

带 I²C 接口和片内参考的 18 位模数转换器

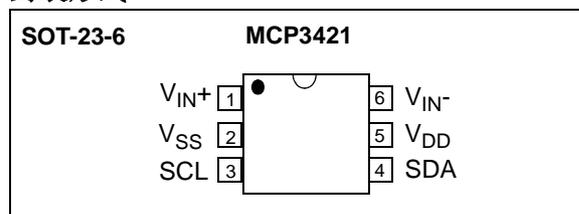
特性

- SOT-23-6 封装的 18 位 $\Delta\Sigma$ ADC
- 差分输入
- 每次转换对内部失调和增益自校正
- 片内参考电压:
 - 精度: $2.048V \pm 0.05\%$
 - 漂移: $15 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$
- 片内可编程增益放大器 (Programmable Gain Amplifier, PGA):
 - 增益为 1、2、4 或 8
- 片内振荡器
- INL: 满量程 FSR 的 10 ppm (FSR = 4.096V/PGA)
- 可编程数据率选项:
 - 3.75 SPS (18 位)
 - 15 SPS (16 位)
 - 60 SPS (14 位)
 - 240 SPS (12 位)
- 单次或连续转换选项
- 低电流消耗:
 - 145 μA (典型值) ($V_{DD} = 3V$, 连续转换)
 - 39 μA (典型值) ($V_{DD} = 3V$, 单次转换, 1 SPS)
- 支持 I²C 串行接口:
 - 标准、快速和高速模式
- 单电源供电: 2.7V 至 5.5V
- 扩展级温度范围: -40°C 至 $+125^\circ\text{C}$

典型应用

- 便携式仪表
- 电子秤和电量计
- 使用 RTD、热敏电阻和热电偶的温度测量
- 测量压力、张力和应变的电桥

封装形式



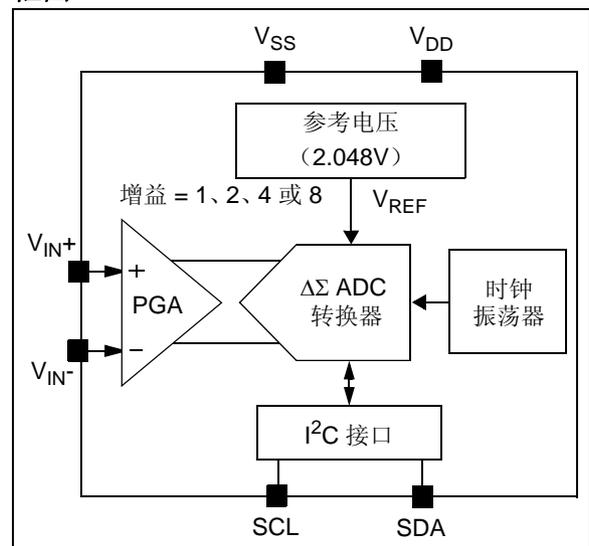
概述

MCP3421 为单通道低噪声、高精度、差分输入 $\Delta\Sigma$ A/D 转换器, 分辨率高达 18 位, 提供微型 SOT-23-6 封装。片上精密 2.048V 参考电压使得差分输入电压范围为 $\pm 2.048V$ (Δ 电压 = 4.096V)。该器件使用 2 线 I²C 兼容串行接口, 并采用 2.7V 至 5.5V 单电源供电。

用户通过 2 线 I²C 串行接口对控制配置位进行设定, 从而 MCP3421 器件可按 3.75、15、60 或 240 采样 / 秒 (SPS) 速率进行转换。该器件具有片内可编程增益放大器 (PGA), 用户可在转换开始之前选择 PGA 增益为 x1、x2、x4 或 x8。因此 MCP3421 在转换很小的输入信号时仍可保持高分辨率。该器件提供两种转换模式: a) 连续转换模式; b) 单次转换模式。在单次转换模式下, 器件在完成一次转换后自动进入低电流待机模式, 这样可显著降低空闲期间的电流消耗。

MCP3421 器件特别适合需要设计简单、低功耗和节省空间的各种高精度模 / 数转换应用。

框图



MCP3421

注:

1.0 电气特性

1.1 绝对最大值 †

V _{DD}	7.0V
相对于 V _{SS} 所有输入和输出电压	-0.3V 至 V _{DD} +0.3V
差分输入电压	V _{DD} - V _{SS}
输出电路电流	连续
输入引脚电流	±2 mA
输出和电源引脚电流.....	±10 mA
存储温度.....	-65°C 至 +150°C
加电时的环境温度	-55°C 至 +125°C
所有引脚 ESD 保护.....	≥ 6 kV HBM, ≥ 400V MM
最高结温 (T _J)	+150°C

†注：如果器件的工作条件超过上述“绝对最大值”，可能对器件造成永久性损坏。上述数值为运行条件最大值，我们建议不要使器件在此规范规定的范围以外运行。如果器件长时间工作在绝对最大额定值条件下，其可靠性会受到影响。

1.2 电气规范

电气特性

电气规范：除非另外说明，否则所有参数的适用条件为：T_A = -40°C 至 +85°C，V_{DD} = +5.0V，V_{SS} = 0V，V_{IN+} = V_{IN-} = V_{REF}/2。所有 ppm 单位使用的满量程为 2*V_{REF}。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
模拟输入						
差分输入范围		—	±2.048/PGA	—	V	V _{IN} = V _{IN+} - V _{IN-}
共模电压范围（绝对值） (注 1)		V _{SS} -0.3	—	V _{DD} +0.3	V	
差分输入阻抗（注 2）	Z _{IND} (f)	—	2.25/PGA	—	MΩ	在正常模式操作期间
共模输入阻抗	Z _{INC} (f)	—	25	—	MΩ	PGA = 1、2、4 和 8
系统性能						
分辨率和无丢失码（注 8）		12	—	—	Bits	DR = 240 SPS
		14	—	—	Bits	DR = 60 SPS
		16	—	—	Bits	DR = 15 SPS
		18	—	—	Bits	DR = 3.75 SPS
数据率（注 3）	DR	176	240	328	SPS	S1,S0 = '00', (12 位模式)
		44	60	82	SPS	S1,S0 = '01', (14 位模式)
		11	15	20.5	SPS	S1,S0 = '10', (16 位模式)
		2.75	3.75	5.1	SPS	S1,S0 = '11', (18 位模式)
输出噪声		—	1.5	—	μV _{RMS}	T _A = +25°C, DR = 3.75 SPS, PGA = 1, V _{IN} = 0
积分非线性度（注 4）	INL	—	10	35	FSR 的 ppm	DR = 3.75 SPS (注 6)
内部参考电压	V _{REF}	—	2.048	—	V	

- 注 1：低于或超过此电压值的任意输入电压将导致泄漏电流流过输入引脚 ESD 二极管。
此参数为特征参数，未经 100% 测试。
- 2：输入阻抗是由内部 3.2 pF 的输入采样电容产生的。
- 3：总转换速度包括自动失调和增益校正过程。
- 4：INL 是端点线与量化带宽中点测量码之差。
- 5：包括由片内 PGA 和 V_{REF} 引起的所有误差。
- 6：满量程 (FSR) = 2 x 2.048/PGA = 4.096/PGA。
- 7：该参数为特征参数，未经 100% 测试。
- 8：该参数由设计确保，未经 100% 测试。

MCP3421

电气特性 (续)

电气规范: 除非另外说明, 否则所有参数的适用条件为: $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+85^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = +5.0\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$, $V_{IN+} = V_{IN-} = V_{REF}/2$ 。
所有 ppm 单位使用的满量程为 $2 \cdot V_{REF}$ 。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
增益误差 (注 5)		—	0.05	0.35	%	PGA = 1, DR = 3.75 SPS
PGA 增益误差匹配 (注 5)		—	0.1	—	%	任意两个 PGA 增益之间
增益误差偏移 (注 5)		—	15	—	ppm/ $^{\circ}\text{C}$	PGA=1, DR=3.75 SPS
失调误差	V_{OS}	—	15	40	μV	在 PGA = 1、 $V_{DD} = 5.0\text{V}$ 且 DR = 3.75 SPS 时测试
失调漂移—温度		—	50	—	nV/ $^{\circ}\text{C}$	$V_{DD} = 5.0\text{V}$
共模抑制比		—	105	—	dB	直流, PGA = 1,
		—	110	—	dB	直流, PGA = 8, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$
增益— V_{DD}		—	5	—	ppm/V	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 2.7\text{V}$ 至 5.5V , PGA = 1
直流电源抑制比		—	100	—	dB	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 2.7\text{V}$ 至 5.5V , PGA = 1
电源要求						
电压范围	V_{DD}	2.7	—	5.5	V	
转换期间的电源电流	I_{DDA}	—	155	190	μA	$V_{DD} = 5.0\text{V}$
		—	145	—	μA	$V_{DD} = 3.0\text{V}$
待机模式下的电源电流	I_{DDS}	—	0.1	0.5	μA	
I²C 数字输入和数字输出						
高电平输入电压	V_{IH}	$0.7 V_{DD}$	—	V_{DD}	V	
低电平输入电压	V_{IL}	—	—	$0.3 V_{DD}$	V	
低电平输出电压	V_{OL}	—	—	0.4	V	$I_{OL} = 3 \text{ mA}$, $V_{DD} = +5.0\text{V}$
输入端施密特触发器迟滞 (注 7)	V_{HYST}	$0.05 V_{DD}$	—	—	V	$f_{SCL} = 100 \text{ kHz}$
I ² C 总线活动时电源电流	I_{DDB}	—	—	10	μA	
输入泄漏电流	I_{ILH}	—	—	1	μA	$V_{IH} = 5.5\text{V}$
	I_{ILL}	-1	—	—	μA	$V_{IL} = \text{GND}$
引脚电容和 I²C 总线电容						
引脚电容	C_{PIN}	—	—	10	pF	
I ² C 总线电容	C_b	—	—	400	pF	

- 注**
- 1: 低于或超过此电压值的任意输入电压将导致泄漏电流流过输入引脚 ESD 二极管。此参数为特征参数, 未经 100% 测试。
 - 2: 输入阻抗是由内部 3.2 pF 的输入采样电容产生的。
 - 3: 总转换速度包括自动失调和增益校正过程。
 - 4: INL 是端点线与量化带宽中点测量码之差。
 - 5: 包括由片内 PGA 和 V_{REF} 引起的所有误差。
 - 6: 满量程 (FSR) = $2 \times 2.048/\text{PGA} = 4.096/\text{PGA}$ 。
 - 7: 该参数为特征参数, 未经 100% 测试。
 - 8: 该参数由设计确保, 未经 100% 测试。

温度特性

电气特性：除非另外说明，否则 $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+85^{\circ}\text{C}$ ， $V_{DD} = +5.0\text{V}$ ， $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
温度范围						
规定温度范围	T_A	-40	—	+85	$^{\circ}\text{C}$	
工作温度范围	T_A	-40	—	+125	$^{\circ}\text{C}$	
存储温度范围	T_A	-65	—	+150	$^{\circ}\text{C}$	
封装热阻						
热阻，6 引脚 SOT-23	θ_{JA}	—	190.5	—	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$	

MCP3421

注:

2.0 典型工作特性曲线

注： 以下图表为基于有限数量样本所作的统计，仅供参考。所列特性未经测试，我公司不作任何担保。在一些图表中，所列数据可能超出规定的工作范围（如：超出规定的电源电压范围），因而不在于担保范围内。

注： 除非另外声明，否则 $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+85^{\circ}\text{C}$ ， $V_{DD} = +5.0\text{V}$ ， $V_{SS} = 0\text{V}$ ， $V_{IN+} = V_{IN-} = V_{REF}/2$ 。

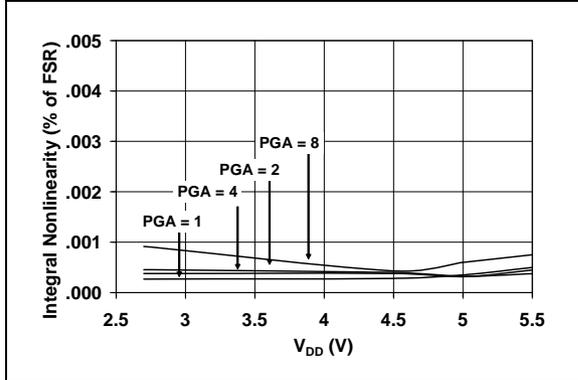


图 2-1: INL—电源电压 (V_{DD}) 曲线

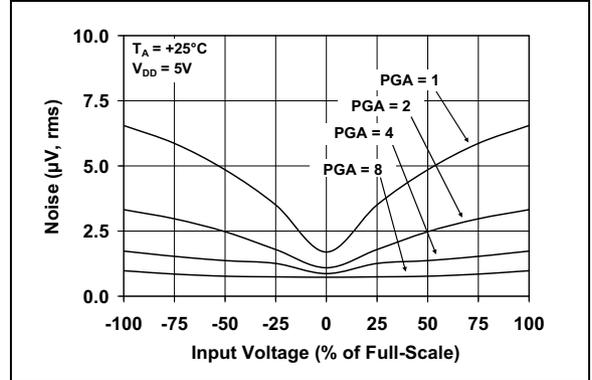


图 2-4: 输出噪声—输入电压曲线

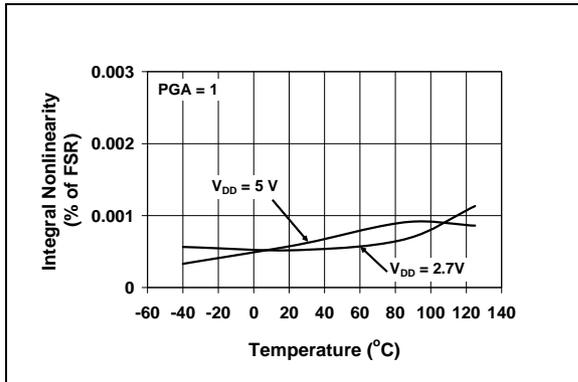


图 2-2: INL—温度曲线

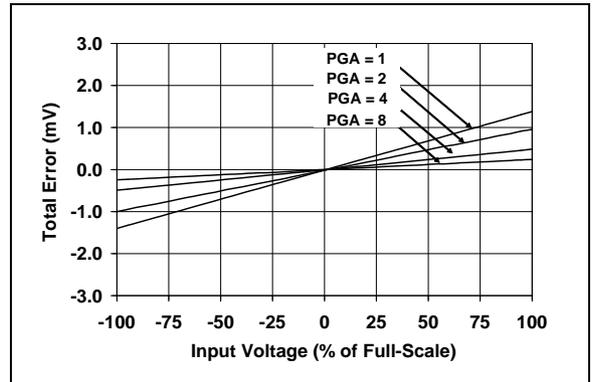


图 2-5: 总误差—输入电压曲线

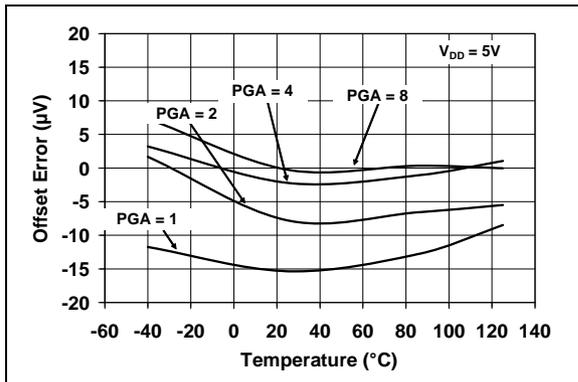


图 2-3: 失调误差—温度曲线

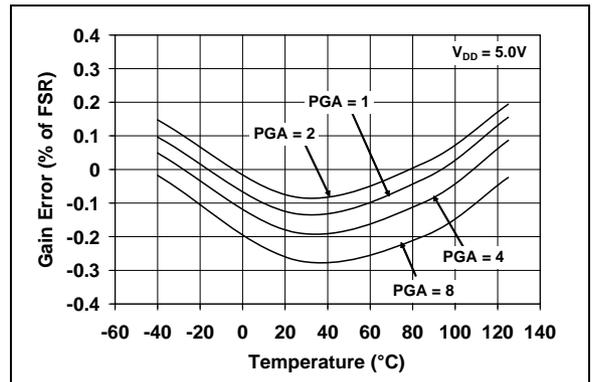


图 2-6: 增益误差—温度曲线

MCP3421

注：除非另外声明，否则 $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+85^{\circ}\text{C}$ ， $V_{DD} = +5.0\text{V}$ ， $V_{SS} = 0\text{V}$ ， $V_{IN+} = V_{IN-} = V_{REF}/2$ 。

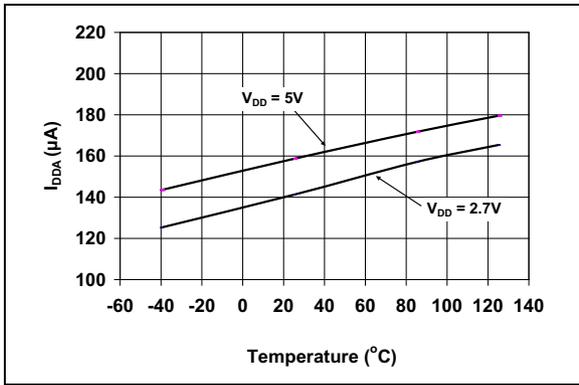


图 2-7: I_{DDA} —温度曲线

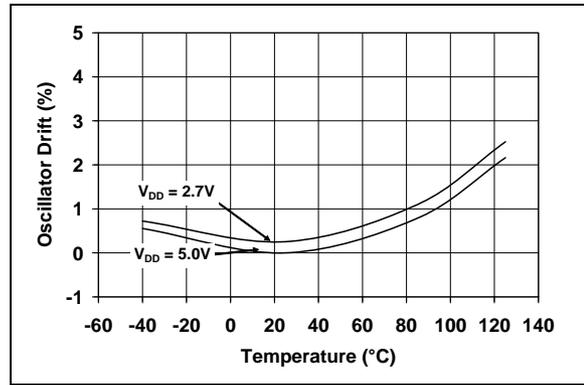


图 2-10: OSC 漂移—温度曲线

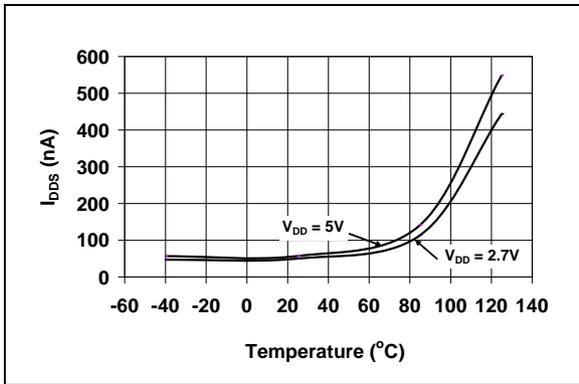


图 2-8: I_{DDS} —温度曲线

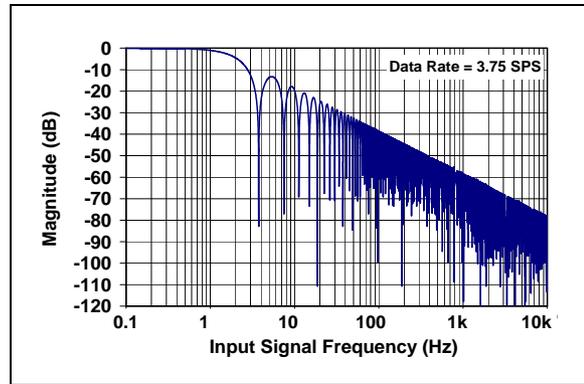


图 2-11: 频率响应

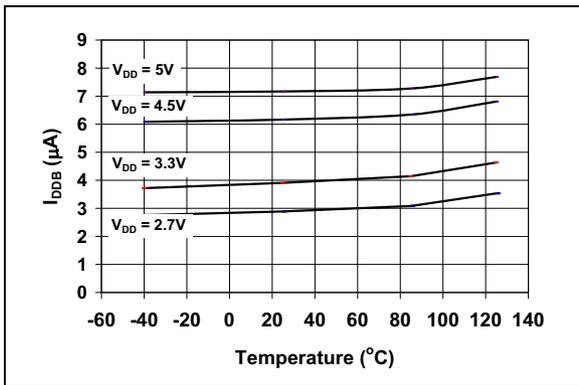


图 2-9: I_{DDB} —温度曲线

3.0 引脚说明

引脚说明如表 3-1 所示。

表 3-1: 引脚功能表

MCP3421	符号	说明
1	V_{IN+}	正差分模拟输入引脚
2	V_{SS}	接地引脚
3	SCL	I ² C 接口的串行时钟输入引脚
4	SDA	I ² C 接口双向串行数据引脚
5	V_{DD}	正电源引脚
6	V_{IN-}	负差分模拟输入引脚

3.1 模拟输入 (V_{IN+} 和 V_{IN-})

V_{IN+} 和 V_{IN-} 为差分信号输入引脚。MCP3421 器件接受完全差分模拟输入信号，该信号连接到 V_{IN+} 和 V_{IN-} 输入引脚。被转换的差分电压定义为 $V_{IN} = (V_{IN+} - V_{IN-})$ ，其中 V_{IN+} 为施加到 V_{IN+} 引脚的电压， V_{IN-} 为施加到 V_{IN-} 引脚的电压。用户也可以将 V_{IN-} 引脚连接到 V_{SS} 进行单端操作。关于差分 and 单端连接的示例，请参见图 6-4。

输入信号在转换前被可编程增益放大器 (PGA) 放大。为了保证精度，差分输入电压绝对值不能超过 (V_{REF}/PGA) ，其中 V_{REF} 为内部参考电压 (2.048V)，PGA 为 PGA 增益设定值。如果输入电压范围超过 (V_{REF}/PGA) ，转换器输出代码将为其饱和值。

每个输入引脚上的绝对电压范围为 $V_{SS}-0.3V$ 至 $V_{DD}+0.3V$ 。低于下限或高于上限的电压，都将产生泄漏电流，该电流流经输入引脚静电放电 (Electrostatic Discharge, ESD) 二极管。ESD 泄漏电流将发生器件无法预料的操作。应当选择恰当的共模模拟输入，使得每个引脚上差分模拟输入和绝对电压都在第 1.0 节“电气特性”和第 4.0 节“器件工作概述”中规定的工作范围之内。

关于输入电压范围的更多详细信息，请参见第 4.5 节“输入电压范围”。

图 3-1 所示为器件的输入结构。器件在前端采用了一个开关电容输入级。 C_{PIN} 是封装引脚电容，其典型值约为 4 pF。 D_1 和 D_2 为 ESD 二极管。 C_{SAMPLE} 是差分输入采样电容。

3.2 电源电压 (V_{DD} 和 V_{SS})

V_{DD} 是器件的电源引脚。这个引脚需要与地之间接一个约 0.1 μF 的陶瓷旁路电容。在许多应用中建议另外并联一个 10 μF 钽电容，以进一步衰减高频噪声。正常工作要求电源 (V_{DD}) 保持在 2.7V 至 5.5V 范围内。

V_{SS} 是接地引脚和器件的电流返回通路。用户需通过低阻抗走线将 V_{SS} 引脚连接到地平面。如果印刷电路板 (PCB) 上存在模拟接地面，强烈建议将 V_{SS} 引脚连接到模拟地回路或利用模拟地平面进行隔离。

3.3 串行时钟引脚 (SCL)

SCL 是 I²C 接口串行时钟引脚。MCP3421 只可以从器件，SCL 引脚只接受外部串行时钟。来自器件的输入数据在 SCL 时钟的上升沿移入 SDA 引脚，同样在 SCL 时钟的下降沿，MCP3421 通过 SDA 引脚输出数据。SCL 引脚为漏极开路 N 沟道驱动器，因此 SCL 引脚至 V_{DD} 线间需要一个上拉电阻。更多关于 I²C 串行接口通信的信息，请参见第 5.3 节“I²C 串行通信”。

MCP3421

3.4 串行数据引脚 (SDA)

SDA 为 I²C 接口串行数据引脚。SDA 引脚用于数据输入和输出。在读模式，从 SDA 引脚读取 (输出) 转换后的结果。在写模式，通过 SDA 引脚写 (输入) 器件配置位。SDA 引脚为漏极开路 N 沟道驱动器，因此，SDA 引脚至 V_{DD} 线间需要一个上拉电阻。除了启动和停止条件，SDA 引脚的数据必须在时钟为高电平期间保持稳定。SDA 引脚电平状态只能在 SCL 引脚的时钟信号为低电平时改变。更多关于 I²C 串行接口通信的信息，请参见第 5.3 节 “I²C 串行通信”。

SCL 和 SDA 上拉电阻的典型值范围在标准模式 (100 kHz) 和快速模式 (400 kHz) 下为 5 kΩ 至 10 kΩ；在高速模式 (3.4 MHz) 下小于 1 kΩ。在 V_{DD} 小于 2.7V 时，不建议使用高速模式。

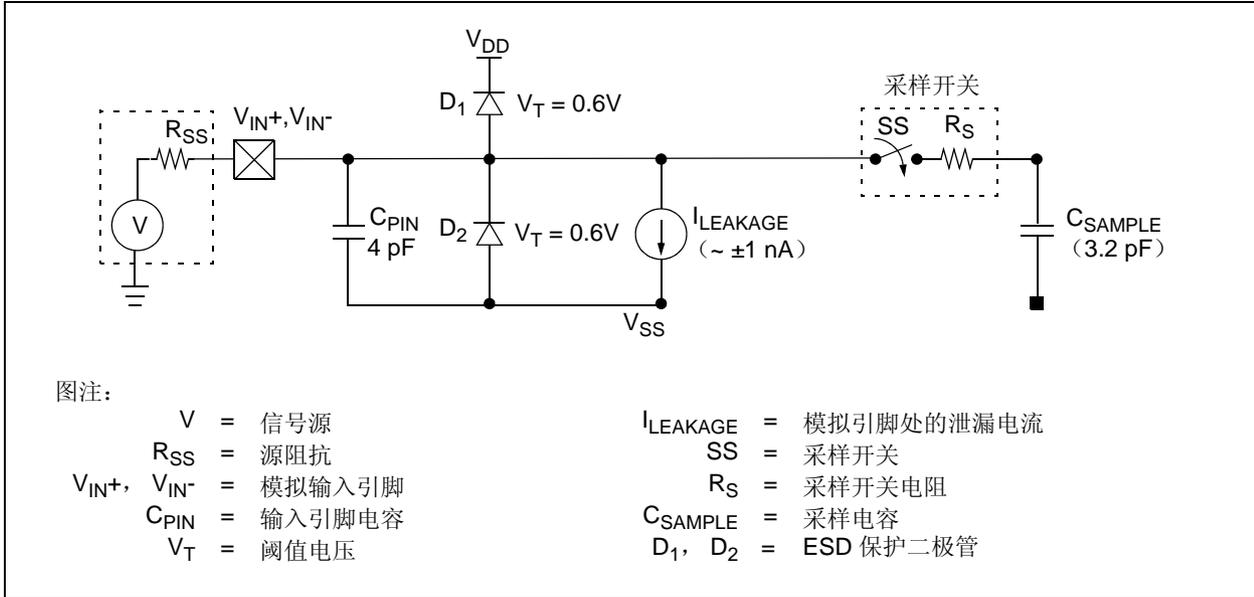


图 3-1: 等效模拟输入电路

4.0 器件工作概述

4.1 概述

MCP3421 为低功耗且具有 I²C 串行接口的 18 位 $\Delta\Sigma$ A/D 转换器。该器件包含片内电压参考源 (2.048V)，可编程增益放大器 (PGA) 和内部振荡器。当器件上电复位 (POR 置 1) 时，它自动将配置位复位至默认设置。

器件默认设置：

- 转换位分辨率：12 位 (240 sps)
- PGA 增益设置：x1
- 连续转换

器件上电复位后，用户可以利用 I²C 串行接口随时重新对配置位编程。配置位存储在易失性存储器中。

用户能选择的选项：

- 转换分辨率：12、14、16 或 18 位
- PGA 增益选项：x1、x2、x4 或 x8
- 连续转换或单次转换

在连续转换模式下，器件连续地转换输入信号。而在单次转换模式下，器件仅对输入信号完成一次转换，然后保持为低功耗待机模式，直至收到进行新转换的命令。在待机模式，器件消耗电流小于 1 μ A (最大值)。

4.2 上电复位 (POR)

器件具有内部上电复位 (POR) 电路，用来监测工作时的电源电压 (V_{DD})。这个电路确保器件在系统上电和掉电时能够正确启动。POR 具有内置迟滞电路和定时器，可较好地抑制电源上潜在的纹波和噪声。需要在尽可能靠近 V_{DD} 引脚的地方放置一个 0.1 μ F 去耦电容，以提供额外的瞬态抑制手段。

阈值电压设置为 2.2V，容差约为 $\pm 5\%$ 。如果电源电压低于该阈值，器件将保持为复位状态。典型迟滞值约为 200 mV。

POR 电路在低功耗待机模式下被关断。一旦发生上电事件，器件在开始转换前需要额外的延迟时间 (约 300 μ s)。在这个延迟时间内，所有内部模拟电路在第一次转换前重新设置。图 4-1 显示在上电和掉电事件时器件的典型启动条件。

在器件上电时，它自动复位，并将配置位设置为默认设置值。默认配置位条件为 PGA 增益为 1 V/V、连续转换模式和转换速度为 240 sps。当器件收到 I²C 通用复位调用命令时，将进行类似于上电复位 (POR) 的内部复位操作。

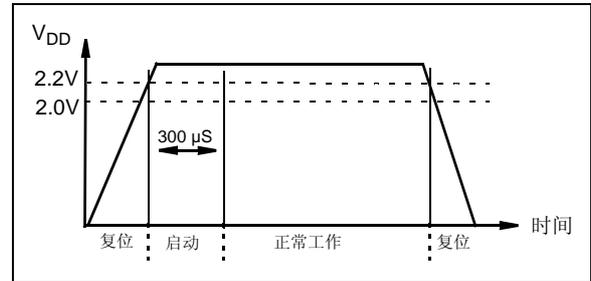


图 4-1: POR 工作过程

4.3 内部参考电压

器件包含片内 2.048V 参考电压，这个参考电压仅供内部使用，不能直接测量。参考电压的规范为器件增益和漂移规范的一部分，片内参考没有单独的参数规范。

4.4 模拟输入通道

模拟差分输入通道具有开关电容输入结构。对内部采样电容 (PGA = 1 时为 3.2 pF) 进行充放电来实现转换。输入采样电容的充放电，在每个输入引脚上产生动态输入电流。动态输入电流是差分输入电压的函数，与内部采样电容、采样频率和 PGA 设置成反比。

4.5 输入电压范围

不考虑 PGA 设置时，输入引脚上的差分电压 (V_{IN}) 和共模电压 (V_{INCOM}) 定义为：

$$V_{IN} = V_{IN^+} - V_{IN^-}$$

$$V_{INCOM} = \frac{V_{IN^+} + V_{IN^-}}{2}$$

在 $\Delta\Sigma$ 调制器的前端，输入信号电平由内部可编程增益放大器 (PGA) 进行放大。

用户需要同时考虑输入电压范围的两个方面：(a) 差分输入电压范围和 (b) 绝对最大输入电压范围。

4.5.1 差分输入电压范围

器件使用其内部的参考电压 ($V_{REF} = 2.048V$) 进行转换。因此，当考虑 PGA 设置时，差分输入电压 (V_{IN}) 的绝对值应小于内部参考电压。考虑 PGA 设置时，如果内部电压 (V_{IN}) 的绝对值大于内部参考电压 ($V_{REF} = 2.048V$)，器件将输出饱和输出代码（除了符号位，其他全 0 或全 1）。输入满量程电压范围由以下公式给定：

公式 4-1:

$$-V_{REF} \leq (V_{IN} \cdot PGA) \leq (V_{REF} - 1LSB)$$

其中：

$$V_{IN} = V_{IN^+} - V_{IN^-}$$

$$V_{REF} = 2.048V$$

如果输入电压大于上述限制，用户可使用分压器使输入电压降至满量程范围。关于输入电压分压电路的更多信息，请参见图 6-7。

4.5.2 绝对最大输入电压范围

每个输入引脚的输入电压必须满足下面的绝对最大输入电压限制：

- 输入电压 $< V_{DD} + 0.3V$
- 输入电压 $> V_{SS} - 0.3V$

超出这个范围的任意输入电压可以导通输入 ESD 保护二极管，并且会产生输入泄漏电流，导致转换错误，甚至对器件造成永久损害。

在设置输入电压范围时必须要小心，以防止输入电压超过绝对最大输入电压范围。

4.6 输入阻抗

器件使用 3.2 pF 采样电容的开关电容输入级。这个电容以片内时钟产生的采样频率进行开关（充电和放电）。差分输入阻抗随 PGA 设定而变化。正常工作模式下典型差分输入阻抗可通过下式给出：

$$Z_{IN}(f) = 2.25 M\Omega / PGA$$

由于采样电容仅在转换过程中切换到输入引脚，上式输入阻抗仅在转换周期内有效。在低功耗待机模式，上述阻抗不会出现在输入引脚。此时，在输入引脚仅有因 ESD 二极管导致的泄漏电流。

当外部电路连接到输入引脚时，转换精度受到输入信号源阻抗影响。源阻抗与内部阻抗相加，直接影响内部采样电容充电所需的时间。因此，连接到输入引脚的高输入源阻抗会降低系统性能，如失调、增益和积分非线性 (INL) 误差会受影响。理想情况下，输入源阻抗应为零。这可以通过使用闭环输出阻抗为几十欧姆的运算放大器来实现。

4.7 混叠和抗混叠滤波器

在输入信号中包含随时间变化的信号分量，同时其频率超过采样速率一半时会产生混叠。在混叠条件下，器件输出非期望的输出代码。对于工作在高电气噪声环境下的应用，时变信号噪声或高频干扰信号很容易叠加到输入信号上，从而产生混叠。尽管器件内部具有 1 阶 *sinc* 滤波器，其滤波器响应（图 2-11）可能并不能衰减掉所有的混叠信号分量。为避免混叠，可以使用外部抗混叠滤波器，通常在输入引脚使用一个简单 RC 低通滤波器来实现。低通滤波器消除高频噪声分量，并在输入引脚处提供一定带宽限制的输入信号。

4.8 自校正

器件在每次转换时进行失调和增益的自校正。这样在温度变化和电源电压波动下为多次转换提供了可靠的转换结果。

4.9 数字输出代码以及至实际值的转换

4.9.1 来自器件的数字输出代码

数字输出代码与输入电压和 PGA 设置成正比。输出数据为二进制补码格式。在这种编码方式下，MSB 位可以作为符号位。当 MSB 为逻辑 0，表示为正值；当 MSB 为逻辑 1，表示为负值。以下为输出代码示例：

- 负满量程输入电压：100...000
示例： $(V_{IN+} - V_{IN-}) \cdot PGA = -2.048V$
- 差分输入电压为零：000...000
示例： $(V_{IN+} - V_{IN-}) = 0$
- 正满量程输入电压：011...111
示例： $(V_{IN+} - V_{IN-}) \cdot PGA = 2.048V$

通常从 I²C 串行数据线首先传送 MSB 位（符号位）。每次转换的分辨率为 18, 16, 14 或 12 位，取决于由用户设置的转换速率选择位。

即使输入电压超过最大输入电压值，输出代码也不会溢出返回到初始值。此时，对于超过 $(V_{REF} - 1 \text{ LSB})/PGA$ 的所有电压，代码锁定在 0111...11；对于低于 $-V_{REF}/PGA$ 的所有电压，代码锁定在 1000...00。表 4-2 显示了使用 18 位转换模式时不同输入电压下输出代码示例。表 4-3 显示了不同转换速率选项时最小和最大输出代码示例。

输出代码通过下式给出：

公式 4-2:

$$\text{输出代码} = (\text{最大代码} + 1) \times PGA \times \frac{(V_{IN+} - V_{IN-})}{2.048V}$$

其中
最大代码请参见表 4-3。

数据转换的 LSB 由以下公式给定：

公式 4-3:

$$LSB = \frac{2 \times V_{REF}}{2^N} = \frac{2 \times 2.048V}{2^N}$$

其中：
N = 用户可编程位分辨率 12、14、16 或 18

表 4-1 所示为每个转换速率设置的 LSB 尺寸。输出代码乘以 LSB 得到测量的未知输入电压。使用输出代码计算输入电压，请参见下面章节。

表 4-1: 分辨率设置—LSB

分辨率设置	LSB
12 位	1 mV
14 位	250 μV
16 位	62.5 μV
18 位	15.625 μV

表 4-2: 18 位输出代码的示例（注 1，注 2）

输入电压 $[V_{IN+} - V_{IN-}] \cdot PGA$	数字输出代码
$\geq V_{REF}$	011111111111111111
$V_{REF} - 1 \text{ LSB}$	011111111111111111
2 LSB	000000000000000010
1 LSB	000000000000000001
0	000000000000000000
-1 LSB	111111111111111111
-2 LSB	111111111111111110
$-V_{REF}$	100000000000000000
$< -V_{REF}$	100000000000000000

- 注 1: MSB 符号位
0: 正输入 ($V_{IN+} > V_{IN-}$)
1: 负输入 ($V_{IN+} < V_{IN-}$)
- 注 2: 输出数据格式为二进制补码。

表 4-3: 最小和最大输出代码（注）

分辨率设置	数据率	最小代码	最大代码
12	240 SPS	-2048	2047
14	60 SPS	-8192	8191
16	15 SPS	-32768	32767
18	3.75 SPS	-131072	131071

- 注: 最大 n 位代码 = $2^{N-1} - 1$
最小 n 位代码 = $-1 \times 2^{N-1}$

MCP3421

4.9.2 器件输出代码至输入信号电压的转换

在用户如第 4.9.1 节“来自器件的数字输出代码”中所述获得数字输出代码后，接下来将数字输出代码转换为测量的输入电压。公式 4-4 所示为输出代码至其相应输入电压转换的一个示例。

如果符号位 (MSB) 是 0，输出代码乘以 LSB 并除以 PGA 设置得到输入电压。

如果符号位 (MSB) 为 1，输出代码在乘以 LSB 并除以 PGA 设置之前要先转换成二进制补码，表 4-4 所示为器件输出代码至输入电压转换的一个示例。

公式 4-4: 输出代码至输入电压的转换

如果 MSB = 0 (正输出代码)

$$\text{输入电压} = (\text{输出代码}) \cdot \frac{\text{LSB}}{\text{PGA}}$$

如果 MSB = 1 (负输出代码):

$$\text{输入电压} = (\text{输出代码的二进制补码}) \cdot \frac{\text{LSB}}{\text{PGA}}$$

其中:

$$\text{LSB} = \text{见表 4-1}$$

$$2 \text{ 进制补码} = 1 \text{ 的补码} + 1$$

表 4-4: 输出代码至输入电压转换的示例 (18 位设置)

输入电压 [V _{IN+} - V _{IN-}] • PGA]	数字输出代码	MSB (符号位)	输出代码至输入电压转换示例
≥ V _{REF}	011111111111111111	0	(2 ¹⁶ +2 ¹⁵ +2 ¹⁴ +2 ¹³ +2 ¹² +2 ¹¹ +2 ¹⁰ +2 ⁹ +2 ⁸ +2 ⁷ +2 ⁶ +2 ⁵ +2 ⁴ +2 ³ +2 ² +2 ¹ +2 ⁰)x LSB(15.625μV)/PGA = 2.048 (V) for PGA = 1
V _{REF} - 1 LSB	011111111111111111	0	(2 ¹⁶ +2 ¹⁵ +2 ¹⁴ +2 ¹³ +2 ¹² +2 ¹¹ +2 ¹⁰ +2 ⁹ +2 ⁸ +2 ⁷ +2 ⁶ +2 ⁵ +2 ⁴ +2 ³ +2 ² +2 ¹ +2 ⁰)x LSB(15.625μV)/PGA = 2.048 (V) for PGA = 1
2 LSB	000000000000000010	0	(0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+2 ¹ +0)x LSB(15.625μV)/PGA = 31.25 (μV) for PGA = 1
1 LSB	000000000000000001	0	(0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+2 ⁰)x LSB(15.625μV)/PGA = 15.625 (μV) for PGA = 1
0	000000000000000000	0	(0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0)x LSB(15.625μV)/PGA = 0 V (V) for PGA = 1
-1 LSB	111111111111111111	1	-(0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+2 ⁰)x LSB(15.625μV)/PGA = - 15.625 (μV) for PGA = 1
-2 LSB	111111111111111110	1	-(0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+2 ¹ +0)x LSB(15.625μV)/PGA = - 31.25 (μV) for PGA = 1
-V _{REF}	100000000000000000	1	-(2 ¹⁷ +0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0)x LSB(15.625μV)/PGA = - 2.048 (V) for PGA = 1
≤ -V _{REF}	100000000000000000	1	-(2 ¹⁷ +0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0)x LSB(15.625μV)/PGA = - 2.048 (V) for PGA = 1

5.0 MCP3421 器件应用

5.1 工作模式

用户通过采用一条写命令（见图 5-2）设置配置寄存器来控制器件，并使用一条读命令来读取转换结果（见图 5-3 和图 5-4）。器件工作在以下两种模式：(a) 连续转换模式或 (b) 单次转换模式。通过设置配置寄存器的 \overline{O}/C 位来选择相应的工作模式。更多信息，请参见第 5.2 节“配置寄存器”。

5.1.1 连续转换模式 (\overline{O}/C 位 = 1)

如果 \overline{O}/C 位设置成逻辑“高”，器件进行连续转换。一旦完成转换，RDY 位翻转为 0 并将结果放置在输出数据寄存器中。器件马上开始另外一次转换，并用最新的数据覆盖掉输出数据寄存器中原来的数据。当转换结束时，器件会清除数据就绪标志位（RDY 位 = 0）。如果最新转换结果被主器件读取，则器件将数据就绪标志位置 1（RDY 位 = 1）。

- **当写配置寄存器时：**
 - 在连续模式下 RDY 位置 1 不会产生任何影响
- **当读转换数据时：**
 - RDY 位 = 0 表示最近的一次转换结果已就绪
 - RDY 位 = 1 表示自上次读之后没有更新转换结果。一次新的转换正在进行且 RDY 位在新的转换结果就绪时被清零。

5.1.2 单次转换模式 (\overline{O}/C 位 = 0)

若选择单次转换模式，器件仅进行一次转换，并更新输出数据寄存器，清除数据就绪标志位（RDY 位 = 0）然后进入低功耗待机模式。当器件接收到新的写命令，并 RDY = 1 时，则开始新的单次转换。

- **当写配置寄存器时：**
 - RDY 位需要置 1 以开始在单次转换模式下进行一次新的转换
- **当读转换数据时：**
 - RDY 位 = 0 表示最近的一次转换已就绪
 - RDY 位 = 1 表示转换结果自上次读之后没有更新转换结果。一次新的转换正在进行且 RDY 位在新的更新完成后被清零。

对于按照需求请求转换结果的低功耗应用，强烈建议使用单次转换模式。在低电流待机模式下，器件电流消耗低于最大值 1 μA （或 300 nA 典型值）。例如，如果用户在单次转换模式下，每隔 1 秒读取 18 位转换数据，此时器件消耗的电流仅为总工作电流的 1/4。在这个例子中，如果器件在 3V 电源电压、18 位转换模式下每秒钟仅完成一次转换（1 SPS），器件消耗的电流约为 39 μA （145 $\mu\text{A}/3.75 \text{ SPS} = 39 \mu\text{A}$ ）。

MCP3421

5.2 配置寄存器

器件具有 8 位宽配置寄存器，用于选择输入通道、转换模式、转换速率和 PGA 增益。该寄存器允许用户改变器件的工作条件和检查器件的工作状态。

用户可以在器件工作过程中的任意时刻改写配置字节。
寄存器 5-1 显示了配置寄存器定义。

寄存器 5-1: 配置寄存器

R/W-1	R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
$\overline{\text{RDY}}$	C1	C0	$\overline{\text{O/C}}$	S1	S0	G1	G0
1 *	0 *	0 *	1 *	0 *	0 *	0 *	0 *
bit 7							bit 0

* 上电复位时的默认配置

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未用位，读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 7

$\overline{\text{RDY}}$: 就绪标志位

此位为数据就绪标志。在读模式，此位表示输出寄存器是否被最新的转换数据更新。在单次转换模式下，向此位写入 1 将启动一次新的转换。

使用读命令读取 $\overline{\text{RDY}}$ 位:

1 = 输出寄存器未更新

0 = 输出寄存器被最新转换结果更新

使用写命令写 $\overline{\text{RDY}}$ 位:

连续转换模式: 无影响

单次转换模式:

1 = 开始一次新的转换

0 = 无影响

bit 6-5

C1-C0: MCP3421 器件未使用这些位。

bit 4

$\overline{\text{O/C}}$: 转换模式位

1 = 连续转换模式 (默认)。器件进行连续数据转换。

0 = 单次转换模式。器件进行单次转换并进入低功耗待机模式，直至收到新的读或写命令。

bit 3-2

S1-S0: 采样率选择位

00 = 240 sps (12 位) (默认)

01 = 60 sps (14 位)

10 = 15 sps (16 位)

11 = 3.75 sps (18 位)

bit 1-0

G1-G0: PGA 增益选择位

00 = x1 (默认)

01 = x2

10 = x4

11 = x8

如果在读取数据字节后，在连续时钟作用下重复读取配置字节（例如，在 18 位转换模式下第 5 字节之后），RDY 位的状态表示器件是否已准备好新的转换结果。当主器件发现 RDY 位清零后，它会发送一个不应答（NAK）位和一个停止位以退出当前读操作，并针对上一次的转换数据发送一条新的读命令。一旦读取转换数据后，就绪位翻转为 1，直到下一个新的转换数据就绪。每次新的转换完成后，输出寄存器中的转换数据就会被覆写。

图 5-3 和图 5-4 所示为读取转换数据的示例。用户可以在任何时候重写配置字节来重新配置器件。

表 5-1 和表 5-2 显示了配置位工作模式示例。

表 5-1: 写操作配置位

R/W	O/C	RDY	操作
0	0	0	如果所有其他位保持相同，则无影响，仍按先前的设置继续工作
0	0	1	启动单次转换
0	1	0	启动连续转换
0	1	1	启动连续转换

表 5-2: 读操作配置位

R/W	O/C	RDY	操作
1	0	0	单次转换模式下新转换结果刚被读取。RDY 位仍保持为低，直至被新的写命令设置。
1	0	1	单次转换正在进行中，转换结果还未被更新。RDY 位仍保持为高，直到当前的转换结束。
1	1	0	连续转换模式下新转结果据刚被读取。RDY 位在这次转换数据读取后变为高。
1	1	1	连续转换模式下转换结果已经被读取。下一次新的的转换数据还未就绪。RDY 位在新转换完成前仍保持为高。

5.3 I²C 串行通信

器件与主器件（单片机）通过串行 I²C 接口进行通信，支持标准（100 kb/s）、快速（400 kb/s）和高速（3.4 Mb/s）三种模式。

注：V_{DD} 低于 2.7V 时，不建议使用高速模式。

串行 I²C 为双向 2 线数据总线通信协议，采用漏极开路 SCL 和 SDA 线。

器件只能作为从器件被寻址。一旦被寻址，器件可以用一条写命令接收配置位或用一条读命令发送最新的转换结果。串行时钟引脚（SCL）只能做输入，串行数据引脚（SDA）为双向的。主器件通过发送 START 位开始通信，通过发送 STOP 位结束通信。在读模式时，器件在接收到 NAK 和 STOP 位后释放 SDA 线。

硬件连接如图 6-1 所示。关于 I²C 总线特性的更多信息，请参见第 5.6 节“I²C 总线特性”。

5.3.1 I²C 器件寻址

START 位之后的第一个字节总是器件的地址字节，它包含了器件代码（4 位）、地址位（3 位）和 R/W 位。MCP3421 器件代码为 1101，出厂前已经被编程。紧随器件代码之后为三位地址位（A2、A1 和 A0），也在出厂前已经被编程。三位地址位允许多达 8 个 MCP3421 器件连接到同一数据总线。

R/W 位决定主器件是读取转换数据还是写配置寄存器。如果 R/W 位置 1（读模式），器件在随后的时钟作用下输出转换数据。如果 R/W 位被清零（写模式），则器件期望接收配置字节。当器件接收到正确的地址字节，它将在 R/W 位之后输出一个应答位。

图 5-1 所示为地址字节。图 5-2 至图 5-4 所示为如何写配置寄存器位和读转换结果。

MCP3421

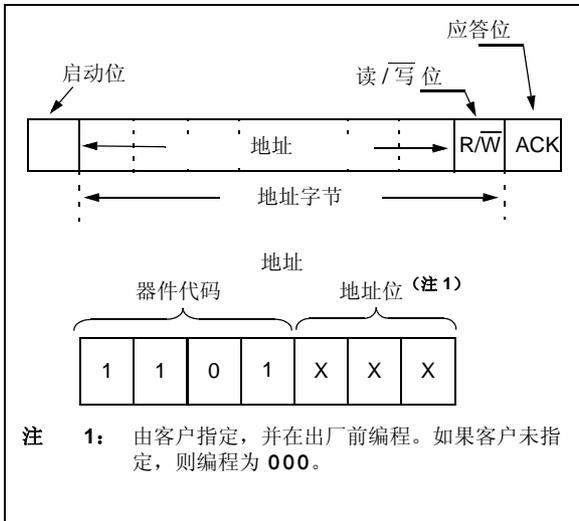


图 5-1: MCP3421 地址字节

5.3.2 向器件写配置字节

当主器件发送地址字节的 $\overline{R/\overline{W}}$ 位为低 ($\overline{R/\overline{W}} = 0$) , MCP3421 则知道此地址字节之后为配置字节。第二个字节之后的字节都被忽略。用户通过写配置寄存器的位来改变器件的工作模式。

如果器件接收到含有新的配置设置的写命令, 则器件立即开始新的转换, 并更新转换数据。

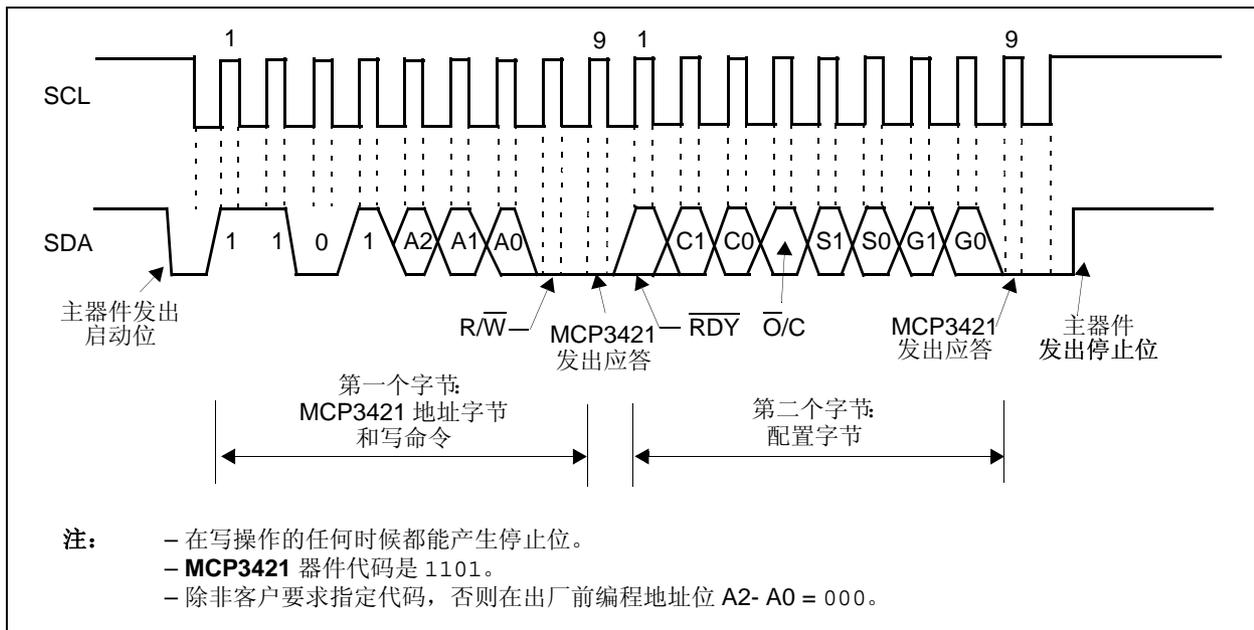


图 5-2: 写 MCP3421 的时序图

5.3.3 从器件读取输出代码和配置字节

当主器件发送读命令 ($\overline{R/\overline{W}} = 1$) 时, 器件输出转换数据字节和配置字节。每个字节包含 8 个数据位和一个应答 (ACK) 位。地址字节后的 ACK 位由器件产生, 每个转换数据字节后的 ACK 位由主器件产生。

当器件配为 18 位转换模式, 它输出三个数据字节并紧随一个配置字节。第一个数据字节的前 6 位是转换数据重复的最高位 (MSB) (= 符号位)。用户可以忽略前 6 位数据位, 仅将第 7 位 (D17) 当作转换数据的 MSB。第 3 个数据字节的 LSB 也为转换数据的 LSB (D0)。

如果器件配置成 12、14 或 16 位模式, 器件输出两个数据字节并紧随一个配置字节。在 16 位转换模式下, 第一个数据字节的 MSB (= 符号位) 为转换数据的 D15。在 14 位转换模式下, 第一个数据字节的前两位是重复的 MSB, 可以被忽略。第 3 位 (D13) 为转换数据的 MSB (= 符号位)。在 12 位转换模式下, 前 4 位是重复的 MSB, 可以被忽略。字节的第 5 位 (D11) 代表转换数据的 MSB (= 符号位)。表 5-3 总结了每种转换模式的转换数据输出。

数据字节之后输出配置字节。只要主器件在数据字节之后重复发送时钟, 器件就会重复输出相应的配置字节。

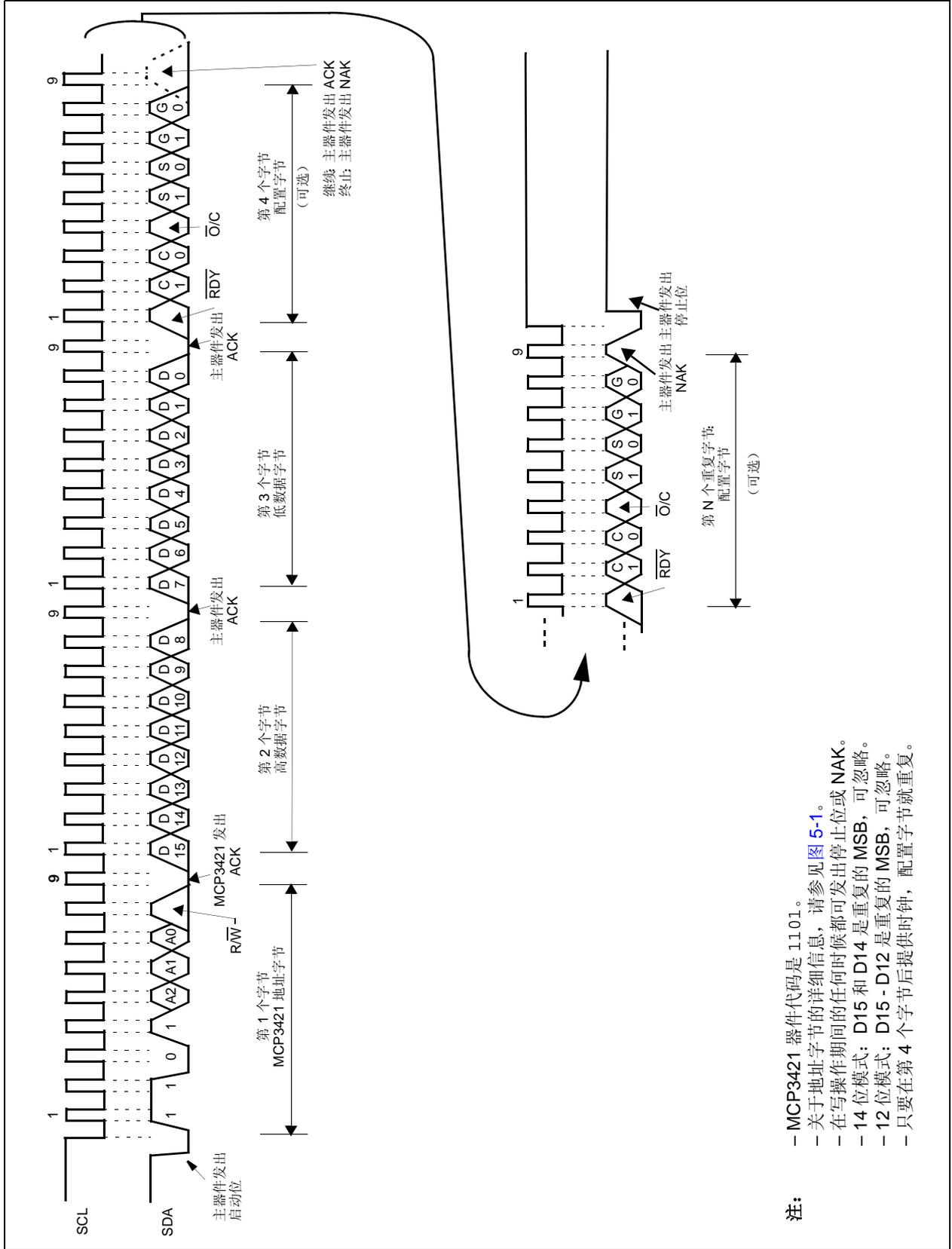
在输出位流过程的任何时候, 器件若接收到非应答 (Not-Acknowledge, NAK)、重复启动或停止位, 则终止当前的输出。主器件并不一定需要读取配置字节, 但是有时也可能需要读取配置字节来检查 RDY 位条件。主器件可以连续地发送时钟 (SCL) 来重复地读配置字节 (检查 RDY 位的状态)。

图 5-3 和图 5-4 显示了读操作的时序图。

表 5-3: 每种分辨率选项的输出代码

转换选项	数字输出代码
18 位	MMMMMD17D16 (第 1 个数据字节) - D15 ~ D8 (第 2 个数据字节) - D7 ~ D0 (第 3 个数据字节) - 配置字节。(注 1)
16 位	D15 ~ D8 (第 1 个数据字节) - D7 ~ D0 (第 2 个数据字节) - 配置字节 (注 2)
14 位	MMD13D ~ D8 (第 1 个数据字节) - D7 ~ D0 (第 2 个数据字节) - 配置字节 (注 3)
12 位	MMMMD11 ~ D8 (第 1 个数据字节) - D7 ~ D0 (第 2 个数据字节) - 配置字节 (注 4)

- 注
- 1: D17 是 MSB (= 符号位), M 是数据字节重复的 MSB。
 - 2: D15 是 MSB (= 符号位)。
 - 3: D13 是 MSB (= 符号位), M 是数据字节重复的 MSB。
 - 4: D11 是 MSB (= 符号位), M 是数据字节重复的 MSB。



注:

- MCP3421 器件代码是 1101。
- 关于地址字节的详细信息，请参见图 5-1。
- 在写操作期间的任何时候都可发出停止位或 NAK。
- 14 位模式：D15 和 D14 是重复的 MSB，可忽略。
- 12 位模式：D15 - D12 是重复的 MSB，可忽略。
- 只要在第四个字节后提供时钟，配置字节就重复。

5.4 广播呼叫

器件可对广播呼叫地址（第 1 字节为 0x00）作出应答。广播呼叫地址的意义通常在第 2 字节中指定。请参见图 5-5。器件支持以下两种广播呼叫。

关于广播呼叫或其他 I²C 模式的更多信息，请参见 Phillips 的 I²C 规范。

5.4.1 广播呼叫复位

如果第 2 字节为 00000110 (06h)，则会发生广播呼叫复位。在应答该字节时，器件将中断当前转换，并进行类似上电复位 (POR) 的内部复位操作。所有配置和数据寄存器位复位至默认值。

5.4.2 广播呼叫转换

如果第 2 字节为 00001000 (08h)，则会发生广播呼叫转换。总线上的所有器件将同时启动新的转换。当器件接收到这条命令后，将设置为单次转换，并进行一次转换。这并不改变 PGA 和数据率设置。

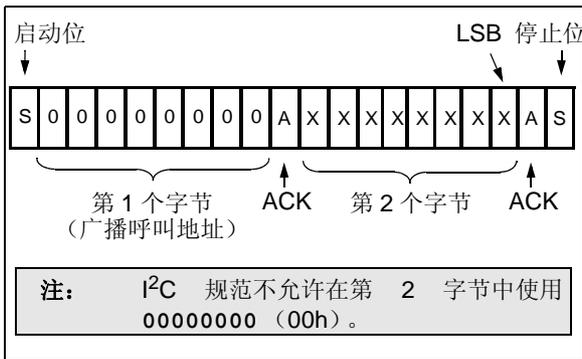


图 5-5: 广播呼叫地址格式

5.5 高速 (HS) 模式

I²C 规范要求高速模式的器件必须先“激活”才能在高速模式下工作。这可以通过在启动 (START) 位后发送一个特别的地址字节 00001xxx 而实现。对于高速 (HS) 模式主器件来说，xxx 是惟一的。该字节也被称为高速主器件模式代码 (High-Speed Master Mode Code, HSMC)。MCP3421 器件不应答这个字节。但是，在接收到该代码时，器件打开其高速 (HS) 模式滤波器，使 SDA 和 SCL 总线能以高达 3.4 MHz 速率通信。器件将在下一个 STOP 条件后切换出 HS 模式。

关于 HS 模式或其他 I²C 模式，请参见 Phillips I²C 规范。

5.6 I²C 总线特性

I²C 规范定义了以下总线协议：

- 只有当总线不忙时才会启动数据传输。
- 传输数据时，每当时钟线为高电平，数据线就必须保持稳定。在时钟线为高电平时改变数据线的电平将被视为 START 或 STOP 条件。

图 5-6 定义了以下总线条件。

5.6.1 总线不忙 (A)

数据和时钟线均保持高电平。

5.6.2 启动数据传输 (B)

当时钟 (SCL) 为高电平时，SDA 线上从高到低的跳变定义为 START 条件。所有命令必须在 START 条件出现后有效。

5.6.3 停止数据传输 (C)

当时钟 (SCL) 为高电平时，SDA 线上从低到高的跳变定义为 STOP 条件。所有操作都以 STOP 条件结束。

5.6.4 数据有效 (D)

START 条件后，如果在时钟信号为高电平时数据线保持稳定，则此时数据线上的状态代表的是有效数据。

在时钟信号为低电平时必须更改数据线上的数据。每个数据位均对应一个时钟脉冲。

每次数据传输都以 START 条件开始以 STOP 条件结束。

5.6.5 应答和不应答

主器件（单片机）和从器件（MCP3421）使用应答脉冲作为每个字节通信的握手信号。每个字节的第9个时钟脉冲用于应答。时钟脉冲通常由主器件（单片机）提供，应答由接收字节的器件产生（注：在应答脉冲期间，发送器件必须释放SDA线）。在第9个时钟脉冲期间接收器件将SDA线拉为低电平而实现应答。

在读操作期间，主器件（单片机）可以通过在最后一个字节上不提供应答位（不应答（NAK））而终止当前的读操作。在这种情况下，MCP3421 器件将释放 SDA 线以允许主器件（单片机）产生 STOP 条件或重复的 START 条件。

在第9个时钟脉冲期间将SDA线拉为高电平而产生不应答（NAK）。

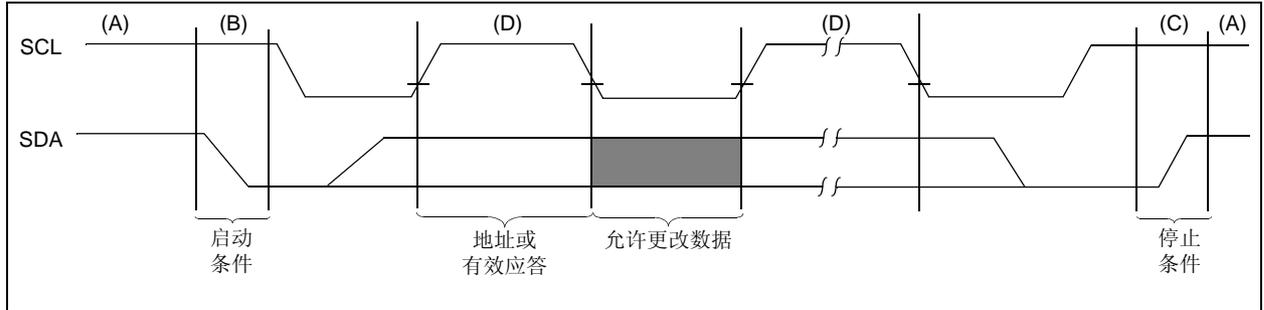


图 5-6: I²C 串行总线上的数据传输序列

MCP3421

表 5-4: I²C 串行时序规范

电气规范: 除非另外说明, 否则所有参数的适用条件为 $T_A = -40$ 至 $+85^\circ\text{C}$, $V_{IN+} = V_{IN-} = V_{REF}/2$, $V_{SS} = 0\text{V}$, $V_{DD} = +2.7\text{V}$ 至 $+5.0\text{V}$ 。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
标准模式 (100 kHz)						
时钟频率	f_{SCL}	—	—	100	kHz	
时钟高电平时间	T_{HIGH}	4000	—	—	ns	
时钟低电平时间	T_{LOW}	4700	—	—	ns	
SDA 和 SCL 上升时间	T_R	—	—	1000	ns	从 V_{IL} 至 V_{IH} (注 1)
SDA 和 SCL 下降时间	T_F	—	—	300	ns	从 V_{IH} 至 V_{IL} (注 1)
START 条件保持时间	$T_{HD:STA}$	4000	—	—	ns	
START (重复) 条件建立时间	$T_{SU:STA}$	4700	—	—	ns	
数据保持时间	$T_{HD:DAT}$	0	—	3450	ns	(注 3)
数据输入建立时间	$T_{SU:DAT}$	250	—	—	ns	
STOP 条件建立时间	$T_{SU:STO}$	4000	—	—	ns	
时钟输出有效时间	T_{AA}	0	—	3750	ns	(注 2, 注 3)
总线空闲时间	T_{BUF}	4700	—	—	ns	START 和 STOP 条件之间的时间。
快速模式 (400 kHz)						
时钟频率	T_{SCL}	—	—	400	kHz	
时钟高电平时间	T_{HIGH}	600	—	—	ns	
时钟低电平时间	T_{LOW}	1300	—	—	ns	
SDA 和 SCL 上升时间	T_R	$20 + 0.1C_b$	—	300	ns	从 V_{IL} 至 V_{IH} (注 1)
SDA 和 SCL 下降时间	T_F	$20 + 0.1C_b$	—	300	ns	从 V_{IH} 至 V_{IL} (注 1)
START 条件保持时间	$T_{HD:STA}$	600	—	—	ns	
START (重复) 条件建立时间	$T_{SU:STA}$	600	—	—	ns	
数据保持时间	$T_{HD:DAT}$	0	—	900	ns	(注 4)
数据输入建立时间	$T_{SU:DAT}$	100	—	—	ns	
STOP 条件建立时间	$T_{SU:STO}$	600	—	—	ns	
时钟输出有效时间	T_{AA}	0	—	1200	ns	(注 2, 注 3)
总线空闲时间	T_{BUF}	1300	—	—	ns	START 和 STOP 条件之间的时间。

- 注 1: 此参数值为特征参数, 未经 100% 测试。
- 注 2: 此规范并不是 I²C 规范的一部分。该参数等效于数据保持时间 ($T_{HD:DAT}$) 与 SDA 下降 (或上升) 时间之和, 即: $T_{AA} = T_{HD:DAT} + T_F$ (或 T_R)。
- 注 3: 如果这个参数太短, 可能对总线上的其他器件产生无意识的 START 或 STOP 条件。如果这个参数太长, 会影响时钟低电平时间 (T_{LOW})。
- 注 4: 对于数据输入: 这个参数必须比 t_{sp} 大。如果这个参数太大, 会影响数据输入建立时间 ($T_{SU:DAT}$) 或时钟低电平时间 (T_{LOW})。
对于数据输出, 该参数值为特征参数, 通过测试 T_{AA} 参数而间接测得。

表 5-4: I²C 串行时序规范 (续)

电气规范: 除非另外说明, 否则所有参数的适用条件为 $T_A = -40$ 至 $+85^\circ\text{C}$, $V_{IN+} = V_{IN-} = V_{REF}/2$, $V_{SS} = 0\text{V}$, $V_{DD} = +2.7\text{V}$ 至 $+5.0\text{V}$ 。						
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
高速模式 (3.4 MHz): 当 $V_{DD} < 2.7\text{V}$ 时, 不建议使用						
时钟频率	f_{SCL}	—	—	3.4	MHz	$C_b = 100\text{ pF}$
		—	—	1.7	MHz	$C_b = 400\text{ pF}$
时钟高电平时间	T_{HIGH}	60	—	—	ns	$C_b = 100\text{ pF}$, $f_{SCL} = 3.4\text{ MHz}$
		120	—	—	ns	$C_b = 400\text{ pF}$, $f_{SCL} = 1.7\text{ MHz}$
时钟低电平时间	T_{LOW}	160	—	—	ns	$C_b = 100\text{ pF}$, $f_{SCL} = 3.4\text{ MHz}$
		320	—	—	ns	$C_b = 400\text{ pF}$, $f_{SCL} = 1.7\text{ MHz}$
SCL 上升时间 (注 1)	T_R	—	—	40	ns	从 V_{IL} 至 V_{IH} , $C_b = 100\text{ pF}$, $f_{SCL} = 3.4\text{ MHz}$
		—	—	80	ns	从 V_{IL} 至 V_{IH} , $C_b = 400\text{ pF}$, $f_{SCL} = 1.7\text{ MHz}$
SCL 下降时间 (注 1)	T_F	—	—	40	ns	从 V_{IH} 至 V_{IL} , $C_b = 100\text{ pF}$, $f_{SCL} = 3.4\text{ MHz}$
		—	—	80	ns	从 V_{IH} 至 V_{IL} , $C_b = 400\text{ pF}$, $f_{SCL} = 1.7\text{ MHz}$
SDA 上升时间 (注 1)	$T_{R: DAT}$	—	—	80	ns	从 V_{IL} 至 V_{IH} , $C_b = 100\text{ pF}$, $f_{SCL} = 3.4\text{ MHz}$
		—	—	160	ns	从 V_{IL} 至 V_{IH} , $C_b = 400\text{ pF}$, $f_{SCL} = 1.7\text{ MHz}$
SDA 下降时间 (注 1)	$T_{F: DATA}$	—	—	80	ns	从 V_{IH} 至 V_{IL} , $C_b = 100\text{ pF}$, $f_{SCL} = 3.4\text{ MHz}$
		—	—	160	ns	从 V_{IH} 至 V_{IL} , $C_b = 400\text{ pF}$, $f_{SCL} = 1.7\text{ MHz}$
数据保持时间 (注 4)	$T_{HD: DAT}$	0	—	70	ns	$C_b = 100\text{ pF}$, $f_{SCL} = 3.4\text{ MHz}$
		0	—	150	ns	$C_b = 400\text{ pF}$, $f_{SCL} = 1.7\text{ MHz}$
时钟输出有效时间 (注 2, 注 3)	T_{AA}	—	—	150	ns	$C_b = 100\text{ pF}$, $f_{SCL} = 3.4\text{ MHz}$
		—	—	310	ns	$C_b = 400\text{ pF}$, $f_{SCL} = 1.7\text{ MHz}$
START 条件保持时间	$T_{HD: STA}$	160	—	—	ns	
START (重复) 条件建立时间	$T_{SU: STA}$	160	—	—	ns	
数据输入建立时间	$T_{SU: DAT}$	10	—	—	ns	
STOP 条件建立时间	$T_{SU: STO}$	160	—	—	ns	

注 1: 此参数值为特征参数, 未经 100% 测试。

2: 此规范并不是 I²C 规范的一部分。该参数等效于数据保持时间 ($T_{HD: DAT}$) 与 SDA 下降 (或上升) 时间之和, 即: $T_{AA} = T_{HD: DAT} + T_F$ (或 T_R)。

3: 如果这个参数太短, 可能对总线上的其他器件产生无意识的 START 或 STOP 条件。如果这个参数太长, 会影响时钟低电平时间 (T_{LOW})。

4: 对于数据输入: 这个参数必须比 t_{SP} 大。如果这个参数太大, 会影响数据输入建立时间 ($T_{SU: DAT}$) 或时钟低电平时间 (T_{LOW})。
对于数据输出, 该参数值为特征参数, 通过测试 T_{AA} 参数而间接测得。

6.0 基本应用配置

MCP3421 可用于各种需要精密 A/D 转换器的应用，应用电路中器件的连接非常简单。以下部分将讨论器件的连接和应用示例。

6.1 应用电路连接

6.1.1 V_{DD} 引脚的旁路电容

为达到精确测量，应用电路需要采用干净的电源电压供电，同时还需要为 MCP3421 器件隔离任何干扰信号。图 6-1 所示的示例中，在 MCP3421 V_{DD} 线上使用了两个旁路电容（一个 $10\ \mu\text{F}$ 的钽电容和一个 $0.1\ \mu\text{F}$ 的陶瓷电容）。这些电容可以帮助滤除 V_{DD} 线上的高频噪声，同时在器件需要从电源上吸取更多电流时提供瞬间额外电流。这些电容应尽可能靠近 V_{DD} 引脚放置（应在一英寸之内）。如果应用电路具有独立的数字电源和模拟电源，MCP3421 器件的 V_{DD} 和 V_{SS} 应放置在模拟平面。

6.1.2 通过上拉电阻连接到 I^2C 总线

MCP3421 的 SCL 和 SDA 引脚为漏极开路配置。如图 6-1 所示，这些引脚需要上拉电阻。这些上拉电阻的值取决于工作速率以及 I^2C 总线的负载电容。大的上拉电阻会消耗较少的功耗，但会增加总线上的信号传输时间（更大的 RC 时间常数）。因此，它会限制总线的工作速率。相反，小的电阻值消耗更高的功耗，但可以允许更高的工作速率。如果总线走线较长或有多个器件连接到总线上而导致走线电容较大，此时需要低阻值的上拉电阻来补偿变大的 RC 时间常数。在高负载电容环境下，标准模式和快速模式的上拉电阻典型值选择范围为 $5\ \text{k}\Omega$ 至 $10\ \text{k}\Omega$ 。

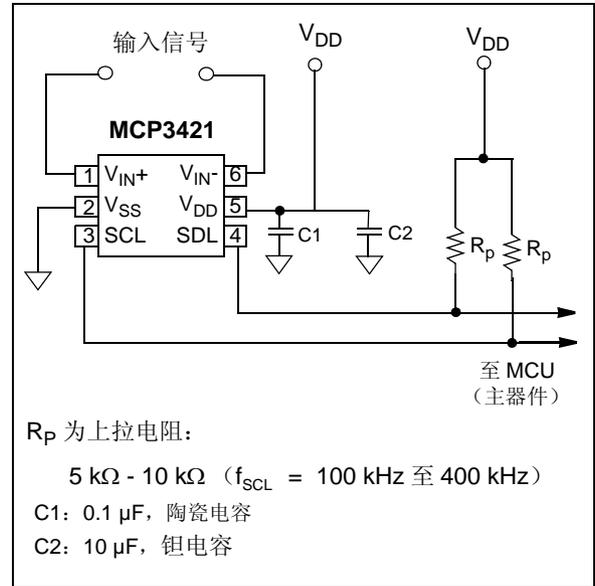


图 6-1: 典型连接示例

连接到总线上器件数目受最大总线电容 $400\ \text{pF}$ 的限制。总线负载电容影响着总线的工作速度。图 6-2 显示了多个器件连接的示例。

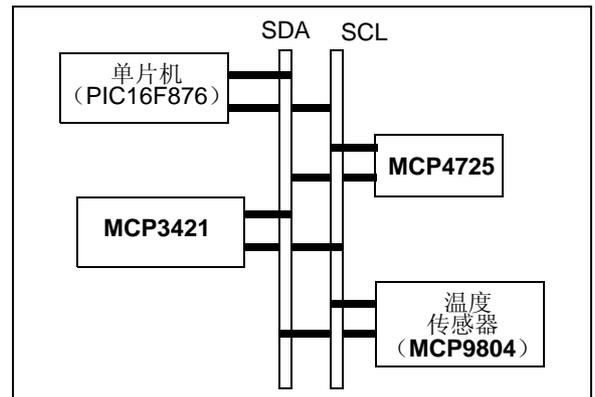


图 6-2: I^2C 总线上多器件的连接示例

MCP3421

6.1.3 器件通信测试

通过在发送一个写或读命令之后，检查来自 MCP3421 的应答，用户可测试主器件（MCU）和 MCP3421 之间的通信。图 6-3 为一个示例：

- 在地址字节中设置 $\overline{R/W}$ 位为低电平
- 在发送地址字节后检查 ACK 脉冲信号

如果器件应答 (ACK = 0)，那么器件已连接，否则器件未连接。

- 发送 STOP 位

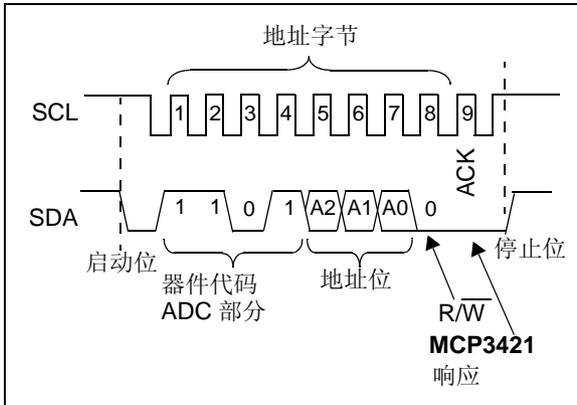


图 6-3: I²C 总线通信测试

6.1.4 差分 and 单端配置

图 6-4 所示为典型的差分 and 单端输入的连接示例。差分输入信号连接到 V_{IN+} 和 V_{IN-} 输入引脚。对于单端输入，其中一个输入引脚（通常为 V_{IN+} 引脚）施加输入信号，另一个输入引脚（通常为 V_{IN-} 引脚）接地。单端配置具有所有器件特性，但是这种配置会丢失一位分辨率，因为输入只能保留正半量程。请参见第 4.9 节“数字输出代码以及至实际值的转换”。

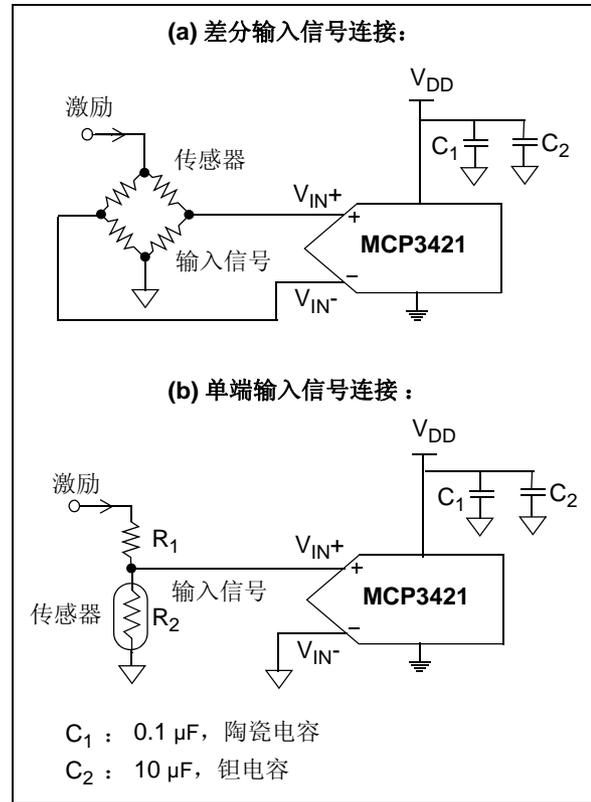


图 6-4: 差分和单端输入连接应用示例

6.2 应用示例

6.2.1 电压测量

MCP3421 器件可广泛应用于传感器和数据采集应用。

图 6-5 所示为测量电池电压的电路示例。当输入电压大于内部参考电压 ($V_{REF} = 2.048V$) 时, 就需要一个分压电路防止输出代码饱和。在示例中, R_1 和 R_2 组成了分压器。设置 R_1 和 R_2 以使产生的 V_{IN} 低于内部参考电压 ($V_{REF} = 2.048V$)。

如果输入电压范围要比内部参考电压小得多, 就不需要在输入引脚处的分压器, 同时用户可使用增益到达 8 的内部 PGA。

当分压器或内部 PGA 用于输入信号, 当用户将输出代码转换至实际输入电压时, 必须考虑这些因素。

关于使用 MCP342X 器件系列测量输入电压和电流, 请参见 Microchip 应用笔记 AN1156。

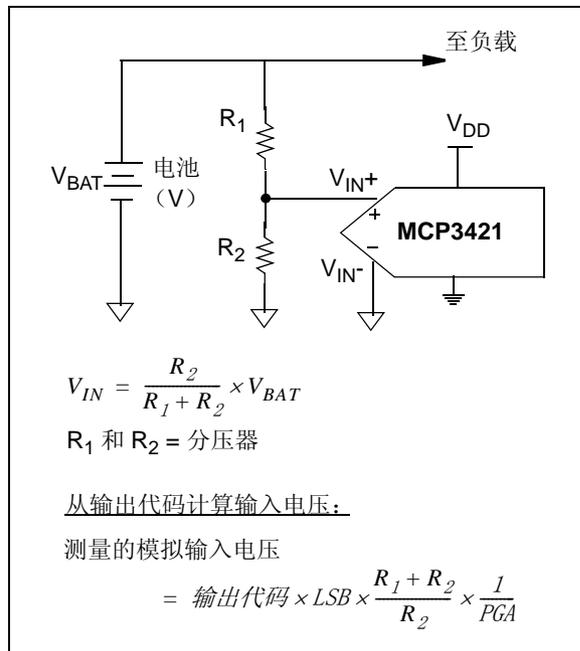


图 6-5: 电池电压测量

6.2.2 电流测量

图 6-6 所示电流测量的电路示例。对于电流测量, 器件测量电流传感器上的电压, 并通过把测量的电压除以已知的电流传感器的电阻值将电压转换为电流。传感器上降低的电压是浪费的。因此, 电流测量通常倾向于使用电阻值更小的电流传感器, 但这种情况需要高分辨率的 ADC 器件。Microchip Technology Inc. 的高精度 MCP342x 器件适合低电阻电流传感器的电流测量。在 18 位分辨率和 $\text{PGA} = 8$ 设置时, 这些器件能测量低至 $2 \mu V$ 的输入电压 (或 $\sim \mu A$ 的电流)。输出代码的 MSB (= 符号位) 指示电流的方向。

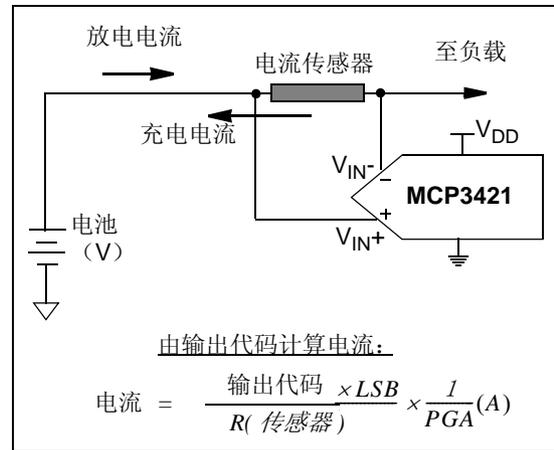


图 6-6: 电池电流测量

MCP3421

6.2.3 压力测量

图 6-7 所示为采用 NPP301 (由 GE NovaSensor 制造) 测量压力的示例。利用其内部 PGA 就不需要外部的信号调理电路。压力传感器输出为 20 mV/V。这使得 V_{DD} 为 5V (激励电压) 时, 满量程输出为 100 mV。公式 6-1 展示了 NPP301 满量程输出时计算输出代码数的示例。

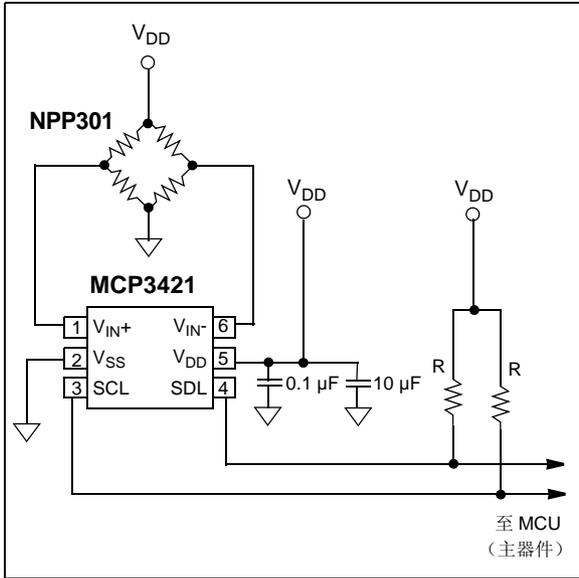


图 6-7: 压力测量示例

公式 6-1: 采用 NPP301 压力传感时, 预期的输出代码数

$$\begin{aligned} \text{预期的输出代码数} &= \log_2 \left(\frac{100\text{mV}}{(15.625)\mu\text{V}} \right) \\ &= 12.64 \text{ 位, PGA} = 1 \\ &= 13.64 \text{ 位, PGA} = 2 \\ &= 14.64 \text{ 位, PGA} = 4 \\ &= 15.64 \text{ 位, PGA} = 8 \end{aligned}$$

其中:
1 LSB = 15.625 μV (18 位配置)

6.2.4 带信号调理的惠斯通电桥型传感器

惠斯通 (Wheatstone) 电桥是传感器应用中一种最常用的配置。应力计和压力传感器是最常见的例子。当传感器输出信号很小并且共模噪声很大时, 需要在传感器和 MCP3421 之间增加信号调理电路。图 6-8 和图 6-9 所示为采用 MCP6V01 (高精度自动调零运算放大器) 进行传感器信号调理的示例。图 6-8 所示为传感器和 MCP3421 之间使用最少元件的接口电路, 但它不是对称的, 因此, ADC 输入为单端输入。另一方面, 图 6-9 所示为对称的差分输入, 但这种电路需要更多的元件。

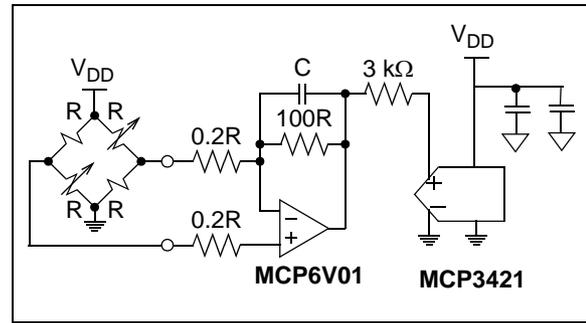


图 6-8: 采用不对称电路的简单信号调理设计

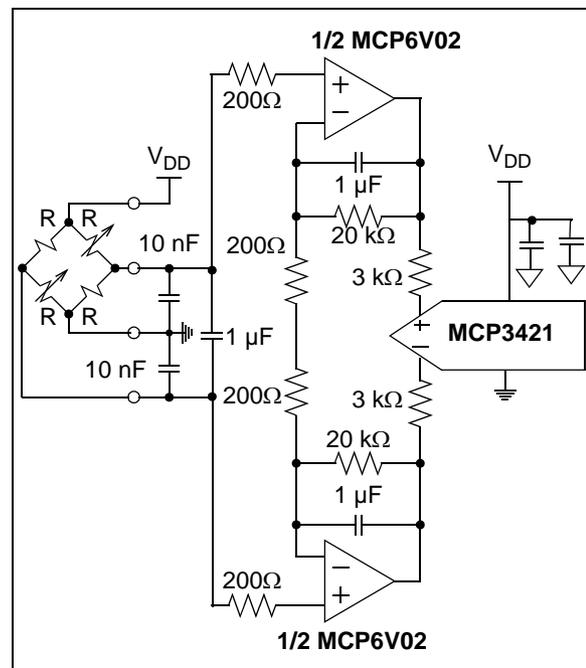


图 6-9: 采用对称电路的高性能信号调理设计

6.2.5 温度测量

图 6-10 所示为采用热电偶传感器和 MCP9800 硅温度传感器测量温度的示例。MCP9800 是一款高精度温度传感器，他能检测的温度范围为 -55°C 至 125°C ，精度为 1°C 。

K 型热电偶传感器在热结 (T_{HJ}) 处检测温度，把它与冷结温度比较 (参考温度, T_{CJ})。热结和冷结之间的温度差用电压 V_1 表示。然后，该电压通过 MCP3421 转换成数字代码。在电路中，MCP9800 用于冷结补偿。MCU 计算热结和冷结的温度差，它与热结 (T_{HJ}) 温度成正比。

采用 K 型热电偶能够测量的温度范围为 0°C 至 1250°C 。K 型满量程输出范围大约为 50 mV 。它能提供 $40\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ ($= 50\text{ mV}/1250^{\circ}\text{C}$) 的测量分辨率。公式 6-2 所示为采用 MCP3421 器件且设置为 18 位、 $\text{PGA} = 8$ 时热电偶传感器信号的测量预算。采用这种配置，传感器能检测到的输入信号电平低至大约 $2\text{ }\mu\text{V}$ 。内部 PGA 将内部信号电平提高至 8 倍。在转换开始之前，来自热电偶的 $40\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 输入在内部被放大至 $320\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 。这产生了 $20.48\text{ LSB}/^{\circ}\text{C}$ 输出代码。这就意味着温度每变化 1°C 产生约 20 LSB 的输出代码。

公式 6-2: 使用热电偶传感器测量热预算

$$\begin{aligned} \text{可检测的输入信号电平} &= 15.625\text{ }\mu\text{V}/\text{PGA} \\ &= 1.953125\text{ }\mu\text{V}, \text{ PGA} = 8 \\ \text{增益为 8 时, 输入信号电平:} \\ &= (40\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}) \cdot 8 = 320\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C} \\ \text{LSB}/^{\circ}\text{C} &= \frac{320\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}}{15.625\text{ }\mu\text{V}} = 20.48 \text{ Codes}/^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

其中:

$$1\text{ LSB} = 15.625\text{ }\mu\text{V} \text{ (18 位配置)}$$

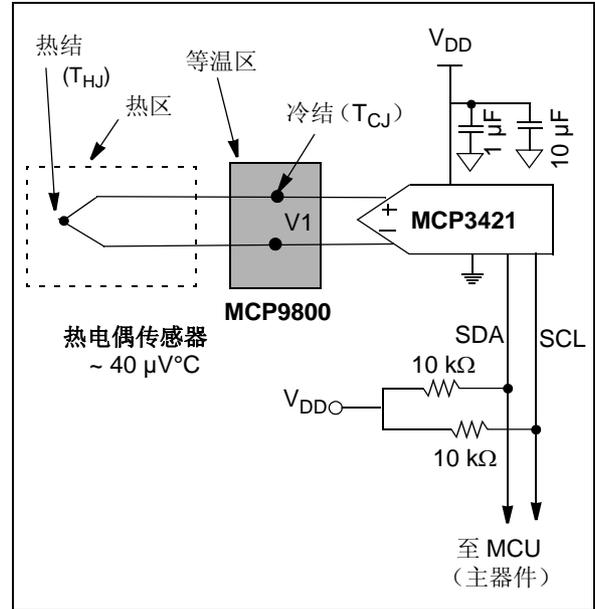


图 6-10: 温度测量示例

公式 6-3 所示为在不同 PGA 增益设置的 K 型热电偶输出下计算预期输出代码数目的示例。

公式 6-3: 使用 K 型热电偶时, 预期的输出代码数

$$\begin{aligned} \text{预期的输出代码数} &= \log_2 \left(\frac{50\text{ mV}}{15.625\text{ }\mu\text{V}} \right) \\ &= 11.6 \text{ 位, PGA} = 1 \\ &= 12.6 \text{ 位, PGA} = 2 \\ &= 13.6 \text{ 位, PGA} = 4 \\ &= 14.6 \text{ 位, PGA} = 8 \end{aligned}$$

其中:

$$1\text{ LSB} = 15.625\text{ }\mu\text{V} \text{ (18 位配置)}$$

MCP3421

注:

7.0 开发工具支持

7.1 MCP3421 评估板

MCP3421 评估板由 Microchip Technology Inc 提供。该评估板和 Microchip 的 PICkit™ 串行分析器一起使用。用户能方便地将感应电压连接到评估板的输入测试焊盘并采用易于使用的 PICkit™ 串行分析器读转换代码。关于该产品的性能和供货，请浏览 www.microchip.com。

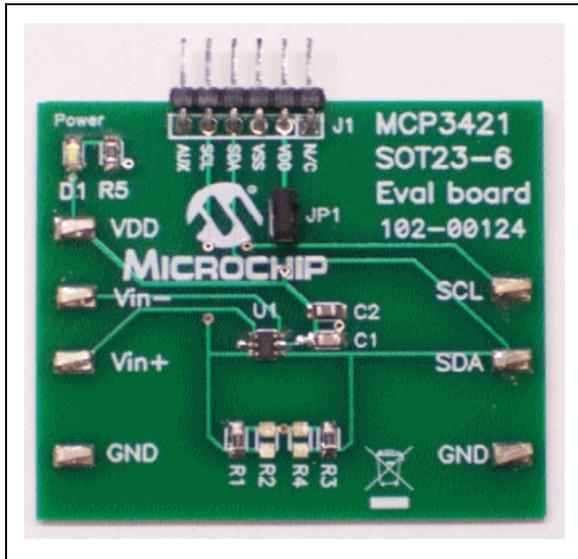


图 7-1: MCP3421 评估板



图 7-2: MCP3421 评估板与 PICkit™ 串行分析器配合使用的设置

MCP3421

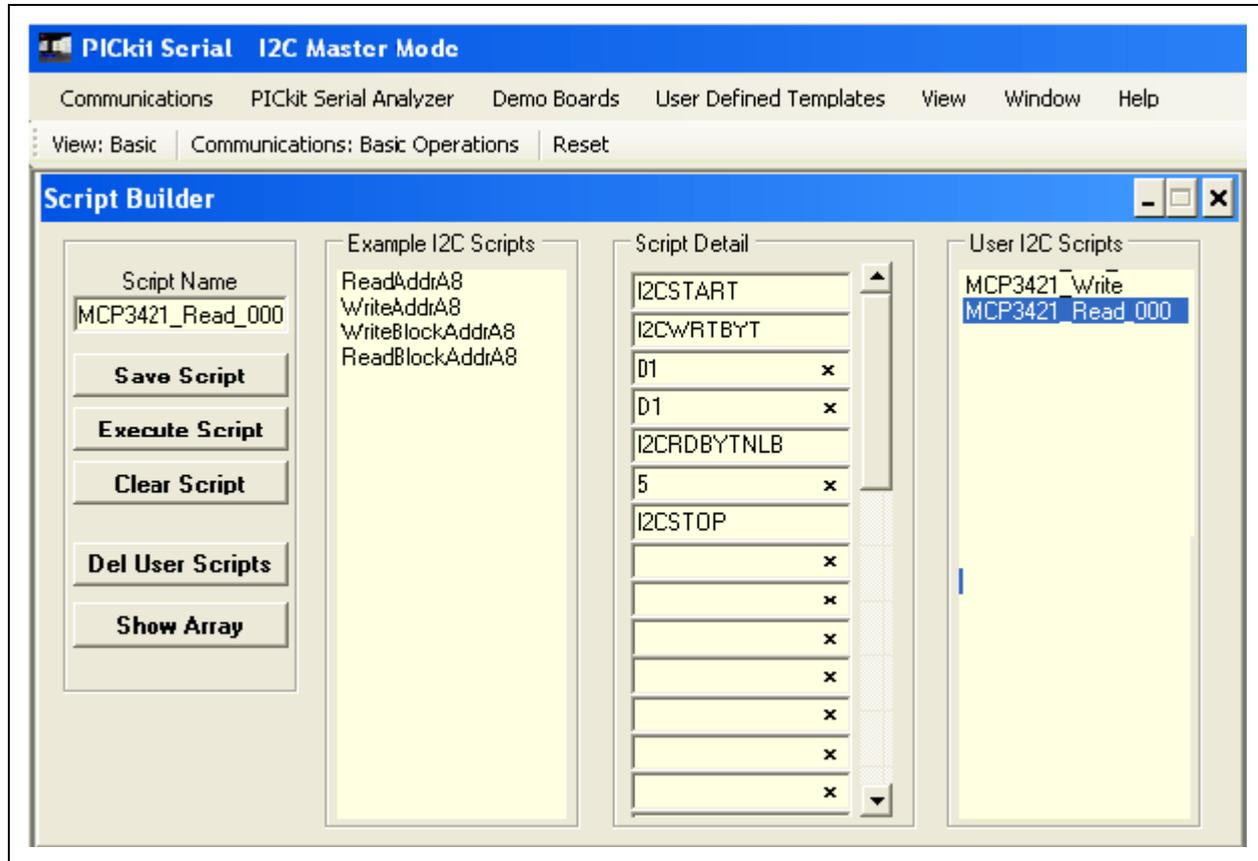
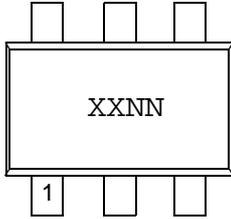


图 7-3: PICKit™ 串行分析器用户界面示例

8.0 封装信息

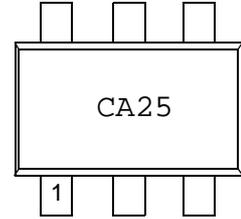
8.1 封装标识信息

6 引脚 SOT-23



部件编号	地址选项	代码
MCP3421A0T-E/CH	A0 (000)	CANN
MCP3421A1T-E/CH	A1 (001)	CBNN
MCP3421A2T-E/CH	A2 (010)	CCNN
MCP3421A3T-E/CH	A3 (011)	CDNN
MCP3421A4T-E/CH	A4 (100)	CENN
MCP3421A5T-E/CH	A5 (101)	CFNN
MCP3421A6T-E/CH	A6 (110)	CGNN
MCP3421A7T-E/CH	A7 (111)	CHNN

示例



图注:

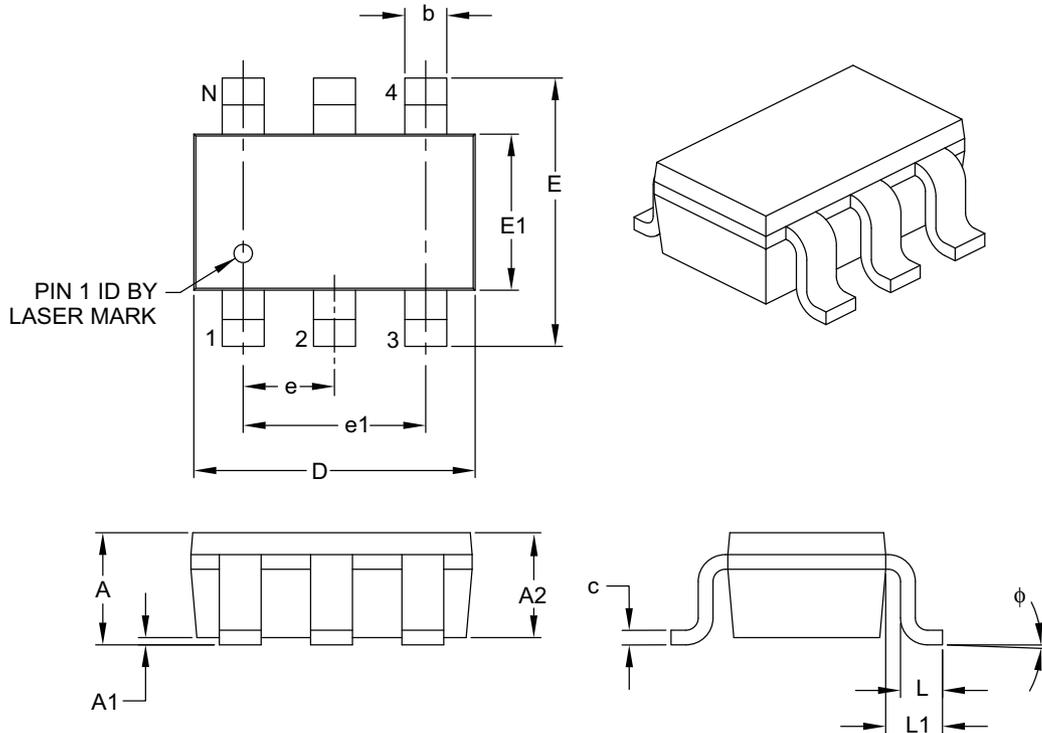
- XX...X 客户指定信息
- Y 年份代码 (日历年的最后一位数字)
- YY 年份代码 (日历年的最后两位数字)
- WW 星期代码 (一月一日的星期代码为“01”)
- NNN 以字母数字排序的追踪代码
- (e3) 雾锡 (Matte Tin, Sn) 的 JEDEC 无铅标志
- * 表示无铅封装。JEDEC 无铅标志 (e3) 标示于此种封装的外包装上。

注: Microchip 器件编号如果无法在一行内完整标注, 将换行标出, 因此会限制表示客户信息的字符数。

MCP3421

6 引脚塑封小外形晶体管封装 (CH)[SOT-23]

注：最新封装图请至 <http://www.microchip.com/packaging> 查看 Microchip 封装规范。



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	6		
Pitch	e	0.95 BSC		
Outside Lead Pitch	e1	1.90 BSC		
Overall Height	A	0.90	–	1.45
Molded Package Thickness	A2	0.89	–	1.30
Standoff	A1	0.00	–	0.15
Overall Width	E	2.20	–	3.20
Molded Package Width	E1	1.30	–	1.80
Overall Length	D	2.70	–	3.10
Foot Length	L	0.10	–	0.60
Footprint	L1	0.35	–	0.80
Foot Angle	ϕ	0°	–	30°
Lead Thickness	c	0.08	–	0.26
Lead Width	b	0.20	–	0.51

Notes:

- Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.127 mm per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing C04-028B

附录 A: 版本历史

版本 E (2009 年 8 月)

进行了以下修改:

1. 更新了第 4.1 节 “概述”。
2. 增加了新的章节: 第 4.5 节 “输入电压范围”。
3. 重新编排了第 4.9 节 “数字输出代码以及至实际值的转换” 的信息。
4. 更新了第 5.0 节 “MCP3421 器件应用” 中表 5-4 的信息。
5. 更新了第 6.0 节 “基本应用配置”。
6. 增加了新的章节第 7.0 节 “开发工具支持”。
7. 更新了第 8.0 节 “封装信息” 中的图。

版本 D (2007 年 11 月)

进行了以下修改:

1. 第 1.0 节 “电气特性”: 更改了增益误差漂移的典型值 (从 5 改为 15), 并更改了最大值 (从 40 改为 —)。

版本 C (2007 年 10 月)

进行了以下修改:

1. 图 5-4: 将 $\overline{O/C}$ 改为 $\overline{O/C}$ 。
2. 更新了封装外形图。
3. 更新了版本历史。

版本 B (2006 年 12 月)

进行了以下修改:

1. 更改了电气特性表。
2. 增加了特性数据。
3. 更改了 I²C 串行时序规范表。
4. 更改了图 5-7。
5. 更新了封装外形图。

版本 A (2006 年 8 月)

- 本文档的初始版本。

MCP3421

注:

产品标识体系

欲订货，或获取价格、交货等信息，请与我公司生产厂或各销售办事处联系。

部件编号	XX	X	X	XX
器件	地址选项	卷带式	温度范围	封装
器件:	MCP3421: 单通道 $\Delta\Sigma$ A/D 转换器			
地址选项:	XX	A2	A1	A0
	A0 *	= 0	0	0
	A1	= 0	0	1
	A2	= 0	1	0
	A3	= 0	1	1
	A4	= 1	0	0
	A5	= 1	0	1
	A6	= 1	1	0
	A7	= 1	1	1
	* 默认选项。其他地址选项，请联系 Microchip 工厂。			
卷带式:	T = 卷带式			
温度范围:	E = -40°C 至 +125°C			
封装:	CH = 塑封小外形晶体管封装 (SOT-23-6), 6 引脚			

示例:

- a) MCP3421A0T-E/CH: 卷带式
单通道 $\Delta\Sigma$ A/D 转换器
SOT-23-6 封装,
地址选项 = A0。

MCP3421

注:

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中。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。在 Microchip 知识产权保护下, 不得暗或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、dsPIC、KEELOQ、KEELOQ 徽标、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、PIC³² 徽标、rfPIC 和 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

FilterLab、Hampshire、HI-TECH C、Linear Active Thermistor、MXDEV、MXLAB、SEEVAL 和 The Embedded Control Solutions Company 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、Application Maestro、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、dsPICworks、dsSPEAK、ECAN、ECONOMONITOR、FanSense、HI-TIDE、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Mindi、MiWi、MPASM、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mTouch、Omniscient Code Generation、PICC、PICC-18、PICDEM、PICDEM.net、PICKIT、PICKITtail、REAL ICE、rfLAB、Select Mode、Total Endurance、TSHARC、UniWinDriver、WiperLock 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

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

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2010, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-60932-547-3

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2002 ==

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-16949:2002 认证。公司在 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方面的质量体系流程均符合 ISO/TS-16949:2002。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。

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://support.microchip.com>
网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

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

克里夫兰 Cleveland
Independence, OH
Tel: 1-216-447-0464
Fax: 1-216-447-0643

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

底特律 Detroit
Farmington Hills, MI
Tel: 1-248-538-2250
Fax: 1-248-538-2260

科科莫 Kokomo
Kokomo, IN
Tel: 1-765-864-8360
Fax: 1-765-864-8387

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

圣克拉拉 Santa Clara
Santa Clara, CA
Tel: 1-408-961-6444
Fax: 1-408-961-6445

加拿大多伦多 Toronto
Mississauga, Ontario,
Canada
Tel: 1-905-673-0699
Fax: 1-905-673-6509

亚太地区

亚太总部 Asia Pacific Office
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京
Tel: 86-10-8528-2100
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588
Fax: 86-23-8980-9500

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 - 上海
Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8203-2660
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830
Fax: 886-7-330-9305

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2500-6610
Fax: 886-2-2508-0102

亚太地区

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-6578-300
Fax: 886-3-6578-370

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444
Fax: 91-80-3090-4123

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 India - Pune
Tel: 91-20-2566-1512
Fax: 91-20-2566-1513

日本 Japan - Yokohama
Tel: 81-45-471-6166
Fax: 81-45-471-6122

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 或
82-2-558-5934

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

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

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

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

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

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

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

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5820