

# **Справочник по среднему семейству микроконтроллеров PICmicro™**

## **Раздел 21. Модуль 8 - разрядного АЦП**

Перевод основывается на технической документации DS33023A  
компании Microchip Technology Incorporated, USA.

© ООО «Микро-Чип»  
Москва - 2002

Распространяется бесплатно.  
Полное или частичное воспроизведение материала допускается только с письменного разрешения  
ООО «Микро-Чип»  
тел. (095) 737-7545  
[www.microchip.ru](http://www.microchip.ru)

# PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual

“All rights reserved. Copyright © 1997, Microchip Technology Incorporated, USA. Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended through suggestion only and may be superseded by updates. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip’s products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights. The Microchip logo and name are registered trademarks of Microchip Technology Inc. in the U.S.A. and other countries. All rights reserved. All other trademarks mentioned herein are the property of their respective companies. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights.”

## **Trademarks**

The Microchip name, logo, PIC, KEELOQ, PICMASTER, PICSTART, PRO MATE, and SEEVAL are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

MPLAB, PICmicro, ICSP and In-Circuit Serial Programming are trademarks of Microchip Technology Incorporated.

Serialized Quick-Turn Production is a Service Mark of Microchip Technology Incorporated.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

## Содержание

21.1 Введение .....	4
21.2 Управляющие регистры .....	5
21.3 Работа модуля АЦП .....	7
21.4 Временные требования к подключению канала АЦП .....	8
21.5 Выбор источника тактовых импульсов для АЦП .....	10
21.6 Настройка аналоговых входов .....	11
21.7 Аналого-цифровое преобразование .....	11
21.7.1 Быстрое преобразование взамен разрешающей способности .....	13
21.8 Работа модуля АЦП в SLEEP режиме микроконтроллера .....	13
21.9 Точность преобразования АЦП .....	14
21.10 Эффект сброса .....	14
21.11 Использование SSP триггера .....	14
21.12 Подключение к модулю АЦП .....	15
21.13 Передаточная функция модуля АЦП .....	15
21.14 Инициализация .....	16
21.15 Ответы на часто задаваемые вопросы .....	17
21.16 Дополнительная литература .....	18

## 21.1 Введение

Модуль аналого-цифрового преобразования (АЦП) имеет до восьми входных каналов.

Входной аналоговый сигнал через коммутатор каналов заряжает внутренний конденсатор АЦП  $C_{HOLD}$ . Модуль АЦП преобразует напряжение, удерживаемое на конденсаторе  $C_{HOLD}$  в соответствующий 8 - разрядный цифровой код методом последовательного приближения. Источник опорного напряжения может быть программно выбран с вывода  $V_{DD}$  или  $V_{REF}$ . Допускается работа модуля АЦП в SLEEP режиме микроконтроллера, при этом в качестве источника тактовых импульсов для АЦП должен быть выбран RC генератор.

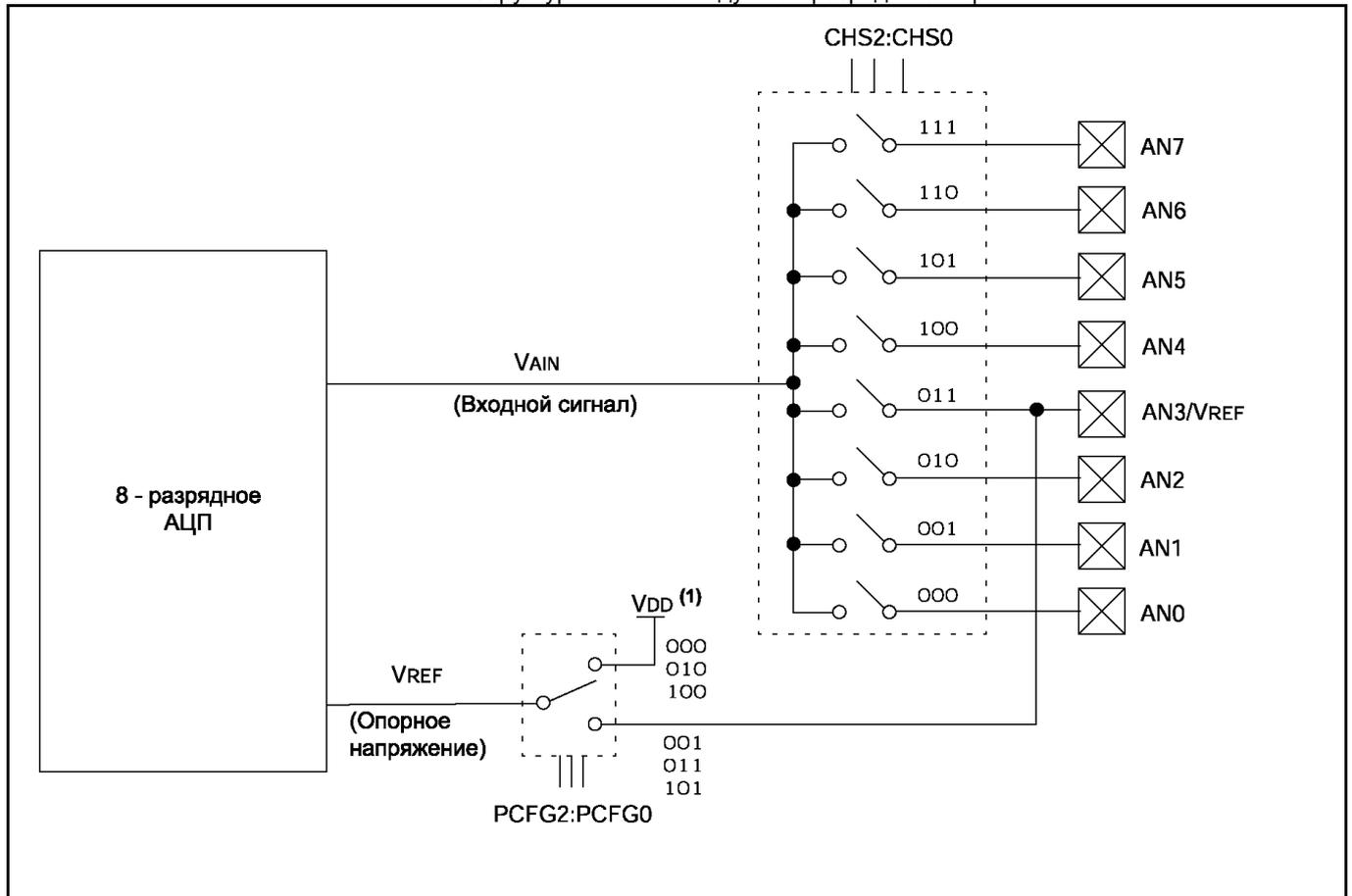
Для управления АЦП в микроконтроллере используется 3 регистра:

- Регистр результата ADRES;
- Регистр управления ADCON0;
- Регистр управления ADCON1.

Регистр ADCON0 используется для настройки работы модуля АЦП, а с помощью регистра ADCON1 устанавливается, какие входы микроконтроллера будут использоваться модулем АЦП и в каком режиме (аналоговый вход или цифровой порт ввода/вывода).

Структурная схема модуля АЦП показана на рисунке 21-1.

**Рис. 21-1** Структурная схема модуля 8 - разрядного АЦП



Примечание 1. В некоторых микроконтроллерах это отдельный вывод, обозначаемый как  $AV_{DD}$ . Это позволяет подключать модуль АЦП к более точному источнику питающего напряжения.

## 21.2 Управляющие регистры

### Регистр ADCON0:

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
<b>ADCS1</b>	<b>ADCS0</b>	<b>CHS2</b>	<b>CHS1</b>	<b>CHS0</b>	<b>GO/-DONE</b>	-	<b>ADON</b>
Бит 7							Бит 0

R – чтение бита  
W – запись бита  
U – не реализовано,  
читается как '0'  
-n – значение после POR  
-x – неизвестное  
значение после POR

биты 7-6: **ADCS1:ADCS0**: Выбор источника тактового сигнала

00 =  $F_{osc}/2$

01 =  $F_{osc}/8$

10 =  $F_{osc}/32$

11 =  $F_{RC}$  (внутренний RC генератор модуля АЦП)

биты 5-3: **CHS2:CHS0**: Выбор аналогового канала

000 = канал 0, (AN0)

001 = канал 1, (AN1)

010 = канал 2, (AN2)

011 = канал 3, (AN3)

100 = канал 4, (AN4)

101 = канал 5, (AN5)

110 = канал 6, (AN6)

111 = канал 7, (AN7)

**Примечание.** Для микроконтроллеров, в которых не реализованы все 8 каналов АЦП. Модуль АЦП аппаратно позволяет выполнять выборку нереализованных каналов.

бит 2: **GO/-DONE**: Бит статуса модуля АЦП

Если **ADON=1**

1 = модуль АЦП выполняет преобразование (установка бита вызывает начало преобразования)

0 = состояние ожидания (аппаратно сбрасывается по завершению преобразования)

бит 1: **Не используется**: читается как '0'

бит 0: **ADON**: Бит включения модуля АЦП

1 = модуль АЦП включен

0 = модуль АЦП выключен и не потребляет тока

**Регистр ADCON1:**

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
-	-	-	-	-	<b>PCFG2</b>	<b>PCFG1</b>	<b>PCFG0</b>

Бит 7

Бит 0

R – чтение бита  
W – запись бита  
U – не реализовано,  
читается как '0'  
–n – значение после POR  
–x – неизвестное  
значение после POR

биты 7-3: **Не используются:** читаются как '0'

биты 2-0: **PCFG2:PCFG0:** Управляющие биты настройки каналов АЦП

PCFG2:PCFG0	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0
000	A	A	A	A	A	A	A	A
001	A	A	A	A	V <sub>REF</sub>	A	A	A
010	D	D	D	A	A	A	A	A
011	D	D	D	A	V <sub>REF</sub>	A	A	A
100	D	D	D	D	A	D	A	A
101	D	D	D	D	V <sub>REF</sub>	D	A	A
11x	D	D	D	D	D	D	D	D

A = аналоговый вход      D = цифровой канал ввода/вывода

**Примечание.** Когда вывод AN3 работает как V<sub>REF</sub>, то напряжение на AN3 является опорным для АЦП. Если вывод AN3 работает как аналоговый вход (A), то опорное напряжение для АЦП берется с вывода V<sub>DD</sub>.

**Примечание.** При сбросе микроконтроллера все выводы мультиплицированные с модулем АЦП (ANx) настраиваются как аналоговые входы.

### 21.3 Работа модуля АЦП

В регистре ADRES сохраняется 8-разрядный результат аналого-цифрового преобразования. Когда преобразование завершено, результат преобразования записывается в регистр ADRES, после чего сбрасывается бит GO/-DONE (ADCON0<2>) и устанавливается флаг прерывания ADIF.

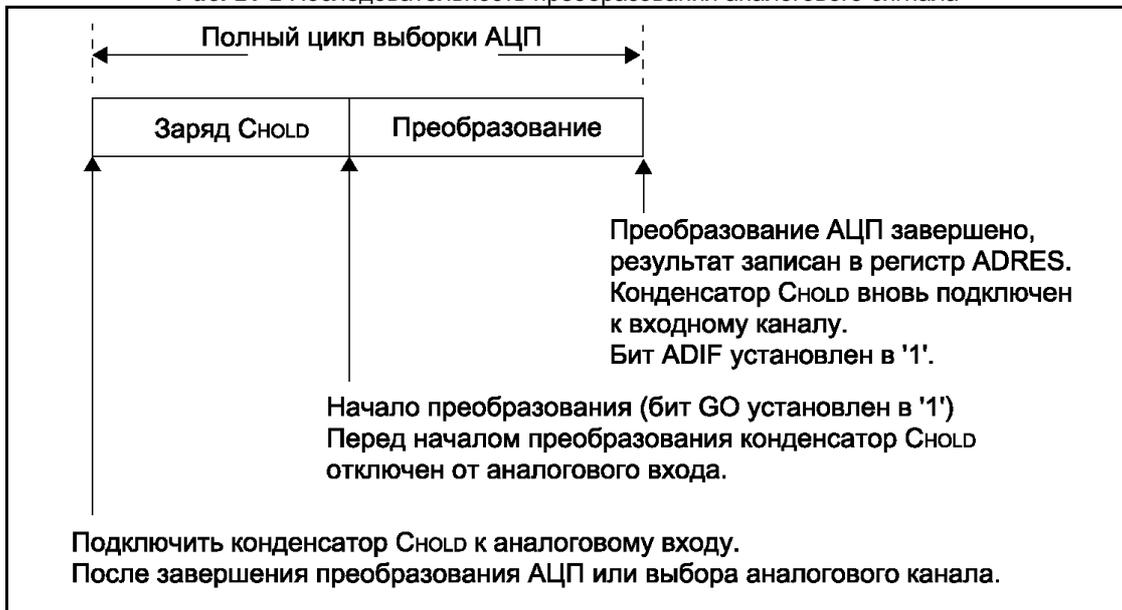
После включения и настройки АЦП необходимо выбрать рабочий аналоговый канал. Соответствующие биты TRIS аналоговых каналов должны настраивать канал порта ввода/вывода на вход. Перед началом преобразования необходимо выдержать временную паузу, расчет которой приведен в разделе 21.4.

Рекомендованная последовательность действий для работы с АЦП:

1. Настроить модуль АЦП:
  - Настроить выходы как аналоговые входы, входы  $V_{REF}$  или цифровые каналы ввода/вывода (ADCON1);
  - Выбрать входной канал АЦП (ADCON0);
  - Выбрать источник тактовых импульсов для АЦП (ADCON0);
  - Включить модуль АЦП (ADCON0).
2. Настроить прерывание от модуля АЦП (если необходимо):
  - Сбросить бит ADIF в '0';
  - Установить бит ADIE в '1';
  - Установить бит PEIE в '1';
  - Установить бит GIE в '1'.
3. Выдержать паузу, необходимую для зарядки конденсатора  $C_{HOLD}$ .
4. Начать аналого-цифровое преобразование:
  - Установить GO/-DONE бит в '1' (ADCON0).
5. Ожидать, окончания преобразования:
  - Ждать, пока бит GO/-DONE не будет сброшен в '0'; ИЛИ
  - Ожидать прерывание по окончанию преобразования.
6. Считать результат преобразования из регистра ADRES, сбросить бит ADIF в '0', если это необходимо.
7. Для следующего преобразования необходимо выполнить шаги начиная с пункта 1 или 2. Время преобразования одного бита определяется как время  $T_{AD}$ . Минимальное время ожидания перед следующим преобразованием должно составлять не менее  $2T_{AD}$ .

На рисунке 21-2 показана последовательность преобразования аналогового сигнала. Время заряда  $C_{HOLD}$  - интервал времени в течение которого на внутренний конденсатор АЦП подается внешний сигнал. Время преобразования равно  $10 T_{AD}$ , отсчет начинается с момента установки в '1' бита GO. Сумма этих двух временных интервалов является длительностью полного цикла преобразования АЦП. Существует минимальный интервал времени, в течение которого внешний сигнал подается на внутренний конденсатор  $C_{HOLD}$ , чтобы гарантировать требуемую точность АЦП.

Рис. 21-2 Последовательность преобразования аналогового сигнала



## 21.4 Временные требования к подключению канала АЦП

Для обеспечения необходимой точности преобразования, конденсатор  $C_{\text{HOLD}}$  должен успевать полностью заряжаться до уровня входного напряжения. Схема аналогового входа АЦП показана на рисунке 21-3. Сопротивления  $R_S$  и  $R_{SS}$  непосредственно влияют на время зарядки конденсатора  $C_{\text{HOLD}}$ . Величина сопротивления ключа выборки ( $R_{SS}$ ) зависит от напряжения питания  $V_{DD}$  (см. рисунок 21-3). **Максимальное рекомендуемое значение внутреннего сопротивления источника аналогового сигнала 10кОм.** При меньших значениях сопротивления источника сигнала меньше суммарное время преобразования.

После того, как будет выбран один из нескольких аналоговых входных каналов, но прежде, чем будет производиться преобразование, должно пройти определенное время. Для нахождения данного времени воспользуйтесь уравнением 21-1. Это уравнение дает результат с ошибкой в  $\frac{1}{2}$  LSB (512 шагов АЦП). Ошибка в  $\frac{1}{2}$  LSB, это максимальная погрешность, позволяющая функционировать модулю АЦП с необходимой точностью.

**Уравнение 21-1** Вычисление временной задержки

$$T_{\text{ACQ}} = \text{Время задержки усилителя} + \text{Время заряда конденсатора } C_{\text{HOLD}} + \text{Температурный коэффициент} \\ = T_{\text{AMP}} + T_C + T_{\text{COFF}}$$

**Уравнение 21-2** Минимальное время заряда конденсатора  $C_{\text{HOLD}}$

$$V_{\text{HOLD}} = (V_{\text{REF}} - (V_{\text{REF}}/512)) \cdot (1 - e^{-(T_C / (C_{\text{HOLD}}(R_{\text{IC}} + R_{\text{SS}} + R_S)))})$$

$$T_C = -51.2 \text{ пФ} (1 \text{ кОм} + R_{\text{SS}} + R_S) \text{ Ln}(1/511)$$

В примере 21-1 показано вычисление минимального значения времени  $T_{\text{ACQ}}$ . Вычисления основываются на следующих исходных данных:

$R_S$	= 10кОм
Ошибка преобразования	$\leq 1/2$ Lsb
$V_{DD}$	= 5В $\rightarrow R_{SS} = 7$ кОм (см. график на рисунке 21-3)
Температура	= 50°C (максимально возможная)
$V_{\text{HOLD}}$	= 0В @ $t = 0$

**Пример 21-1** Вычисление минимального значения времени  $T_{\text{ACQ}}$

$$T_{\text{ACQ}} = T_{\text{AMP}} + T_C + T_{\text{COFF}} \\ T_{\text{ACQ}} = 5 \text{ мкс} + T_C + [(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})(0.05 \text{ мкс}/^\circ\text{C})]$$

$$T_C = -C_{\text{HOLD}} (R_{\text{IC}} + R_{\text{SS}} + R_S) \text{ Ln}(1/511) \\ = -51.2 \text{ пФ} (1 \text{ кОм} + 7 \text{ кОм} + 10 \text{ кОм}) \text{ Ln}(0.0020) \\ = -51.2 \text{ пФ} (18 \text{ кОм}) \text{ Ln}(0.0020) \\ = -0.921 \text{ мкс} (-6.2146) \\ = 5.724 \text{ мкс}$$

$$T_{\text{ACQ}} = 5 \text{ мкс} + 5.724 \text{ мкс} + [(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})(0.05 \text{ мкс}/^\circ\text{C})] \\ = 10.724 \text{ мкс} + 1.25 \text{ мкс} \\ = 11.974 \text{ мкс}$$

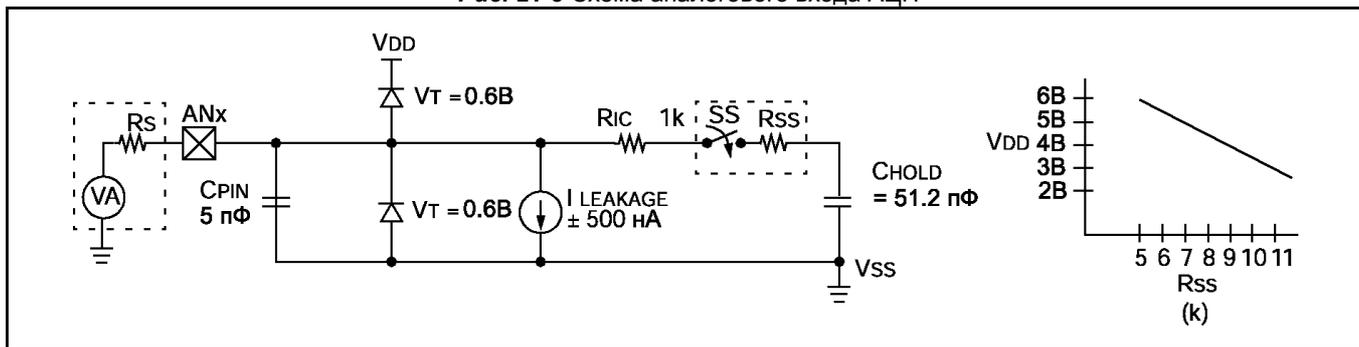
**Примечание 1.** Напряжение источника опорного напряжения  $V_{\text{REF}}$  не влияет на уравнение.

**Примечание 2.** Конденсатор  $C_{\text{HOLD}}$  после преобразования не разряжается.

**Примечание 3.** Максимальное рекомендуемое значение внутреннего сопротивления источника аналогового сигнала 10кОм. Это необходимо для компенсации внутреннего тока утечки.

**Примечание 4.** После того, как преобразование завершено, необходимо программно обеспечить задержку не менее  $2.0T_{\text{AD}}$ , прежде чем начнете следующее преобразование. В течение этого времени конденсатор  $C_{\text{HOLD}}$  не подключен к выбранному входному каналу АЦП.

Рис. 21-3 Схема аналогового входа АЦП



Обозначения:

- $C_{PIN}$  - входная емкость;
- $V_T$  - пороговое напряжение;
- $I_{LEAKAGE}$  - ток утечки вывода;
- $R_{IC}$  - сопротивление соединения;
- $SS$  - переключатель защелки;
- $C_{HOLD}$  - конденсатор защелки.

## 21.5 Выбор источника тактовых импульсов для АЦП

Время получения одного бита результата равно  $T_{AD}$ . Для 8-разрядного результата требуется как минимум  $9.5T_{AD}$ . Параметры тактового сигнала для АЦП определяются программно,  $T_{AD}$  может принимать следующие значения:

- $2T_{osc}$ ;
- $8T_{osc}$ ;
- $32T_{osc}$ ;
- Внутренний RC генератор модуля АЦП (2-6мкс).

Для получения корректного результата преобразования необходимо выбрать источник тактового сигнала АЦП, обеспечивающий время  $T_{AD}$  не менее 1.6 мкс (см. параметр 130 в разделе "Электрические характеристики").

В таблицах 21-1 и 21-2 указано максимальное значение тактовой частоты микроконтроллера для каждого режима синхронизирующего сигнала АЦП.

**Таблица 21-1** Максимальное значение  $F_{osc}$  удовлетворяющие требованию к  $T_{AD}$   
(для микроконтроллеров с нормальным диапазоном напряжения питания (C))

Источник импульсов АЦП		Рабочая частота $F_{osc}$			
Источник	ADCS1:ADCS0	20МГц	5МГц	1.25МГц	333.33кГц
$2T_{osc}$	00	100нс <sup>(2)</sup>	400нс <sup>(2)</sup>	1.6 мкс	6мкс
$8T_{osc}$	01	400нс <sup>(2)</sup>	1.6 мкс	6.4 мкс	24мкс <sup>(3)</sup>
$32T_{osc}$	10	1.6 мкс	6.4 мкс	25.6 мкс <sup>(3)</sup>	96мкс <sup>(3)</sup>
RC-генератор	11	2-6мкс <sup>(1,4)</sup>	2-6мкс <sup>(1,4)</sup>	2-6мкс <sup>(1,4)</sup>	2-6мкс <sup>(1)</sup>

Обозначение: Затененные ячейки - не рекомендованное значение.

Примечания:

1. Типовое значение времени  $T_{AD}$  RC генератора АЦП равно 4мкс, может варьироваться от 2мкс до 6мкс.
2. Это значение выходит за пределы минимально допустимого времени  $T_{AD}$ .
3. Для более точного преобразования рекомендуется выбрать другой источник тактовых импульсов.
4. Когда тактовая частота микроконтроллера больше 1МГц, рекомендуется использовать RC генератор АЦП только для работы в SLEEP режиме.

**Таблица 21-2** Максимальное значение  $F_{osc}$  удовлетворяющие требованию к  $T_{AD}$   
(для микроконтроллеров с расширенным диапазоном напряжения питания (LC))

Источник импульсов АЦП		Рабочая частота $F_{osc}$			
Источник	ADCS1:ADCS0	4МГц	2МГц	1.25МГц	333.33кГц
$2T_{osc}$	00	500нс <sup>(2)</sup>	1.0мкс <sup>(2)</sup>	1.6 мкс	6мкс
$8T_{osc}$	01	2.0мкс <sup>(2)</sup>	4.0 мкс	6.4 мкс	24мкс <sup>(3)</sup>
$32T_{osc}$	10	8.0 мкс	16.0 мкс	25.6 мкс <sup>(3)</sup>	96мкс <sup>(3)</sup>
RC-генератор	11	2-6мкс <sup>(1,4)</sup>	2-6мкс <sup>(1,4)</sup>	2-6мкс <sup>(1,4)</sup>	2-6мкс <sup>(1)</sup>

Обозначение: Затененные ячейки - не рекомендованное значение.

Примечания:

1. Типовое значение времени  $T_{AD}$  RC генератора АЦП равно 4мкс, может варьироваться от 2мкс до 6мкс.
2. Это значение выходит за пределы минимально допустимого времени  $T_{AD}$ .
3. Для более точного преобразования рекомендуется выбрать другой источник тактовых импульсов.
4. Когда тактовая частота микроконтроллера больше 1МГц, рекомендуется использовать RC генератор АЦП только для работы в SLEEP режиме.

## 21.6 Настройка аналоговых входов

Регистры ADCON1 и TRIS отвечают за настройку выводов АЦП. Если выводы микросхемы настраиваются как аналоговые входы, то при этом должны быть установлены соответствующие биты в регистре TRIS. Если соответствующий бит сброшен в '0', вывод микросхемы настроен как цифровой выход, со значениями выходных напряжений  $V_{OH}$  или  $V_{OL}$ .

Модуль АЦП функционирует независимо от состояния битов CHS2:CHS0 и битов TRIS.

**Примечание 1.** При чтении содержимого регистра порта нули будут установлены в тех разрядах, которые были настроены как аналоговые входы. Настроенные на цифровой вход каналы будут преобразовывать входные аналоговые уровни в цифровые, что однако не окажет влияния на точность преобразования.

**Примечание 2.** Значения напряжений, подаваемых на выводы, настроены как аналоговые входы, включая выходы (AN7:AN0), могут влиять на ток потребления входного буфера, который может выйти за пределы значений, оговоренных в технической спецификации.

## 21.7 Аналого-цифровое преобразование

В примере 21-2 показана последовательность действий для работы с АЦП. Выводы настроены как аналоговые входы. Источник опорного напряжения –  $V_{DD}$ . Разрешены прерывания от модуля АЦП. Источником импульсов преобразования является RC генератор АЦП. Аналоговое цифровое преобразование выполняется с вывода AN0.

**Примечание.** Бит GO/-DONE и бит включения АЦП должны устанавливаться разными командами.

Сброс бита GO/-DONE в '0' во время преобразования приведет к его прекращению. При этом регистр результата (ADRES) не изменит своего содержимого. После досрочного завершения преобразования необходимо обеспечить временную задержку  $2T_{AD}$ . Выдержав требуемую паузу, можно начать новое преобразование установкой бита GO/-DONE в '1'.

На рисунке 21-4 показана последовательность получения результата после установки бита GO/-DONE в '1'.

**Пример 21-2** Выполнение преобразования АЦП

```

BSF          STATUS, RP0    ; Выбрать банк 1
CLRF        ADCON1         ; Настроить входы АЦП
BSF         PIE1, ADIE     ; Разрешить прерывания от АЦП
BCF         STATUS, RP0    ; Выбрать банк 0
MOVLW      0xC1           ; Тактовые импульсы от RC генератора АЦП,
MOVWF      ADCON0         ; включить АЦП, выбрать канал 0
BCF         PIR1, ADIF     ; Сбросить флаг прерываний от АЦП
BSF         INTCON, PEIE   ; Разрешить периферийные прерывания
BSF         INTCON, GIE    ; Разрешить прерывания в системе
;
; Выдержать паузу, необходимую для заряда внутреннего конденсатора C_HOLD.
; Затем начинать преобразование АЦП.
;
BSF         ADCON0, GO     ; Старт преобразования
:           ; Ожидать установку флага ADIF или сброс
:           ; бита GO/-DONE по завершению преобразования

```

**Рис. 21-4** Последовательность получения результата после установки бита GO/-DONE в '1'

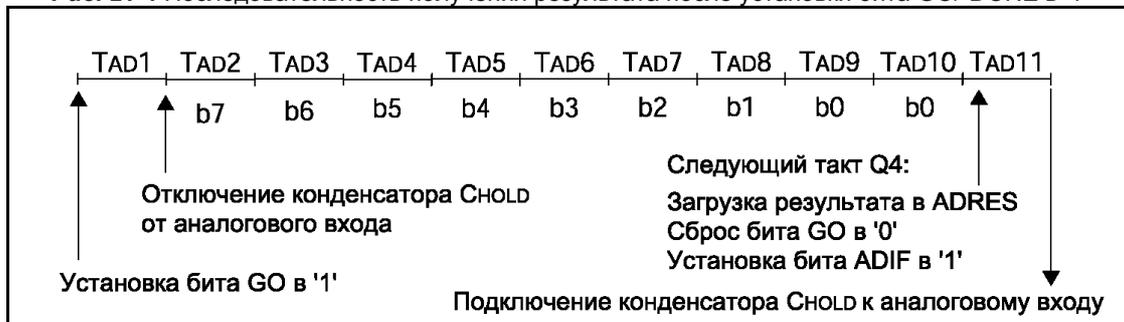
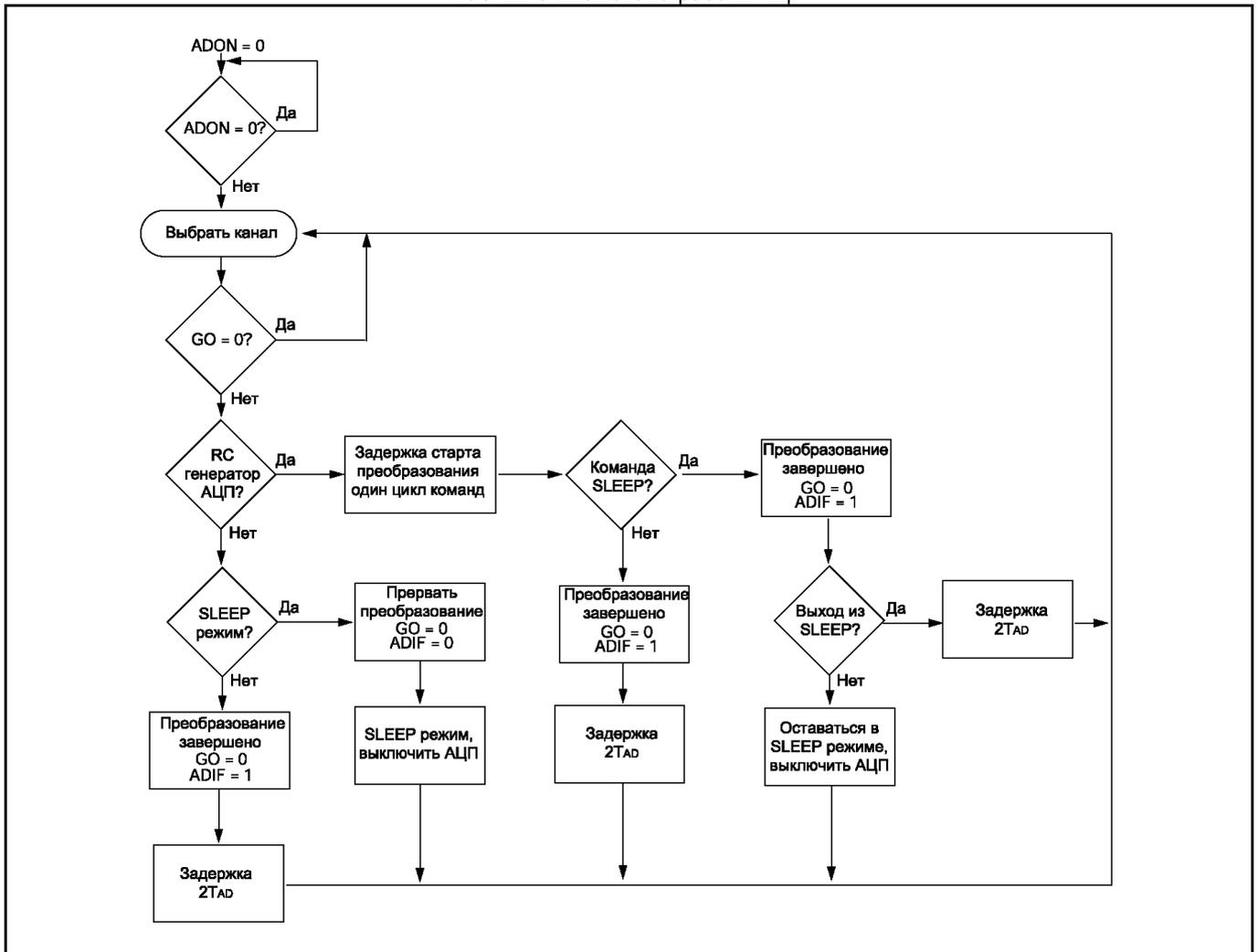


Рис. 21-5 Блок схема работы АЦП



### 21.7.1 Быстрое преобразование взамен разрешающей способности

Иногда бывает необходимо быстрое по времени преобразование за счет снижения разрешающей способности АЦП. Эта особенность работы модуля АЦП может использоваться в программе пользователя. Независимо от используемой разрешающей способности интервал времени  $T_{ACQ}$  остается неизменным.

Для ускорения преобразования генератор тактовых импульсов модуля АЦП может быть включен так, чтобы время  $T_{AD}$  вышло за пределы минимально-допустимого значения (см. соответствующие параметры в разделе "Электрические характеристики"). При этом модуль АЦП будет выдавать некорректный результат. Источником импульсов преобразования АЦП может быть один из трех источников:  $2T_{OSC}$ ,  $8T_{OSC}$ ,  $32T_{OSC}$  (RC-генератор не может использоваться).

Время преобразования может быть вычислено по формуле:

$$\text{Время преобразования} = T_{AD} + N \cdot T_{AD} + (10 - N)(2T_{OSC}),$$

где N - разрядность АЦП.

Из-за того, что время  $T_{AD}$  зависит от частоты кварцевого генератора микроконтроллера, пользователь должен использовать какой-нибудь иной метод (например, используя таймер, программный цикл и др.) для определения времени изменения. В примере 21-3 представлено длительность 4 - разрядного преобразования, против 8 - разрядного. Например, для микроконтроллера с тактовой частотой 20МГц (тактовый сигнал АЦП  $32T_{OSC}$ ). Через  $5T_{AD}$ , после старта преобразования, тактовый сигнал АЦП программно переключается на  $2T_{OSC}$ .

При  $2T_{OSC}$  не выдержано минимальное требование к  $T_{AD}$ , поэтому 4 младших бита будут иметь неверное значение.

**Пример 21-3** Расчет длительности 4 - разрядного преобразования

	Частота <sup>(1)</sup>	Разрешение	
		4 бита	8 бит
$T_{AD}$	20МГц	1.6 мкс	1.6мкс
$T_{OSC}$	20МГц	50 нс	50 нс
$T_{AD} + N \cdot T_{AD} + (10 - N)(2T_{OSC})$	20МГц	8.6 мкс	17.6 мкс

Примечания:

1. Минимальное рекомендуемое значение  $T_{AD} = 1.6\text{ мкс}$ .
2. Если требуется полное 8 - разрядное значение преобразования, источник тактовых импульсов для модуля АЦП не должен изменяться.

### 21.8 Работа модуля АЦП в SLEEP режиме микроконтроллера

Модуль АЦП может работать в SLEEP режиме микроконтроллера при условии, что источником импульсов преобразования АЦП будет внутренний RC генератор (ADCS1:ADCS0=11). При выборе RC генератора импульсов модуль АЦП сделает задержку в один машинный цикл перед началом преобразования. Это позволяет программе пользователя выполнить команду SLEEP, тем самым уменьшить "цифровой шум" во время преобразования. После завершения преобразования аппаратно сбрасывается бит GO/-DONE в '0', результат преобразования сохраняется в регистре ADRES. Если разрешено прерывание от АЦП, то микроконтроллер выйдет из режима SLEEP. Если же прерывание было запрещено, то после преобразования модуль АЦП будет выключен, хотя бит ADON останется установленным.

Если был выбран другой источник тактовых импульсов АЦП (не внутренний RC генератор), то выполнение программой инструкции SLEEP прервет процесс преобразования и выключит модуль АЦП, оставив установленным бит ADON. Выключение модуля АЦП уменьшит ток потребления микроконтроллера.

**Примечание.** Для работы модуля АЦП в SLEEP режиме необходимо выбрать внутренний RC генератор (ADCS1:ADCS0=11), инструкция SLEEP должна быть выполнена сразу после команды, устанавливающей бит GO/-DONE в '1'.

## 21.9 Точность преобразования АЦП

Абсолютная точность АЦП определяется суммарной ошибкой, исходя из ошибки дискретизации, интегральной ошибки, ошибки шкалы, ошибки смещения и монотонности. Суммарная ошибка определяется как максимальный разброс между текущим и идеальным результатом для любого значения. Абсолютная ошибка АЦП меньше  $\pm 1$  значащего бита при  $V_{DD}=V_{REF}$ , но она возрастает при отклонении  $V_{REF}$  от  $V_{DD}$ .

В некотором диапазоне напряжений на аналоговом входе цифровой результат будет один и тот же. Это возникает из-за дискретизации, которая неизбежна при преобразовании аналоговой величины в цифровую форму. Ошибка дискретизации составляет  $\pm 1/2$  значащего бита, и единственный способ уменьшить ее - увеличить разрядность АЦП.

Ошибку смещения составляет разность между результатом первого преобразования и идеальным значением. Эта ошибка сдвигает всю передаточную функцию, и может быть учтена при помощи калибровки. Ошибка вносится в результате наложения токов утечки и выходного сопротивления источника сигнала.

Ошибка усиления измеряется как максимальное отклонение результата, скорректированного с учетом ошибки смещения. Эта ошибка проявляется в виде изменения наклона передаточной функции. Ошибка усиления может быть откалибрована и учтена.

Ошибка линейности определяется как разница в приращении входного напряжения для получения одинакового приращения выходного кода и не поддается калибровке. Интегральная ошибка вычисляется как отклонение результата, скорректированного с учетом ошибки усиления.

Дифференциальная ошибка вычисляется как отклонение максимальной длины кода результат от идеальной длины кода без учета других ошибок.

Максимальный ток утечки вывода смотрите в разделе "Электрические характеристики" параметр D060.

В системах с низкой тактовой частотой предпочтительно использование встроенного RC генератора. В системах с высокой рабочей частотой следует использовать тактовый сигнал от основного генератора. Предпочтительно использовать АЦП с  $T_{AD}$  не больше 8 мкс, но не меньше рекомендованного нижнего предела. Использование тактового сигнала от основного генератора позволяет снизить влияние шумов от переключения внутренних вентилях, т.к. переключение логики АЦП происходит синхронно с другими устройствами, что невозможно при использовании встроенного RC генератора. Если каналы цифрового ввода вывода постоянно активны, потеря точности из-за шумов при переключении может быть значительной.

В случае использования АЦП в SLEEP режиме, источником тактового сигнала должен быть встроенный RC генератор. В этом режиме отсутствуют цифровые шумы, т.к. другие узлы микроконтроллера остановлены, поэтому точность преобразования получается высокой.

## 21.10 Эффект сброса

При сбросе микроконтроллера значения всех его регистров устанавливаются по умолчанию. Сброс выключает модуль АЦП, а также останавливает процесс преобразования, если он был начат. Все выводы, используемые модулем АЦП, настраиваются как аналоговые входы. Регистр ADRES после сброса POR будет содержать неизвестное значение, а после остальных видов сброса не изменит своего значения.

## 21.11 Использование SSP триггера

Аналого-цифровое преобразование может быть запущено при помощи "триггера специального события" модуля SSP. Для этого необходимо, чтобы биты SSPxM3:SSPxM0 (SSPxCON<3:0>) были запрограммированы как 1011 и был включен модуль АЦП (бит ADON должен быть установлен в '1'). При срабатывании триггера бит GO/DONE будет установлен в '1', тем самым, запуская преобразование, а содержимое таймера TMR1 будет обнулено. Таймер сбрасывается и автоматически повторяет запуск преобразования через определенные промежутки времени. Пользователю необходимо будет только вовремя считывать содержимое регистра ADRES. До начала преобразования необходимо выбрать соответствующий аналоговый канал, прежде чем "триггер специального события" вызовет установку бита GO/DONE.

При выключенном модуле АЦП (бит ADON сброшен в '0') сигнал "триггера специального события" игнорируется, но таймер TMR1 продолжает работать и сбрасываться.

## 21.12 Подключение к модулю АЦП

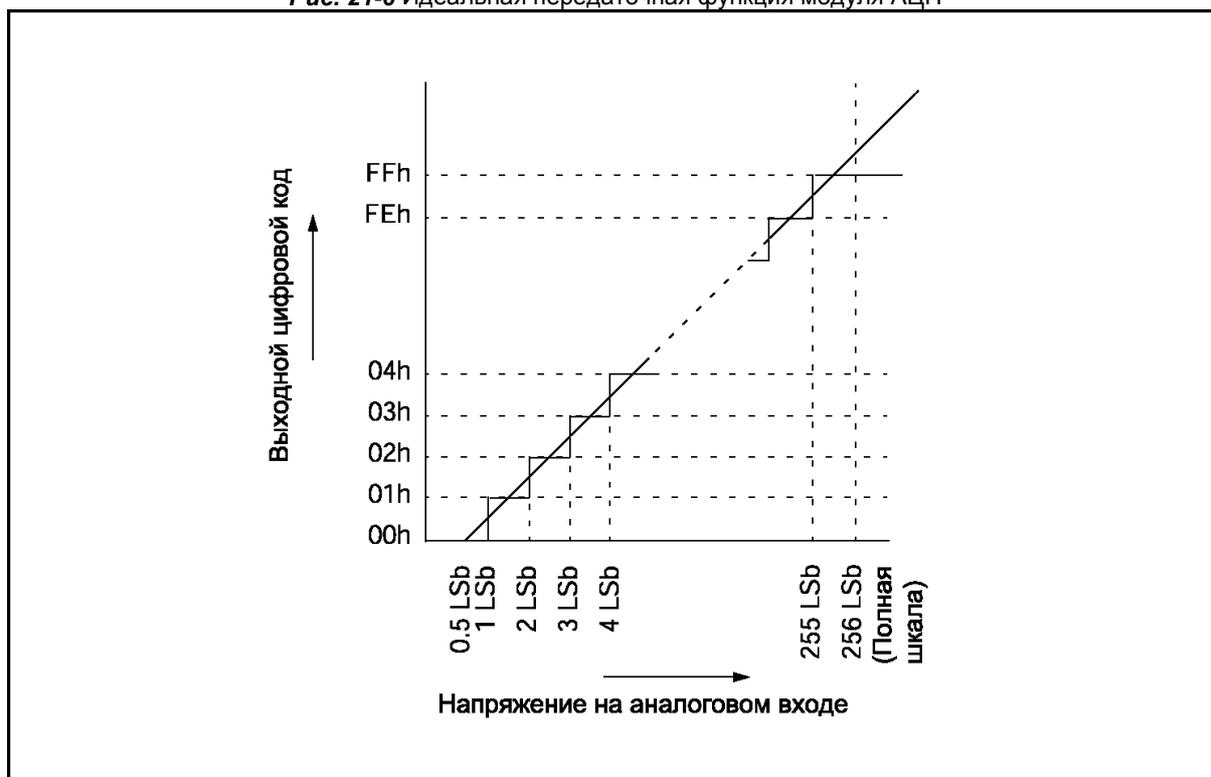
Если значение входного напряжения превышает на 0.2В величину порога питающих напряжений ( $V_{SS}$  и  $V_{DD}$ ), то точность преобразования выйдет за пределы значений, оговоренных в спецификации.

Иногда, для сглаживания пульсаций входного сигнала, на вход АЦП добавляется внешняя RC цепочка. Значение сопротивления R должно выбираться так, чтобы общее сопротивление источника сигнала было в пределах рекомендованной величины 10кОм. Любой внешний электронный компонент, подключенный к аналоговому входу (конденсатор, стабилитрон и др.), должны иметь низкий ток утечки через вывод.

## 21.13 Передаточная функция модуля АЦП

Идеальная функция модуля АЦП работает по следующему правилу: первый бит значения измеряемой аналоговой величины будет установлен, если входное напряжение ( $V_{AIN}$ ) на аналоговом входе будет равно 1 Lsb ( $V_{REF}/256$ ) (см. рисунок 21-6).

Рис. 21-6 Идеальная передаточная функция модуля АЦП



## 21.14 Инициализация

В примере 21-4 показана инициализация модуля АЦП микроконтроллера PIC16C74A.

**Пример 21-4** Инициализация модуля АЦП (для PIC16C74A)

```
BSF          STATUS, RP0    ; Выбрать банк 1
CLRWF       ADCON1         ; Настроить входы АЦП
BSF          PIE1, ADIE     ; Разрешить прерывания от АЦП
BCF          STATUS, RP0    ; Выбрать банк 0
MOVLW      0xC1            ; Тактовые импульсы от RC генератора АЦП,
MOVWF       ADCON0         ; включить АЦП, выбрать канал 0
BCF          PIR1, ADIF     ; Сбросить флаг прерываний от АЦП
BSF          INTCON, PEIE   ; Разрешить периферийные прерывания
BSF          INTCON, GIE    ; Разрешить прерывания в системе
;
; Выдержать паузу, необходимую для заряда внутреннего конденсатора CHOLD.
; Затем начинать преобразование АЦП.
;
BSF          ADCON0, GO     ; Старт преобразования
:           ; Ожидать установку флага ADIF или сброс
:           ; бита GO/-DONE по завершению преобразования
```

## 21.15 Ответы на часто задаваемые вопросы

Если вы не найдете ответа на Ваш вопрос в этой главе раздела, задайте его, написав нам письмо по адресу [support@microchip.ru](mailto:support@microchip.ru).

**Вопрос 1:** Я использую микроконтроллер PIC16C7XX в своем устройстве. Заметил, что результат преобразования АЦП не всегда точен. Что можно сделать?

**Ответ 1:**

1. Удостоверьтесь, что Вы выполняете требования синхронизации АЦП. Если Вы постоянно включаете/выключаете АЦП или изменяете входной канал, то необходимо обеспечить минимальную задержку перед началом преобразования. Значение  $T_{AD}$  (время получения одного бита) должно быть от 2мкс до 6мкс (устанавливается в регистре ADCON0). Если  $T_{AD}$  слишком мало, входное напряжение не может быть полностью преобразовано. Если  $T_{AD}$  достаточно большое, то напряжение на конденсаторе  $C_{HOLD}$  может измениться за счет внутренних токов утечки. Выбор параметров синхронизации описан в технической документации. С помощью представленных формул можно вычислить параметры синхронизации для конкретного случая.
2. Достаточно часто внутреннее сопротивление источника сигнала имеет большое значение (больше 10кОм), поэтому ток, заряжающий конденсатор  $C_{HOLD}$ , может влиять на точность преобразования. Если входной сигнал быстро не изменяется, то можно к аналоговому входу подключить конденсатор 0.1мкФ. Этот конденсатор зарядится до напряжения аналогового сигнала и при выборки обеспечит требуемый кратковременный ток заряда внутреннего конденсатора  $C_{HOLD}$  (51.2пФ).
3. Из технической документации: " В системах с низкой тактовой частотой предпочтительно использование встроенного RC генератора. В системах с высокой рабочей частотой следует использовать тактовый сигнал от основного генератора. Предпочтительно использовать АЦП с  $T_{AD}$  не больше 8 мкс, но не меньше рекомендованного нижнего предела. Использование тактового сигнала от основного генератора позволяет снизить влияние шумов от переключения внутренних вентилях, т.к. переключение логики АЦП происходит синхронно с другими устройствами, что невозможно при использовании встроенного RC генератора. В случае использования АЦП в SLEEP режиме, источником тактового сигнала должен быть встроенный RC генератор. В этом режиме отсутствуют цифровые шумы, т.к. другие узлы микроконтроллера остановлены, поэтому точность преобразования получается высокой."

**Вопрос 2:** После старта преобразования АЦП могу я изменить входной канал для следующего измерения?

**Ответ 2:**

После установки в '1' бита GO (старт преобразования) конденсатор  $C_{HOLD}$  отключается от аналогового входа через  $T_{AD}$ . Как только конденсатор отсоединился от аналогового входа, может быть выбран другой канал.

**Вопрос 3:** Посоветуйте хорошую книгу по теории АЦП.

**Ответ 3:**

"Analog-Digital Conversion Handbook" 3-я редакция, издательство Prentice Hall (ISBN 0-13-03-2848-0).

## 21.16 Дополнительная литература

Дополнительная литература и примеры применения, связанные с этим разделом документации. Примеры применения не могут использоваться для всех микроконтроллеров среднего семейства (PIC16CXXX). Как правило примеры применения написаны для конкретной группы микроконтроллеров, но принципы примеров могут использоваться, сделав незначительные изменения (с учетом существующих ограничений).

Документы, связанные с модулем АЦП в микроконтроллерах PICmicro MCU:

Документ	Номер
Using the Analog to Digital Converter Применение АЦП	AN546
Four Channel Digital Voltmeter with Display and Keyboard Четырехканальный вольтметр с дисплеем и клавиатурой	AN557

## Уважаемые господа!

ООО «Микро-Чип» поставляет полную номенклатуру комплектующих фирмы **Microchip Technology Inc** и осуществляет качественную техническую поддержку на русском языке.

С техническими вопросами Вы можете обращаться по адресу [support@microchip.ru](mailto:support@microchip.ru)

По вопросам поставок комплектующих Вы можете обращаться к нам по телефонам:

**(095) 963-9601**

**(095) 737-7545**

и адресу [sales@microchip.ru](mailto:sales@microchip.ru)

На сайте

[www.microchip.ru](http://www.microchip.ru)

Вы можете узнать последние новости нашей фирмы, найти техническую документацию и информацию по наличию комплектующих на складе.