
第 34 章 比较器

目录

本章包括下列主题：

34.1 简介	34-2
34.2 比较器寄存器	34-3
34.3 比较器工作原理	34-6
34.4 比较器配置	34-7
34.5 比较器中断	34-8
34.6 比较器参考电压发生器	34-10
34.7 初始化	34-12
34.8 寄存器映射	34-13
34.9 设计技巧	34-14
34.10 相关应用笔记	34-15
34.11 版本历史	34-16

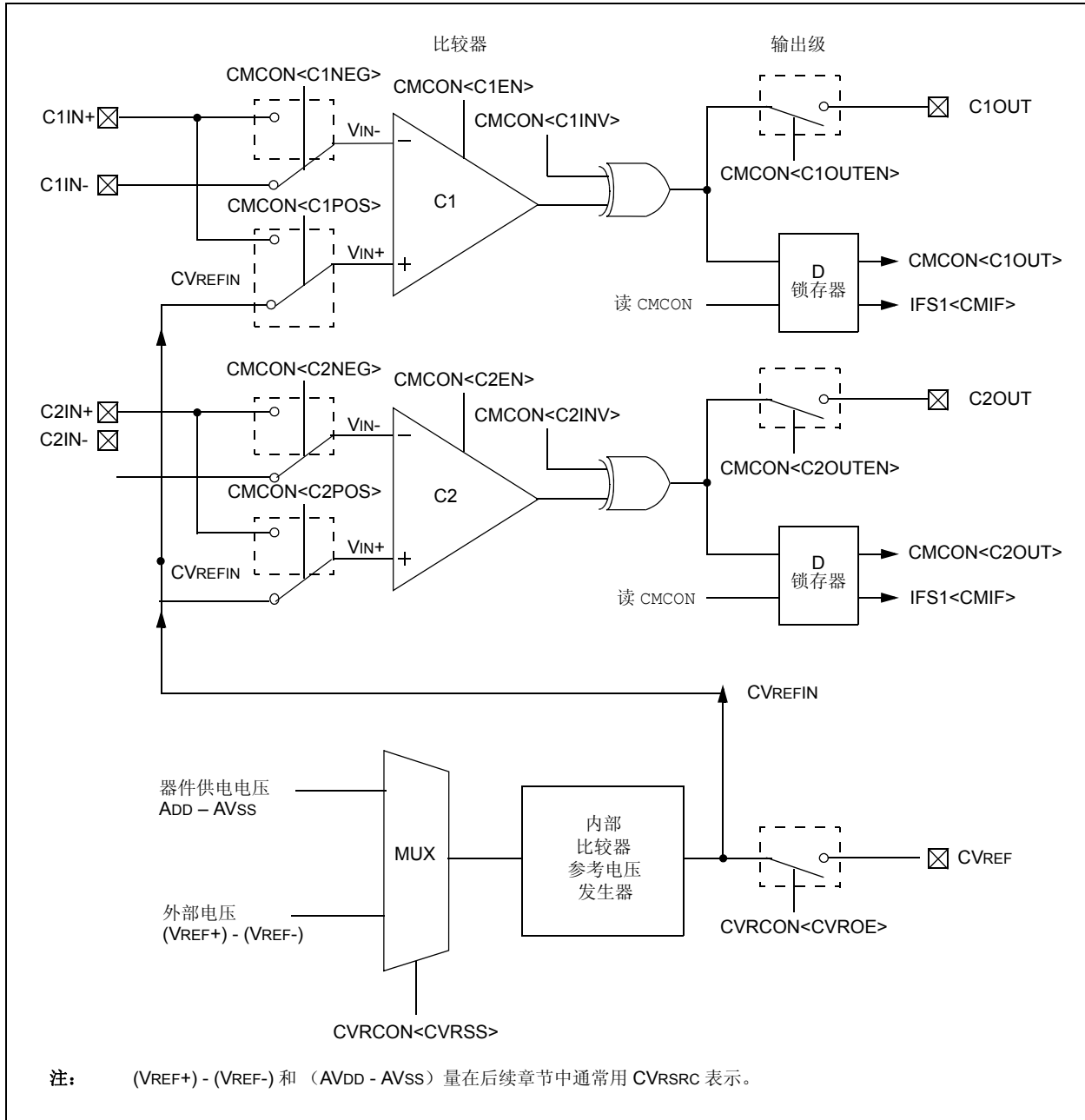
34.1 简介

PIC24H 的比较器模块提供两个比较器，可以用多种方式进行配置。如图 34-1 所示，可由比较器控制（CMCON）寄存器中的配置位指定各个比较器选项，执行以下操作：

- 使能比较器
- 选择输入组合
- 使能输出反相
- 使能 I/O 引脚上的输出

比较器的工作模式由输入选择决定（即，输入电压是与另一个输入电压还是与内部参考电压相比较）。内部参考电压是由比较器参考电压控制（CVRCON）寄存器配置的梯形电阻网络生成的。

图 34-1: 比较器 I/O 工作模式



34.2 比较器寄存器

比较器模块使用以下寄存器：

- **CMCON**：比较器控制寄存器

该寄存器允许应用程序使能、配置并操作各比较器。

- **CVRCON**：比较器参考电压控制寄存器

该寄存器允许应用程序使能、配置并操作比较器内部参考电压发生器（详细信息，请参见第 34.6 节“比较器参考电压发生器”）。

寄存器 34-1: CMCON: 比较器控制寄存器

R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
CMIDL	—	C2EVT	C1EVT	C2EN	C1EN	C2OUTEN	C1OUTEN
bit 15							bit 8

R-0	R-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
C2OUT	C1OUT	C2INV	C1INV	C2NEG	C2POS	C1NEG	C1POS
bit 7							bit 0

图注：

R = 可读位

-n = POR 时的值

C = 可清零位

W = 可写位

1 = 置 1

U = 未实现位，读为 0

0 = 清零

x = 未知

- bit 15 **CMIDL**：空闲模式停止位
1 = 当器件进入空闲模式时，模块不产生中断。模块仍然使能
0 = 在空闲模式下模块继续正常工作
- bit 14 **未实现**：读为 0
- bit 13 **C2EVT**：比较器 2 事件位
1 = 比较器输出已改变状态
0 = 比较器输出未改变状态
- bit 12 **C1EVT**：比较器 1 事件位
1 = 比较器输出已改变状态
0 = 比较器输出未改变状态
- bit 11 **C2EN**：比较器 2 使能位
1 = 使能比较器
0 = 禁止比较器
- bit 10 **C1EN**：比较器 1 使能位
1 = 使能比较器
0 = 禁止比较器
- bit 9 **C2OUTEN**：比较器 2 输出使能位
1 = 比较器输出驱动到输出焊盘
0 = 比较器输出不驱动到输出焊盘
- bit 8 **C1OUTEN**：比较器 1 输出使能位
1 = 比较器输出驱动到输出焊盘
0 = 比较器输出不驱动到输出焊盘

寄存器 34-1: CMCON: 比较器控制寄存器 (续)

bit 7	C2OUT: 比较器 2 输出位 <u>当 C2INV = 0 时:</u> 1 = $V_{IN+} > V_{IN-}$ 0 = $V_{IN+} < V_{IN-}$ <u>当 C2INV = 1 时:</u> 0 = $V_{IN+} > V_{IN-}$ 1 = $V_{IN+} < V_{IN-}$
bit 6	C1OUT: 比较器 1 输出位 <u>当 C1INV = 0 时:</u> 1 = $V_{IN+} > V_{IN-}$ 0 = $V_{IN+} < V_{IN-}$ <u>当 C1INV = 1 时:</u> 0 = $V_{IN+} > V_{IN-}$ 1 = $V_{IN+} < V_{IN-}$
bit 5	C2INV: 比较器 2 输出反相位 1 = C2 输出反相 0 = C2 输出不反相
bit 4	C1INV: 比较器 1 输出反相位 1 = C1 输出反相 0 = C1 输出不反相
bit 3	C2NEG: 比较器 2 反相端输入配置位 1 = 输入连接到 C2IN+ 0 = 输入连接到 C2IN- 请参见图 34-1 了解比较器模式。
bit 2	C2POS: 比较器 2 同相端输入配置位 1 = 输入连接到 C2IN+ 0 = 输入连接到 CVREFIN 请参见图 34-1 了解比较器模式。
bit 1	C1NEG: 比较器 1 反相端输入配置位 1 = 输入连接到 C1IN+ 0 = 输入连接到 C1IN- 请参见图 34-1 了解比较器模式。
bit 0	C1POS: 比较器 1 同相端输入配置位 1 = 输入连接到 C1IN+ 0 = 输入连接到 CVREFIN 请参见图 34-1 了解比较器模式。

寄存器 34-2: CVRCON: 比较器参考电压控制寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 15						bit 8	

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
CVREN	CVROE ⁽¹⁾	CVRR	CVRSS	CVR<3:0>			
bit 7						bit 0	

图注:

R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位, 读为 0
-n = POR 时的值	1 = 置 1	0 = 清零
		x = 未知

- bit 15-8 **未实现:** 读为 0
- bit 7 **CVREN:** 比较器参考电压使能位
1 = 比较器参考电压电路上电
0 = 比较器参考电压电路断电
- bit 6 **CVROE:** 比较器参考电压输出使能位 ⁽¹⁾
1 = 电压从 CVREF 引脚输出
0 = 电压从 CVREF 引脚断开
- bit 5 **CVRR:** 比较器参考电压范围选择位
1 = 0 CVRSRC 到 0.67 CVRSRC, 步长为 CVRSRC/24
0 = 0.25 CVRSRC 到 0.75 CVRSRC, 步长为 CVRSRC/32
- bit 4 **CVRSS:** 比较器参考电压源选择位
1 = 比较器参考电压源, CVRSRC = (VREF+) – (VREF-)
0 = 比较器参考电压源, CVRSRC = AVDD – AVSS
- bit 3-0 **CVR<3:0>:** 比较器参考电压值选择位 (0 ≤ CVR<3:0> ≤ 15)
当 CVRR = 1 时:
 $CVREFIN = (CVR<3:0>/24) \times (CVRSRC)$
当 CVRR = 0 时:
 $CVREFIN = 1/4 \times (CVRSRC) + (CVR<3:0>/32) \times (CVRSRC)$

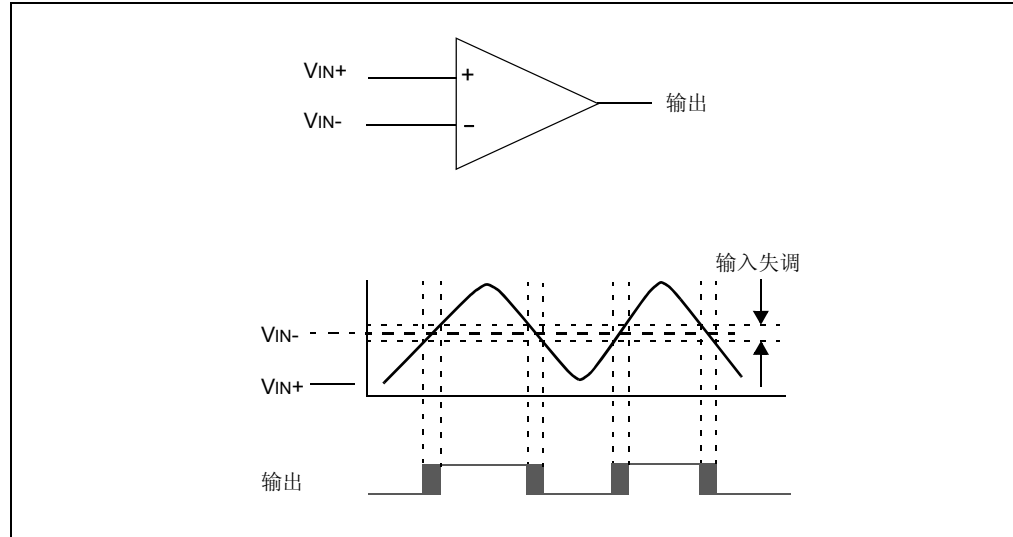
注 1: CVROE 改写 TRIS 位设置。

34.3 比较器工作原理

图 34-2 所示为典型比较器的工作原理，以及模拟输入电压与数字输出之间的关系。根据比较器的工作模式，被监视的模拟信号与外部参考电压、或内部参考电压相比较。两个比较器中任意一个都可以配置为使用相同或不同的参考源。例如，可以让一个比较器使用外部参考电压，而另一个使用内部参考电压。但是，如果两个比较器都使用内部参考电压，则它们必须使用相同的参考电压值 (CVREFIN)。关于比较器操作的更多详细信息，请参见第 34.6 节“比较器参考电压发生器”。

在图 34-2 中，外部参考电压 V_{IN-} 是固定的外部电压。将 V_{IN+} 上的模拟信号与 V_{IN-} 上的参考信号作比较，当差值足够大时产生比较器的数字输出。当 V_{IN+} 小于 V_{IN-} 时，比较器的输出为数字低电平。当 V_{IN+} 大于 V_{IN-} 时，比较器的输出为数字高电平。输出的阴影区域表示因输入失调电压和响应时间所造成的输出不确定区域。

图 34-2: 比较器工作原理



输入失调代表可能发生比较器跳变点的电压范围。输出在该失调范围内任何一点都可能跳变。响应时间是比较器识别出输入电压变化所需的最小时间。

34.4 比较器配置

比较器模块的两个比较器中任意一个都可以通过比较器控制 (CMCON) 寄存器 (寄存器 34-1) 独立配置。该寄存器使应用程序能操作比较器模块, 以控制:

- 输入信号源 (CxPOS 和 CxNEG 位)
- 输出信号极性 (CxINV 位)
- 输出信号路径 (CxOUT 位)

34.4.1 输入信号源

输入信号可以连接到同相端 (VIN+) 或反相端 (VIN-) 比较器接线端。这些连接通过以下配置位定义:

- **C1POS**——比较器 1 同相端输入配置位 (CMCON<0>)
- **C1NEG**——比较器 1 反相端输入配置位 (CMCON<1>)
- **C2POS**——比较器 2 同相端输入配置位 (CMCON<2>)
- **C2NEG**——比较器 2 反相端输入配置位 (CMCON<3>)

表 34-1 概述了可能的输入信号配置, 以及每种配置的配置位设置。

表 34-1: 输入信号配置

比较器输入端		CxPOS	CxNEG
同相端 (VIN+)	反相端 (VIN-)		
CVREFIN	C1IN-	0	0
CVREFIN	C1IN+	0	1
C1IN+	C1IN-	1	0

注: 参考电压 CVREFIN 可从器件供电电压 (AVDD - AVSS) 生成, 也可从外部电压 (VREF+) - (VREF-) 生成。该选择通过 CVRCON<CVRSS> 位实现。

34.4.2 输出信号极性

输出信号的极性由以下配置位决定:

- **C1INV**——比较器 1 输出反相位 (CMCON<4>)
- **C2INV**——比较器 2 输出反相位 (CMCON<5>)

这些位的配置指定相应比较器输出位的状态是如何获得的。

34.4.3 输出信号路径

如图 34-3 所示, 比较器模块提供了两条输出信号路径。第一条路径是通过以下 CMCON 寄存器位控制:

- **C1OUT**——比较器 1 输出 (CMCON<6>)
- **C2OUT**——比较器 2 输出 (CMCON<7>)

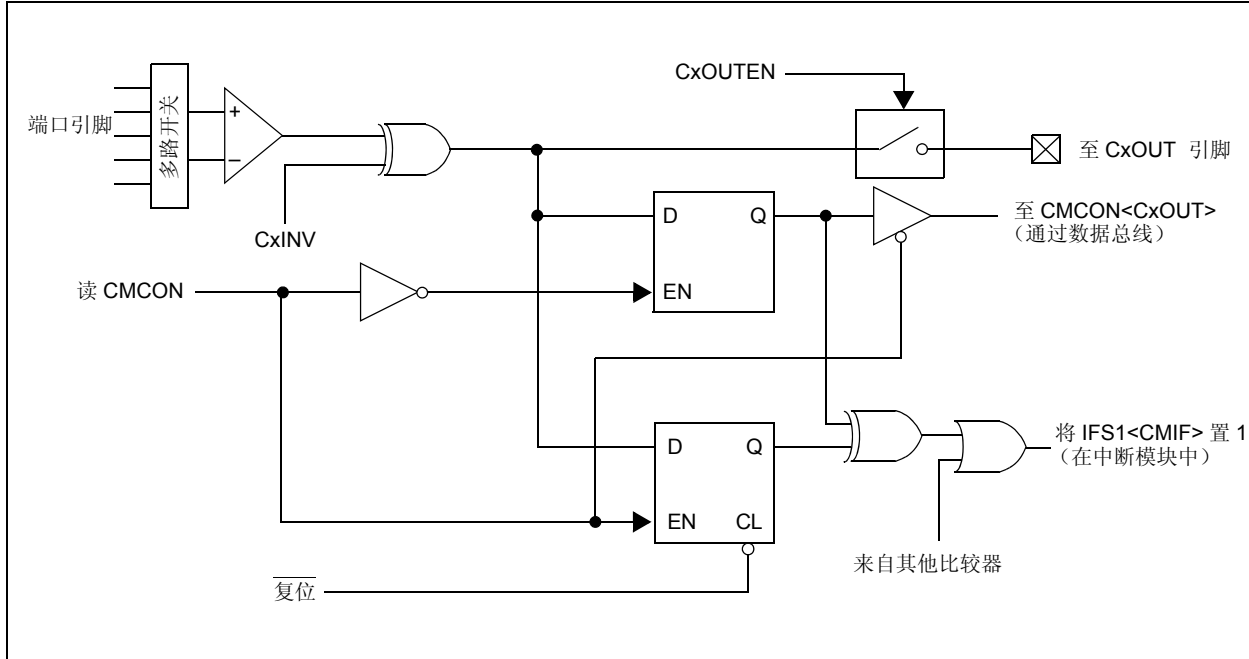
这两个位是只读的。它们的状态由输入信号的关系, 按照读操作时信号源和信号极性配置的定义决定。

第二条输出路径是控制比较器输出是否输出到 C1OUT 和 C2OUT I/O 引脚。比较器的实时输出可以通过以下配置位直接门控输出到 C1OUT 和 C2OUT I/O 引脚:

- **C1OUTEN**——比较器 1 输出使能 (CMCON<8>)
- **C2OUTEN**——比较器 2 输出使能 (CMCON<9>)

在使用该输出信号路径时, 相关的 TRIS 位仍作为 I/O 引脚的输出使能 / 禁止位。

图 34-3: 比较器输出框图



34.5 比较器中断

比较器中断标志 CMIF (IFS1<2>) 会在两个比较器中任一比较器的同步输出值相对上个读取值改变时置 1。以下状态位反映了输出的改变:

- **C1EVT**——比较器 1 事件 (CMCON<12>)
- **C2EVT**——比较器 2 事件 (CMCON<13>)

软件可以通过读 C1EVT 和 C2EVT 来确定实际发生的变化。由于可以向该寄存器写入 1，因此可以通过软件产生模拟中断。CMIF 和 CxEVT 位都必须通过用软件清零而复位。这两个位可以在中断服务程序 (Interrupt Service Routine, ISR) 中清零。更多信息，请参见第 6 章“中断” (DS70224)。

注: 产生中断所需的比较是基于当前比较器的状态和比较器输出的上个读取值。读 CMCON 寄存器中的 C1OUT 和 C2OUT 位时，将更新用于产生中断的值。

34.5.1 休眠期间的中断操作

如果使能了比较器而 PIC24H 器件处于休眠模式，比较器仍保持工作状态。如果在中断模块中允许了比较器中断，它也将保持工作状态。在以上条件下，比较器中断事件会将器件从休眠模式唤醒。

每个工作比较器都将消耗额外电流。若要将休眠模式下的功耗降至最低，可通过禁止 C1EN 和 C2EN 位 (CMCON<11:10>) 在进入休眠模式前关闭比较器。如果器件从休眠状态唤醒，CMCON 寄存器的内容不受影响。关于休眠模式的更多信息，请参见第 9 章“看门狗定时器和节能模式” (DS70236)。

34.5.2 复位的影响

器件复位强制 CMCON 寄存器进入其复位状态，导致比较器模块被关闭 ($CxEN = 0$)。但是，器件复位时与模拟输入源复用的输入引脚被默认配置为模拟输入。这些引脚的 I/O 配置由 ADxPCFG 寄存器的设置决定。因此，当复位时引脚呈现模拟输入状态，将使器件电流降至最低。

34.5.3 模拟输入连接注意事项

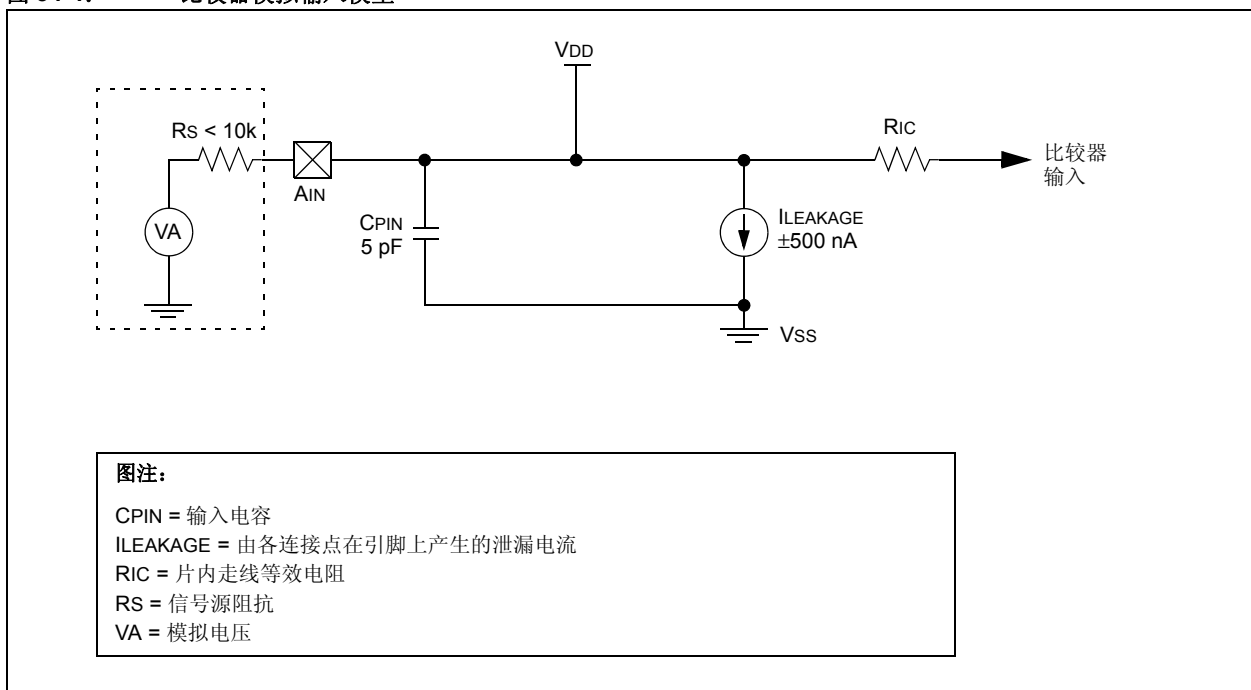
模拟输入的简化电路如图 34-4 所示。模拟信号源的最大阻抗推荐值为 $10\text{ k}\Omega$ 。任何连接到模拟输入引脚的外部元件（如电容或齐纳二极管），要保证其泄漏电流极小。

34.5.4 空闲期间的中断操作

空闲期间的比较器中断操作由空闲模式停止位 CMIDL (CMCON<15>) 控制。如果 CMIDL = 0，继续正常的中断操作。如果 CMIDL = 1，比较器继续工作，但不产生中断。比较器在空闲模式下保持工作状态。

关于空闲模式的更多信息，请参见第 9 章“看门狗定时器和节能模式” (DS70236)。

图 34-4: 比较器模拟输入模型



34.6 比较器参考电压发生器

内部比较器参考电压来自一个 16 阶的梯形电阻网络，可提供多个参考电压供选择，如图 34-5 所示。该梯形电阻网络为模拟比较器提供内部参考电压。

该电压发生器网络是由比较器参考电压控制（CVRCON）寄存器（见寄存器 34-2）通过以下控制位来管理的：

- **CVREN**——比较器参考电压使能（CVRCON<7>）
该控制位用于使能参考电压电路。
- **CVROE**——比较器参考电压输出使能（CVRCON<6>）
该控制位允许将参考电压施加于 CVREF 引脚。当使能时，该位会覆盖相应的 TRIS 位设置。
- **CVRSS**——比较器参考电压源选择（CVRCON<4>）
该控制位指定参考电压电路的电压源（CVRSS）是器件电压源（AVDD 和 AVSS），还是外部参考电压（VREF+ 和 VREF-）。
- **CVRR**——比较器参考电压范围选择（CVRCON<5>）
该控制位选择 16 阶梯形电阻网络涵盖的两个电压范围之一：
 - 0 CVRSRC 到 0.67 CVRSRC
 - 0.25 CVRSRC 到 0.75 CVRSRC
 所选范围还决定了梯形电阻网络可用的电压增量（见第 34.6.1 节“配置比较器参考电压”）。
- **CVR<3:0>** 比较器参考电压值选择（CVRCON<3:0>）
这些位指定了梯形电阻网络的位置。

表 34-2 列出了 CVRSRC = 3.3V 时两个电压范围的每个抽头的电压。

图 34-5: 比较器参考电压框图

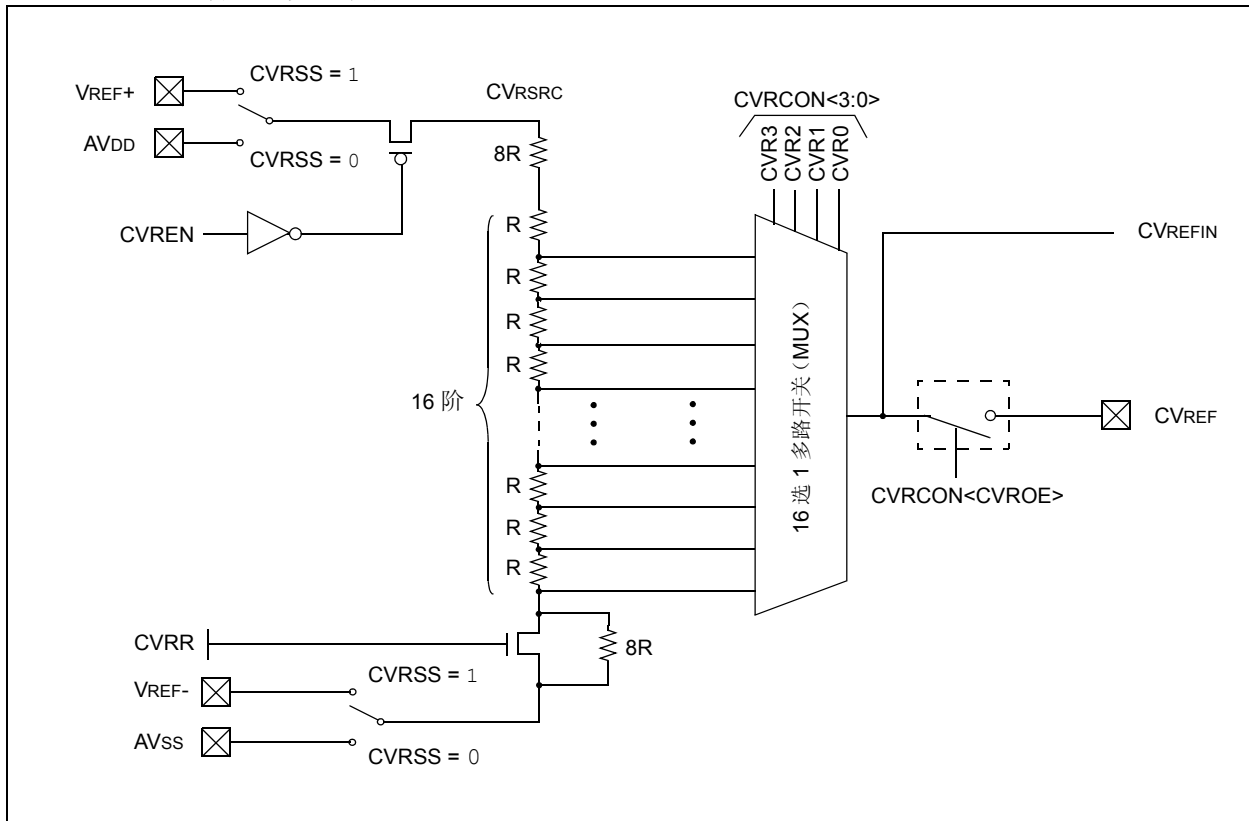


表 34-2: 典型的参考电压, CVRSRC = 3.3V

CVR<3:0>	抽头	参考电压	
		CVRR = 0	CVRR = 1
0000	0	0.83V	0.00V
0001	1	0.93V	0.14V
0010	2	1.03V	0.28V
0011	3	1.13V	0.41V
0100	4	1.24V	0.55V
0101	5	1.34V	0.69V
0110	6	1.44V	0.83V
0111	7	1.55V	0.96V
1000	8	1.65V	1.10V
1001	9	1.75V	1.24V
1010	10	1.86V	1.38V
1011	11	1.96V	1.51V
1100	12	2.06V	1.65V
1101	13	2.17V	1.79V
1110	14	2.27V	1.93V
1111	15	2.37V	2.06V

34.6.1 配置比较器参考电压

CVRR 位选择的电压范围也决定了 CVR<3:0> 位选择的步长。其中一个范围 (CVRR = 0) 通过为每步提供较小的电压增量, 提供较高的分辨率。下面是用于计算比较器参考电压的公式:

- 如果 CVRR = 1:
参考电压 = ((CVR<3:0>)/24) x (CVRSRC)
- 如果 CVRR = 0:
参考电压 = (CVRSRC/4) + ((CVR<3:0>)/32) x (CVRSRC)

34.6.2 参考电压精度 / 误差

由于梯形电阻网络顶部和底部的晶体管 (图 34-5) 使参考电压值实际上不能达到参考电压源的满幅值, 所以不能实现整个参考电压范围的满量程输出。参考电压是由参考电压源分压而来的, 因此参考电压输出随参考电压源的波动而变化。请查看您所使用的器件的电气特性, 了解参考电压精度。

34.6.3 休眠期间的操作

如果因中断或看门狗定时器超时将器件从休眠模式唤醒, CVRCON 寄存器的内容将不受影响。若要将休眠模式下的电流消耗降至最低, 应禁止参考电压模块。

34.6.4 复位的影响

器件复位会产生以下影响:

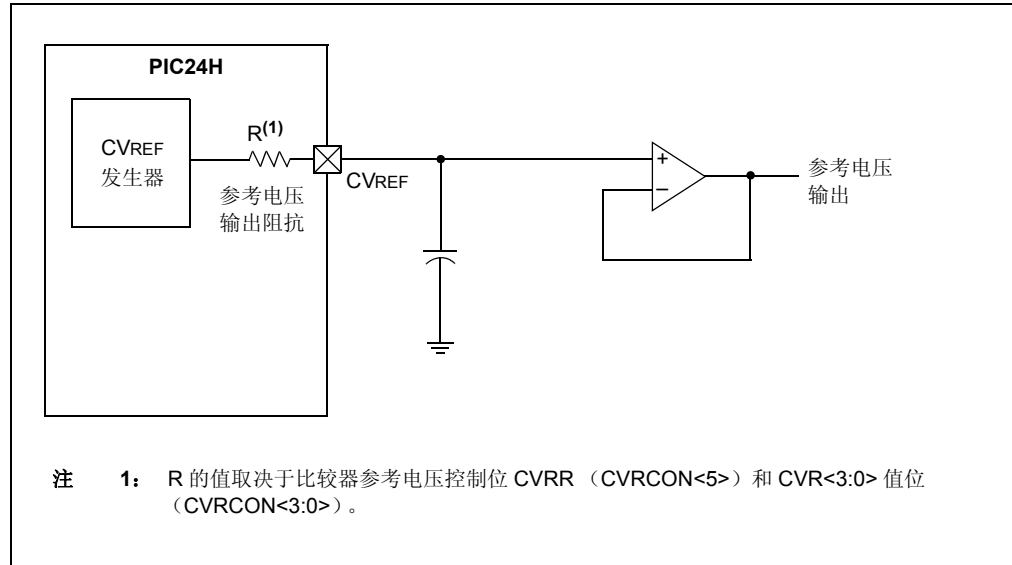
- 通过清零 CVREN 位 (CVRCON<7>) 禁止参考电压模块
- 通过清零 CVROE 位 (CVRCON<6>) 使参考电压从 CVREF 引脚断开
- 通过清零 CVRR 位 (CVRCON<5>) 选择高电压范围
- 清零 CVR 值位 (CVRCON<3:0>)

34.6.5 连接注意事项

参考电压发生器的工作独立于比较器模块。如果 CVROE 位 (CVRCON<6>) 被置 1, 则参考电压发生器的输出连接到 CVREF 引脚。当 I/O 被配置为数字输入引脚时, 将参考电压输出连接到 I/O 引脚, 将会增加电流消耗。使能 CVRSS 时, 将与 CVREF 相关的端口配置为数字输出也将增加电流消耗。

CVREF 输出引脚可被用作简单的 D/A 输出, 但是其驱动能力有限。要提高电流驱动能力, CVREF 参考电压输出端必须外接缓冲器。图 34-6 给出了一个缓冲技术示例。

图 34-6: 参考电压输出缓冲示例



34.7 初始化

例 34-1 中所示的初始化序列将比较器模块配置为两个独立的比较器, 并使能比较器输出, 比较器 1 的输出反相。比较器参考电压模块配置为输出使能, 输出设置为 $0.25 * V_{DD}$ 。该示例中使用的延时基于 8 MHz 振荡器。

例 34-1: 比较器和参考电压配置

```
CMCON = 0x0F10; //Initialize Comparator Module

CVRCON= 0x00C0; //Initialize Voltage Reference Module

CMCONbits.C1EVT= 0; //Clear Comparator 1 Event
CMCONbits.C2EVT= 0; //Clear Comparator 2 Event

asm volatile("repeat #40"); //Delay 10 μs
Nop();
```

34.8 寄存器映射

表 34-3 中提供了与比较器模块相关的寄存器汇总。

表 34-3: 比较器寄存器映射

寄存器名称	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	所有复位时的状态
CMCON	CMIDL	—	C2EVT	C1EVT	C2EN	C1EN	C2OUTEN	C1OUTEN	C2OUT	C1OUT	C2INV	C1INV	C2NEG	C2POS	C1NEG	C1POS	0000
CVRCON	—	—	—	—	—	—	—	—	CVREN	CVROE	CVRR	CVRSS	CVR<3:0>			0000	

图注: — = 未实现, 读为 0。复位值以十六进制显示。

34.9 设计技巧

问 1: *为什么参考电压不是我所期望的电压?*

答 1: 参考电压源的任何变化都将直接反映到 CVREF 引脚。此外，请确保您正确计算（指定）了用于产生参考电压的分压器。

问 2: *为什么在我将 CVREF 连接到低阻抗电路时，参考电压不是我所期望的电压?*

答 2: 参考电压模块不用于驱动大负载。必须在 PIC24H 器件的 CVREF 引脚和负载之间使用缓冲器（见图 34-6）。

34.10 相关应用笔记

本节列出了与手册本章内容相关的应用笔记。这些应用笔记可能并不是专为 PIC24H 器件系列而编写的，但其概念是相近的，通过适当修改并受到一定限制即可使用。当前与比较器模块相关的应用笔记包括：

标题	应用笔记编号
Make a Delta-Sigma Converter Using a Microcontroller's Analog Comparator Module	AN700
A Comparator Based Slope ADC	AN863

注： 如需获取更多 PIC24H 系列器件的应用笔记和代码示例，请访问 Microchip 网站 (www.microchip.com)。

34.11 版本历史

版本 A（2007 年 10 月）

这是本文档的初始版本。

版本 B（2009 年 1 月）

该版本包括以下更新：

- 图片：
 - 更新了图 34-1 中比较器的输入。
- 注：
 - 在图 34-1 中添加了关于 CVRSRC 的“注”。
 - 在第 34.4.1 节“输入信号源”中添加了关于参考电压 CVREFIN 的“注”。
- 章节：
 - 更新了第 34.3 节“比较器工作原理”中对输入失调电压错误的说明。
 - 删除了第 34.6.1 节“配置比较器参考电压”中错误的说明。
- 表格：
 - 更新了表 34-1 中错误的表值。
- 对整篇文档进行了其他少量修正，如语言和格式的更新。