

第39章 运放/比较器

本章包括下列主题：

39.1 简介	39-2
39.2 运放/比较器寄存器	39-4
39.3 比较器操作	39-10
39.4 节能模式下的比较器操作	39-15
39.5 比较器配置	39-15
39.6 比较器中断	39-20
39.7 运放的工作原理	39-22
39.8 运放配置	39-23
39.9 版本历史	39-28

注： 本系列参考手册章节旨在用作对器件数据手册的补充。本手册章节可能并不适用于所有PIC32器件，具体取决于器件型号。

请参阅当前器件数据手册中“**运放/比较器**”章节开头的注释，以确定本文档是否支持您正在使用的器件。

Microchip 数据手册和系列参考手册的相关章节可从Microchip网站下载，网址为：<http://www.microchip.com>。

39.1 简介

某些特定PIC32系列器件最多可实现八个运放/比较器模块。一些模块无法实现运放，这些模块称为独立比较器模块，以区别于可同时实现比较器和运放的标准类型。当一个器件上可同时实现运放和比较器时，可对二者单独使能。运放/比较器模块实例的实际数量因器件而异。此外，每个器件至少实现一个“仅比较器”或“独立”模块。

运放具有可用于访问的反相和同相输入以及可连接外部增益/滤波反馈元件的输出。此外，运放的输出可以内部连接到ADC模块，无需使用其他外部引脚。此外，运放的输出可以连接到模块中的比较器输入或独立的比较器。运放可以在不使用时完全禁止。

比较器还允许通过器件引脚访问其反相和同相输入。同相输入引脚可连接到内部产生的参考信号，也可通过引脚连接到外部参考信号。反相输入可以连接最多四个外部引脚，也可以从内部连接到运放的输出。比较器输出可以完全禁止，以防出现在输出引脚上，所释放的引脚可用于其他用途。此外，输出可通过外设引脚选择模块重新映射到不同的引脚。

独立比较器在反相输入端实现了一个4 x 1多路开关，可选择所需信号与同相输入进行比较。最多可通过多路开关将运放的三个输出从内部连接到独立比较器的输入。

注： 要确定所使用器件可实现的运放/比较器数量，请参见具体器件数据手册中的“**运放/比较器**”章节。

运放模块能够将小信号放大到大于8倍的增益。

可对比较器的输出进行进一步消隐/屏蔽（在可编程持续时间内）和/或数字滤波。数字滤波器具有使用各种时钟源在不同频率进行采样的能力。

39.1.1 特性

比较器模块具有以下特性：

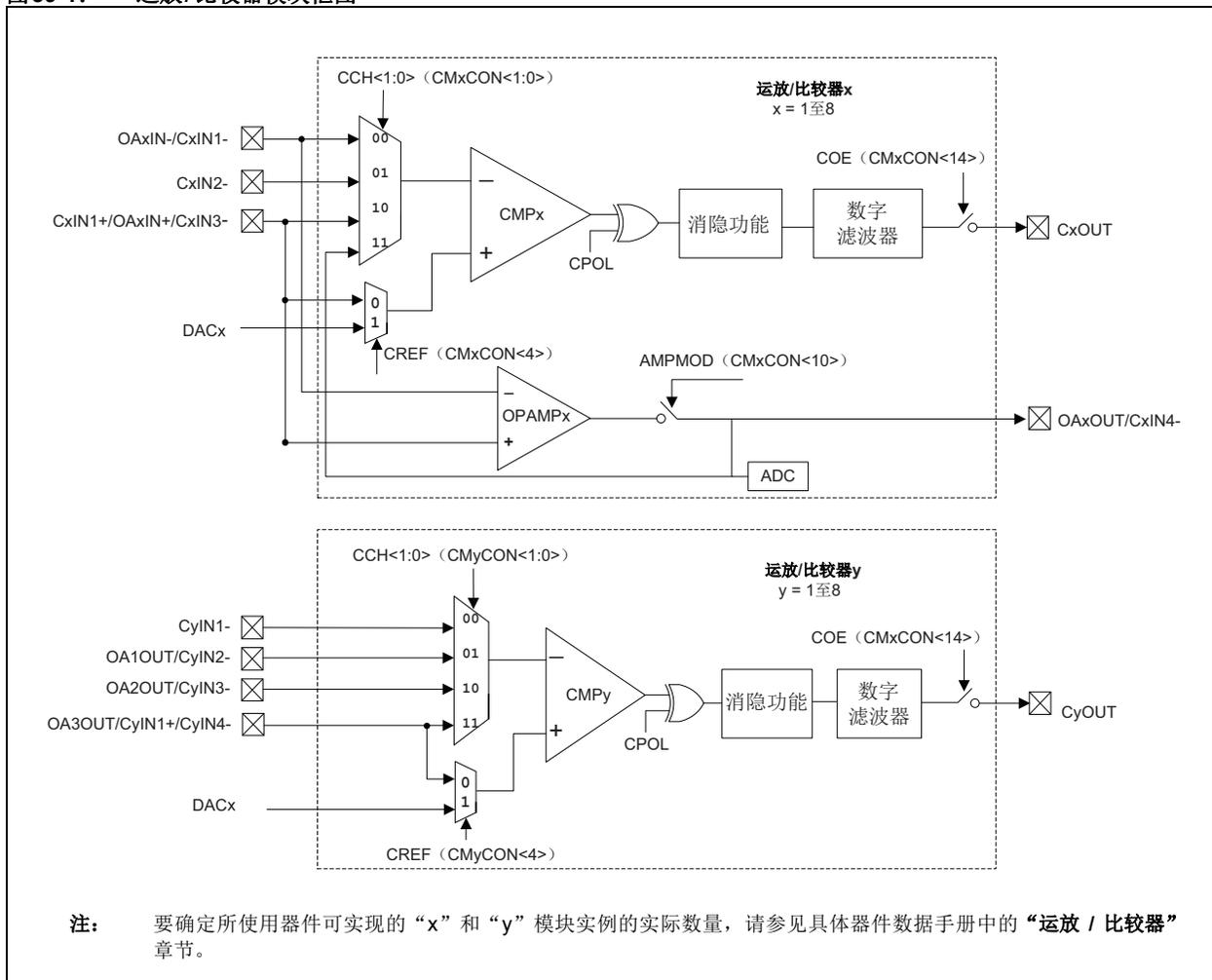
- 外部访问差分输入
- 轨到轨操作
- 内置滞后
- 用于节能的掉电模式
- 软件可选的比较器输出极性
- 软件可选的触发/中断生成边沿
- 可在所选可重复编程引脚（CxOUT）上输出
- 用于屏蔽意外输出状态转换事件的消隐逻辑
- 数字比较器输出噪声/去抖滤波器

运放模块具有以下特性：

- 差分输入
- 轨到轨输入电压范围
- 三态输出
- 信号增益配置大于8的内部补偿

图39-1说明了由特殊功能寄存器（Special Function Register, SFR）控制位指定的运放/比较器模块选项。

图39-1: 运放/比较器模块框图



39.2 运放/比较器寄存器

以下寄存器可用于运放/比较器模块：

- **CMSTAT：运放/比较器状态寄存器**

CMSTAT 寄存器提供用于控制的配置位，以在空闲模式下禁止或继续操作所有运放/比较器。在正常操作模式下，该寄存器将提供单个SFR中所有比较器输出和事件的状态，相应输出和事件复制到此处作为CMxCON<9:8>中的等效只读位。此外，还可以从外部或内部参考源选择比较器参考。

- **CMxCON：运放/比较器控制寄存器**

CMxCON 寄存器允许应用程序使能、配置各个运放/比较器并与其交互。

- **CMxMSKCON：比较器屏蔽控制寄存器**

CMxMSKCON 寄存器允许应用程序选择消隐功能的输入源，还允许应用程序指定消隐功能逻辑。

表39-1简要汇总了所有相关运放/比较器模块寄存器。汇总后面是相应的寄存器，然后是每个寄存器的详细说明。

表39-1： 运放/比较器特殊功能寄存器汇总

寄存器名称 ⁽¹⁾	位范围	Bit 31/15	Bit 30/14	Bit 29/13	Bit 28/12	Bit 27/11	Bit 26/10	Bit 25/9	Bit 24/8	Bit 23/7	Bit 22/6	Bit 21/5	Bit 20/4	Bit 19/3	Bit 18/2	Bit 17/1	Bit 16/0
CMSTAT	31:16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	15:0	—	—	SIDL	—	—	—	—	CVREFSEL	C8OUT	C7OUT	C6OUT	C5OUT	C4OUT	C3OUT	C2OUT	C1OUT
CMxCON	31:24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	CFSEL<2:0>		CFLTREN	CFDIV<2:0>			
	23:16	ON	COE	CPOL	CLPWR	OA0	AMPMOD	—	COU	EVPOL<1:0>		—	CREF	—	—	CCH<1:0>	
CMxMSKCON	31:24	—	—	—	—	SELSRCC<3:0>			SELSRCB<3:0>			SELSRCA<3:0>					
	23:16	HLMS	—	OCEN	OCNEN	OBEN	OBNEN	OAEN	OANEN	NAGS	PAGS	ACEN	ACNEN	ABEN	ABNEN	AAEN	AANEN

图注： — = 未实现，读为0。

注 1： 所有寄存器都具有相关的清零、置1和反相寄存器，偏移量分别为0x4、0x8和0xC字节。这些寄存器的名称中含有相同部分，但各自在名称末尾附加对应的CLR、SET或INV（例如，CMSTATCLR）。将1写入这些寄存器中的任何位位置都将清除相关寄存器中的有效位。应忽略这些寄存器的读取操作。

寄存器 39-1: CMSTAT: 运放/比较器状态寄存器

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0							
	—	—	—	—	—	—	—	—
23:16	R-0							
	C8EVT ⁽¹⁾	C7EVT ⁽¹⁾	C6EVT ⁽¹⁾	C5EVT ⁽¹⁾	C4EVT ⁽¹⁾	C3EVT ⁽¹⁾	C2EVT ⁽¹⁾	C1EVT ⁽¹⁾
15:8	U-0	U-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0
	—	—	SIDL	—	—	—	—	CVREFSEL ⁽²⁾
7:0	R-0							
	C8OUT	C7OUT	C6OUT	C5OUT	C4OUT	C3OUT	C2OUT	C1OUT

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 31-24 **未实现:** 读为0

bit 23-16 **C8EVT:C1EVT:** 运放/比较器8至比较器1事件状态位⁽¹⁾

- 1 = 发生运放/比较器事件
- 0 = 未发生运放/比较器事件

bit 15-14 **未实现:** 读为0

bit 13 **SIDL:** 空闲模式停止位

- 1 = 当器件进入空闲模式时, 停止所有运放/比较器的工作
- 0 = 在空闲模式下模块继续工作

bit 12-9 **未实现:** 读为0

bit 8 **CVREFSEL:** CVREF参考电压选择位⁽²⁾

- 1 = 选择外部CVREF参考电压
- 0 = 选择内部参考电压

bit 7-0 **C8OUT:C1OUT:** 运放/比较器8至比较器1输出状态位

- 当CPOL = 0时:
- 1 = $V_{IN+} > V_{TH+}$
 - 0 = $V_{IN+} < V_{TH-}$
- 当CPOL = 1时:
- 1 = $V_{IN+} < V_{TH-}$
 - 0 = $V_{IN+} > V_{TH+}$

注 1: 这些位是有效的, 并且基于可用的运放/比较器。有关可用性的信息, 请参见具体器件数据手册中的“运放/比较器”章节。

2: 仅当器件上提供比较器参考电压 (CVREF) 模块时, 该位才有效。有关可用性的信息, 请参见具体器件数据手册中的“运放/比较器”章节。

寄存器 39-2: CMxCON: 运放/比较器控制寄存器

位范围	Bit 31/23/15/7	Bit 30/22/14/6	Bit 29/21/13/5	Bit 28/20/12/4	Bit 27/19/11/3	Bit 26/18/10/2	Bit 25/17/9/1	Bit 24/16/8/0
31:24	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
23:16	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	CFSEL<2:0> ⁽¹⁾			CFLTREN	CFDIV<2:0> ⁽²⁾		
15:8	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R-0
	ON	COE	CPOL	CLPWR ⁽³⁾	OAO	AMPMOD	—	COUT
7:0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0
	EVPOL<1:0>		—	CREF	—	—	CCH<1:0>	

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 31-23 **未实现:** 读为0

bit 22-20 **CFSEL<2:0>:** 比较器输出滤波器时钟源选择位⁽¹⁾

111 = 保留

.

.

.

010 = 保留

001 = PBCLK

000 = SYSCLK

bit 19 **CFLTREN:** 比较器输出数字滤波器使能位

1 = 使能数字滤波器

0 = 禁止数字滤波器

bit 18-16 **CFDIV<2:0>:** 比较器输出滤波器时钟分频比选择位⁽²⁾

111 = 1:128 时钟分频比

110 = 1:64 时钟分频比

101 = 1:32 时钟分频比

100 = 1:16 时钟分频比

011 = 1:8 时钟分频比

010 = 1:4 时钟分频比

001 = 1:2 时钟分频比

000 = 1:1 时钟分频比

bit 15 **ON:** 比较器使能位

1 = 使能比较器

0 = 禁止比较器

bit 14 **COE:** 比较器输出使能位

1 = 比较器输出显现在 CxOUT 引脚上

0 = 比较器输出仅限内部

bit 13 **CPOL:** 比较器输出极性选择位

1 = 比较器输出反相

0 = 比较器输出不反相

注 1: 有关时钟源的更多信息, 请参见具体器件数据手册中的“运放/比较器”章节。

2: 数字滤波器输入时钟是指令时钟 (SYSCLK) 或外设总线时钟 (PBCLK)。

3: 并非在所有器件上均提供该位。有关可用性的信息, 请参见具体器件数据手册中的“运放/比较器”章节。

寄存器 39-2: CMxCON: 运放/比较器控制寄存器 (续)

bit 12	CLPWR: 比较器低功耗模式选择位 ⁽³⁾ 1 = 比较器工作在低功耗/低速模式下 0 = 比较器工作在标准功耗模式下
bit 11	OAO: 运放输出使能位 1 = 运放输出显现在 OAxOUT 引脚上 0 = 运放输出不显现在 OAxOUT 引脚上
bit 10	AMPMOD: 运放模式使能位 1 = 放大器/比较器在双模式下工作 (运放和比较器均使能) 0 = 放大器/比较器在仅比较器模式下工作
bit 9	未实现: 读为 0
bit 8	COUT: 比较器输出位 <u>当 CPOL = 0 (同相极性) 时:</u> 1 = $V_{IN+} > V_{TH+}$ 0 = $V_{IN+} < V_{TH-}$ <u>当 CPOL = 1 (反相极性) 时:</u> 1 = $V_{IN+} < V_{TH-}$ 0 = $V_{IN+} > V_{TH+}$
bit 7-6	EVPOL<1:0>: 触发/事件极性选择位 11 = 比较器输出发生任何变化时均生成触发/事件 10 = 仅当极性选定的比较器输出从高电平跳变为低电平时才会生成触发/事件 <u>如果 CPOL = 0 (同相极性):</u> 比较器输出从高电平跳变为低电平 <u>如果 CPOL = 1 (反相极性):</u> 比较器输出从低电平跳变为高电平 01 = 仅当极性选定的比较器输出从低电平跳变为高电平时才会生成触发/事件 <u>如果 CPOL = 0 (同相极性):</u> 比较器输出从低电平跳变为高电平 <u>如果 CPOL = 1 (反相极性):</u> 比较器输出从高电平跳变为低电平 00 = 禁止触发/事件生成
bit 5	未实现: 读为 0
bit 4	CREF: 运放/比较器参考选择位 1 = V_{IN+} 输入连接到内部 DAC1 输出电压 0 = V_{IN+} 输入连接到 CxIN1+ 引脚
bit 3-2	未实现: 读为 0
bit 1-0	CCH<1:0>: 比较器通道选择位 ⁽¹⁾ 11 = CxIN4- 10 = CxIN3- 01 = CxIN2- 00 = CxIN1-

注 1: 有关时钟源的更多信息, 请参见具体器件数据手册中的“运放/比较器”章节。

2: 数字滤波器输入时钟是指令时钟 (SYSCLK) 或外设总线时钟 (PBCLK)。

3: 并非在所有器件上均提供该位。有关可用性的信息, 请参见具体器件数据手册中的“运放/比较器”章节。

寄存器 39-3: CMxMSKCON: 比较器屏蔽控制寄存器 (续)

bit 6	PAGS: 正与门输出选择位 1 = 使能连接到或门的与门正输出 0 = 禁止连接到或门的与门正输出
bit 5	ACEN: 与门“C”输入使能位 1 = 使能“C”输入作为与门的输入 0 = 禁止“C”输入作为与门的输入
bit 4	ACNEN: 与门“C”反相输入使能位 1 = 使能“C”输入(反相)作为与门的输入 0 = 禁止“C”输入(反相)作为与门的输入
bit 3	ABEN: 与门“B”输入使能位 1 = 使能“B”输入作为与门的输入 0 = 禁止“B”输入作为与门的输入
bit 2	ABNEN: 与门“B”反相输入使能位 1 = 使能“B”输入(反相)作为与门的输入 0 = 禁止“B”输入(反相)作为与门的输入
bit 1	AAEN: 与门“A”输入使能位 1 = 使能“A”输入作为与门的输入 0 = 禁止“A”输入作为与门的输入
bit 0	AAEN: 与门“A”反相输入使能位 1 = 使能“A”输入(反相)作为与门的输入 0 = 禁止“A”输入(反相)作为与门的输入

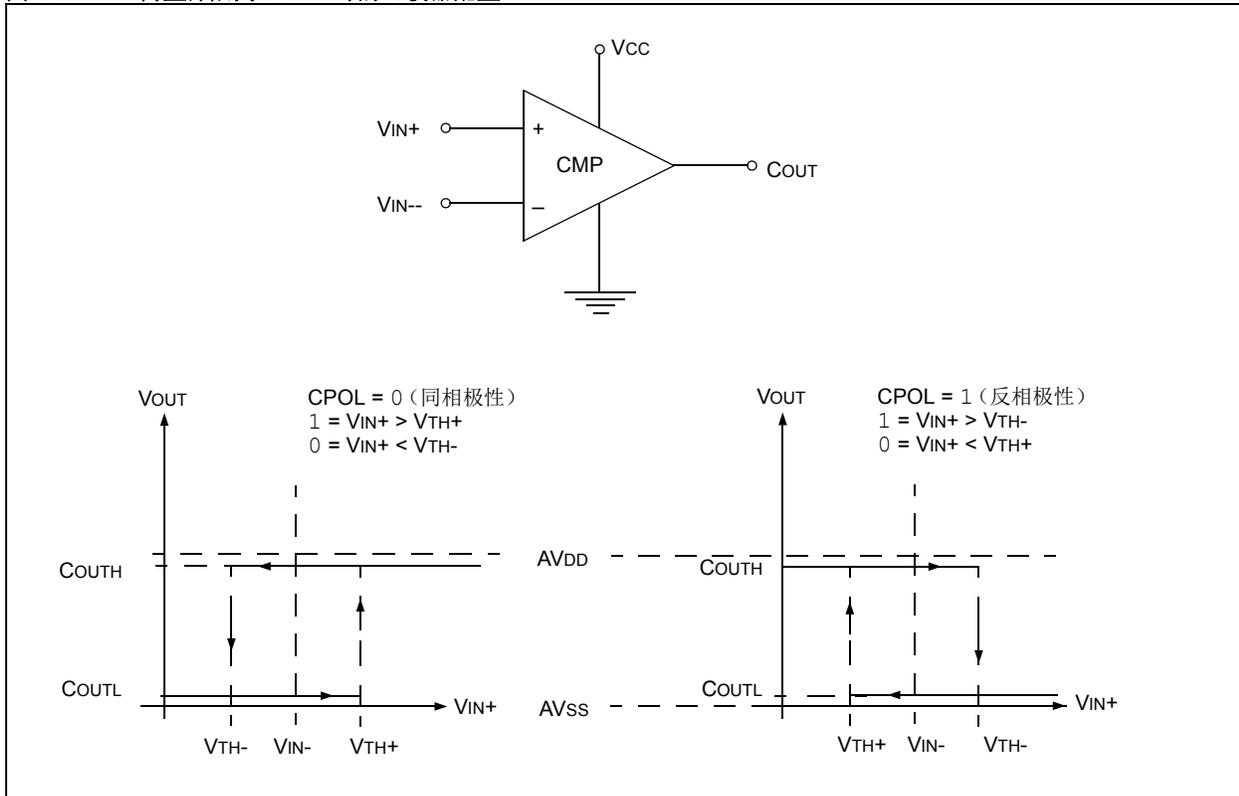
注 1: 有关屏蔽值的信息, 请参见具体器件数据手册中的“运放/比较器”章节。

39.3 比较器操作

图39-2显示了典型运放/比较器的工作原理以及模拟输入电压和数字输出之间的关系。根据不同的比较器工作模式，将监控的模拟信号与外部参考电压或内部参考电压进行比较。各比较器可以配置为使用相同或不同的参考源。例如，一个比较器可以使用外部参考，而其他比较器可以使用内部参考。关于运放/比较器参考电压的更多信息，请参见《PIC32系列参考手册》的**第20章“比较器参考电压”**（DS60001109）。

图39-2中的外部参考VIN-为固定电压。VIN+的模拟信号与VIN-的参考信号进行比较，比较器的数字输出通过两个信号之差形成。如果VIN+ < VIN-时，比较器输出数字低电平。如果VIN+ 高于VIN-，比较器输出数字高电平。可将比较器输出的极性反相，使VIN+ > VIN-时输出数字低电平。

图39-2: 内置滞后为10 mV时的比较器配置



39.3.1 比较器输出到器件引脚

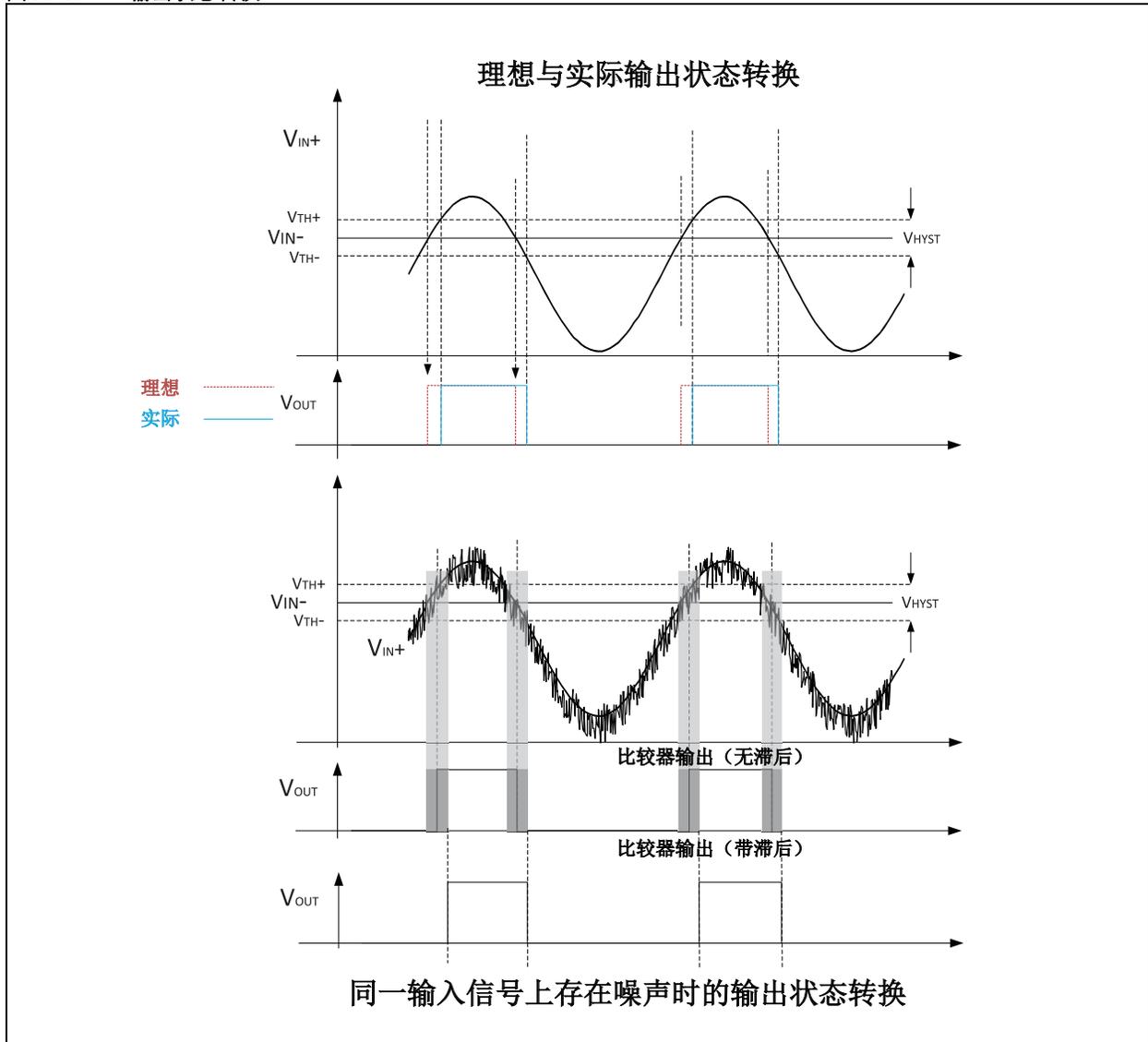
比较器输出可通过外设引脚选择 (Peripheral Pin Select, PPS) 功能作为可重映射输出 (CxOUT) 用于外部连接。输出引脚的相关 TRIS 位必须配置为输出。

比较器输出也可以通过输出引脚的相关 ODC 位配置为推挽式或漏极/集电极开路型输出。当输出为漏极开路型时, 可以将一个接线“或”配置中两个或多个比较器的输出上拉至 VDD。启动和更改驱动器配置时应注意, 当输出短暂处于推挽模式时, 防止输出间出现意外的相互短路/电流尖峰。

当 V_{IN+} 和 V_{IN-} 之差较小时, 始终需要一定量的滞后来防止输出发生多次转换/切换。在没有内置滞后的情况下, 系统中的任何噪声都将导致输出不稳定。

有关内置滞后量的信息, 请参见具体器件数据手册的“电气特性”章节中的直流特性。图39-3所示为因滞后于理想无噪声输入信号的输出而导致转换发生偏移的输出实例。同一图中还显示了有噪声输入情况下的比较器输出。该图重点说明了在输入信号含噪声的情况下, 滞后对于消除比较器输出抖动的作用。

图39-3: 输出状态转换

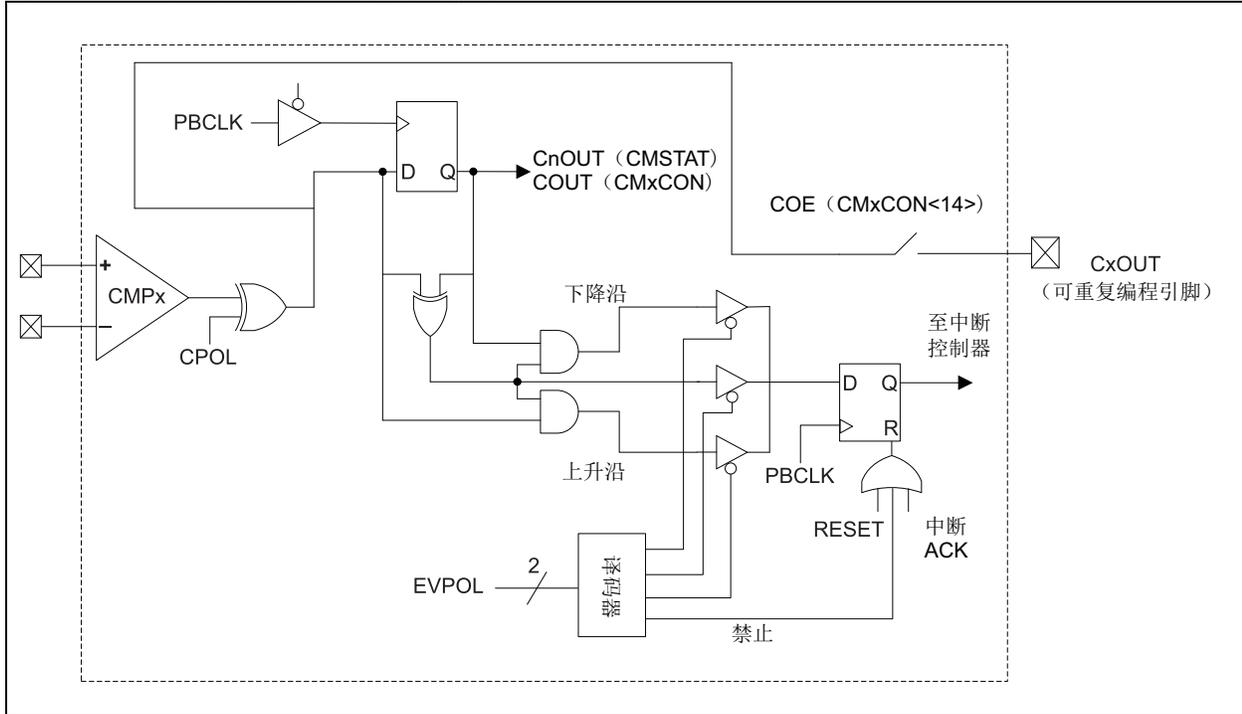


39.3.2 比较器内部输出

极性校正的比较器输出始终在内部呈现只读状态，可通过访问CMxCON寄存器中的COUT位读取。CMSTAT寄存器还反映了CMSTAT<7:0>位中每个实现的比较器（最多八个）的COUT。因此，这些位也是只读的，便于一次性访问所有比较器的输出。

有两种常用的方法用于检测比较器输出的变化，即软件轮询和中断生成。

图39-4: 显示事件和中断生成的比较器输出



39.3.2.1 软件轮询方法

COUT的软件轮询通过周期性读取COUT位来执行。这样便能以所需的时间间隔读取输出；不过，直到下一次读取COUT位，才会检测到比较器输出的变化。如果输入信号以比轮询速率更快的速率更改，则可能无法检测到输出的短暂变化。因此，轮询速率将影响输出的预期响应时间。

39.3.2.2 中断生成方法

中断生成是检测比较器输出变化的另一种方法。比较器模块可以配置为在COUT位变化时产生中断。

当比较器的输出变化时（受中断优先级影响），将产生一个中断。这种方法响应变化的速度比软件轮询方法更快；但快速变化的信号将导致相当多的中断。由于在前一个中断处理期间甚至未处理之前便产生新的中断，这可能导致中断负荷和潜在未检测到的中断。如果输入信号快速变化，则读取中断服务程序（Interrupt Service Routine, ISR）中的COUT位可能产生与中断源不同的结果。这是因为读取COUT位时，该位表示的是比较器输出的值，而不是引起中断的值。更多信息，请参见第39.6节“比较器中断”。

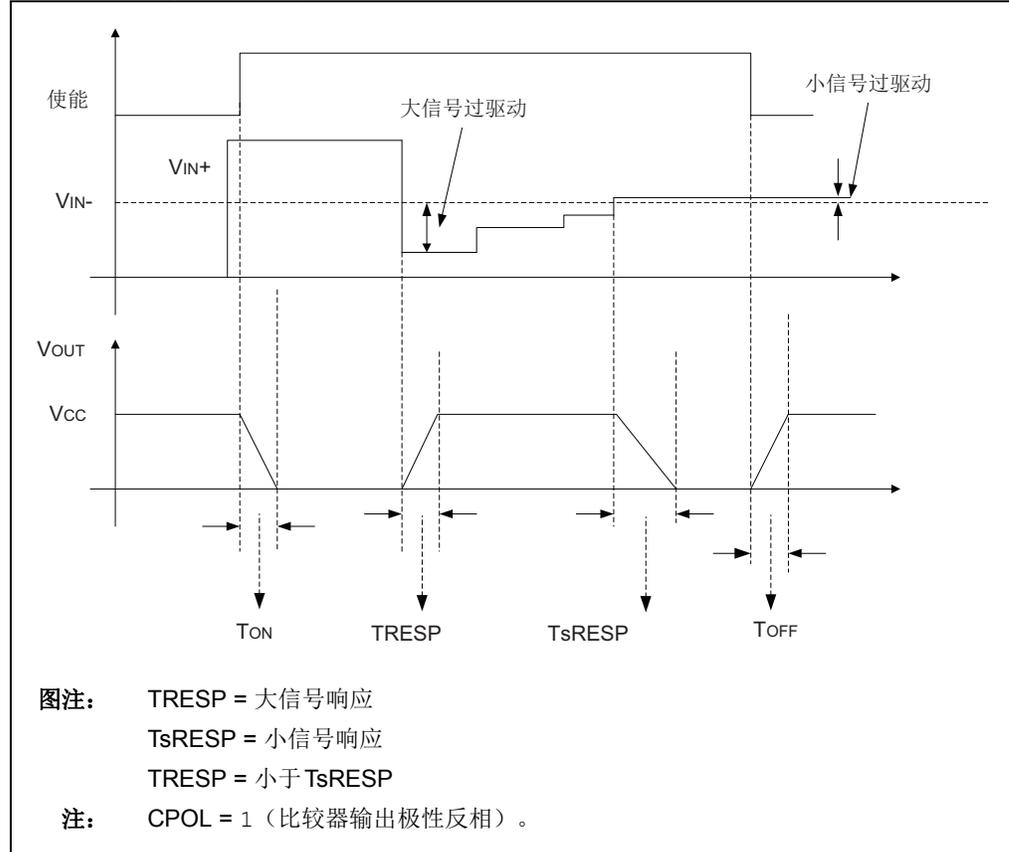
39.3.3 比较器的响应时间

响应时间是从比较器的输入电压发生变化到输出反映新电平所经过的最短时间。如果内部参考电压发生变化，在使用比较器输出时，必须考虑内部参考电压的最大延时。否则，应使用比较器的最大延时。有关更多信息，请参见具体器件数据手册的“电气特性”章节中的直流特性。

比较器对大信号和小信号的响应时间是不同的。由于放大器增益为有限的值，因此小信号响应总是较长。

图39-5显示了不同的响应时间。

图39-5: 比较器的响应时间



39.3.4 比较器滞后

39.3.4.1 比较器滞后控制

某些器件上提供滞后使能/禁止选择功能。在这些器件上，可将滞后等级选择为高级或低级。滞后类型可以为正或负。

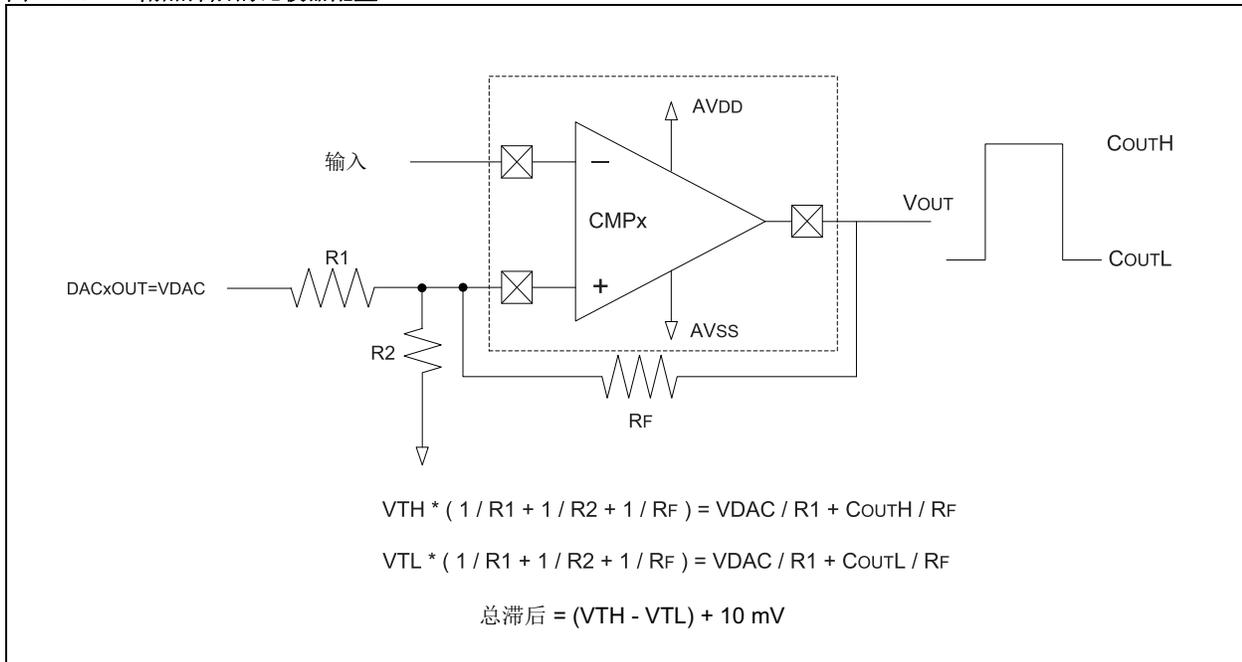
在没有滞后控制功能的器件上，比较器具有内置的默认滞后。要确定实际默认值，请参见具体器件数据手册的“电气特性”章节中的直流特性。

39.3.4.2 外部滞后

内置滞后不需要外部配置。任何外部滞后都会增加内置的默认滞后。如果应用需要额外的滞后，可以采用传统方法，即通过使用外部电阻的正反馈环路来产生滞后。这要求将CxOUT引出到一个引脚，如第39.3.1节“比较器输出到器件引脚”所述。输出驱动器应优先设置为推挽模式，从而形成以参考点为准的对称滞后。可以使用以下方法通过外部配置添加滞后。

图39-6所示为用于添加外部滞后的电路配置。片上DAC输出用于生成参考电压。由于负载效应，比较器的输出可能不会按轨到轨摆动，要实现准确滞后，必须考虑这一因素。

图39-6: 附加滞后的比较器配置



39.4 节能模式下的比较器操作

该模块支持以下低功耗工作模式：

- 休眠模式
- 空闲模式

39.4.1 休眠模式

在该模式下，模块的所有时钟都被禁止；但是，已使能的比较器仍将发生事件/触发和中断生成。事件/触发和相关中断将以异步方式置为有效，并在退出休眠模式后以同步方式置为无效。

39.4.2 空闲模式

在该模式下，CPU时钟禁止，但外设时钟仍然有效。只要SIDL位 = 0，模块将在空闲模式下继续正常运行。如果SIDL = 1，模块将在空闲模式下完全禁止，无法生成事件/触发或中断。

39.5 比较器配置

运放/比较器模块中的每个比较器都由以下寄存器中的各种控制位独立配置：

- **寄存器39-1：“CMSTAT：运放/比较器状态寄存器”**
- **寄存器39-2：“CMxCON：运放/比较器控制寄存器”**
- **寄存器39-3：“CMxMSKCON：比较器屏蔽控制寄存器”**

所实现运放/比较器模块的确切数量特定于器件。独立比较器模块最多可以从内部连接其他模块的三个运放输出。

每个比较器的参考电压源可以来自外部或内部。有关内部参考发生器的可用性和类型，请参见具体器件数据手册。

39.5.1 比较器使能/禁止

可使用运放/比较器控制寄存器中的相应运放/比较器使能位ON（CMxCON<15>）使能或禁止比较器。禁止比较器时，也会禁止相应的触发和中断生成操作。

建议首先将CMxCON寄存器的所有位配置为所需值，然后将ON位置1。比较器不使用时，应通过向ON位写入0明确禁止。

39.5.2 比较器输出消隐功能

在许多功率控制和电机控制应用中，存在一段已知模拟比较器的输入无效的时间。消隐（屏蔽）功能允许用户在预定义的时间段内忽略比较器输出。在本文档中，术语“屏蔽”和“消隐”可互换使用。

图39-7所示为比较器消隐电路的框图。消隐电路与每个比较器关联。

每个比较器的消隐功能包括以下用户可选择的输入：

- 屏蔽A输入（MAI）
- 屏蔽B输入（MBI）
- 屏蔽C输入（MCI）

通过比较器屏蔽控制寄存器CMxMSKCON中的屏蔽A输入选择位（SELSRCA<3:0>）、屏蔽B输入选择位（SELSRCB<3:0>）和屏蔽C输入选择位（SELSRCC<3:0>）选择MAI、MBI和MCI信号源。

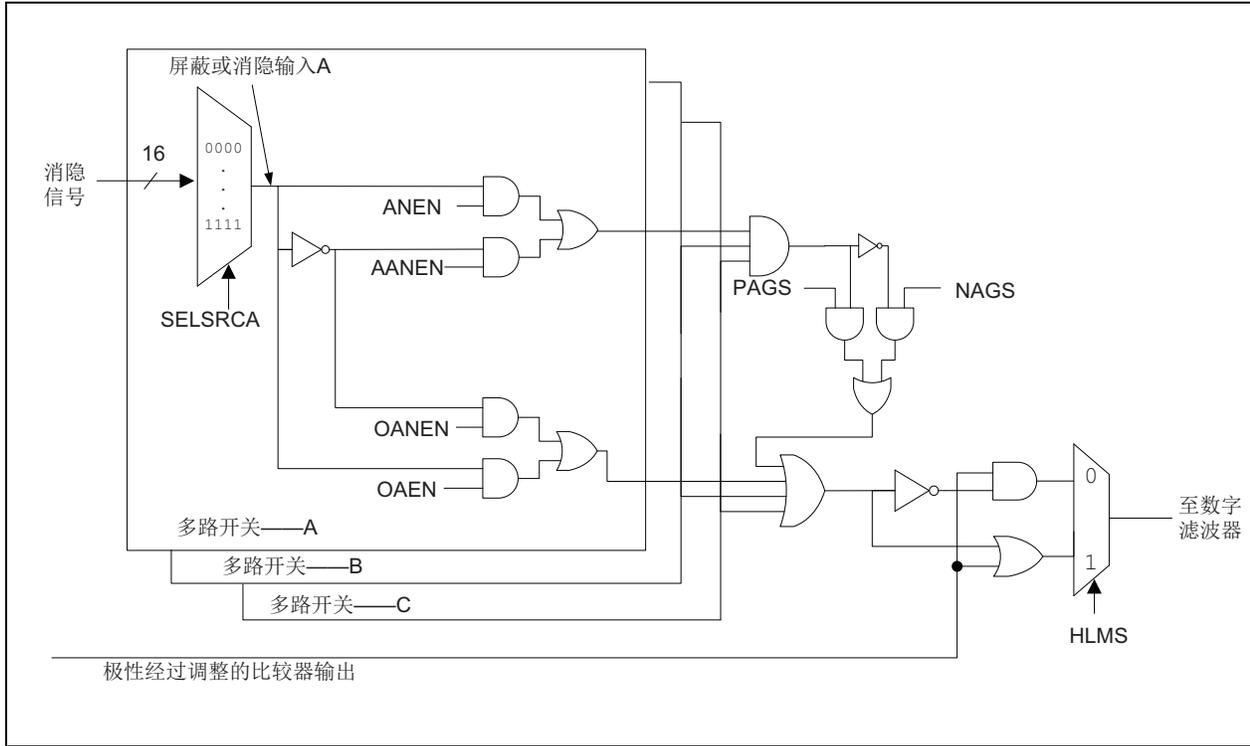
MAI、MBI和MCI信号传递到AND-OR功能块，用户可通过这些输入构造消隐（屏蔽）信号。消隐（屏蔽）功能在系统复位后禁止。

高电平或低电平屏蔽选择位HLMS (CMxMSKCON<15>)将根据比较器的默认(无效)状态配置要运行的屏蔽逻辑。HLMS选择取决于比较器输出(CPOL)的极性。

如果比较器输出配置为正逻辑(即,当+VIN大于-VIN时,输出逻辑1),HLMS位应设置为0,以便在消隐功能激活时阻止比较器输出的逻辑1传播到数字滤波器或输出引脚。

如果比较器输出配置为负逻辑(即,当+VIN大于-VIN时,输出逻辑0),HLMS位应设置为1,以便在消隐功能激活时阻止比较器输出的逻辑0传播到数字滤波器或输出引脚。

图39-7: 用户可编程的消隐功能图



39.5.3 数字输出滤波器

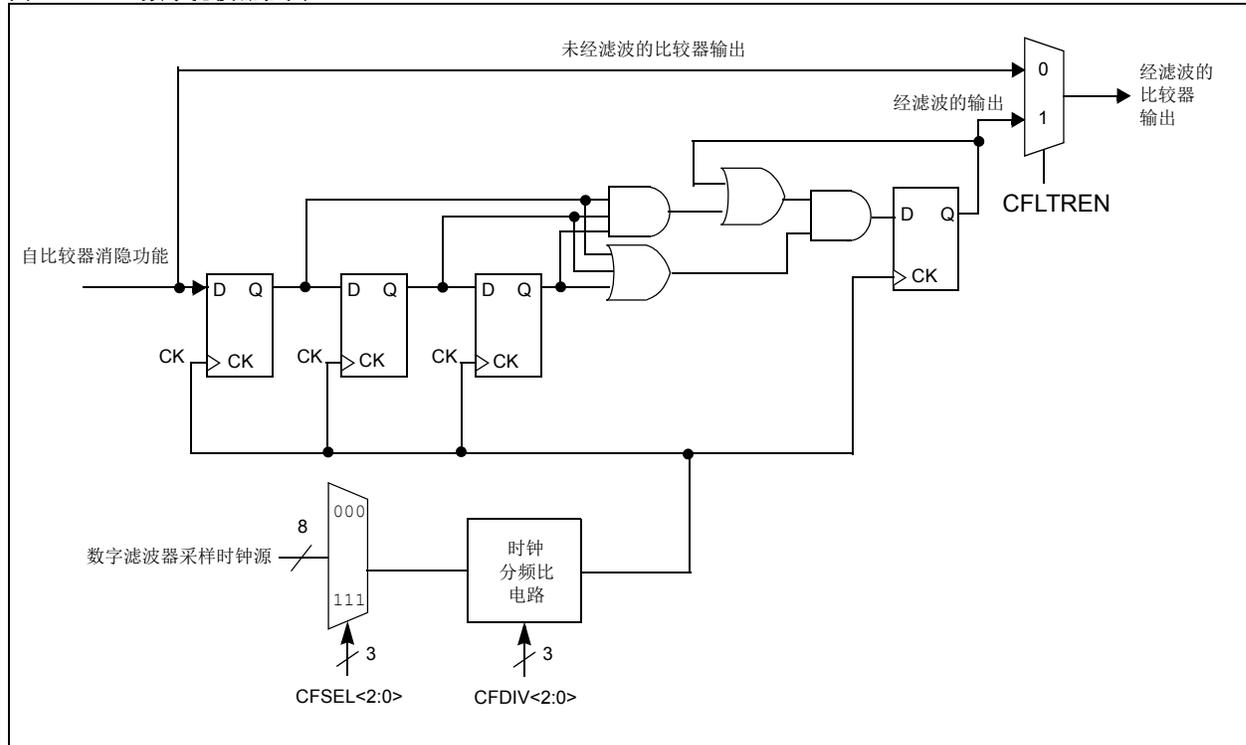
在许多电机和功率控制应用中，比较器输入信号可能被相关外部开关功率晶体管产生的较大电磁场损坏。损坏比较器的模拟输入信号可能导致意外的比较器输出转换。可编程数字输出滤波器可以最大程度减小输入信号损坏的影响。

数字滤波器要求必须在连续采样到三个相同输入之后，滤波器输出才能改变状态。假设当前状态是0，诸如001010110111的一串输入将仅在该示例序列末尾的三个连续的1之后产生输出状态1。同理，必须在采样到连续三个0之后，输出才会变为零状态。

由于滤波器需要连续采样到三个相同的状态才会更新输出状态，所选数字滤波器时钟频率必须是最大所需比较器响应时间的三倍或更多倍。响应时间要求特定于应用，并随着过驱动的大小而大幅变化（见图39-5）。要选择最适合应用的滤波器时钟源和时钟分频比，请参见特定器件数据手册的“电气特性”章节中的比较器输出响应时间（ T_{RESP} ）。

如图39-8所示，通过将比较器输出数字滤波器使能位CFLTREN（ $CMxCON<19>$ ）置1来使能数字滤波器。比较器输出滤波器时钟分频比选择位CFDIV<2:0>（ $CMxCON<18:16>$ ）用于选择数字滤波器模块的时钟信号输入的时钟分频比。比较器输出滤波器时钟源选择位CFSEL<2:0>（ $CMxCON<22:20>$ ）用于选择数字滤波器的所需时钟源。数字滤波器在系统复位后禁止（旁路）。

图39-8: 数字滤波器框图



39.5.4 比较器极性选择

为了提供最大的灵活性，可以使用比较器输出极性选择位CPOL（CMxCON<13>）将比较器的输出反相。该功能与在特定模式下将比较器的反相和同相输入反相的效果相同。

仅当通过将比较器输出使能位ON（CMxCON<15>）设置为0以禁止比较器时，才应更改CPOL位。当ON = 0时，内部逻辑将防止产生任何相应的触发或中断。该逻辑允许通过单次寄存器写入将ON位和CPOL位置1。

表39-2: PIN控制编码

CPOL	输入	COU
0	VIN+ < VIN-	0
0	VIN+ > VIN-	1
1	VIN+ < VIN-	1
1	VIN+ > VIN-	0

39.5.5 事件极性选择

除可编程比较器输出极性之外，运放/比较器模块还允许使用相应CMxCON寄存器中的触发/事件/中断极性选择位EVPOL<1:0>通过软件选择触发/中断边沿极性。该功能允许独立控制任何外部引脚上的比较器输出以及触发/中断生成。有关极性和中断生成框图，请参见图39-4。

注： 要启用特定的触发/中断生成，必须启用相应的比较器（ON = 1）。

表39-3: 事件极性和生成条件

EVPOL<1:0>	(VIN+ - VIN-) 跳变 > VTH	比较器输出电平	CxOUT		事件是否 已生成
			CPOL = 0	CPOL = 1	
11	正	高电平	高电平	低电平	是
11	负	低电平	低电平	高电平	是
10	正	高电平	高电平	低电平	否
10	负	低电平	低电平	高电平	是
01	正	高电平	高电平	低电平	是
01	负	低电平	低电平	高电平	否
00	正	高电平	高电平	低电平	否
00	负	低电平	低电平	高电平	否

39.5.6 比较器输入选择

通道选择因仅比较器子模块和运放/比较器子模块而异。有关可用于不同比较器的各通道和参考输入选项，请参见图39-1。

与比较器输入相关的模拟通道号特定于器件。

39.5.6.1 比较器参考输入选择

比较器同相输入的输入也称为参考输入，可以通过CREF位（CMxCON<4>）的值选择。每个比较器都有一个输入引脚CxIN1，可用于提供外部参考电压。CMxCON<4>（CREF）= 0将CxIN1引脚连接到比较器。当CMxCON<4>（CREF）为1时，内部12位高速DAC连接到比较器。有关使用片上DAC生成参考信号的更多信息，请参见《PIC32系列参考手册》的第45章“控制数模转换器”（DS60001327）。

39.5.6.2 比较器通道选择

比较器反相输入的输入也称为通道输入，可以通过比较器通道选择位CCH<1:0>（CMxCON<1:0>）选择。每个比较器可以连接到三个外部引脚之一或内部连接到相关运放的输出（OAxOUT）。

仅比较器子模块内部接受其他子模块运放的输出作为相同CCH<1:0>选择的输入。

有关可用于不同比较器的各通道和参考输入选项，请参见图39-1中的模块框图。

39.5.7 低功耗选择

运放/比较器模块可基于器件的功能提供低功耗模式选择位CLPWR（CMxCON<12>）。用户可使用该位就比较器的速度对功耗做出权衡。

当CLPWR = 0时，标准功耗模式激活。当CLPWR = 1时，相应比较器的低功耗设置使能。

注： 当ON = 1时，不应更改比较器功耗设置。

39.5.8 状态寄存器

要提供所有比较器结果的概述，需复制比较器输出位COUT（CMxCON<8>）作为运放/比较器参考电压状态寄存器CMSTAT中的状态位。

这些位是只读的，只能通过操作相应的CMxCON寄存器或比较器输入信号进行修改。

39.6 比较器中断

注： 有关确切位位置和中断寄存器的信息，请参见具体器件数据手册中的“中断”章节。

每个可用的比较器都有专用的中断标志位CMPxIF (IFSx) 和相应的中断允许/屏蔽位CMPxIE (IECx)。这些位用于确定中断源以及使能或禁止单个中断源。每个通道的优先级也可以独立于其他通道设置。

当CMPx通道检测到使用EVPOL<1:0>位 (CMxCON<7:6>) 定义为事件的预定义匹配条件时，CMPxIF位置1。CMPxIF位随后将置1，与相应CMPxIE位的状态无关。如果需要，可以通过软件轮询CMPxIF位。

如果允许中断 (即CMPxIE = 1)，则在退出ISR之前，必须用软件清零CMPxIF中断标志。

对于CEVT位 (CMxCON<9>) 可写的器件，可以通过将1写入CEVT位来用软件启动模拟中断。要确定CEVT位是否可写，请参见具体器件数据手册。

注 1： CMPxIF 位是特定于器件的位。有关更多信息，请参见具体器件数据手册中的“中断”章节。

CMPxIE (IECx) 位用于控制中断生成。如果CMPxIE位置1，CPU将发生中断 (受以下段落中的优先级和次优先级影响)。只要在退出ISR之前发生比较器中断事件，处理特定中断的用户应用软件程序便需负责将CMPxIF中断标志位清零。

每个比较器通道的优先级可以通过CMPxIP<2:0>位 (IPCx) 独立设置。此优先级定义将分配有中断源的优先级组。优先级组的值范围为7 (最高优先级) 至0 (不产生中断)。正在处理的中断将被更高优先级组中的中断抢占。

次优先级位允许在优先级组内设置中断源的优先级。次优先级位CMPxIS<1:0>的值范围为3 (最高优先级) 至0 (最低优先级)。同一优先级组中次优先级较高的中断不会抢占正在处理的次优先级较低的中断。在正在进行的ISR完成之后，同一优先级组中的待处理中断将按照其次优先级的降序执行。

优先级组和次优先级位允许多个中断源共用同一优先级和次优先级。如果在此配置中同时发生多个中断，优先级/次优先级组对中的中断源的自然顺序将决定所生成的中断。自然优先级基于中断源的向量编号。向量编号越小，中断的自然优先级越高。随后，自然顺序覆盖的任何其他待处理中断都将在当前中断的中断标志清零后根据优先级、次优先级和自然顺序生成各自的ISR。

例39-1和例39-2给出了中断和比较器初始化以及ISR的示例。

例39-1: 允许中断时的比较器初始化代码示例

```

// Configure both comparators to generate an interrupt on any output transition

CM1CON = 0x40D0; // Initialize Comparator 1
                // Comparator disabled, output enabled, interrupt on any output
                // change, inputs: DAC1OUT, C1IN1-

CM2CON = 0x20C2; // Initialize Comparator 2
                // Comparator disabled, output disabled, output polarity inverted,
                // interrupt on any output change, inputs: C2IN1+, C2IN3-

CM1CONSET = 0x8000; // Enable comparator 1 after configuration.
CM2CONSET = 0x8000; // Enable comparator 2 after configuration.

// Enable interrupts for Comparator modules and set priorities

IPC8SET = 0x0000001F; // Set CMP1 interrupt priority to 7 and interrupt sub-priority to 3
IFS1CLR = 0x00000001; // Clear the CMP1 interrupt flag
IEC1SET = 0x00000001; // Enable CMP1 interrupt

IPC8SET = 0x00001B00; // Set CMP2 interrupt priority to 6 and interrupt sub-priority to 3
IFS1CLR = 0x00000002; // Clear the CMP2 interrupt flag
IEC1SET = 0x00000002; // Enable CMP2 interrupt

```

例39-2: 比较器ISR代码示例

```

void __ISR(_COMPARATOR_2_VECTOR, ipl6) Cmp2_IntHandler(void)
{
    // Insert user code here
    IFS1CLR = 0x00000002; // Clear the CMP2 interrupt flag
}

void __ISR(_COMPARATOR_1_VECTOR, ipl7) Cmp1_IntHandler(void)
{
    // Insert code user here
    IFS1CLR = 0x00000001; // Clear the CMP1 interrupt flag
}

```

39.6.1 休眠模式期间的中断操作

当比较器使能而PIC32器件处于休眠模式时，比较器仍保持激活状态。当中断模块中允许运放/比较器中断时，比较器仍保持工作状态。在这些情况下，运放/比较器中断事件会将器件从休眠模式唤醒。

每个使能的比较器均消耗额外的电流。要想最大程度降低休眠模式下的功耗，需禁止ON位（CMxCON<15>），以便在进入休眠模式之前关闭未使用的比较器。如果器件退出休眠模式，CMxCON寄存器的内容不受影响。

有关休眠模式的更多信息，请参见《PIC32系列参考手册》中的第9章“看门狗定时器和节能模式”（DS60001114）。

39.6.2 空闲模式期间的中断操作

空闲模式期间的比较器操作由空闲模式停止位SIDL（CMSTAT<13>）控制。如果SIDL = 0，则任何使能的比较器都将发生事件/触发和中断生成（使能时）的正常操作。如果SIDL = 1，比较器将完全禁止，而无法生成事件/触发或中断。

有关空闲模式的更多信息，请参见《PIC32系列参考手册》中的第9章“看门狗定时器和节能模式”（DS60001114）。

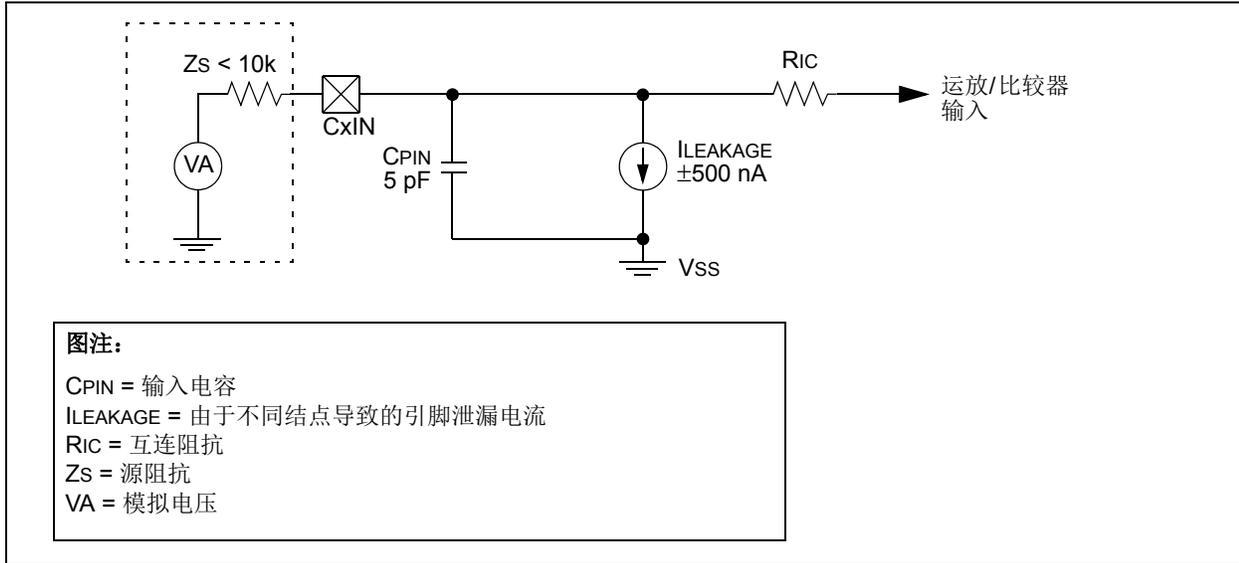
39.6.3 复位状态的影响

器件复位强制CMxCON寄存器进入复位状态，从而使运放/比较器关闭（ON = 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。

39.6.4 模拟输入连接注意事项

图39-9所示为一个简化的模拟输入电路。模拟信号源的最大阻抗推荐值为10 kΩ。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）都应只有极小的泄漏电流。

图39-9: 运放/比较器模拟输入模型



39.6.4.1 比较器输入选择编码

特定比较器的完整解码如表39-5所示。

表39-4: 比较器正输入选择编码

ON	CREF	源
0	x	三态
1	0	CxIN1
1	1	DACx（内部）

表39-5: 比较器负输入选择编码

ON	CCH<1:0>	源
0	x x	三态
1	0 0	CxIN1
1	0 1	CxIN2
1	1 0	CxIN3
1	1 1	OAxOUT

39.7 运放的工作原理

所有运放的同相输入、反相输入和输出均可以通过器件引脚连接到外部电路，以便连接外部增益和/或滤波组件。运放输出也可以内部连接到ADC模块，从而节省一个模拟输入引脚。

39.8 运放配置

39.8.1 为内部ADC连接配置的运放输出

通过将AMPMOD位（CMxCON<10>）置1，可将带运放/比较器模块的器件配置为运放。外部增益/滤波无源元件将添加到OAxOUT引脚与任一运放输入之间的反馈路径中。

图39-10所示的配置中对运放输出进行了内部采样，但不需要将输出外部连接到模拟输入通道引脚。有关配置ADC的更多信息，请参见《PIC32系列参考手册》中的第18章“12位模数转换器（ADC）”（DS60001194）。

图39-10： 进行内部ADC连接的运放配置

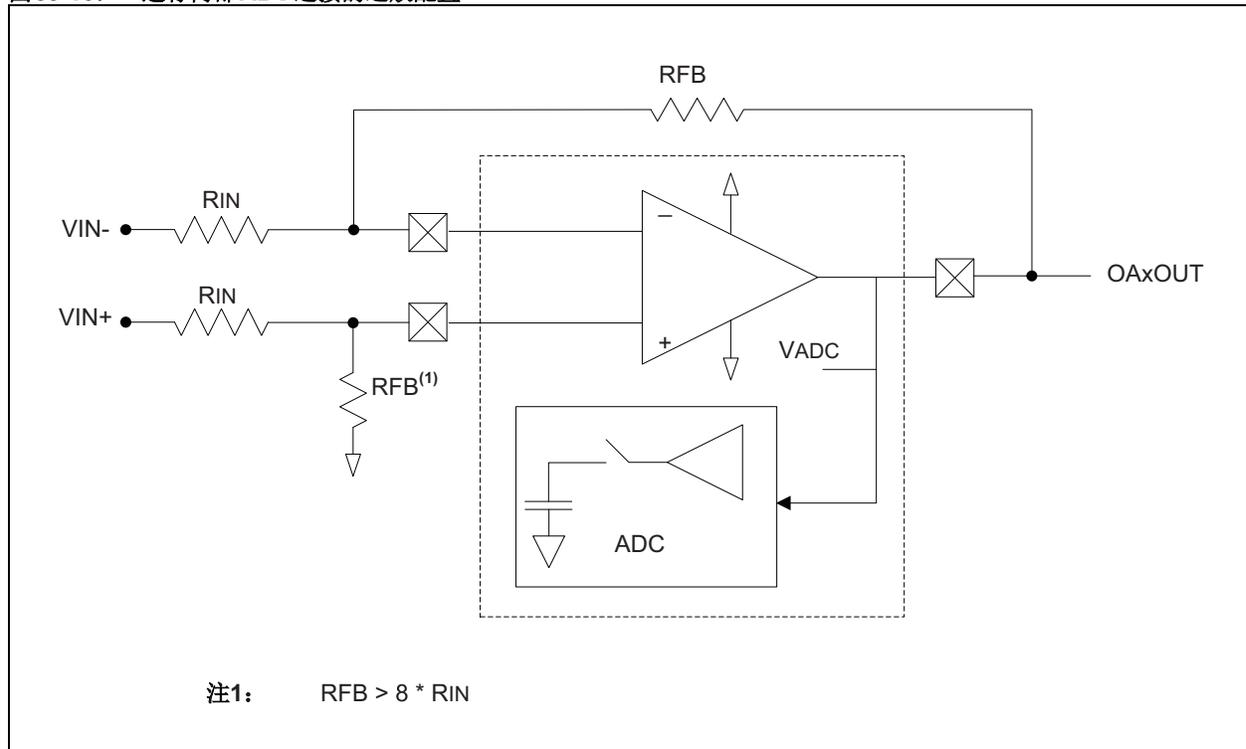


图39-11给出了配置为使用公共参考来比较电压的比较器。

图39-11: 示例1: 比较器/ADC使用模型 (公共参考输入)

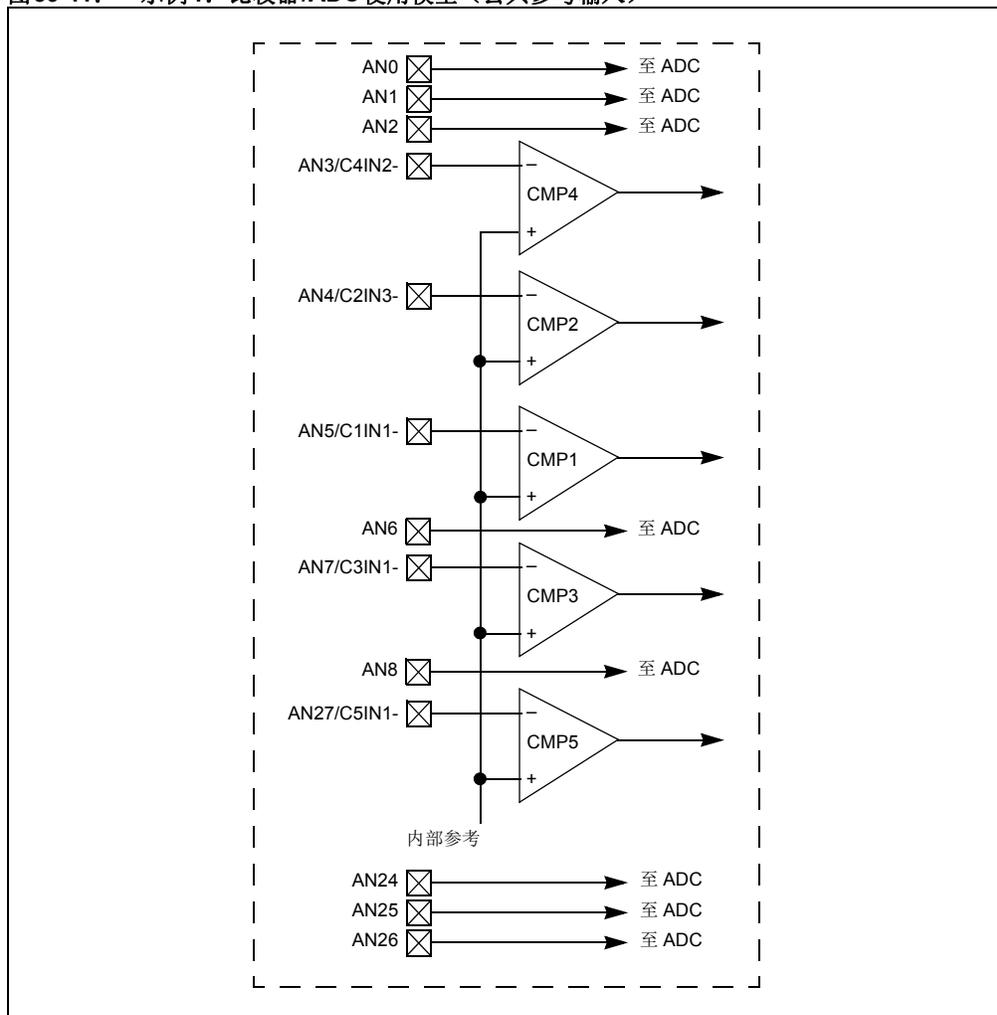


图39-12给出了配置为相互独立比较电压的比较器。

图39-12: 示例2: 比较器/ADC使用模型 (独立参考输入)

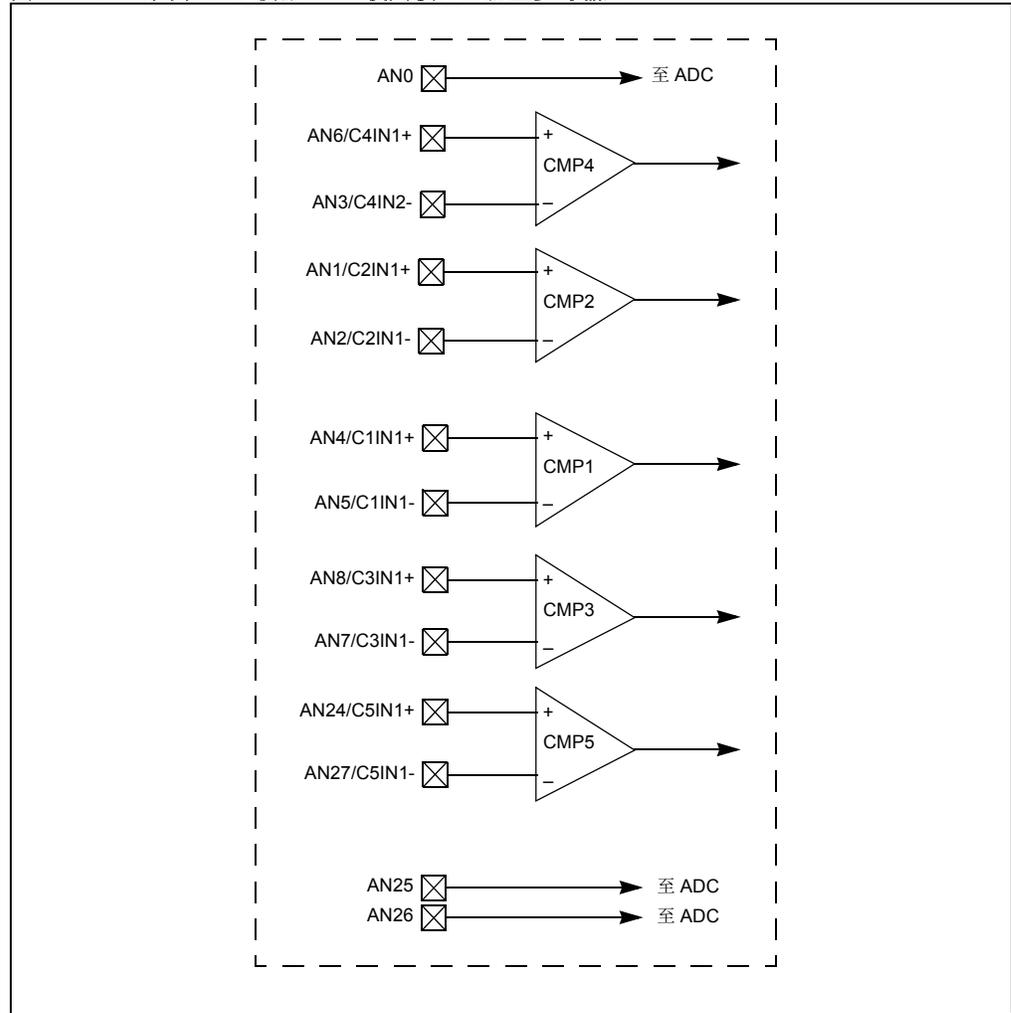


图39-13给出了比较器和运放的组合使用情况。比较器内部连接到运放的输出。另外，独立的比较器子模块可以配置为内部连接最多三个运放的输出。

图39-13: 示例3: 运放/比较器/ADC使用模型

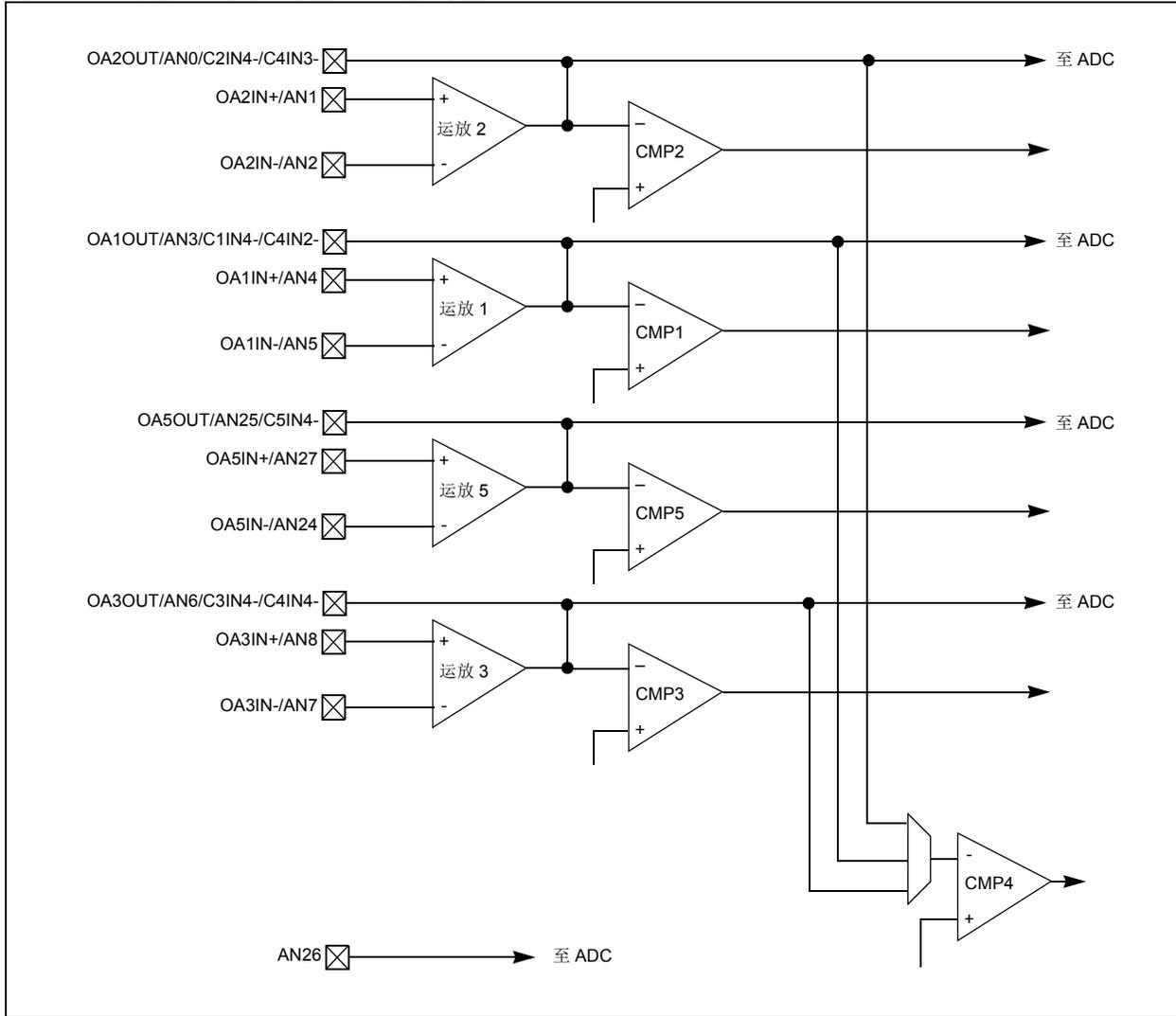
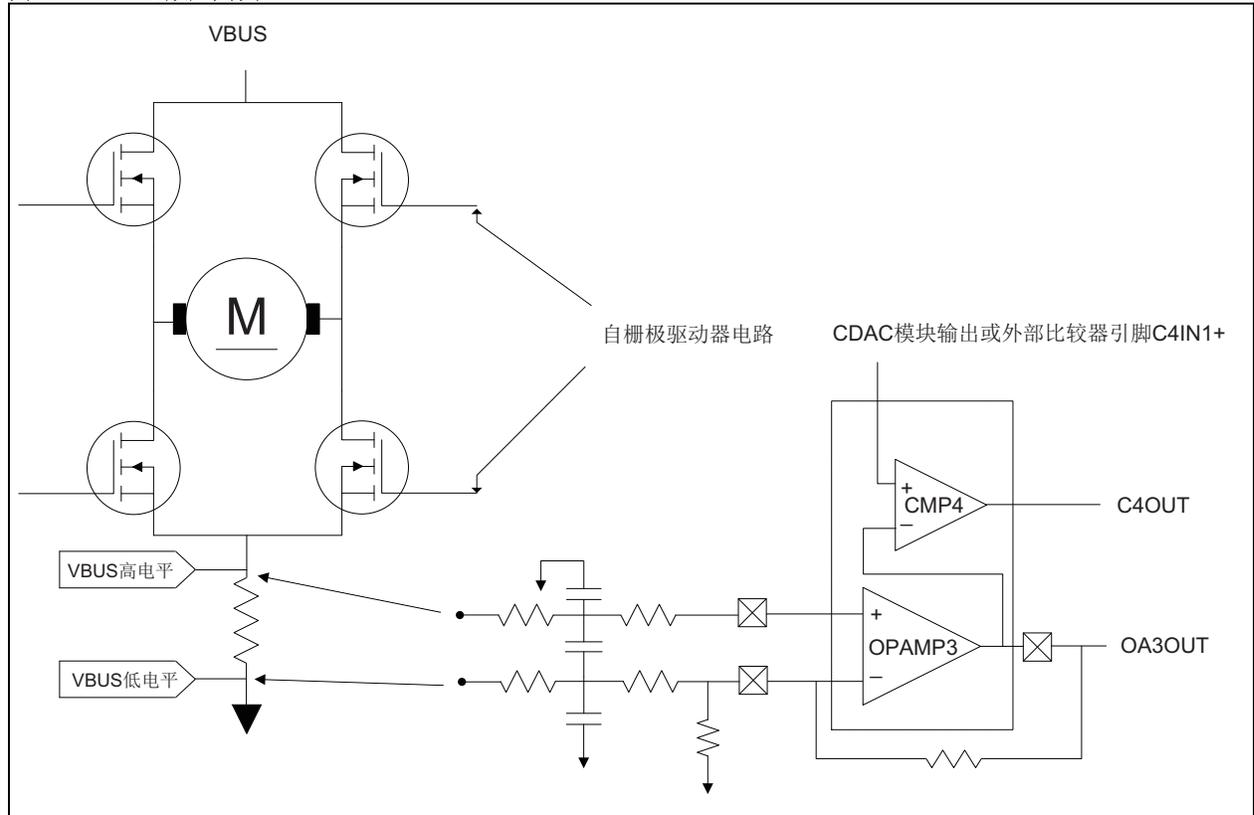


图39-14给出了将比较器内部连接到运放的电机控制应用中的典型过流检测示例。

图39-14: 运放应用图



39.9 版本历史

版本A（2012年3月）

本文档的初始版本。

版本B（2017年7月）

该版本对全文进行了大量更新。

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点:

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信: 在正常使用的情况下, Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前, 仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知, 所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下, 能访问您的软件或其他受版权保护的成果, 您有权依据该法案提起诉讼, 从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分, 因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利, 它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范, 是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保, 包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用, 一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时, 会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任, 并加以赔偿。除非另外声明, 在 Microchip 知识产权保护下, 不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC[®] MCU 与 dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®] 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外, Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949 ==

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BeaconThings、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KEELOQ、KEELOQ 徽标、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、RightTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、QMatrix、RightTouch 徽标、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2012-2017, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-2381-2



全球销售及服务中心

美洲

公司总部 Corporate Office
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA

Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631

印度 India - Pune
Tel: 91-20-4121-0141

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351

越南 Vietnam - Ho Chi Minh
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

芬兰 Finland - Espoo
Tel: 358-9-4520-820

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Garching
Tel: 49-8931-9700

德国 Germany - Haan
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Heilbronn
Tel: 49-7131-67-3636

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 Germany - Rosenheim
Tel: 49-8031-354-560

以色列 Israel - Ra'anana
Tel: 972-9-744-7705

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 Italy - Padova
Tel: 39-049-7625286

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 Norway - Trondheim
Tel: 47-7289-7561

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚 Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 Sweden - Gothenberg
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 Sweden - Stockholm
Tel: 46-8-5090-4654

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820