

# 第 11 章: A/D 转换器

---

井艳军

沈阳工业大学电气工程学院

工作原理

相关寄存器

应用举例

## 工作原理

---

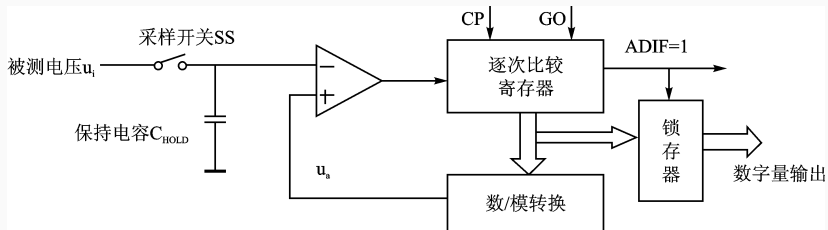
一般单片机在自动控制、自动测量、自动监控系统与各种被控制、测量对象发生关系时，需设置模拟接口模块。模拟接口的作用是将连续不断的模拟量转换为一系列不连续的、离散的数字量。

这种模拟接口称之为模拟/数字转换器，简称为 A/D 转换器 (ADC)。主要讨论 F877 单片机内嵌的 10 位 A/D 转换器。

ADC 的种类繁多，工作原理各异，但逐次逼近型 ADC 是应用较多的类型之一，主要原因为转换速度快、精度高。在 F877 单片机中集成的就是这种 ADC。

逐次逼近型 ADC 是由采样保持电路、电压比较器、逐次逼近寄存器、数/模转换器 DAC 和锁存器等部分组成。

# 逐次逼近型 ADC 结构图



## 逐次逼近型 ADC 结构图

逐次逼近寄存器的最高位  $D_9$  置“1”，如果  $u_a > u_i$ ，说明逼近寄存器所生成的数字量太大，应将逼近寄存器里的最高位去掉，改置次高位  $D_8$  为“1”；如果  $u_a < u_i$ ，说明所生成的数字量还不够大，应保留该位为“1”，此外还需把下一次高位  $D_8$  置“1”，……，依此方法逐位比较下去，直至确定最低位  $D_0$  是“0”还是“1”。

# A/D 转换器主要技术指标

## 1 · 转换时间和转换速率

转换时间是 A/D 完成一次转换所需要的时间，转换时间的倒数即为转换速率。

## 2 · 分辨率

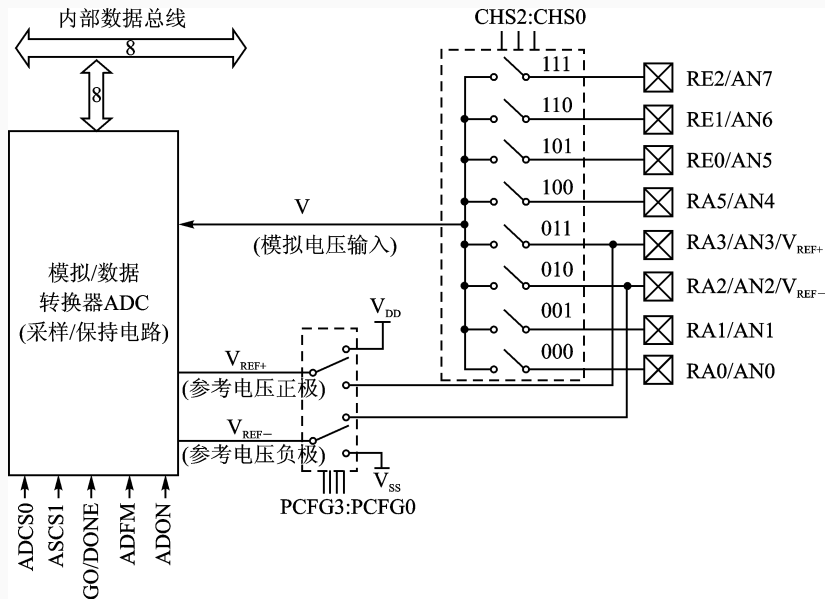
A/D 转换器的量化精度称为分辨率，习惯上用输出二进制位数或 BCD 码表示。例如 AD574 模数转换器，可输出二进制数 12 位，即用  $2^{12}$  个分割对待测模拟量进行量化。

## 3 · 转换精度

A/D 转换器的转换精度定义为一个实际 A/D 转换器在量化值上的差值。可用绝对误差或相对误差表示。



# ADC 模块结构和操作原理



## 相关寄存器

---

## A/D 转换器相关寄存器

F877 内部嵌入的 ADC 模块是 10 位数字量精度，共有 8 个模拟通道。与 ADC 模块有关的寄存器比较多，共有 11 个。

ADC 控制寄存器 0: ADCON0

ADC 控制寄存器 1: ADCON1

ADC 结果寄存器: ADRESH : ADRESL

中断控制寄存器: INTCOM

中断标志寄存器: PIR1

中断屏蔽寄存器: PIE1

A、E 口方向寄存器: TRISA、TRISE

A、E 口数据寄存器: PORTA、PORTE

## A/D 控制寄存器 ADCON0

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/ $\overline{DONE}$	—	ADON

## A/D 控制寄存器 ADCON0

**Bit0/ADON:** A/D 转换器开关位。

0: 关闭 ADC, 令其退出工作状态, 可以不消耗电流;

1: 起用 ADC, 令其进入工作状态。

**Bit2/GO /  $\overline{DONE}$ :** A/D 转换启动控制位兼作状态位。

在 ADON=1 的前提下:

0: A/D 转换已经完成 (自动清零) 或表示未进行 A/D 转换;

1: 启动 A/D 转换过程或表明 A/D 转换正在进行。

## A/D 控制寄存器 ADCON0

**Bit5-Bit3/CHS2-CHS0:** A/D 转换模拟信道选择位。

选择公共通路与哪一个模拟输入端接通。其中 AN5~AN7 通道只有 40 脚封装的型号才具备。

000	选择信道 0, RA0 / AN0;
001	选择信道 1, RA1 / AN1;
010	选择信道 2, RA2 / AN2;
011	选择信道 3, RA3 / AN3;
100	选择信道 4, RA5 / AN4;
101	选择信道 5, RE0 / AN5;
110	选择信道 6, RE1 / AN6;
111	选择信道 7, RE2 / AN7。

**Bit7-Bit6/ADCS1-ADSC0:** A/D 转换时钟及其频率选择位。

00	选择系统时钟，频率为 $f_{osc}/2$ ;
01	选择系统时钟，频率为 $f_{osc}/8$ ;
10	选择系统时钟，频率为 $f_{osc}/32$ ;
11	选择内部阻容（RC）振荡器，频率为 $f_{RC}$ 。

## AD 转换的时钟周期最小 1.6us

1.25MHz 时钟周期  $T_{OSC}=0.866\mu s$ , AD 时钟周期  
 $T_{AD}=2T_{OSC}=1.633\mu s$

5MHz 时钟周期  $T_{OSC}=0.2\mu s$ , AD 的时钟周期需  
 $T_{AD}=8T_{OSC}=1.6\mu s$

20MHz 时钟周期  $T_{OSC}=0.05\mu s$ , AD 的时钟周期  
 $T_{AD}=32T_{OSC}=1.6\mu s$

RC 振荡器的时钟周期 2-6us



## A/D 控制寄存器 ADCON1

主要用于控制相关引脚的功能选择。对于 RA 和 RE 端口的各条引脚功能进行设置，它们可以被设置成模拟输入、或者参考电压输入、或者通用数字 I/O 引脚。

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
ADFM	-	-	-	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0

# A/D 控制寄存器 ADCON1

Bit3- Bit0/PCFG3-PCFG0:A/D 转换引脚功能选择位。

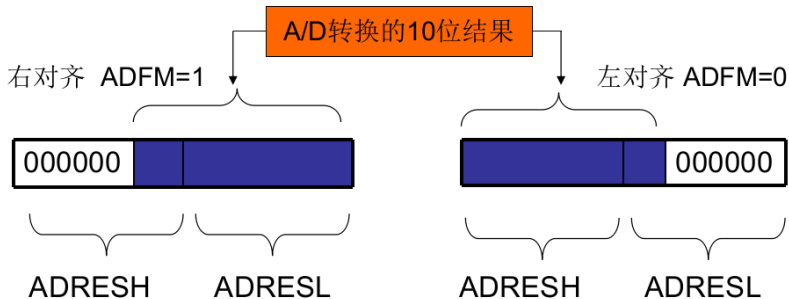
PCFG3	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	V <sub>REF+</sub>	V <sub>REF-</sub>	CHAN/
PCFG0	RE2	RE1	RE0	RA5	RA3	RA2	RA1	RA0			REFS
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	8/0
0001	A	A	A	A	V <sub>REF+</sub>	A	A	A	RA3	V <sub>SS</sub>	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	5/0
0011	D	D	D	A	V <sub>REF+</sub>	A	A	A	RA3	V <sub>SS</sub>	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	3/0
0101	D	D	D	D	V <sub>REF+</sub>	D	A	A	RA3	V <sub>SS</sub>	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	V <sub>DD</sub>	RA2	0/0
1000	A	A	A	A	V <sub>REF+</sub>	V <sub>REF-</sub>	A	A	RA3	V <sub>SS</sub>	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	6/0
1010	D	D	A	A	V <sub>REF+</sub>	A	A	A	RA3	V <sub>SS</sub>	5/1
1011	D	D	A	A	V <sub>REF+</sub>	V <sub>REF-</sub>	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	V <sub>REF+</sub>	V <sub>REF-</sub>	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	V <sub>REF+</sub>	V <sub>REF-</sub>	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	1/0
1111	D	D	D	D	V <sub>REF+</sub>	V <sub>REF-</sub>	D	A	RA3	RA2	1/2

## A/D 控制寄存器 ADCON1

**Bit7/ADFM:** A/D 转换结果格式选择位，主动参数。

0: 结果左对齐，ADRESL 寄存器的低 6 位读作 0;

1: 结果右对齐，ADRESH 寄存器的高 6 位读作 0;



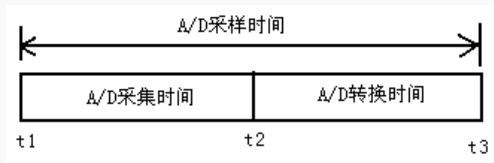
## 方向控制寄存器 TRISA、TRISE

方向控制寄存器 TRISA、TRISE 和 ADCON1 配合使用，有控制 ADC 模拟通道引脚的功能。作为模拟输入时，方向寄存器中相应位必须被置位。如果方向寄存器相应位被清零，把相应引脚设置为输出方式，也就成通用数字 I/O 引脚。

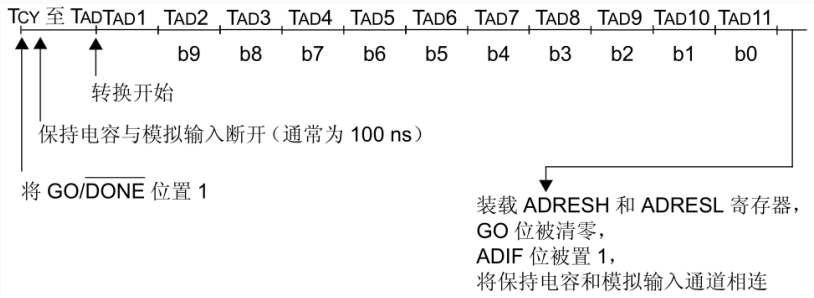
ADC 模块的转换行为与 ADCON1 寄存器内 PCHS2-PCHS0 位的状态无关，转换模拟信道是由 ADCON0 的 CHS2-CHC0 确定的。

## A/D 转换的简单时序

下图给出了 A/D 转换的简单时序，采集时间是指 A/D 转换模块的保持电容连接外部模拟输入的时间，然后是 A/D 转换时间两者的总和为 A/D 采样时间。在一次 A/D 转换完成，或选择一个新的输入通道， $t_1$  时刻 A/D 保持电容开始充电， $t_2$  时刻充电完成，置位 GO/ 启动 A/D 转换， $t_1$  到  $t_2$  这段时间为采集时间， $t_3$  时刻 A/D 转换完成，转换结果加载 ADRESH:ADRESL 寄存器对，ADIF 置位，保持电容重新充电，返回到  $t_1$ 。



# A/D 转换周期



在 PIC16F87X 系列单片机中，A/D 转换模块在休眠状态下仍可工作，这需把 A/D 转换时钟设置成 RC 振荡器方式 (ADCS1:ADCS0=11)。

当选择 RC 振荡源作为 A/D 转换时钟后，A/D 转换模块要等待一个指令周期后才开始进行 A/D 转换。

这就允许执行一条 SLEEP 休眠指令，从而消除所有的数字切换噪声。

当 A/D 转换完成，GO/位被清零，同时转换结果被送入 ADRESH:ADRESL 寄存器中。

这时如果 A/D 中断被开放，则把芯片从休眠状态中唤醒。但如果 A/D 中断被禁止，即使 ADON 位为 1，A/D 转换模块也被关闭。

如果 A/D 转换时钟是采用非 RC 振荡器方式，即使 ADON 位保持为 1，执行 SLEEP 指令将中止当前的 A/D 转换，并关闭 A/D 转换部件。

关闭 A/D 转换部件将使芯片进入最小功耗状态。



## 复位对 A/D 转换的影响

因为复位会使所有的寄存器回到复位状态，同时复位也迫使 A/D 转换模块关闭，且任何转换都被取消。所有的 A/D 输入引脚配置为模拟输入。

在上电复位时 A/D 转换结果寄存器 ADRESH: ADRESL 中的值不会变化，加电延时复位后 A/D 转换结果寄存器 ADRES 中的数据是随机的数。

## AD 转换操作注意事项

1. AD 转换的时钟周期不能小于 1.6us。
2. 通道转换后，需等待 20us 以上的采样时间。
3. AD 转换结束到下一次 AD 转换开始需等待 2TAD 的时间。
4. AD 转换过程中，清 GO 位可终止 AD 转换，ADRES 不更新。
5. AD 转换时，相应的引脚设为输入，否则，转换结果为输出电压的转换结果（TRISx 的设置不会阻止 AD 模块的工作）。
6. AD 使能位 ADON 和 AD 启动位 GO 不能用一条指令设置。
7. 压缩  $V_{REF+}$  和  $V_{REF-}$  之间的电压可提高分辨率，但

$$V_{REF+} - V_{REF-} > 2V$$

$$V_{DD} - 2.5V < V_{REF+} < V_{DD} + 0.3V$$

$$V_{SS} - 0.3V < V_{REF-} < V_{REF+} - 2V$$

## 实现 A/D 转换步骤

当按要求完成 A/D 模块的配置，还必须选择模拟输入通道，通道对应的引脚必须设置为输入，同时也应考虑采样时间。当一切都设置完成后，才启动 A/D 转换。下面是实现 A/D 转换所需要完成的步骤：

- 1、配置 A/D 转换功能模块：
  - 对模拟引脚/基准电压/数字 I/O 进行设置 (ADCON1);
  - 选择 A/D 输入通道 (ADCON0);
  - 选择 A/D 转换时钟 (ADCON0);
  - 打开 A/D 转换器 (ADCON0)。

- 2、如果需要 A/D 中断功能，设置 A/D 中断：
  - 清零 A/D 转换完成中断标志位 ADIF (ADIF=0);
  - 置位 A/D 转换中断允许位 ADIE (ADIE=1);
  - 置位外设中断允许位 PEIE (PEIE=1);
  - 置位全局中断允许位 GIE (GIE=1)。
- 3、等待 A/D 采集时间 (约 20us)。
- 4、置位 GO/ ，启动 A/D 转换。

## 实现 A/D 转换步骤

- 5、等待 A/D 转换完成。一般可以通过以下两种方法中的一种来判断：
  - 软件查询 GO/ 的状态是否为 0;
  - 等待产生 A/D 转换完成中断。
- 6、读 A/D 结果寄存器对 ADRESH:ADRESL, 如果需要, 复位 A/D 转换完成中断标志 ADIF。
- 7、如果需要进行下一次 A/D 转换, 根据要求转到步骤 (1) 或 (2), 但从一次转换完成到下一次转换开始至少需要等待两倍的每 BIT 转换时间。

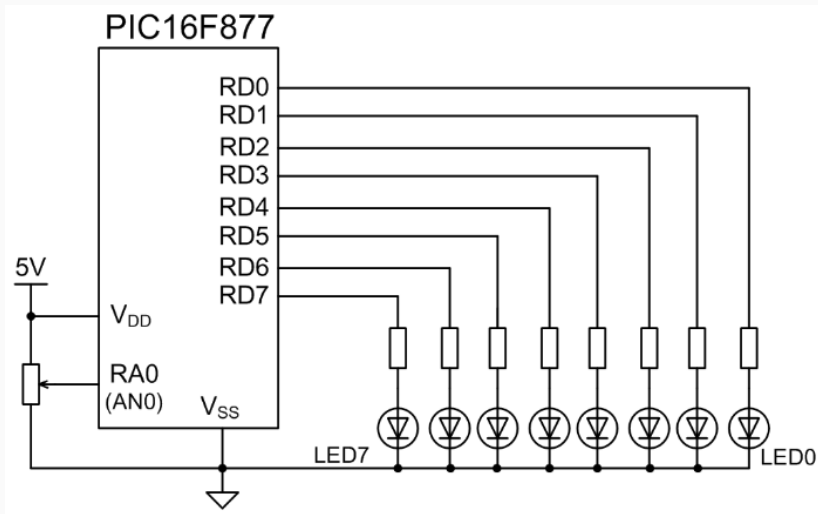
## 应用举例

---

### 例题:

要求用 RA0(AN0) 作为模拟量输入, 参考电压选  $V_{DD}$  和  $V_{SS}$ , 系统时钟 4MHz, RD 口连接 8 个 LED 显示灯, 作为 8 位 AD 转换结果的显示窗口, 采用查询实现 AD 转换。

## ADC 模块应用举例





# ADC 模块应用举例

```
;-----  
        LIST P=16F877  
        INCLUDE "p16f877a.inc"  
;-----  
  
        ORG      0000H  
        NOP  
START    BSF      STATUS, RP0  
        CLRF     TRISD  
        MOVLW    01H  
        MOVWF    TRISA  
        MOVLW    0EH  
        MOVWF    ADCON1  
        BCF      STATUS, RP0  
        CLRF     PORTD  
        MOVLW    41H  
        MOVWF    ADCON0
```

## ADC 模块应用举例

```
MAIN    BCF      PIR1 , ADIF
        CALL     DEL10ms
        BSF      ADCON0, GO
LOOP    BTFSS    PIR1 , ADIF
        GOTO     LOOP
        MOVF     ADRESH , W
        MOWWF    PORTD
        GOTO     MAIN
DEL10ms ...
        ...
        END
```