



MSP430F2 系列 16 位超低功耗单片机模块原理

第 15 章 Compare A+ 比较器 A+

版本: 1.2

日期: 2007.7.

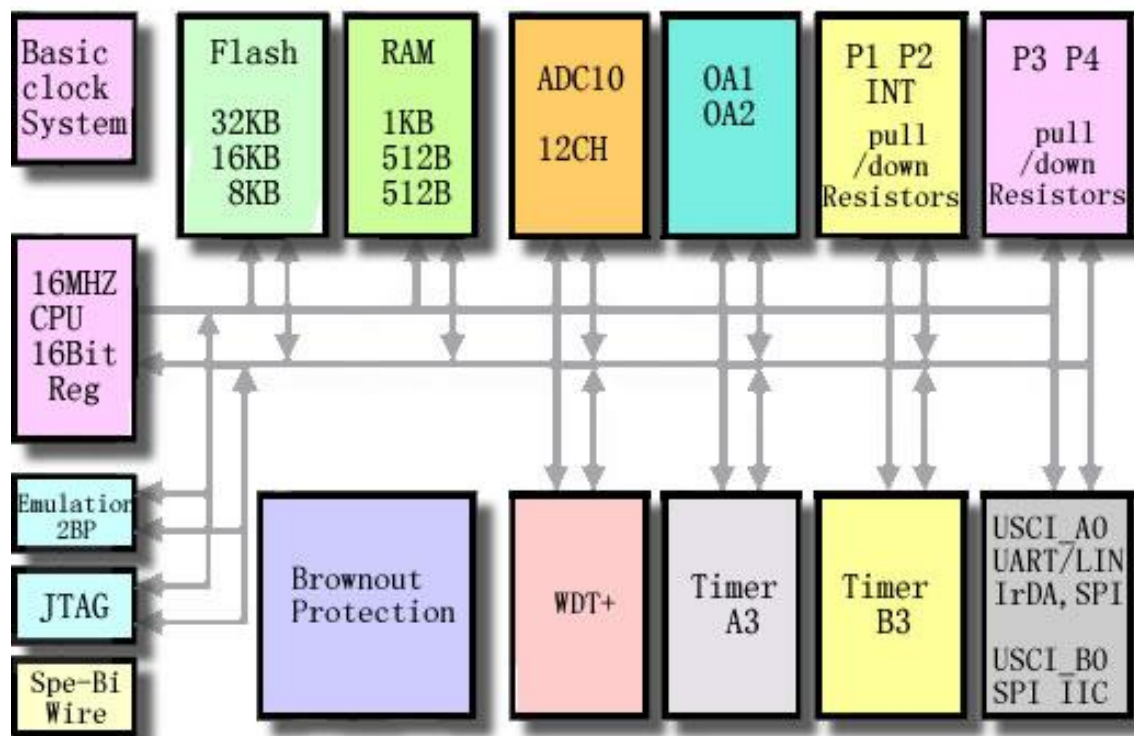
原文: TI MSP430x2xxfamily.pdf

翻译: 欧浩源 中国计量学院

编辑: DC 微控技术论坛版主

注: 以下文章是翻译 TI MSP430x2xxfamily.pdf 文件中的部分内容。由于我们翻译水平有限, 有整理过程中难免有所不足或错误; 所以以下内容只供参考. 一切以原文为准。

详情请密切留意微控技术论坛。



第15章 比较器 A

比较器 A 是一个模拟电压比较器。这一章描述的是比较器 A。在 MSP430x2xx 系列中，除了 MSP430x20x0 和 MSP430x22x4 的所有设备均具有该比较器。

主题

比较器 A 概述

比较器 A 操作

比较器 A 的寄存器

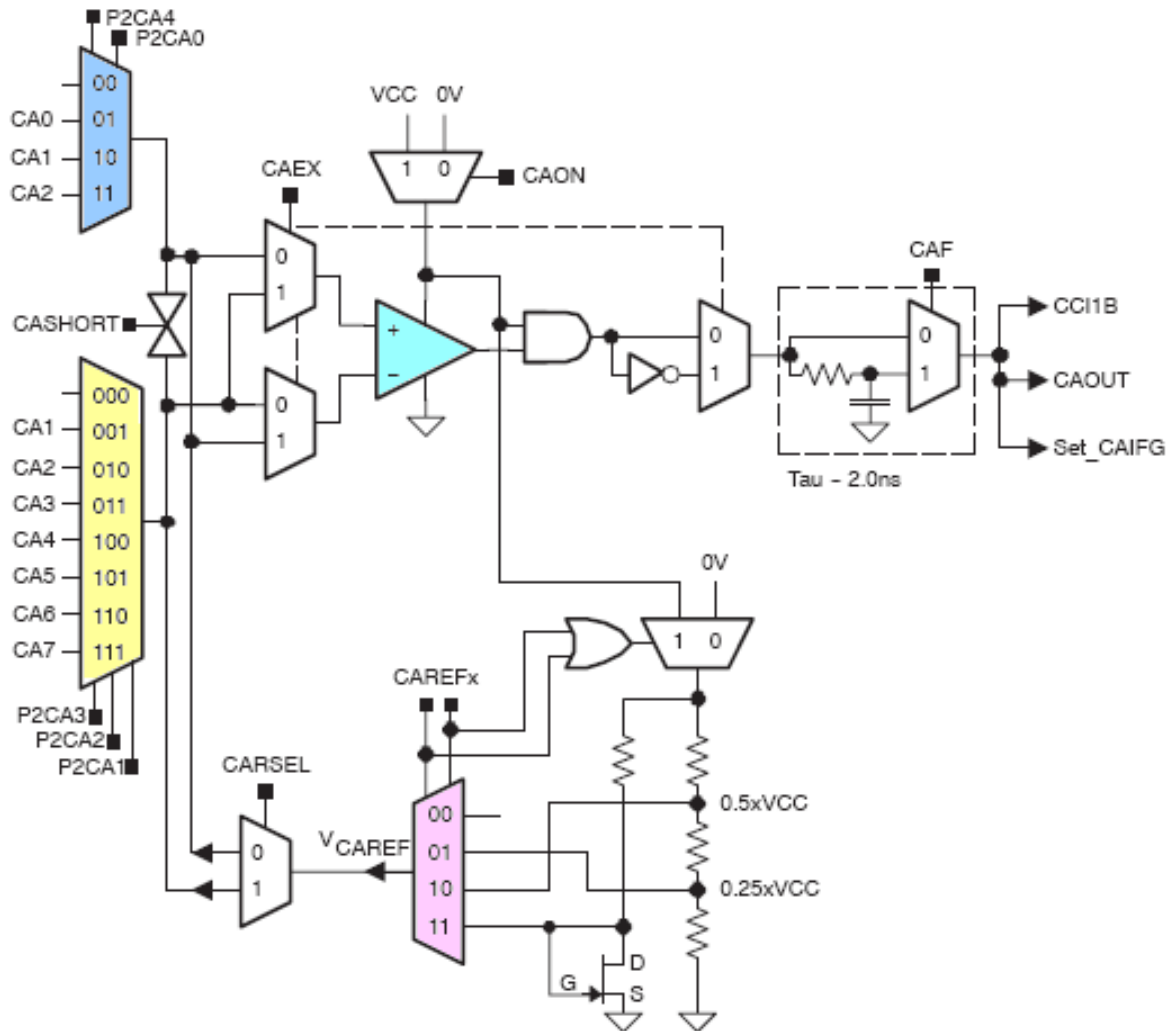
15.1 比较器 A 概述

比较器 A 模块支持精确的斜率数模转换，电压监控和外部模拟信号的监控。

比较器 A 的特点如下：

- n 反向和非反向的终端输入复用器。
- n 比较器输出有软件选择的 RC 滤波器。
- n 比较器的输出可以作为定时器 A 的捕获输入。
- n 端口输入缓冲由软件控制。
- n 具有中断功能。
- n 可选的参考电压发生器。
- n 比较器和参考电压发生器可关闭。
- n 多路输入选择器。

比较器 A 的结构框图如图 15—1 所示。



15.2 比较器 A 操作

比较器 A 模块可以通过软件来进行设置。该比较器的设置和操作通过下面几个部分来进行讨论。

15.2.1 比较器

比较器比较正端和负端输入的模拟电压。如果正端的电压高于负端的电压，比较器输出 CAOUT 为高。通过控制位 CAON 可以打开或者关闭比较器。比较器不使用时应该将其关闭以减小消耗电流。当比较器关闭时，CAOUT 总是输出出低电平。

15.2.2 输入模拟开关

通过 P2CAx 位可以控制模拟输入开关，使两个比较器的输入端连接到或者不连接到相关的端口管脚。比较器的两个输入端可以单独的控制。P2CAx 位允许下面的操作：

- n 将外部的信号应用到比较器的正负两端。
- n 将一个内部参考电压连接到相应的输出端口管脚。

在内部，输入开关使 T 型开关结构的，这样可以抑制信号链路上的失真。

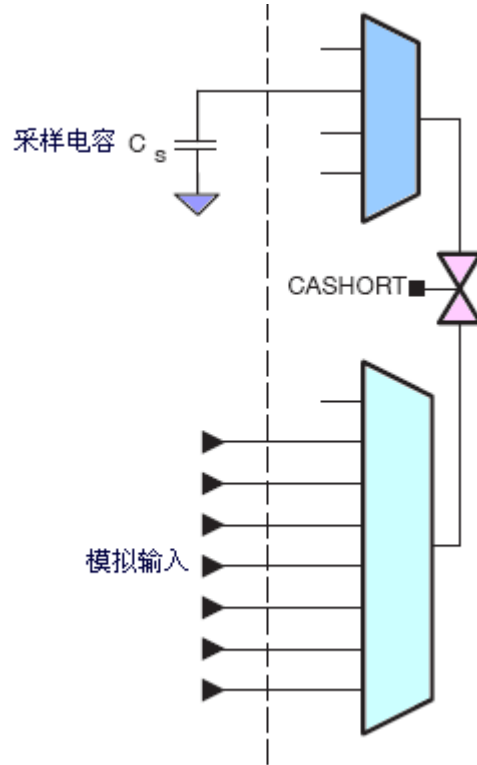
注释：比较器输入连接。

当比较器打开时，其输入端应该连接到信号源、电源或者地。否则，悬空会产生意想不到的中断以及增加电流的消耗。

CAEX 位控制输入多路复用器，交换连接到比较器正端和负端的输入信号。另外，当比较器两端的信号被交换时，比较器的输出信号会被反转。这样允许用户测定或者补偿比较器输入的偏移电压。

15.2.3 输入短路开关

CASHORT 位短路比较器 A 的输入。它可以用来为比较器建立一个简单的采样保持器，如图 15-2 所示。



需要的采样时间和采样电容 (C_S)、带有短路开关的输入开关序列的电阻 (R_i) 和外部信号源的阻抗 (R_S) 的大小成比例。总共的内部阻抗的典型范围是 2 到 10 千欧。采样电容 C_S 应该大于 100 皮法。改变采样电容 C_S ，可以通过下面的公式计算时间常数 τ ：

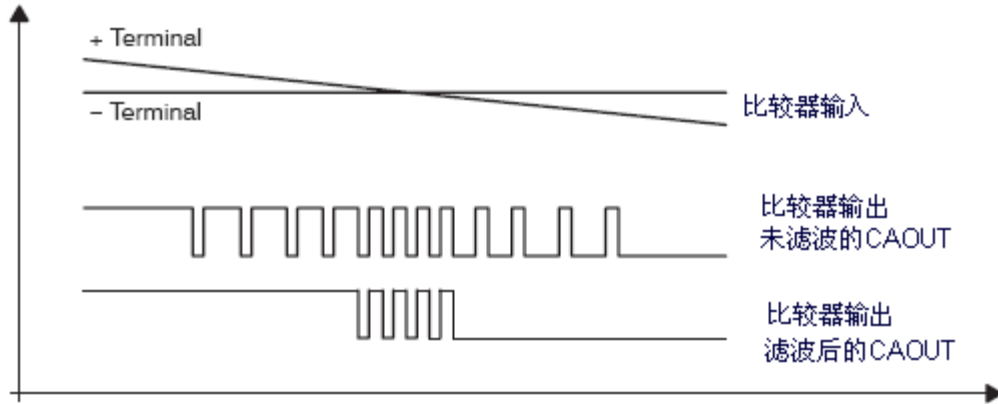
$$\tau = (R_i + R_S) \times C_S$$

根据需要的精度，应该用 3 到 5 倍的 τ 的时间作为采样时间。3 倍的 τ 采样电容大约可以对输入信号电压进行 95% 的充电。5 倍的 τ 采样电容可以对输入信号电压进行大于 99% 的充电。10 倍的 τ 采样的电压可以充分满足 12 位的精度要求。

15.2.4 输出滤波器

比较器的输出可以使用内部的滤波器，也可以不使用。当控制位 CAF 位置位时，输出通过片上的 RC 低通滤波器进行滤波。

如果差分电压通过输入端很小，则任何的比较器的输出都会产生振荡。内部和外部的寄生作用以及信号线、电源线和系统的其他部分产生的耦合都会导致图 15-3 的行为。比较器输出的振荡会降低比较结果精确度和解析度。选择输出滤波会减少由于比较器振荡引起的错误。



15.2.5 参考电压发生器

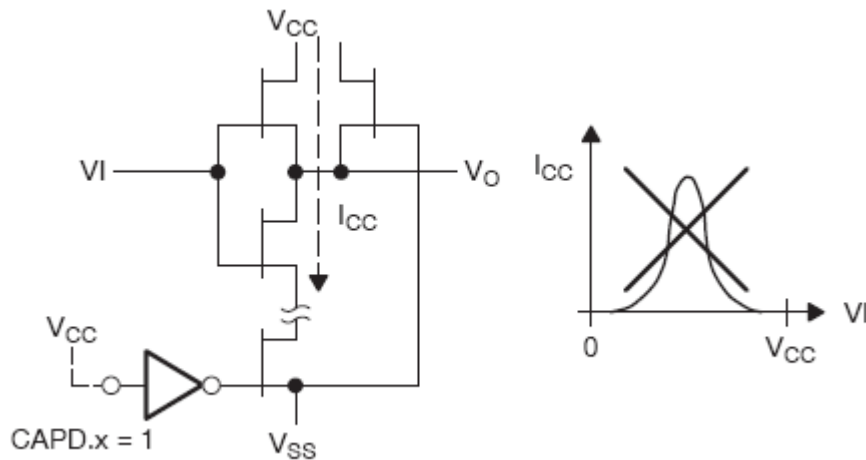
参考电压发生器用来产生电压 V_{CAREF} ，该电压提供给比较器的每个输入端。 CAREF_x 位控制电压发生器的电压输出。 CARSEL 位选择比较器端使用那个 V_{CAREF} 。如果比较器的两个输入端都使用外部输入信号，那么内部参考电压应该关闭以降低电流的消耗。该参考电压发生器能够产生部分的设备 V_{CC} 或者确定的发送器 $\sim 0.55V$ 的门限电压。

15.2.6 比较器 A 端口禁用寄存器 CAPD

比较器的输入和输出功能和相关的端口管脚复合使用，这些管脚都是数字 CMOS 门结构的。当模拟信号加载到数字 CMOS 门时，会产生从 V_{CC} 流向 GND 的寄生电流。如果输入电压竭尽门的转换电压就会出现寄生电流。禁止端口管脚缓冲区能够消除寄生电流的流动，从而可以减少整个电流的消耗。

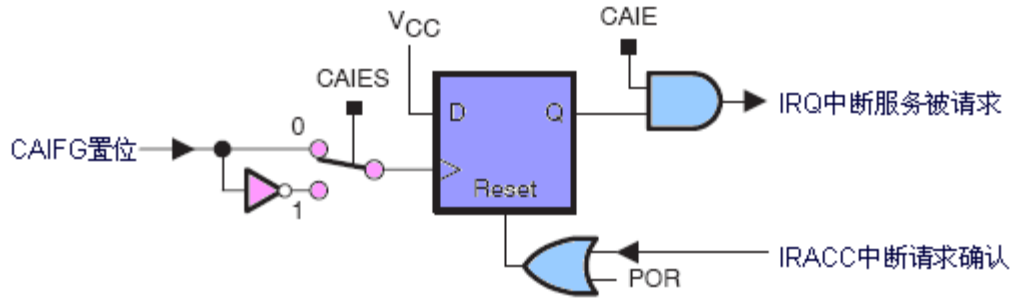
当 CAPD_x 位被置位时，相应的 P1 端口输入和输出缓冲器如图 15-4 所示。当对电流的消耗非常敏感时，任何连接到模拟信号的管脚都应该通过 CAPD_x 位禁止。

通过 P2CA_x 位为比较器复用器选择输入管脚时，不管其对应的 CAPD_x 位状态如何，该管脚的输入和输出缓冲区都会自动禁止。



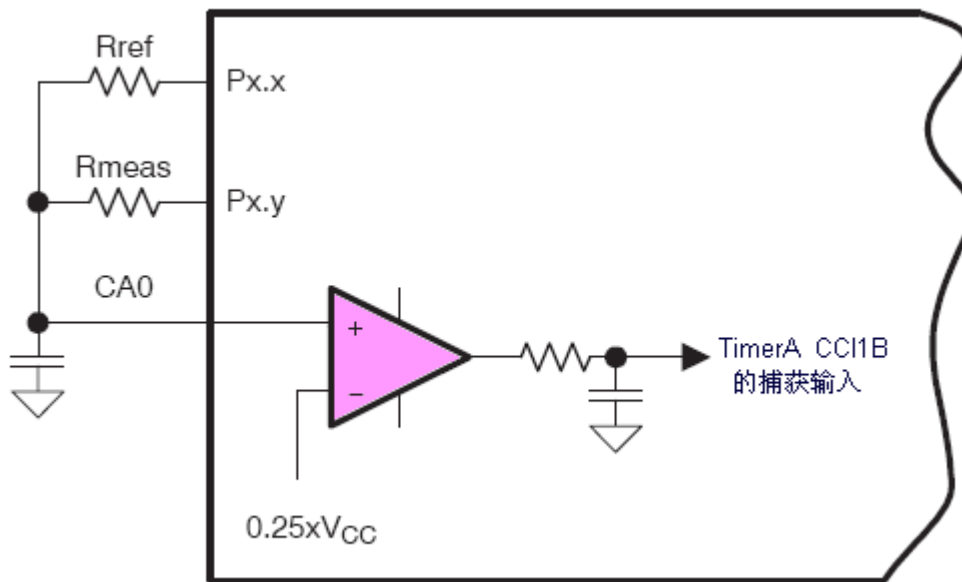
15.2.7 比较器 A 的中断

如图 15-5 所示，与比较器相关的有一个中断标志一个中断向量。比较器输出的上升沿或者时下降沿都会使中断标志 CAIFG 置位，输出的上升沿还是下降沿产生中断可以通过 CAIES 位选择。如果 CAIE 和 GIE 同时置位，随后 CAIFG 则会产生一个中断请求。当中断请求被响应 CAIFG 位会自动复位，通过软件该位也会复位。



15.2.8 比较器 A 用于测量电阻元件

利用模拟数字转换的信号斜坡，比较器 A 能够精确的测量电阻元件。例如，如图 15—5 所示，利用热敏电阻，通过比较热敏电阻电容和参考电阻电容的放电时间，可以将温度转换成数字信号。参考电阻 R_{ref} 与 R_{meas} 进行比较。

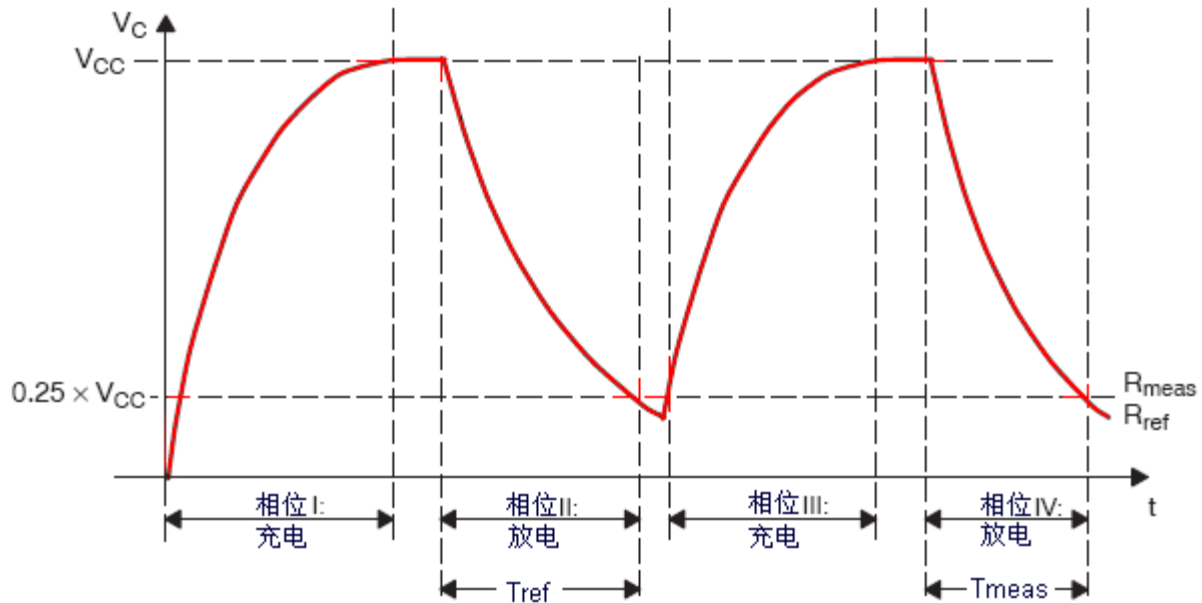


下面是通过 R_{meas} 计算温度传感所使用的 MSP430 的资源：

- n 两个数字 I/O 端口，用来对电容进行充电和放电。
- n I/O 端口置位输出高电平 (V_{CC}) 对电容进行充电，复位则对其放电。
- n I/O 端口不使用时通过置位 CAPDx 位使其切换到高阻态输出。
- n 一个输出通过 R_{ref} 对电容进行充放电。
- n 一个端口通过 R_{meas} 对电容进行充放电。
- n 比较器的正端连接到电容的正极。
- n 比较器的负端连接到参考电平，例如 $0.25 \times V_{CC}$ 。
- n 使用滤波器输出使其噪声减到最小。
- n CAOUT 使用门控制 Timer_A CCI1B 捕获电容放电的时间。

多于一个电阻元件也可以被测量。另外的一个元件通过可以使用的 I/O 端口连接到 CA0。当其不进行测量的时候该端口管脚切换到高阻态。

热敏电阻的测量是基于传感器测量转换原理的。两个电容放电时间的计算如图 15—7 所示：



在转换的过程中，电源电压 V_{CC} 和电容值应该保持恒定值不变，但是当他们在分数中可以抵消是不是很关键。

$$\frac{N_{meas}}{N_{ref}} = \frac{-R_{meas} \times C \times \ln \frac{V_{ref}}{V_{CC}}}{-R_{ref} \times C \times \ln \frac{V_{ref}}{V_{CC}}}$$

$$\frac{N_{meas}}{N_{ref}} = \frac{R_{meas}}{R_{ref}}$$

$$R_{meas} = R_{ref} \times \frac{N_{meas}}{N_{ref}}$$

15.3 比较器 A 的寄存器

在表 15-1 中列出了比较器 A 的寄存器。

寄存器	格式	寄存器类型	地址	初始状态
比较器A+ 控制寄存器1	CACTL1	读/写	059h	复位 和 POR
比较器A+ 控制寄存器2	CACTL2	读/写	05Ah	复位 和 POR
比较器A+ 禁止寄存器	CAPD	读/写	05Bh	复位 和 POR

CACTL1, 比较器控制寄存器 1

7	6	5	4	3	2	1	0
CAEX	CARSEL	CAREF _x		CAON	CAIES	CAIE	CAIFG
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

- CAEX:** 位 7 交换比较器的输入端。
该位交换比较器的输入信号和反转比较器的输出。
- CARSEL:** 位 6 比较器参考选择。
该位选择 V_{CAREF} 被用于那一端。
当 CAEX=0 时:
0 V_{CAREF} 用于正端。
1 V_{CAREF} 用于负端。
当 CAEX=1 时:
0 V_{CAREF} 用于负端。
1 V_{CAREF} 用于正端。
- CAREF:** 位 5-4 比较器 A 参考选择。
该位选择参考电压 V_{CAREF} 。
00 内部参考电源关闭。使用外部参考电源。
01 选择 $0.25V_{CC}$ 作为参考电压。
02 选择 $0.5V_{CC}$ 作为参考电压。
03 选择二极管电压作为参考电压。
- CAON:** 位 3 比较器开关控制。
该位可以打开比较器。当比较器关闭的时, 它几乎不消耗电流。其参考电路可以独立的使能或者禁止。
0 关闭。
1 打开。
- CAIES:** 位 2 比较器 A 的中断触发沿选择。
0 上升沿。
1 下降沿。
- CAIE:** 位 1 比较器 A 的中断使能。
0 禁止。
1 使能。
- CAIFG:** 位 0 比较器 A 的中断标志。
0 没有中断请求。
1 有中断请求。

CACTL2, 比较器控制寄存器 2

7	6	5	4	3	2	1	0
CASHORT	P2CA4	P2CA3	P2CA2	P2CA1	P2CA0	CAF	CAOUT
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r-(0)

- CASHORT:** 位 7 输入短路。
该位将输入的正端和负端短路。

- 0 输入没被短路。
1 输入被短路。
- P2CA4: 位 6 输入选择。
该位结合 P2CA0, 在 CAEX=0 时选择正端的输入, 在 CAEX=1 时选择负端的输入。
- P2CA3: 位 5—3 输入选择。
- P2CA2: 当 CAEX=0 时选择负端的输入, 当 CAEX=1 时选择正端的输入。
- P2CA1: 000 没有连接。
001 CA1
010 CA2
011 CA3
100 CA4
101 CA5
110 CA6
111 CA7
- P2CA0: 位 2 输入选择。
该位结合 P2CA4, 在 CAEX=0 时选择正端输入, 在 CAEX=1 时选择负端输入。
00 无连接。
01 CA0。
10 CA1。
11 CA2。
- CAF: 位 1 比较器输出滤波。
0 比较器输出不经过滤波器。
1 比较器输出经过滤波器。
- CAOUT: 位 0 比较器 A 的输出。
该位反映比较器输出的值, 对该位进行写操作无效。

CAPA, 比较器 A 端口禁止寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
CAPD7	CAPD6	CAPD5	CAPD4	CAPD3	CAPD2	CAPD1	CAPD0
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

- CAPDx: 位 7—0 比较器 A 端口禁止。
这些位可以独立的禁止与比较器 A 相连端口管脚的输入缓冲区。例如, 如果 CA0 是连在管脚 P2.3 上的, CAPDx 位可以用来独立的使能或者是禁止每个 P2.x 的管脚缓冲区。CAPD0 禁止 P2.0, CAPD1 禁止 P2.1 等等。
0 输入缓冲区使能。
1 输入缓冲区禁止。



MSP430F22x4 评估板

专业提供 **MSP430** 单片机开发工具



MSP430F2 系列 16 位超低功耗单片机模块原理

第 15 章 Compare A+ 比较器 A+

版本: 1.2

日期: 2007.7.

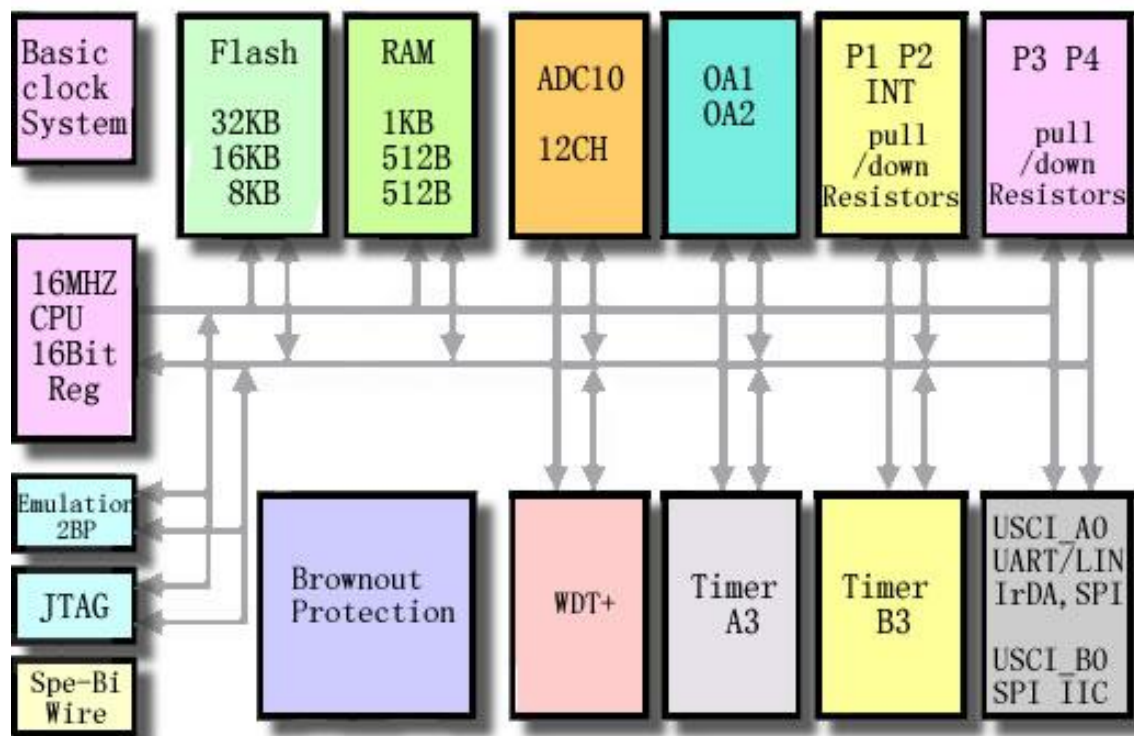
原文: TI MSP430x2xxfamily.pdf

翻译: 欧浩源 中国计量学院

编辑: DC 微控技术论坛版主

注: 以下文章是翻译 TI MSP430x2xxfamily.pdf 文件中的部分内容。由于我们翻译水平有限, 有整理过程中难免有所不足或错误; 所以以下内容只供参考. 一切以原文为准。

详情请密切留意微控技术论坛。



第15章 比较器 A

比较器 A 是一个模拟电压比较器。这一章描述的是比较器 A。在 MSP430x2xx 系列中，除了 MSP430x20x0 和 MSP430x22x4 的所有设备均具有该比较器。

主题

比较器 A 概述

比较器 A 操作

比较器 A 的寄存器

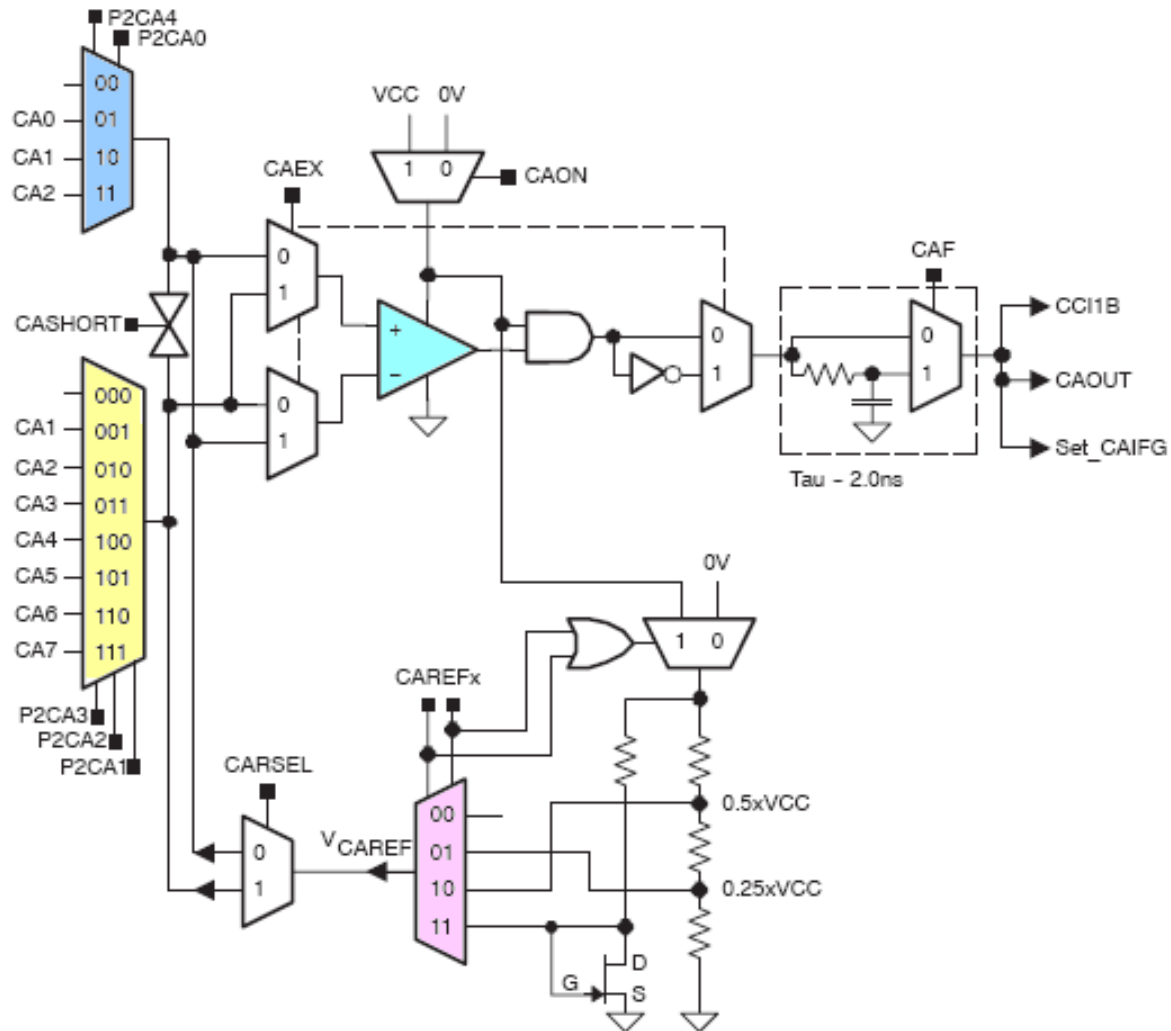
15.1 比较器 A 概述

比较器 A 模块支持精确的斜率数模转换，电压监控和外部模拟信号的监控。

比较器 A 的特点如下：

- n 反向和非反向的终端输入复用器。
- n 比较器输出有软件选择的 RC 滤波器。
- n 比较器的输出可以作为定时器 A 的捕获输入。
- n 端口输入缓冲由软件控制。
- n 具有中断功能。
- n 可选的参考电压发生器。
- n 比较器和参考电压发生器可关闭。
- n 多路输入选择器。

比较器 A 的结构框图如图 15—1 所示。



15.2 比较器 A 操作

比较器 A 模块可以通过软件来进行设置。该比较器的设置和操作通过下面几个部分来进行讨论。

15.2.1 比较器

比较器比较正端和负端输入的模拟电压。如果正端的电压高于负端的电压，比较器输出 CAOUT 为高。通过控制位 CAON 可以打开或者关闭比较器。比较器不使用时应该将其关闭以减小消耗电流。当比较器关闭时，CAOUT 总是输出出低电平。

15.2.2 输入模拟开关

通过 P2CAx 位可以控制模拟输入开关，使两个比较器的输入端连接到或者不连接到相关的端口管脚。比较器的两个输入端可以单独的控制。P2CAx 位允许下面的操作：

- n 将外部的信号应用到比较器的正负两端。
- n 将一个内部参考电压连接到相应的输出端口管脚。

在内部，输入开关使 T 型开关结构的，这样可以抑制信号链路上的失真。

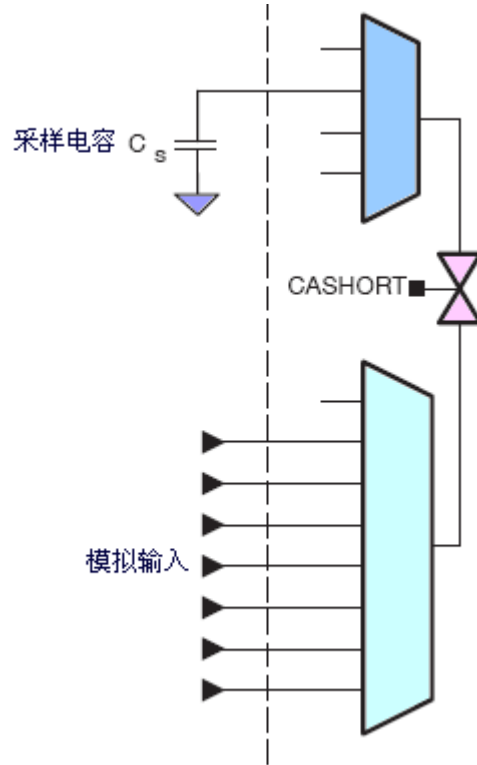
注释：比较器输入连接。

当比较器打开时，其输入端应该连接到信号源、电源或者地。否则，悬空会产生意想不到的中断以及增加电流的消耗。

CAEX 位控制输入多路复用器，交换连接到比较器正端和负端的输入信号。另外，当比较器两端的信号被交换时，比较器的输出信号会被反转。这样允许用户测定或者补偿比较器输入的偏移电压。

15.2.3 输入短路开关

CASHORT 位短路比较器 A 的输入。它可以用来为比较器建立一个简单的采样保持器，如图 15-2 所示。



需要的采样时间和采样电容 (C_s)、带有短路开关的输入开关序列的电阻 (R_i) 和外部信号源的阻抗 (R_s) 的大小成比例。总共的内部阻抗的典型范围是 2 到 10 千欧。采样电容 C_s 应该大于 100 皮法。改变采样电容 C_s ，可以通过下面的公式计算时间常数 τ ：

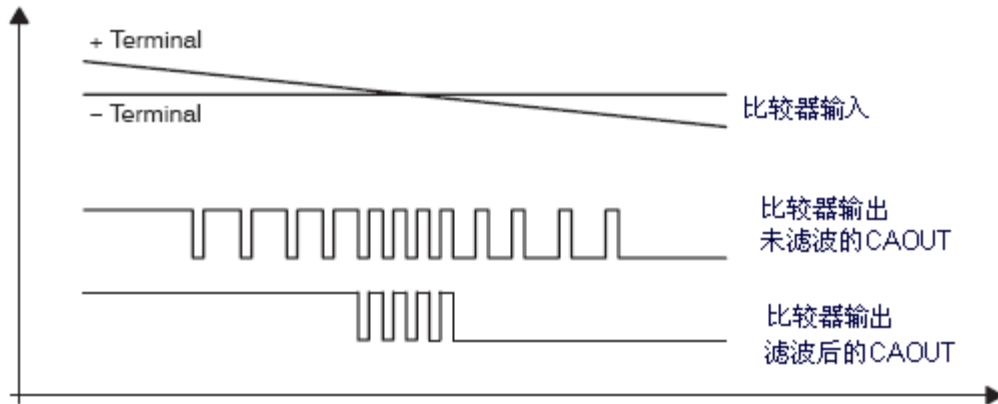
$$\tau = (R_i + R_s) \times C_s$$

根据需要的精度，应该用 3 到 5 倍的 τ 的时间作为采样时间。3 倍的 τ 采样电容大约可以对输入信号电压进行 95% 的充电。5 倍的 τ 采样电容可以对输入信号电压进行大于 99% 的充电。10 倍的 τ 采样的电压可以充分满足 12 位的精度要求。

15.2.4 输出滤波器

比较器的输出可以使用内部的滤波器，也可以不使用。当控制位 CAF 位置位时，输出通过片上的 RC 低通滤波器进行滤波。

如果差分电压通过输入端很小，则任何的比较器的输出都会产生振荡。内部和外部的寄生作用以及信号线、电源线和系统的其他部分产生的耦合都会导致图 15-3 的行为。比较器输出的振荡会降低比较结果精确度和解析度。选择输出滤波会减少由于比较器振荡引起的错误。



15.2.5 参考电压发生器

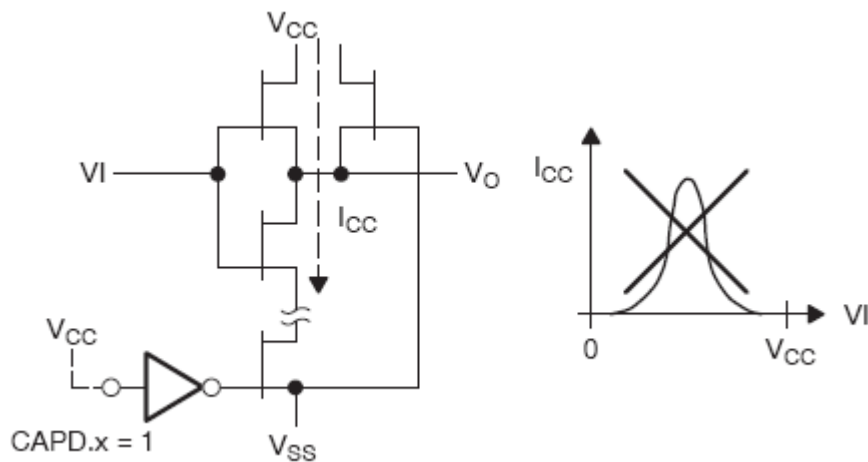
参考电压发生器用来产生电压 V_{CAREF} ，该电压提供给比较器的每个输入端。 CAREF_x 位控制电压发生器的电压输出。 CARSEL 位选择比较器端使用那个 V_{CAREF} 。如果比较器的两个输入端都使用外部输入信号，那么内部参考电压应该关闭以降低电流的消耗。该参考电压发生器能够产生部分的设备 V_{CC} 或者确定的发送器 $\sim 0.55V$ 的门限电压。

15.2.6 比较器 A 端口禁用寄存器 CAPD

比较器的输入和输出功能和相关的端口管脚复合使用，这些管脚都是数字 CMOS 门结构的。当模拟信号加载到数字 CMOS 门时，会产生从 V_{CC} 流向 GND 的寄生电流。如果输入电压竭尽门的转换电压就会出现寄生电流。禁止端口管脚缓冲区能够消除寄生电流的流动，从而可以减少整个电流的消耗。

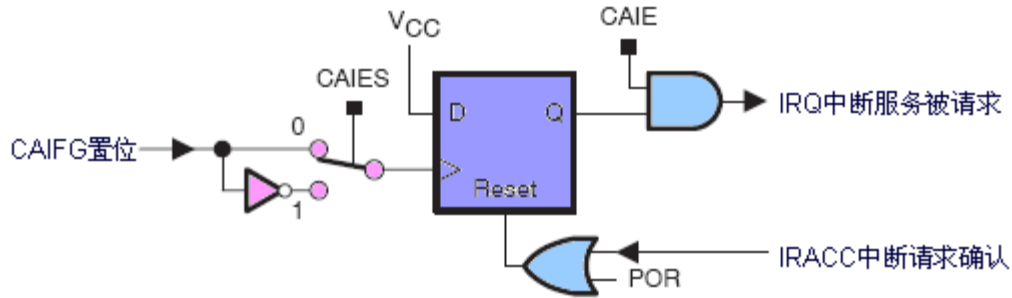
当 CAPD_x 位被置位时，相应的 P1 端口输入和输出缓冲器如图 15-4 所示。当对电流的消耗非常敏感时，任何连接到模拟信号的管脚都应该通过 CAPD_x 位禁止。

通过 P2CA_x 位为比较器复用器选择输入管脚时，不管其对应的 CAPD_x 位状态如何，该管脚的输入和输出缓冲区都会自动禁止。



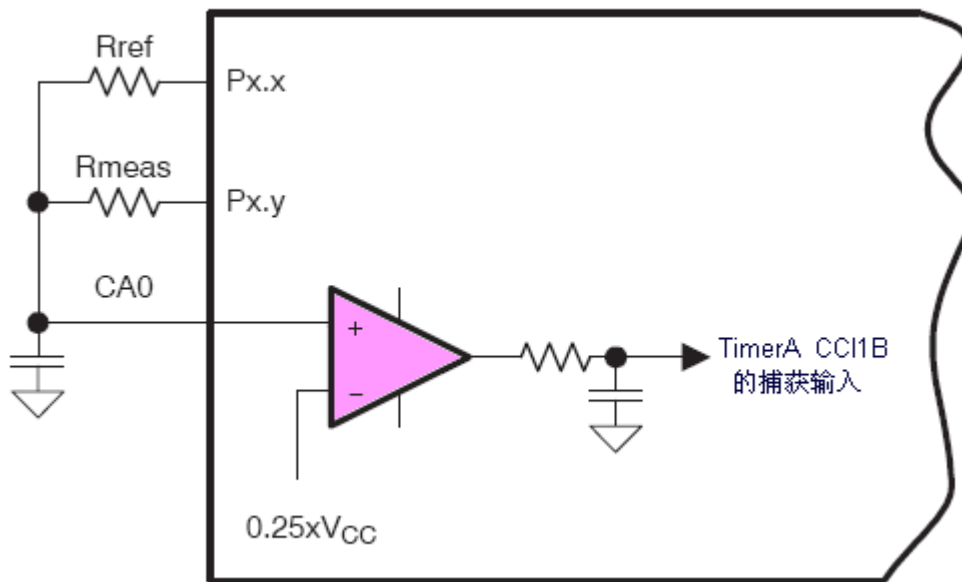
15.2.7 比较器 A 的中断

如图 15-5 所示，与比较器相关的有一个中断标志一个中断向量。比较器输出的上升沿或者时下降沿都会使中断标志 CAIFG 置位，输出的上升沿还是下降沿产生中断可以通过 CAIES 位选择。如果 CAIE 和 GIE 同时置位，随后 CAIFG 则会产生一个中断请求。当中断请求被响应 CAIFG 位会自动复位，通过软件该位也会复位。



15.2.8 比较器 A 用于测量电阻元件

利用模拟数字转换的信号斜坡，比较器 A 能够精确的测量电阻元件。例如，如图 15—5 所示，利用热敏电阻，通过比较热敏电阻电容和参考电阻电容的放电时间，可以将温度转换成数字信号。参考电阻 R_{ref} 与 R_{meas} 进行比较。

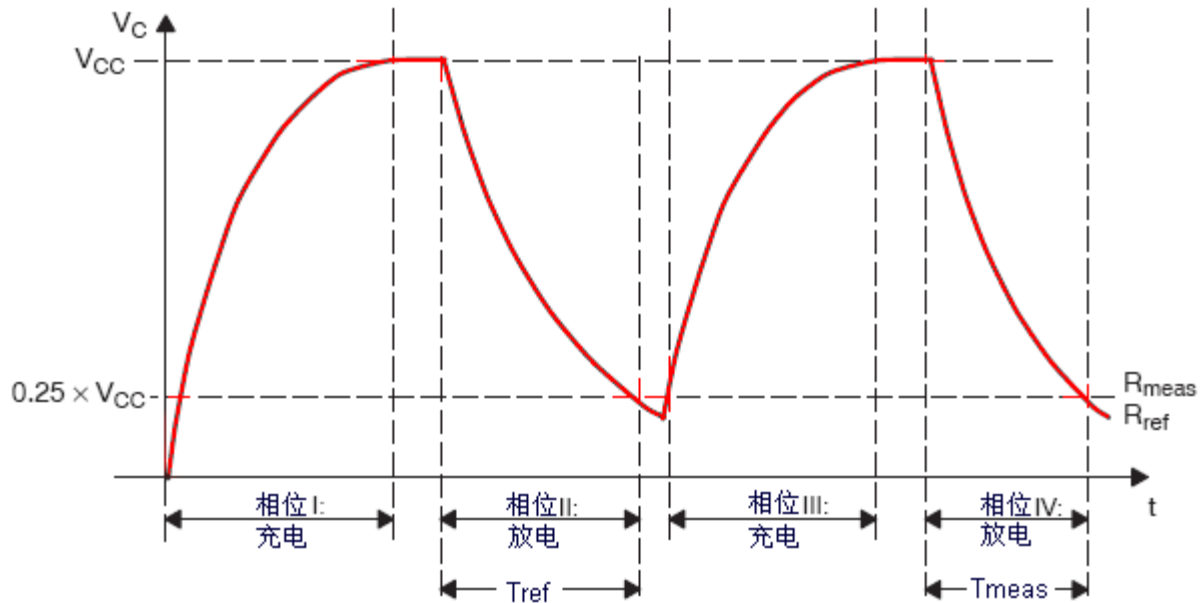


下面是通过 R_{meas} 计算温度传感所使用的 MSP430 的资源：

- n 两个数字 I/O 端口，用来对电容进行充电和放电。
- n I/O 端口置位输出高电平 (V_{CC}) 对电容进行充电，复位则对其放电。
- n I/O 端口不使用时通过置位 CAPDx 位使其切换到高阻态输出。
- n 一个输出通过 R_{ref} 对电容进行充放电。
- n 一个端口通过 R_{meas} 对电容进行充放电。
- n 比较器的正端连接到电容的正极。
- n 比较器的负端连接到参考电平，例如 $0.25 \times V_{CC}$ 。
- n 使用滤波器输出使其噪声减到最小。
- n CAOUT 使用门控制 Timer_A CCI1B 捕获电容放电的时间。

多于一个电阻元件也可以被测量。另外的一个元件通过可以使用的 I/O 端口连接到 CA0。当其不进行测量的时候该端口管脚切换到高阻态。

热敏电阻的测量是基于传感器测量转换原理的。两个电容放电时间的计算如图 15—7 所示：



在转换的过程中，电源电压 V_{CC} 和电容值应该保持恒定值不变，但是当他们在分数中可以抵消是不是很关键。

$$\frac{N_{meas}}{N_{ref}} = \frac{-R_{meas} \times C \times \ln \frac{V_{ref}}{V_{CC}}}{-R_{ref} \times C \times \ln \frac{V_{ref}}{V_{CC}}}$$

$$\frac{N_{meas}}{N_{ref}} = \frac{R_{meas}}{R_{ref}}$$

$$R_{meas} = R_{ref} \times \frac{N_{meas}}{N_{ref}}$$

15.3 比较器 A 的寄存器

在表 15-1 中列出了比较器 A 的寄存器。

寄存器	格式	寄存器类型	地址	初始状态
比较器A+ 控制寄存器1	CACTL1	读/写	059h	复位 和 POR
比较器A+ 控制寄存器2	CACTL2	读/写	05Ah	复位 和 POR
比较器A+ 禁止寄存器	CAPD	读/写	05Bh	复位 和 POR

CACTL1, 比较器控制寄存器 1

7	6	5	4	3	2	1	0
CAEX	CARSEL	CAREF _x		CAON	CAIES	CAIE	CAIFG
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

- CAEX:** 位 7 交换比较器的输入端。
该位交换比较器的输入信号和反转比较器的输出。
- CARSEL:** 位 6 比较器参考选择。
该位选择 V_{CAREF} 被用于那一端。
当 CAEX=0 时:
0 V_{CAREF} 用于正端。
1 V_{CAREF} 用于负端。
当 CAEX=1 时:
0 V_{CAREF} 用于负端。
1 V_{CAREF} 用于正端。
- CAREF:** 位 5-4 比较器 A 参考选择。
该位选择参考电压 V_{CAREF} 。
00 内部参考电源关闭。使用外部参考电源。
01 选择 $0.25V_{\text{CC}}$ 作为参考电压。
02 选择 $0.5V_{\text{CC}}$ 作为参考电压。
03 选择二极管电压作为参考电压。
- CAON:** 位 3 比较器开关控制。
该位可以打开比较器。当比较器关闭的时, 它几乎不消耗电流。其参考电路可以独立的使能或者禁止。
0 关闭。
1 打开。
- CAIES:** 位 2 比较器 A 的中断触发沿选择。
0 上升沿。
1 下降沿。
- CAIE:** 位 1 比较器 A 的中断使能。
0 禁止。
1 使能。
- CAIFG:** 位 0 比较器 A 的中断标志。
0 没有中断请求。
1 有中断请求。

CACTL2, 比较器控制寄存器 2

7	6	5	4	3	2	1	0
CASHORT	P2CA4	P2CA3	P2CA2	P2CA1	P2CA0	CAF	CAOUT
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r-(0)

- CASHORT:** 位 7 输入短路。
该位将输入的正端和负端短路。

- 0 输入没被短路。
1 输入被短路。
- P2CA4: 位 6 输入选择。
该位结合 P2CA0, 在 CAEX=0 时选择正端的输入, 在 CAEX=1 时选择负端的输入。
- P2CA3: 位 5—3 输入选择。
- P2CA2: 当 CAEX=0 时选择负端的输入, 当 CAEX=1 时选择正端的输入。
- P2CA1: 000 没有连接。
001 CA1
010 CA2
011 CA3
100 CA4
101 CA5
110 CA6
111 CA7
- P2CA0: 位 2 输入选择。
该位结合 P2CA4, 在 CAEX=0 时选择正端输入, 在 CAEX=1 时选择负端输入。
00 无连接。
01 CA0。
10 CA1。
11 CA2。
- CAF: 位 1 比较器输出滤波。
0 比较器输出不经过滤波器。
1 比较器输出经过滤波器。
- CAOUT: 位 0 比较器 A 的输出。
该位反映比较器输出的值, 对该位进行写操作无效。

CAPA, 比较器 A 端口禁止寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
CAPD7	CAPD6	CAPD5	CAPD4	CAPD3	CAPD2	CAPD1	CAPD0
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

- CAPDx: 位 7—0 比较器 A 端口禁止。
这些位可以独立的禁止与比较器 A 相连端口管脚的输入缓冲区。例如, 如果 CA0 是连在管脚 P2.3 上的, CAPDx 位可以用来独立的使能或者是禁止每个 P2.x 的管脚缓冲区。CAPD0 禁止 P2.0, CAPD1 禁止 P2.1 等等。
0 输入缓冲区使能。
1 输入缓冲区禁止。



MSP430F22x4 评估板

专业提供 **MSP430** 单片机开发工具