

Модуль 8 – битного АЦП в микроконтроллерах PIC12C67X

Статья основывается на технической документации DS30561B
компании Microchip Technology Incorporated, USA.

**© ООО «Микро-Чип»
Москва - 2001**

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

Модуль 8 – битного АЦП в микроконтроллерах PIC12C67X

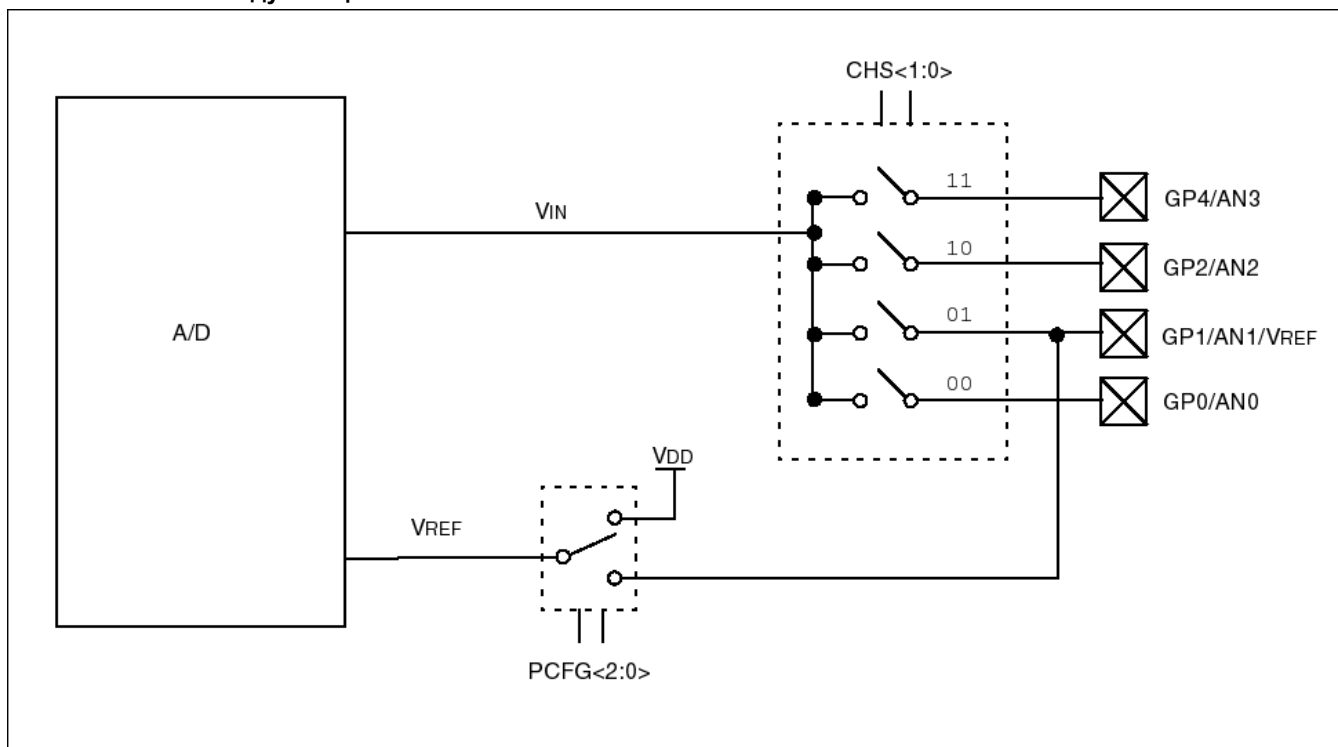
Статья основывается на технической документации DS30561B компании Microchip Technology Incorporated, USA.

Восьми битный модуль аналого-цифрового преобразования (АЦП) имеет 4 аналоговых входа.

Входной аналоговый сигнал поступает на АЦП через коммутатор каналов. В качестве источника опорного напряжения может быть программно выбрано положительное напряжение питания VDD, либо напряжение приложенное к выводу GP1/AN1/Vref.

Допускается работа модуля АЦП в SLEEP режиме микроконтроллера, при этом в качестве источника импульсов для АЦП должен быть выбран RC-генератор.

Блок схема модуля АЦП



Для управления АЦП в микроконтроллере используется 3 регистра:

- регистр результата (ADRES)
- регистр управления 0 (ADCON0)
- регистр управления 1 (ADCON1)

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

С помощью регистра ADCON0 производится настройка параметров работы и запуск АЦП на преобразование. В регистре ADCON1 указывается, какие из выводов микроконтроллера будут использоваться в качестве аналоговых входов, а так же источник опорного напряжения для АЦП.

Замечания:

1. При чтении с порта ввода/вывода на тех линиях, которые были настроены как аналоговые входы, будет получен '0'.
2. При изменении значения регистра ADCON1 может произойти установка флагов прерываний GPIF, INTF. При выборе аналоговых входов рекомендуется запрещать прерывания которые воздействуют на указанные флаги.

После включения и конфигурации АЦП необходимо выбрать рабочий аналоговый канал. Перед началом преобразования необходимо сделать паузу в 20-30 мкс после выбора аналогового канала и каждого преобразования, это необходимо для заряда входной емкости АЦП C_{HOLD} . Затем установить бит GO/DONE (ADCON0<2>) для начала преобразования.

Рекомендованная последовательность действий для работы с АЦП:

1. Настроить модуль АЦП.
 - выбрать - аналоговые входы / источник опорного напряжения / цифровые входы-выходы (ADCON1 и TRIS)
 - выбрать входной канал АЦП (ADCON0)
 - выбрать источник импульсов преобразования (ADCON0)
 - включить модуль АЦП (ADCON0)
2. Настроить прерывание от АЦП модуля (если необходимо)
 - сбросить бит ADIF (флаг окончания преобразования)
 - установить бит ADIE (маска прерывания от АЦП)
 - установить бит GIE (разрешение прерываний в МК)
3. Пауза необходимая для зарядки конденсатора C_{HOLD} .
4. Начать аналого-цифровое преобразование
 - установить GO/DONE бит (ADCON0)
5. Ожидать, окончания преобразования
 - ждать, пока бит GO/DONE не будет сброшен ИЛИ
 - ожидать прерывание по окончании преобразования
6. Считать результат преобразования из регистра ADRES, сбросить бит ADIF, если это необходимо.
7. Для следующего преобразования необходимо выполнить шаги начиная с пункта 1, 2 или 3. Время преобразования одного бита определяется как время T_{AD} . Минимальное время ожидания перед следующим преобразованием должно составлять не менее $2T_{AD}$.

Регистр ADCON0 (адрес 1Fh)

R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	
ADCS1	ADCS0	-	CHS1	CHS0	GO/DONE	-	ADON	
бит7								бит0
<p>бит 7-6: ADCS1:ADCS0: выбор источника импульсов преобразования модуля АЦП</p> <p>00 = $F_{osc}/2$ 01 = $F_{osc}/8$ 10 = $F_{osc}/32$ 11 = FRC (источник импульсов – внутренний RC генератор)</p> <p>бит 5: Не используется: читается как '0'</p> <p>бит 4-3: CHS1:CHS0: выбор рабочего аналогового канала</p> <p>00 = канал 0, (GP0/AN0) 01 = канал 1, (GP1/AN1) 10 = канал 2, (GP2/AN2) 11 = канал 3, (GP4/AN3)</p> <p>бит 2: GO/DONE: бит состояния модуля АЦП</p> <p>1 = модуль АЦП производит преобразование (установка бита вызывает начало преобразования) 0 = модуль АЦП преобразования нет (аппаратно сбрасывается по завершению преобразования)</p> <p>бит 1: Не используется: читается как '0'</p> <p>бит 0: ADON: включение модуля АЦП</p> <p>1 = включить модуль АЦП 0 = модуль АЦП выключен (что снижает общий ток потребления микроконтроллера)</p>								

Регистр ADCON1 (адрес 9Fh)

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
-	-	-	-	-	PCFG2	PCFG1	PCFG0
бит7					бит0		

бит 7-3: **Не используется:** читается как "0"

бит 2-0: **PCFG2:PCFG0:** биты управления конфигурацией порта АЦП.

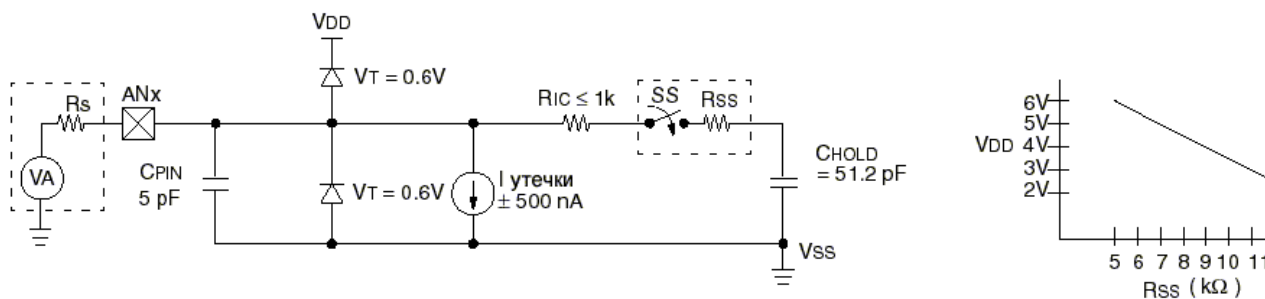
PCFG2:PCFG0	GP4	GP2	GP1	GP0	Vref
000	A	A	A	A	Vdd
001	A	A	Vref	A	GP1
010	D	A	A	A	Vdd
011	D	A	Vref	A	GP1
100	D	D	A	A	Vdd
101	D	D	Vref	A	GP1
110	D	D	D	A	Vdd
111	D	D	D	D	Vdd

A = аналоговый вход
D = цифровой вход/выход

Требования, необходимые для нормального функционирования модуля АЦП

Для обеспечения необходимой точности преобразования конденсатор C_{HOLD} должен успевать полностью заряжаться до уровня входного напряжения. Схема модели входа АЦП приведена на рисунке.

Модель аналогового входа



Сопротивления R_s и R_{SS} напрямую влияют на время зарядки емкости C_{HOLD} . Величина сопротивления ключа выборки (R_{SS}) зависит от напряжения питания (V_{DD}). Значение входного сопротивления R_s влияет на значение входного смещения напряжения (через ток утечки вывода). Максимальное рекомендуемое выходное сопротивление аналогового источника сигнала должно быть не более 10 кОм. 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, описанным в следующей главе. Данное уравнение производит вычисление с ошибкой в пределах $\frac{1}{2}$ LSb (512 шагов АЦП). Ошибка в $\frac{1}{2}$ LSb, это максимальная погрешность, позволяющая функционировать модулю АЦП с необходимой точностью вычисления.

Уравнение вычисления минимального времени заряда емкости C_{HOLD} .

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

Уравнение дает: $V_{\text{HOLD}} = (V_{\text{REF}}/512)$, для разрешения в 1/2 LSB.

Из уравнения получаем: $T_{\text{CAP}} = -(51.2 \text{ пФ})(1 \text{ кОм} + R_{\text{SS}} + R_{\text{S}}) \ln(1/511)$

Рассмотрим пример нахождения минимального времени T_{ACQ}

Исходные данные:

$C_{\text{HOLD}} = 51.2 \text{ пФ}$; $R_{\text{S}} = 10 \text{ кОм}$; Ошибка в 1/2 LSB; $V_{\text{DD}} = 5\text{V} \rightarrow R_{\text{SS}} = 7 \text{ кОм}$

Temp (максимальная рабочая температура) = 50°C

$V_{\text{HOLD}} = 0 @ t = 0$

Замечание 1: Опорное напряжение (V_{REF}) не влияет на уравнение.

Замечание 2: Конденсатор (C_{HOLD}) после каждого преобразования не разряжается.

Замечание 3: Максимальное рекомендуемое сопротивление аналогового источника сигнала составляет 10кОм, для компенсации тока утечки вывода.

Замечание 4: После того, как преобразование завершено, необходимо программно обеспечить задержку в 2.0TAD, прежде чем начать следующее преобразование. В течении этого времени конденсатор C_{HOLD} не подключен к выбранному входному каналу АЦП.

Пример вычисления времени T_{ACQ}

$T_{\text{ACQ}} = \text{Amplifier Settling Time} + \text{Holding Capacitor Charging Time} + \text{Temperature Coefficient}$

$$T_{\text{ACQ}} = 5 \text{ мксек} + T_{\text{CAP}} + [(Temp - 25^\circ\text{C})(0.05 \text{ мксек}/^\circ\text{C})]$$

$$T_{\text{CAP}} = -C_{\text{HOLD}} (R_{\text{IC}} + R_{\text{SS}} + R_{\text{S}}) \ln(1/511) = -51.2 \text{ пФ} (1 \text{ кОм} + 7 \text{ кОм} + 10 \text{ кОм}) \ln(0.0020)$$

$$= -51.2 \text{ пФ} (18 \text{ кОм}) \ln(0.0020) = -0.921 \text{ мксек} (-6.2146)$$

$$T_{\text{CAP}} = 5.724 \text{ мксек}$$

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

$$T_{\text{ACQ}} = 11.974 \text{ мксек}$$

Выбор источника импульсов преобразования АЦП

Время преобразования зависит от T_{AD} . Для восьми битного аналого-цифрового преобразования требуется время $9.5T_{AD}$. T_{AD} зависит от выбранного источника импульсов преобразования, доступны четыре варианта:

- 2 TOSC
- 8 TOSC
- 32 TOSC
- Внутренний RC генератор.

Для достоверного аналого-цифрового преобразования должен быть выбран источник импульсов, обеспечивающий время T_{AD} не менее 1.6 мксек, но не более 8 мксек.

Зависимость времени T_{AD} от рабочей частоты

Источник импульсов АЦП		Рабочая частота		
Источник	ADCS1:ADCS0	4МГц	1.25МГц	333.33кГц
2TOSC	00	500нСек ⁽²⁾	1.6 мксек	6мксек
8TOSC	01	2 мксек	6.4 мксек	24мксек ⁽³⁾
32TOSC	10	8 мксек	25.6 мксек ⁽³⁾	96мксек ⁽³⁾
RC-генератор ⁽⁵⁾	11	2-6мксек ^(1,4)	2-6мксек ^(1,4)	2-6мксек ⁽¹⁾

Затененные ячейки показывают, что значение находится за пределами рекомендуемого порога значений.

Замечания:

1. RC-источник импульсов имеет значение $T_{AD} \approx 4$ мксек.
2. Это значение выходит за пределы минимально-допустимого времени T_{AD} .
3. Для более преобразования рекомендуется выбрать другой источник импульсов.
4. Если рабочая частота устройства больше 1МГц, рекомендуется использовать RC-генератор импульсов для преобразования, и для работы в SLEEP-режиме.
5. Для устройств с расширенным диапазоном рабочего напряжения (LC), необходимо ознакомиться со спецификацией электрических характеристик.

Настройка аналоговых выводов

Регистры ADCON1 и TRIS отвечают за настройку выводов АЦП. Если выводы микросхемы конфигурируются как аналоговые входы, то при этом должны быть установлены соответствующие биты в регистре TRIS. Если соответствующий бит сброшен, 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 бит TRIS.

Замечание 1: При чтении содержимого регистра порта нули будут установлены в тех разрядах, которые были настроены как аналоговые входы.

Замечание 2: Значения напряжений, подаваемых на выводы, настроены как аналоговые входы, включая выводы (AN3:AN0), могут влиять на ток потребления входного буфера, который может выйти за пределы значений, оговоренных в технической спецификации.

Аналого-цифровое преобразование

Рассмотрим пример программы на ассемблере работы с АЦП.

Выводы GPIO сконфигурированы как аналоговые входы. Источник опорного напряжения – VDD. Разрешены прерывания от АЦП. Источником импульсов преобразования является RC-генератор. Аналоговое цифровое преобразование выполняется с вывода GP0 (канал 0).

Сброс бита GO/DONE во время преобразования приведет к его прекращению, при этом регистр ADRES не изменит своего содержимого. После досрочного завершения преобразования необходимо обеспечить временную задержку $2T_{AD}$ перед новым преобразованием.

Замечание: Биты GO/DONE и бит включения АЦП должны устанавливаться различными командами!

Пример программы

```
BSF STATUS, RP0 ; Выбираем банк регистров 1
CLRF ADCON1 ; Конфигурируем аналоговые входы
BSF PIE1, ADIE ; Включаем обработку прерывания от модуля АЦП
BCF STATUS, RP0 ; Выбираем банк регистров 0
MOVLW 0xC1 ; Источник импульсов - RC генератор, выбираем канал 0 АЦП
MOVWF ADCON0 ;
BCF PIR1, ADIF ; Сбрасываем флаг прерывания АЦП
BSF INTCON, PEIE ; Включаем прерывания от периферийных устройств
BSF INTCON, GIE ; Включаем обработку прерываний
; Убедитесь, что прошло определенное время для выбранного входного канала
; Только после этого может начинаться процесс аналого-цифрового преобразования
BSF ADCON0, GO ; Начинаем аналого-цифровое преобразования
; После окончания процесса преобразования установится бит
; ADIF а бит GO/DONE сбросится.
```

Функционирование модуля АЦП в SLEEP режиме

Модуль АЦП может функционировать в SLEEP режиме при условии, что источником импульсов преобразования АЦП будет внутренний RC-генератор (ADCS1:ADCS0=11). После того, как будет выбран RC-источник импульсов, но прежде чем начать преобразование, модулем АЦП будет обеспечена задержка в течение одного цикла команд. Это позволяет программе пользователя выполнить программную команду SLEEP, тем самым уменьшая “цифровой шум” во время преобразования. После того, как преобразование будет закончено, модулем преобразования будет сброшен бит GO/DONE, а результат преобразования будет записан в регистр ADRES. При этом, если было разрешено прерывание от АЦП, то микроконтроллер будет выведен из режима SLEEP. Если же прерывание было запрещено, то после преобразования модуль АЦП будет выключен, хотя бит ADON останется установленным.

Если был выбран отличный от RC-генератора источник импульсов преобразования модуля АЦП, то выполнение программой инструкции SLEEP прервет процесс преобразования и выключит модуль АЦП, оставив установленным бит ADON. Выключение модуля АЦП, в свою очередь уменьшит ток потребления микроконтроллера.

Замечание: Для работы модуля АЦП в SLEEP режиме должен быть выбран внутренний RC-генератор (ADCS1:ADCS0=11), и инструкция SLEEP следует сразу за командой, устанавливающей бит GO/DONE.

Ошибка преобразования модуля 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 ± 1 значащего бита при $VDD=VREF$, но она возрастает при отклонении $VREF$ от VDD .

В системах с низкой рабочей 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 мксек. 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 режиме SLEEP, 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.

Результат выполнения сброса (RESET)

При сбросе микроконтроллера значения всех его регистров устанавливаются по умолчанию. Сброс выключает модуль АЦП, а также останавливает процесс преобразования, если он был начат. Значение регистра ADRES после сброса будет содержать неизвестное значение.

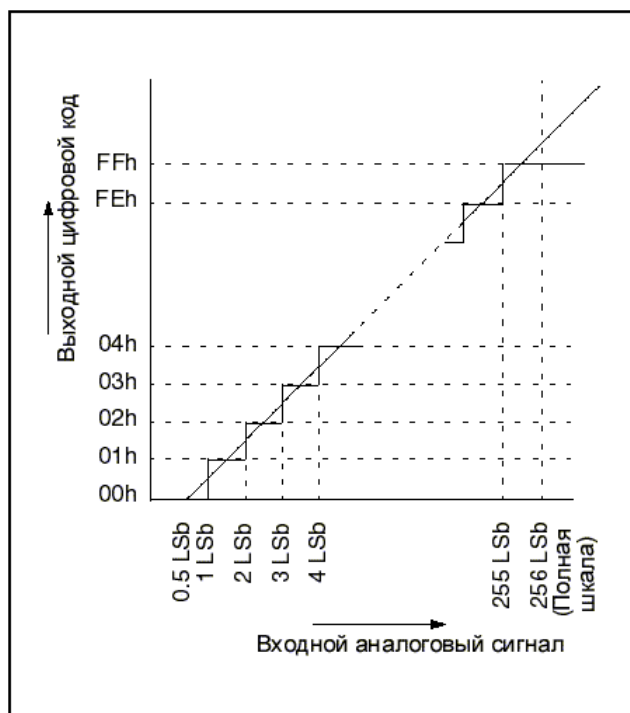
Подключение к модулю АЦП

Если значение входного напряжения превышает на 0.2В величину порога питающих напряжений (VSS и VDD), 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 из соображения, 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.

Функция передачи 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 $VREF/256$.

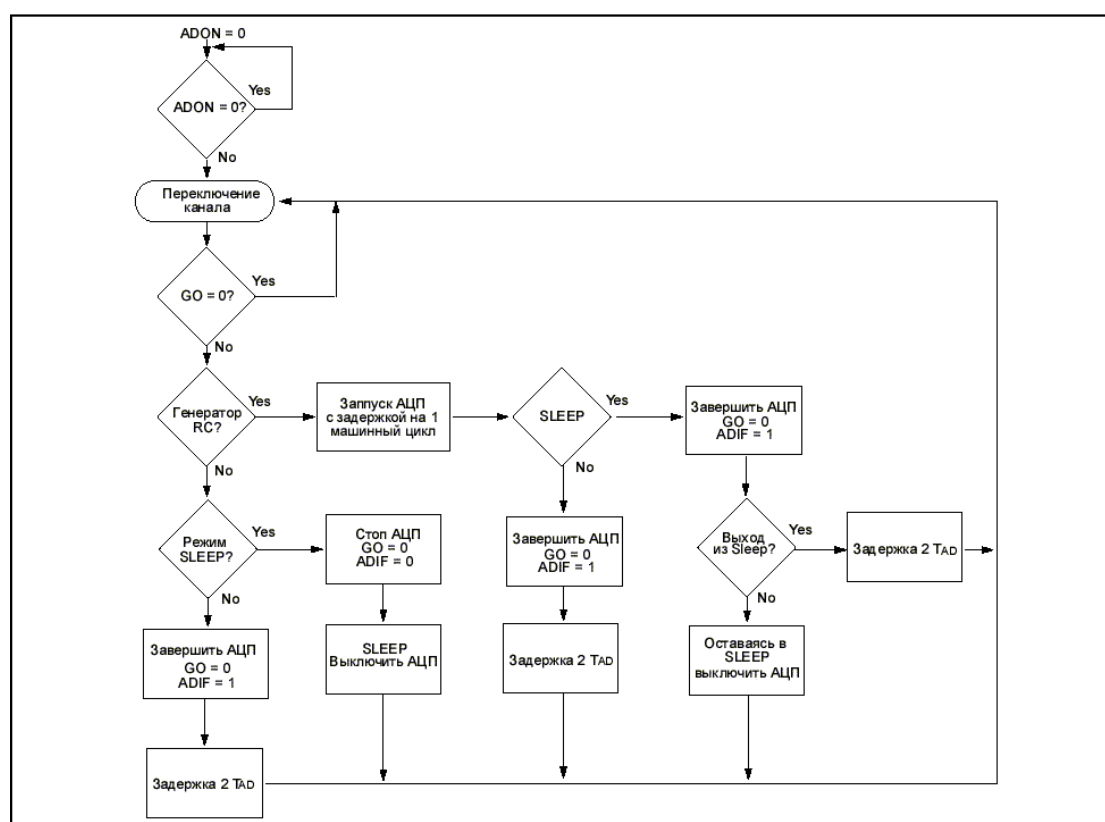


Регистры и биты, используемые при работе с АЦП

Адрес	Имя	Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0	Состояние после POR BOR	Состояние после Reset
0Bh,8Bh	INTCON	GIE	PEIE	T0IE	INTE	GPIE	T0IF	INTF	GPIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	-	ADIF	-	-					-0-- ----	-0-- ----
8Ch	PIE1	-	ADIE	-	-					-0-- ----	-0-- ----
1Eh	ADRES	Результат преобразования								xxxx xxxx	uuuu uuuu
1Fh	ADCON0	ADCS1	ADCS0	-	CHS1	CHS0	GO/DONE	-	ADON	00-0 00-0	00-0 00-0
9Fh	ADCON1	-	-	-	-	-	PCFG2	PCFG1	PCFG0	---- -000	---- -000
05h	GPIO	SCL	SDA	GP5	GP4	GP3	GP2	GP1	GP0	11xx xxxx	11xx xxxx
85h	TRIS	-	-	Регистр направления данных GPIO						--11 1111	--11 1111

Примечание: x = неизвестно, u = без изменений, - = не используются, читаются как "0". Затененные клетки не используются при аналого-цифровом преобразовании.

Блок схема работы АЦП



Статья основывается на технической документации DS30561B компании Microchip Technology Incorporated, USA.