страницу 0 и копирует $ADCOFSH/L$ и $ADCGAINH/L$ в регистры $EDATA1-4$. Далее содержимое страницы 0 удаляется и туда записывается содержимое регистров $EDATA1-4$.

Следует заметить, что при использовании этого метода, выбранные входные каналы АЦП для калибровки смещения и усиления (каналы 7 и 6 в этом примере) *должны быть* соединены с «землей» и V_{REF} .

```

MAIN: MOV A, #7          ; выбрать канал для калибровки нуля
    CALL CALZEROSCALE   ; провести калибровку нуля
    JC CALERROR         ; проверка на наличие ошибки
    MOV A, #6           ; выбрать канал для калибровки усиления
    CALL CALFULLSCALE   ; провести калибровку усиления
    JC CALERROR         ; проверка на наличие ошибки

    MOV EADRL, #0       ; выбрать страницу 0 Flash/ЕЕ памяти данных
    MOV ECON, #1        ; чтение страницы 0
    MOV EDATA1, ADCOFSL ; переместить коэффициенты в EDATA1,2,3,4..
    MOV EDATA2, ADCOFLH
    MOV EDATA3, ADCGAINL
    MOV EDATA4, ADCGAINH
    MOV ECON, #5        ; очистка страницы 0
    MOV ECON, #2        ; запись EDATA1,2,3,4 на страницу 0 Flash/ЕЕ

$INCLUDE(812cal.asm)    ; подключение подпрограммы калибровки

```

Как было замечено ранее, приведенный код запускается как часть производственного теста. Следующий код может быть интегрирован в конечную программу. Он копирует данные программной калибровки из FLASH/EE памяти данных в соответствующие регистры SFR.

```
MAIN: MOV EADRL, #0           ; выбрать страницу 0 FLASH/EE памяти данных
      MOV ECON, #1           ; чтение страницы 0 в EDATA1,2,3,4
      MOV ADCOFSL, EDATA1    ; восстановить коэффициенты калибровки
      MOV ADCOFSH, EDATA2
      MOV ADCGAINL, EDATA3
      MOV ADCGAINH, EDATA4   ; ...и продолжить программу
```