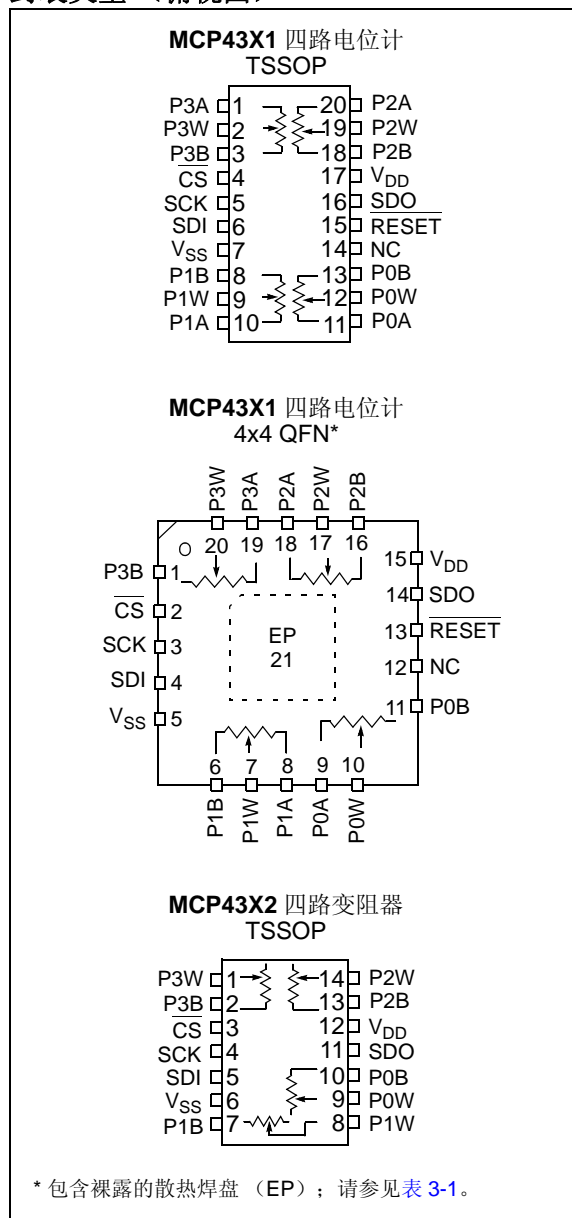


带易失性存储器的 7/8 位四路 SPI 数字电位计

特性

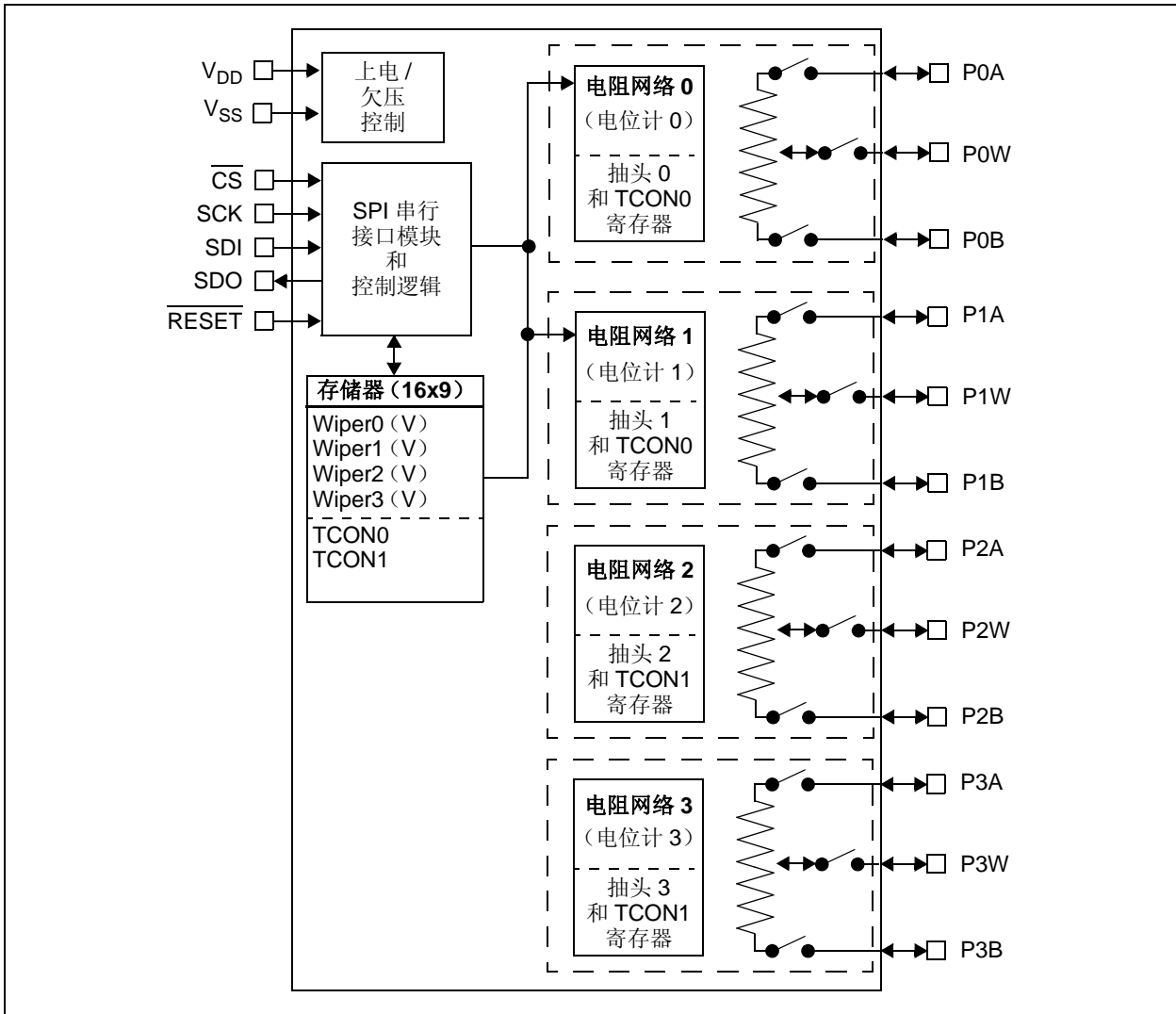
- 四路电阻网络
- 电位计或变阻器配置选项
- 电阻网络分辨率:
 - 7 位: 128 个电阻 (129 个分接头)
 - 8 位: 256 个电阻 (257 个分接头)
- R_{AB} 电阻选项:
 - 5 k Ω
 - 10 k Ω
 - 50 k Ω
 - 100 k Ω
- 零量程到满量程抽头操作
- 低抽头电阻: 75 Ω (典型值)
- 低温度系数:
 - 绝对型 (变阻器): 50 ppm (典型值) (0 $^{\circ}$ C 至 70 $^{\circ}$ C)
 - 比例型 (电位计): 15 ppm (典型值)
- SPI 串行接口 (10 MHz, 模式 0,0 和 1,1):
 - 高速读 / 写抽头寄存器
- 通过端控制 (TCON) 寄存器实现电阻网络接线端断开功能
- 复位输入引脚
- 欠压复位保护 (典型值为 1.5V)
- 串行接口无效电流 (典型值为 2.5 μ A)
- 可承受高电压数字输入: 最高可达 12.5V
- 支持分离电源轨应用
- 所有数字输入均具有内部弱上拉功能
- 宽工作电压范围:
 - 2.7V 至 5.5V—— 确保指定器件特性的电压
 - 1.8V 至 5.5V—— 器件工作电压
- 宽工作带宽 (-3 dB):
 - 2 MHz (典型值, 对于 5.0 k Ω 器件)
- 扩展级温度范围 (-40 $^{\circ}$ C 至 +125 $^{\circ}$ C)

封装类型 (俯视图)



MCP433X/435X

器件框图



器件特性

器件	电位计数量	抽头配置	控制接口	存储器类型	WiperLock 技术	POR 抽头 设置	电阻 (典型值)		分接头数量	V _{DD} 工作范围 (2)
							R _{AB} 选项 (kΩ)	抽头—R _W (Ω)		
MCP4331	4	电位计 (1)	SPI	RAM	无	中间量程	5.0, 10.0, 50.0, 100.0	75	129	1.8V 至 5.5V
MCP4332	4	变阻器	SPI	RAM	无	中间量程	5.0, 10.0, 50.0, 100.0	75	129	1.8V 至 5.5V
MCP4341	4	电位计 (1)	SPI	EE	有	NV 抽头	5.0, 10.0, 50.0, 100.0	75	129	2.7V 至 5.5V
MCP4342	4	变阻器	SPI	EE	有	NV 抽头	5.0, 10.0, 50.0, 100.0	75	129	2.7V 至 5.5V
MCP4351	4	电位计 (1)	SPI	RAM	无	中间量程	5.0, 10.0, 50.0, 100.0	75	257	1.8V 至 5.5V
MCP4352	4	变阻器	SPI	RAM	无	中间量程	5.0, 10.0, 50.0, 100.0	75	257	1.8V 至 5.5V
MCP4361	4	电位计 (1)	SPI	EE	有	NV 抽头	5.0, 10.0, 50.0, 100.0	75	257	2.7V 至 5.5V
MCP4362	4	变阻器	SPI	EE	有	NV 抽头	5.0, 10.0, 50.0, 100.0	75	257	2.7V 至 5.5V

注 1: 悬空任一接线端 (A 或 B) 时, 器件可以用作变阻器 (可变电阻)。

注 2: 除非另外说明, 否则模拟特性仅针对 2.7V 至 5.5V 电压范围测试。

1.0 电气特性

绝对最大额定值 †

V_{DD} 引脚相对于 V_{SS} 的电压	-0.6V 至 +7.0V
\overline{CS} 、 SCK 、 SDI 、 SDI/SDO 和 \overline{RESET} 引脚 相对于 V_{SS} 的电压	-0.6V 至 12.5V
所有其他引脚 (PxA 、 PxW 、 PxB 和 SDO) 相对于 V_{SS} 的电压	-0.3V 至 $V_{DD} + 0.3V$
输入钳位电流 I_{IK} ($V_I < 0$, $V_I > V_{DD}$, HV 引脚上 $V_I > V_{PP}$) ± 20 mA
输出钳位电流 I_{OK} ($V_O < 0$ 或 $V_O > V_{DD}$) ± 20 mA
任一输出引脚的最大输出灌电流	.....25 mA
任一输出引脚的最大输出拉电流	.....25 mA
流出 V_{SS} 引脚的最大电流	.....100 mA
流入 V_{DD} 引脚的最大电流	.....100 mA
流入 PxA 、 PxW 和 PxB 引脚的最大电流 ± 2.5 mA
储存温度	.....-65°C 至 +150°C
通电时的环境温度	.....-40°C 至 +125°C
封装功耗 ($T_A = +50^\circ\text{C}$, $T_J = +150^\circ\text{C}$)	
TSSOP-14	..... 1000 mW
TSSOP-20	..... 1110 mW
QFN-20 (4x4)	..... 2320 mW
引脚的焊接温度 (10 秒)	.....+300°C
所有引脚上的ESD保护 ≥ 4 kV (HBM)
 ≥ 300 V (MM)
最高结温 (T_J)	.....+150°C

†注: 如果器件工作条件超过上述“最大额定值”, 可能引起器件永久性损坏。这仅是极限参数, 我们不建议器件工作在极限值甚至超过上述极限值。器件长时间工作在极限条件下可能会影响其可靠性。

MCP433X/435X

交流 / 直流特性

直流特性		标准工作条件（除非另外说明） 工作温度 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ （扩展级） 除非有说明，否则所有参数均适用于规定的工作范围。 $V_{DD} = +2.7\text{V}$ 至 5.5V ， $5\text{ k}\Omega$ 、 $10\text{ k}\Omega$ 、 $50\text{ k}\Omega$ 和 $100\text{ k}\Omega$ 器件。 典型值表示 $V_{DD} = 5.5\text{V}$ ， $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ 时的值。				
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
供电电压	V_{DD}	2.7	—	5.5	V	
		1.8	—	2.7	V	仅限串行接口。
$\overline{\text{CS}}$ 、 SDI 、 SDO 、 SCK 和 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚电压范围	V_{HV}	V_{SS}	—	12.5V	V	$V_{DD} \geq 4.5\text{V}$ $\overline{\text{CS}}$ 引脚上的电平时三种输入电平 (V_{IL} 、 V_{IH} 或 V_{IHH}) 中的一种。（注 6）
		V_{SS}	—	$V_{DD} + 8.0\text{V}$	V	$V_{DD} < 4.5\text{V}$
确保抽头复位的 V_{DD} 启动电压	V_{BOR}	—	—	1.65	V	RAM 保持电压 (V_{RAM}) $< V_{BOR}$
确保上电复位的 V_{DD} 上升速率	V_{DDRR}	(注 9)			V/ms	
器件退出复位状态之后的延时 ($V_{DD} > V_{BOR}$)	T_{BORD}	—	10	20	μs	
供电电流 (注 10)	I_{DD}	—	—	450	μA	串行接口有效， $\overline{\text{CS}} = V_{IL}$ ， $V_{DD} = 5.5\text{V}$ ， SCK 频率为 5 MHz ，向易失性抽头 0（地址 0h）全部写入 0
		—	2.5	5	μA	串行接口无效， $\text{CS} = V_{IH}$ ， $V_{DD} = 5.5\text{V}$
		—	0.55	1	mA	串行接口有效， $\overline{\text{CS}} = V_{IHH}$ ， $V_{DD} = 5.5\text{V}$ ， SCK 频率为 5 MHz ，递减易失性抽头 0（地址 0h）

- 注 1: 电阻定义为接线端 A 到接线端 B 之间的电阻。
- 2: INL 和 DNL 在 V_W 处测量，且 $V_A = V_{DD}$ ， $V_B = V_{SS}$ 。
- 3: 仅限 **MCP43X1**。
- 4: 仅限 **MCP43X2**，包括 V_{WZSE} 和 V_{WFSE} 。
- 5: 电阻接线端 A、W 和 B 相互之间的相对极性不受限制。
- 6: 这是设计规范值。
- 7: 非线性会受到抽头电阻 (R_W) 影响，该电阻随电压和温度变化较大。
- 8: 外部连接 **MCP43X1** 以匹配 **MCP43X2** 的配置，然后进行测试。
- 9: POR/BOR 不依赖于速率。
- 10: 供电电流与流经电阻网络的电流无关。

交流 / 直流特性 (续)

直流特性		标准工作条件 (除非另外说明) 工作温度 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ (扩展级) 除非有说明, 否则所有参数均适用于规定的工作范围。 $V_{DD} = +2.7\text{V}$ 至 5.5V , $5\text{ k}\Omega$ 、 $10\text{ k}\Omega$ 、 $50\text{ k}\Omega$ 和 $100\text{ k}\Omega$ 器件。 典型值表示 $V_{DD} = 5.5\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ 时的值。					
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件	
电阻 ($\pm 20\%$)	R_{AB}	4.0	5	6.0	$\text{k}\Omega$	-502 器件 (注 1)	
		8.0	10	12.0	$\text{k}\Omega$	-103 器件 (注 1)	
		40.0	50	60.0	$\text{k}\Omega$	-503 器件 (注 1)	
		80.0	100	120.0	$\text{k}\Omega$	-104 器件 (注 1)	
分辨率	N	257			分接头	8 位	无丢失编码
		129			分接头	7 位	无丢失编码
电阻步长	R_S	—	$R_{AB}/$ (256)	—	Ω	8 位	注 6
		—	$R_{AB}/$ (128)	—	Ω	7 位	注 6
标称电阻匹配	$(|R_{ABWC} - R_{ABMEAN}|)/R_{ABMEAN}$	—	0.2	1.50	%	5 $\text{k}\Omega$	仅限 MCP43X1 器件
		—	0.2	1.25	%	10 $\text{k}\Omega$	
		—	0.2	1.0	%	50 $\text{k}\Omega$	
		—	0.2	1.0	%	100 $\text{k}\Omega$	
	$(|R_{BWWC} - R_{BWMAN}|)/R_{BWMAN}$	—	0.25	1.75	%	5 $\text{k}\Omega$	编码 = 满量程
		—	0.25	1.50	%	10 $\text{k}\Omega$	
		—	0.25	1.25	%	50 $\text{k}\Omega$	
		—	0.25	1.25	%	100 $\text{k}\Omega$	
抽头电阻 (注 3, 注 4)	R_W	—	75	160	Ω	$V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 2.0\text{ mA}$, 编码 = 00h	
		—	75	300	Ω	$V_{DD} = 2.7\text{V}$, $I_W = 2.0\text{ mA}$, 编码 = 00h	
标称电阻温度系数	$\Delta R_{AB}/\Delta T$	—	50	—	$\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$	$T_A = -20^{\circ}\text{C}$ 至 $+70^{\circ}\text{C}$	
		—	100	—	$\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+85^{\circ}\text{C}$	
		—	150	—	$\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+125^{\circ}\text{C}$	
比例温度系数	$\Delta V_{WB}/\Delta T$	—	15	—	$\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$	编码 = 中间量程 (80h 或 40h)	
电阻跟踪	ΔR_{TRACK}	第 2.0 节			$\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$	请参见第 2.0 节“典型性能曲线”	

- 注 1: 电阻定义为接线端 A 到接线端 B 之间的电阻。
 2: INL 和 DNL 在 V_W 处测量, 且 $V_A = V_{DD}$, $V_B = V_{SS}$ 。
 3: 仅限 **MCP43X1**。
 4: 仅限 **MCP43X2**, 包括 V_{WZSE} 和 V_{WFSE} 。
 5: 电阻接线端 A、W 和 B 相互之间的相对极性不受限制。
 6: 这是设计规范值。
 7: 非线性会受抽头电阻 (R_W) 影响, 该电阻随电压和温度变化较大。
 8: 外部连接 **MCP43X1** 以匹配 **MCP43X2** 的配置, 然后进行测试。
 9: POR/BOR 不依赖于速率。
 10: 供电电流与流经电阻网络的电流无关。

MCP433X/435X

交流 / 直流特性 (续)

直流特性		标准工作条件 (除非另外说明) 工作温度 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ (扩展级) 除非有说明, 否则所有参数均适用于规定的工作范围。 $V_{DD} = +2.7\text{V}$ 至 5.5V , $5\text{ k}\Omega$ 、 $10\text{ k}\Omega$ 、 $50\text{ k}\Omega$ 和 $100\text{ k}\Omega$ 器件。 典型值表示 $V_{DD} = 5.5\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ 时的值。				
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
电阻接线端输入电压范围 (接线端 A、B 和 W)	V_A 、 V_W 和 V_B	V_{SS}	—	V_{DD}	V	注 5, 注 6
通过 A、W 或 B 的最大电流	I_W	—	—	2.5	mA	当抽头为满量程或零量程时, 通过抽头的最大电流。(注 6)
流入 A、W 或 B 的泄漏电流	I_{WL}	—	100	—	nA	MCP43X1 $PxA = PxW = PxB = V_{SS}$
		—	100	—	nA	MCP43X2 $PxB = PxW = V_{SS}$

- 注 1: 电阻定义为接线端 A 到接线端 B 之间的电阻。
- 2: INL 和 DNL 在 V_W 处测量, 且 $V_A = V_{DD}$, $V_B = V_{SS}$ 。
- 3: 仅限 **MCP43X1**。
- 4: 仅限 **MCP43X2**, 包括 V_{WZSE} 和 V_{WFSE} 。
- 5: 电阻接线端 A、W 和 B 相互之间的相对极性不受限制。
- 6: 这是设计规范值。
- 7: 非线性会受抽头电阻 (R_W) 影响, 该电阻随电压和温度变化较大。
- 8: 外部连接 **MCP43X1** 以匹配 **MCP43X2** 的配置, 然后进行测试。
- 9: POR/BOR 不依赖于速率。
- 10: 供电电流与流经电阻网络的电流无关。

交流 / 直流特性 (续)

直流特性		标准工作条件 (除非另外说明) 工作温度 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ (扩展级) 除非有说明, 否则所有参数均适用于规定的工作范围。 $V_{DD} = +2.7\text{V}$ 至 5.5V , $5\text{ k}\Omega$ 、 $10\text{ k}\Omega$ 、 $50\text{ k}\Omega$ 和 $100\text{ k}\Omega$ 器件。 典型值表示 $V_{DD} = 5.5\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ 时的值。						
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件		
满量程误差 (仅限 MCP43X1) (8 位编码 = 100h, 7 位编码 = 80h)	V_{WFSE}	-6.0	-0.1	—	LSb	5 k Ω	8 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		-4.0	-0.1	—	LSb		7 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		-3.5	-0.1	—	LSb	10 k Ω	8 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		-2.0	-0.1	—	LSb		7 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		-0.8	-0.1	—	LSb	50 k Ω	8 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		-0.5	-0.1	—	LSb		7 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		-0.5	-0.1	—	LSb	100 k Ω	8 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		-0.5	-0.1	—	LSb		7 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
零量程误差 (仅限 MCP43X1) (8 位编码 = 00h, 7 位编码 = 00h)	V_{WZSE}	—	+0.1	+6.0	LSb	5 k Ω	8 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		—	+0.1	+3.0	LSb		7 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		—	+0.1	+3.5	LSb	10 k Ω	8 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		—	+0.1	+2.0	LSb		7 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		—	+0.1	+0.8	LSb	50 k Ω	8 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		—	+0.1	+0.5	LSb		7 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		—	+0.1	+0.5	LSb	100 k Ω	8 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
		—	+0.1	+0.5	LSb		7 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$
电位计积分非线性	INL	-1	± 0.5	+1	LSb	8 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$	
		-0.5	± 0.25	+0.5	LSb		7 位	仅限 MCP43X1 器件 (注 2)
电位计微分非线性	DNL	-0.5	± 0.25	+0.5	LSb	8 位	$3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$	
		-0.25	± 0.125	+0.25	LSb		7 位	仅限 MCP43X1 器件 (注 2)
带宽 -3 dB (见图 2-92, 负载 = 30 pF)	BW	—	2	—	MHz	5 k Ω	8 位	编码 = 80h
		—	2	—	MHz		7 位	编码 = 40h
		—	1	—	MHz	10 k Ω	8 位	编码 = 80h
		—	1	—	MHz		7 位	编码 = 40h
		—	200	—	kHz	50 k Ω	8 位	编码 = 80h
		—	200	—	kHz		7 位	编码 = 40h
		—	100	—	kHz	100 k Ω	8 位	编码 = 80h
		—	100	—	kHz		7 位	编码 = 40h

- 注 1: 电阻定义为接线端 A 到接线端 B 之间的电阻。
 2: INL 和 DNL 在 V_W 处测量, 且 $V_A = V_{DD}$, $V_B = V_{SS}$ 。
 3: 仅限 **MCP43X1**。
 4: 仅限 **MCP43X2**, 包括 V_{WZSE} 和 V_{WFSE} 。
 5: 电阻接线端 A、W 和 B 相互之间的相对极性不受限制。
 6: 这是设计规范值。
 7: 非线性会受抽头电阻 (R_W) 影响, 该电阻随电压和温度变化较大。
 8: 外部连接 **MCP43X1** 以匹配 **MCP43X2** 的配置, 然后进行测试。
 9: POR/BOR 不依赖于速率。
 10: 供电电流与流经电阻网络的电流无关。

MCP433X/435X

交流 / 直流特性 (续)

直流特性		标准工作条件 (除非另外说明) 工作温度 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ (扩展级) 除非有说明, 否则所有参数均适用于规定的工作范围。 $V_{DD} = +2.7\text{V}$ 至 5.5V , $5\text{ k}\Omega$ 、 $10\text{ k}\Omega$ 、 $50\text{ k}\Omega$ 和 $100\text{ k}\Omega$ 器件。 典型值表示 $V_{DD} = 5.5\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ 时的值。						
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件		
变阻器积分非线性 MCP43X1 (注 4, 注 8) 仅限 MCP43X2 器件 (注 4)	R-INL	-1.5	± 0.5	+1.5	LSb	5 k Ω	8 位	5.5V, $I_W = 900\ \mu\text{A}$
		-8.25	+4.5	+8.25	LSb			3.0V, $I_W = 480\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						
		-1.125	± 0.5	+1.125	LSb		7 位	5.5V, $I_W = 900\ \mu\text{A}$
		-6.0	+4.5	+6.0	LSb			3.0V, $I_W = 480\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 190\ \mu\text{A}$
		-1.5	± 0.5	+1.5	LSb	10 k Ω	8 位	5.5V, $I_W = 450\ \mu\text{A}$
		-5.5	+2.5	+5.5	LSb			3.0V, $I_W = 240\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 150\ \mu\text{A}$
		-1.125	± 0.5	+1.125	LSb		7 位	5.5V, $I_W = 450\ \mu\text{A}$
		-4.0	+2.5	+4.0	LSb			3.0V, $I_W = 240\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 150\ \mu\text{A}$
		-1.5	± 0.5	+1.5	LSb	50 k Ω	8 位	5.5V, $I_W = 90\ \mu\text{A}$
		-2.0	+1	+2.0	LSb			3.0V, $I_W = 48\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 30\ \mu\text{A}$
		-1.125	± 0.5	+1.125	LSb		7 位	5.5V, $I_W = 90\ \mu\text{A}$
		-1.5	+1	+1.5	LSb			3.0V, $I_W = 48\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 30\ \mu\text{A}$
		-1.0	± 0.5	+1.0	LSb	100 k Ω	8 位	5.5V, $I_W = 45\ \mu\text{A}$
		-1.5	+0.25	+1.5	LSb			3.0V, $I_W = 24\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 15\ \mu\text{A}$
		-0.8	± 0.5	+0.8	LSb		7 位	5.5V, $I_W = 45\ \mu\text{A}$
		-1.125	+0.25	+1.125	LSb			3.0V, $I_W = 24\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 15\ \mu\text{A}$

- 注 1: 电阻定义为接线端 A 到接线端 B 之间的电阻。
 2: INL 和 DNL 在 V_W 处测量, 且 $V_A = V_{DD}$, $V_B = V_{SS}$ 。
 3: 仅限 **MCP43X1**。
 4: 仅限 **MCP43X2**, 包括 V_{WZSE} 和 V_{WFSE} 。
 5: 电阻接线端 A、W 和 B 相互之间的相对极性不受限制。
 6: 这是设计规范值。
 7: 非线性会受到抽头电阻 (R_W) 影响, 该电阻随电压和温度变化较大。
 8: 外部连接 **MCP43X1** 以匹配 **MCP43X2** 的配置, 然后进行测试。
 9: POR/BOR 不依赖于速率。
 10: 供电电流与流经电阻网络的电流无关。

交流 / 直流特性 (续)

直流特性		标准工作条件 (除非另外说明) 工作温度 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ (扩展级) 除非有说明, 否则所有参数均适用于规定的工作范围。 $V_{DD} = +2.7\text{V}$ 至 5.5V , $5\text{ k}\Omega$ 、 $10\text{ k}\Omega$ 、 $50\text{ k}\Omega$ 和 $100\text{ k}\Omega$ 器件。 典型值表示 $V_{DD} = 5.5\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ 时的值。						
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件		
变阻器微分非线性 MCP43X1 (注 4, 注 8) 仅限 MCP43X2 器件 (注 4)	R-DNL	-0.5	± 0.25	+0.5	LSb	5 k Ω	8 位	5.5V, $I_W = 900\ \mu\text{A}$
		-1.0	+0.5	+1.0	LSb			3.0V, $I_W = 480\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节							1.8V, $I_W = 190\ \mu\text{A}$
		-0.375	± 0.25	+0.375	LSb		7 位	5.5V, $I_W = 900\ \mu\text{A}$
		-0.75	+0.5	+0.75	LSb			3.0V, $I_W = 480\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 190\ \mu\text{A}$
		-0.5	± 0.25	+0.5	LSb	10 k Ω	8 位	5.5V, $I_W = 450\ \mu\text{A}$
		-1.0	+0.25	+1.0	LSb			3.0V, $I_W = 240\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 150\ \mu\text{A}$
		-0.375	± 0.25	+0.375	LSb		7 位	5.5V, $I_W = 450\ \mu\text{A}$
		-0.75	+0.5	+0.75	LSb			3.0V, $I_W = 240\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 150\ \mu\text{A}$
		-0.5	± 0.25	+0.5	LSb	50 k Ω	8 位	5.5V, $I_W = 90\ \mu\text{A}$
		-0.5	± 0.25	+0.5	LSb			3.0V, $I_W = 48\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 30\ \mu\text{A}$
		-0.375	± 0.25	+0.375	LSb		7 位	5.5V, $I_W = 90\ \mu\text{A}$
		-0.375	± 0.25	+0.375	LSb			3.0V, $I_W = 48\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 30\ \mu\text{A}$
		-0.5	± 0.25	+0.5	LSb	100 k Ω	8 位	5.5V, $I_W = 45\ \mu\text{A}$
		-0.5	± 0.25	+0.5	LSb			3.0V, $I_W = 24\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 15\ \mu\text{A}$
		-0.375	± 0.25	+0.375	LSb		7 位	5.5V, $I_W = 45\ \mu\text{A}$
		-0.375	± 0.25	+0.375	LSb			3.0V, $I_W = 24\ \mu\text{A}$ (注 7)
		第 2.0 节						1.8V, $I_W = 30\ \mu\text{A}$

- 注 1: 电阻定义为接线端 A 到接线端 B 之间的电阻。
- 2: INL 和 DNL 在 V_W 处测量, 且 $V_A = V_{DD}$, $V_B = V_{SS}$ 。
- 3: 仅限 **MCP43X1**。
- 4: 仅限 **MCP43X2**, 包括 V_{WZSE} 和 V_{WFSE} 。
- 5: 电阻接线端 A、W 和 B 相互之间的相对极性不受限制。
- 6: 这是设计规范值。
- 7: 非线性会受抽头电阻 (R_W) 影响, 该电阻随电压和温度变化较大。
- 8: 外部连接 **MCP43X1** 以匹配 **MCP43X2** 的配置, 然后进行测试。
- 9: POR/BOR 不依赖于速率。
- 10: 供电电流与流经电阻网络的电流无关。

MCP433X/435X

交流 / 直流特性 (续)

直流特性		标准工作条件 (除非另外说明) 工作温度 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ (扩展级) 除非有说明, 否则所有参数均适用于规定的工作范围。 $V_{DD} = +2.7\text{V}$ 至 5.5V , $5\text{ k}\Omega$ 、 $10\text{ k}\Omega$ 、 $50\text{ k}\Omega$ 和 $100\text{ k}\Omega$ 器件。 典型值表示 $V_{DD} = 5.5\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ 时的值。				
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
电容 (P_A)	C_{AW}	—	75	—	pF	$f = 1\text{ MHz}$, 编码 = 满量程
电容 (P_W)	C_W	—	120	—	pF	$f = 1\text{ MHz}$, 编码 = 满量程
电容 (P_B)	C_{BW}	—	75	—	pF	$f = 1\text{ MHz}$, 编码 = 满量程
数字输入 / 输出 (\overline{CS} 、SDI、SDO、SCK、 \overline{WP} 和 \overline{RESET})						
施密特触发器高电平输入阈值	V_{IH}	$0.45 V_{DD}$	—	—	V	$2.7\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$ (允许 2.7V 数字 V_{DD} 与 5V 模拟 V_{DD})
		$0.5 V_{DD}$	—	—	V	$1.8\text{V} \leq V_{DD} \leq 2.7\text{V}$
施密特触发器低电平输入阈值	V_{IL}	—	—	$0.2V_{DD}$	V	
施密特触发器输入的滞后	V_{HYS}	—	$0.1V_{DD}$	—	V	
高电压输入进入电压	V_{IHH}	8.5	—	$12.5^{(6)}$	V	
高电压输入退出电压	V_{IHH}	—	—	$V_{DD} + 0.8\text{V}$	V	
高电压限制	V_{MAX}	—	—	$12.5^{(6)}$	V	引脚可以承受 V_{MAX} 或更低的电压。
输出低电压 (SDO)	V_{OL}	V_{SS}	—	$0.3V_{DD}$	V	$I_{OL} = 5\text{ mA}$, $V_{DD} = 5.5\text{V}$
		V_{SS}	—	$0.3V_{DD}$	V	$I_{OL} = 1\text{ mA}$, $V_{DD} = 1.8\text{V}$
输出高电压 (SDO)	V_{OH}	$0.7V_{DD}$	—	V_{DD}	V	$I_{OH} = -2.5\text{ mA}$, $V_{DD} = 5.5\text{V}$
		$0.7V_{DD}$	—	V_{DD}	V	$I_{OL} = -1\text{ mA}$, $V_{DD} = 1.8\text{V}$

- 注
- 1: 电阻定义为接线端 A 到接线端 B 之间的电阻。
 - 2: INL 和 DNL 在 V_W 处测量, 且 $V_A = V_{DD}$, $V_B = V_{SS}$ 。
 - 3: 仅限 **MCP43X1**。
 - 4: 仅限 **MCP43X2**, 包括 V_{WZSE} 和 V_{WFSE} 。
 - 5: 电阻接线端 A、W 和 B 相互之间的相对极性不受限制。
 - 6: 这是设计规范值。
 - 7: 非线性会受抽头电阻 (R_W) 影响, 该电阻随电压和温度变化较大。
 - 8: 外部连接 **MCP43X1** 以匹配 **MCP43X2** 的配置, 然后进行测试。
 - 9: POR/BOR 不依赖于速率。
 - 10: 供电电流与流经电阻网络的电流无关。

交流 / 直流特性 (续)

直流特性		标准工作条件 (除非另外说明)					
		工作温度 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ (扩展级)					
		除非有说明, 否则所有参数均适用于规定的工作范围。					
		$V_{DD} = +2.7\text{V}$ 至 5.5V , $5\text{ k}\Omega$ 、 $10\text{ k}\Omega$ 、 $50\text{ k}\Omega$ 和 $100\text{ k}\Omega$ 器件。					
		典型值表示 $V_{DD} = 5.5\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ 时的值。					
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件	
弱上拉电流	I_{PU}	—	—	1.75	mA	内部 V_{DD} 上拉, V_{IH} 下拉, $V_{DD} = 5.5\text{V}$, $V_{CS} = 12.5\text{V}$	
		—	170	—	μA	$\overline{\text{CS}}$ 引脚, $V_{DD} = 5.5\text{V}$, $V_{CS} = 3\text{V}$	
$\overline{\text{CS}}$ 上拉/下拉电阻	R_{CS}	—	16	—	$\text{k}\Omega$	$V_{DD} = 5.5\text{V}$, $V_{CS} = 3\text{V}$	
$\overline{\text{RESET}}$ 上拉电阻	R_{RESET}	—	16	—	$\text{k}\Omega$	$V_{DD} = 5.5\text{V}$, $V_{\text{RESET}} = 0\text{V}$	
输入泄漏电流	I_{IL}	-1	—	1	μA	$V_{IN} = V_{DD}$ (所有引脚), $V_{IN} = V_{SS}$ (除 RESET 外的所有其他引脚)	
引脚电容	C_{IN} 和 C_{OUT}	—	10	—	pF	$f_C = 20\text{ MHz}$	
RAM (抽头和 TCON) 值							
值范围	N	0h	—	1FFh	十六进制	8 位器件	
		0h	—	1FFh	十六进制	7 位器件	
TCON POR/BOR 设置		1FF			十六进制	所有接线端均已连接	
抽头 POR/BOR 设置	N	080h			十六进制	8 位	
		040h			十六进制	7 位	
电源要求							
电源灵敏度 (MCP43X1)	PSS	—	0.0015	0.0035	%/%	8 位	$V_{DD} = 2.7\text{V}$ 至 5.5V , $V_A = 2.7\text{V}$, 编码 = 80h
		—	0.0015	0.0035	%/%	7 位	$V_{DD} = 2.7\text{V}$ 至 5.5V , $V_A = 2.7\text{V}$, 编码 = 40h

- 注 1: 电阻定义为接线端 A 到接线端 B 之间的电阻。
- 2: INL 和 DNL 在 V_W 处测量, 且 $V_A = V_{DD}$, $V_B = V_{SS}$ 。
- 3: 仅限 MCP43X1。
- 4: 仅限 MCP43X2, 包括 V_{WZSE} 和 V_{WFSE} 。
- 5: 电阻接线端 A、W 和 B 相互之间的相对极性不受限制。
- 6: 这是设计规范值。
- 7: 非线性会受抽头电阻 (R_W) 影响, 该电阻随电压和温度变化较大。
- 8: 外部连接 MCP43X1 以匹配 MCP43X2 的配置, 然后进行测试。
- 9: POR/BOR 不依赖于速率。
- 10: 供电电流与流经电阻网络的电流无关。

MCP433X/435X

1.1 SPI 模式时序波形和要求

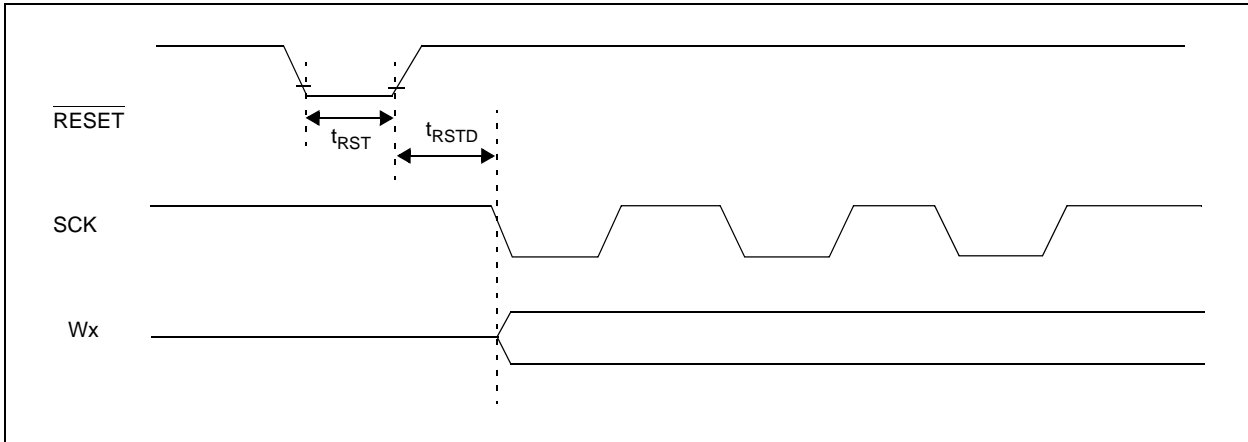


图 1-1: 复位波形

表 1-1: 复位时序

时序特性		标准工作条件（除非另外说明） 工作温度 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ （扩展级） 除非有说明，否则所有参数均适用于规定的工作范围。 $V_{DD} = +2.7\text{V}$ 至 5.5V ， $5\text{ k}\Omega$ 、 $10\text{ k}\Omega$ 、 $50\text{ k}\Omega$ 和 $100\text{ k}\Omega$ 器件。 典型值表示 $V_{DD} = 5.5\text{V}$ ， $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ 时的值。				
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
RESET 脉冲宽度	t_{RST}	50	—	—	ns	
RESET 上升沿正常模式（抽头驱动和 SPI 接口工作模式）	t_{RSTD}	—	—	20	ns	

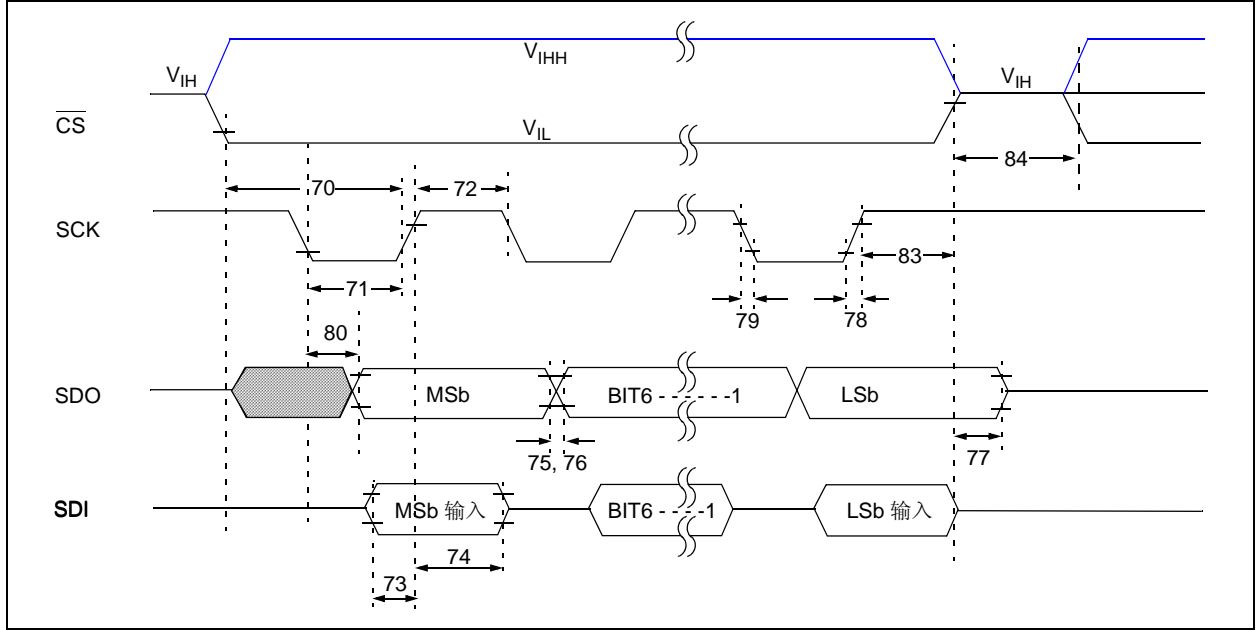


图 1-2: SPI 时序波形 (模式 = 11)

表 1-2: SPI 要求 (模式 = 11)

编号	特性	符号	最小值	最大值	单位	条件
	SCK 输入频率	F_{SCK}	—	10	MHz	$V_{DD} = 2.7V$ 至 $5.5V$
			—	1	MHz	$V_{DD} = 1.8V$ 至 $2.7V$
70	CS 有效 (V_{IL} 或 V_{IHH}) 到 SCK \uparrow 输入的时间	$T_{csA2scH}$	60	—	ns	
71	SCK 输入高电平时间	T_{scH}	45	—	ns	$V_{DD} = 2.7V$ 至 $5.5V$
			500	—	ns	$V_{DD} = 1.8V$ 至 $2.7V$
72	SCK 输入低电平时间	T_{scL}	45	—	ns	$V_{DD} = 2.7V$ 至 $5.5V$
			500	—	ns	$V_{DD} = 1.8V$ 至 $2.7V$
73	SDI 输入到 SCK \uparrow 边沿的建立时间	$T_{diV2scH}$	10	—	ns	$V_{DD} = 2.7V$ 至 $5.5V$
			20	—	ns	$V_{DD} = 1.8V$ 至 $2.7V$
74	从 SCK \uparrow 边沿起 SDI 输入的保持时间	$T_{scH2diL}$	20	—	ns	
77	CS 无效 (V_{IH}) 到 SDO 输出高阻态的时间	$T_{csH2doZ}$	—	50	ns	注 1
80	SCK \downarrow 边沿后 SDO 数据输出有效的的时间	$T_{scL2doV}$	—	70	ns	$V_{DD} = 2.7V$ 至 $5.5V$
			—	170	ns	$V_{DD} = 1.8V$ 至 $2.7V$
83	SCK \uparrow 边沿后 CS 无效 (V_{IH}) 的时间	$T_{scH2csi}$	100	—	ns	$V_{DD} = 2.7V$ 至 $5.5V$
			1	—	ms	$V_{DD} = 1.8V$ 至 $2.7V$
84	CS 无效 (V_{IH}) 到 CS 有效 (V_{IL} 或 V_{IHH}) 的保持时间	$T_{csA2csi}$	50	—	ns	

注 1: 这是设计规范值。

MCP433X/435X

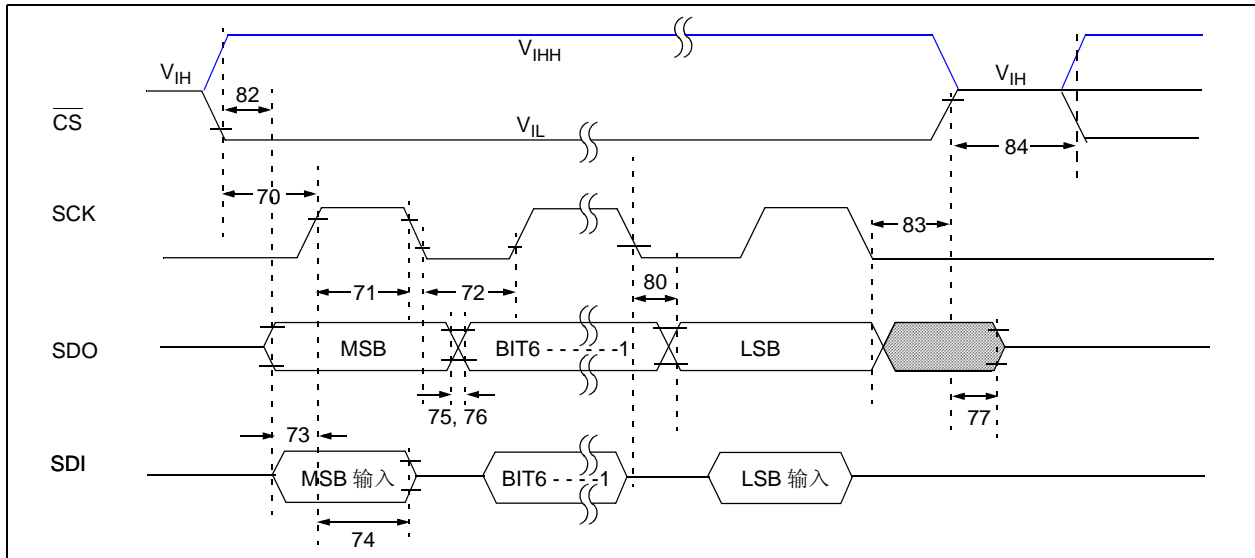


图 1-3: SPI 时序波形 (模式 = 00)

表 1-3: SPI 要求 (模式 = 00)

编号	特性	符号	最小值	最大值	单位	条件
	SCK 输入频率	F_{SCK}	—	10	MHz	$V_{DD} = 2.7V$ 至 $5.5V$
			—	1	MHz	$V_{DD} = 1.8V$ 至 $2.7V$
70	\overline{CS} 有效 (V_{IL} 或 V_{IHH}) 到 $SCK\uparrow$ 输入的时间	$T_{csA2scH}$	60	—	ns	
71	SCK 输入高电平时间	T_{scH}	45	—	ns	$V_{DD} = 2.7V$ 至 $5.5V$
			500	—	ns	$V_{DD} = 1.8V$ 至 $2.7V$
72	SCK 输入低电平时间	T_{scL}	45	—	ns	$V_{DD} = 2.7V$ 至 $5.5V$
			500	—	ns	$V_{DD} = 1.8V$ 至 $2.7V$
73	SDI 输入到 $SCK\uparrow$ 边沿的建立时间	$T_{diV2scH}$	10	—	ns	$V_{DD} = 2.7V$ 至 $5.5V$
			20	—	ns	$V_{DD} = 1.8V$ 至 $2.7V$
74	从 $SCK\uparrow$ 边沿起 SDI 输入的保持时间	$T_{scH2diL}$	20	—	ns	
77	\overline{CS} 无效 (V_{IH}) 到 SDO 输出高阻态的时间	$T_{csH2doZ}$	—	50	ns	注 1
80	$SCK\downarrow$ 边沿后 SDO 数据输出有效的的时间	$T_{scL2doV}$	—	70	ns	$V_{DD} = 2.7V$ 至 $5.5V$
				170	ns	$V_{DD} = 1.8V$ 至 $2.7V$
82	\overline{CS} 有效 (V_{IL} 或 V_{IHH}) 后 SDO 数据输出有效的的时间	$T_{ssL2doV}$	—	85	ns	
83	$SCK\downarrow$ 边沿后 \overline{CS} 无效 (V_{IH}) 的时间	$T_{scH2csl}$	100	—	ns	$V_{DD} = 2.7V$ 至 $5.5V$
			1	—	ms	$V_{DD} = 1.8V$ 至 $2.7V$
84	\overline{CS} 无效 (V_{IH}) 到 \overline{CS} 有效 (V_{IL} 或 V_{IHH}) 的保持时间	$T_{csA2csl}$	50	—	ns	

注 1: 这是设计规范值。

温度特性

电气规范：除非另外说明，否则 $V_{DD} = +2.7V$ 至 $+5.5V$ ， $V_{SS} = GND$ 。						
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	—	+125	°C	
工作温度范围	T_A	-40	—	+125	°C	
储存温度范围	T_A	-65	—	+150	°C	
封装热阻						
热阻，14 引脚 TSSOP	θ_{JA}	—	100	—	°C/W	
热阻，20 引脚 QFN	θ_{JA}	—	43	—	°C/W	
热阻，20 引脚 TSSOP	θ_{JA}	—	90	—	°C/W	

MCP433X/435X

注:

2.0 典型性能曲线

注： 以下图表来自有限数量样本的统计结果，仅供参考。此处列出的性能特性未经测试，本公司不做任何保证。一些图表中列出的数据可能超出规定的工作范围（例如，超出了规定的电源范围），因此不在担保范围内。

注： 除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$ ， $V_{DD} = 5\text{V}$ ， $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

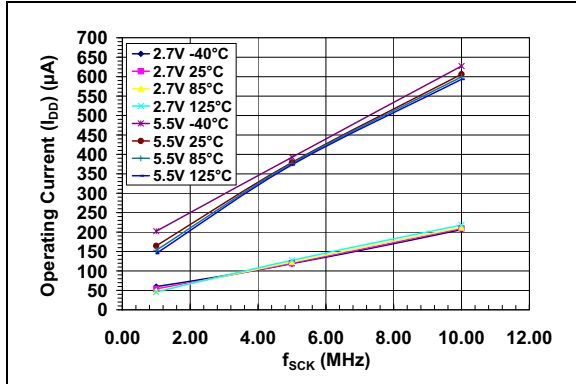


图 2-1： 器件电流 (I_{DD}) —SPI 频率 (f_{SCK}) 和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 2.7\text{V}$ 和 5.5V)

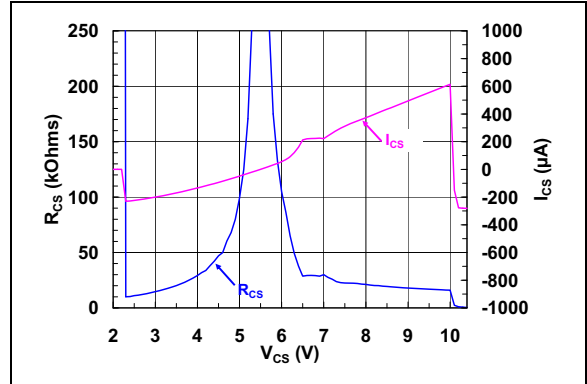


图 2-3： \overline{CS} 上拉/下拉电阻 (R_{CS}) 和电流 (I_{CS}) — \overline{CS} 输入电压 (V_{CS}) 关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

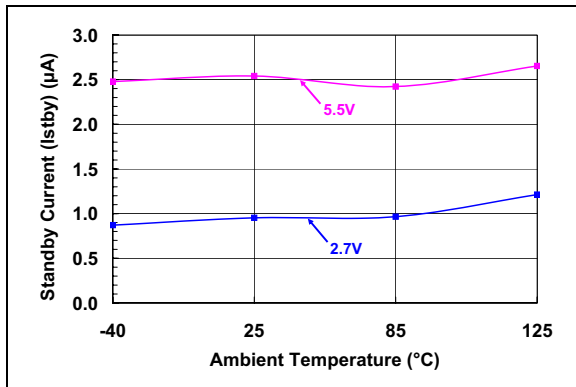


图 2-2： 器件电流 (I_{SHDN}) 和 V_{DD} ($CS = V_{DD}$) — 环境温度关系曲线

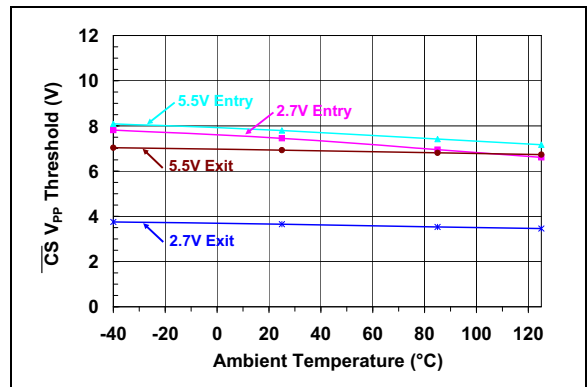


图 2-4： \overline{CS} 高电平输入进入/退出阈值 — 环境温度和 V_{DD} 关系曲线

MCP433X/435X

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

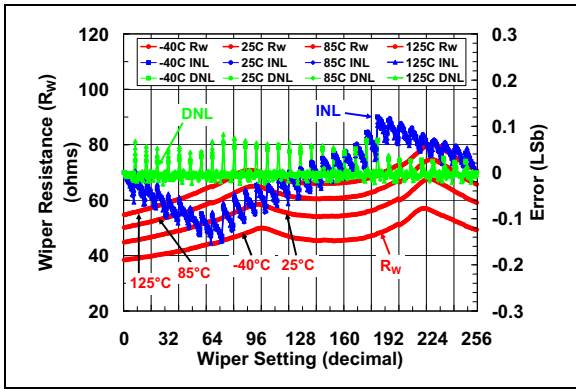


图 2-5: 5 kΩ 电位计模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

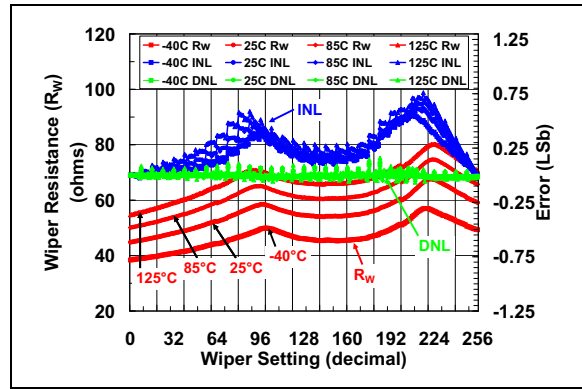


图 2-8: 5 kΩ 变阻器模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 900\ \mu\text{A}$)

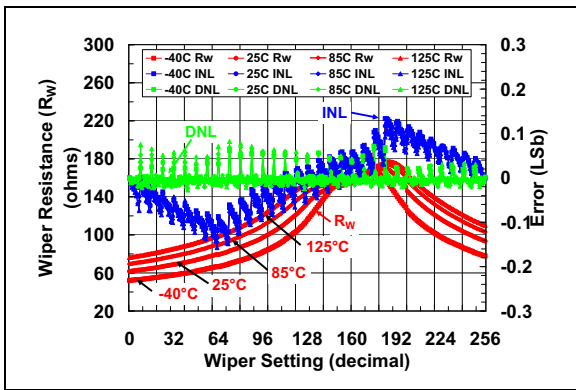


图 2-6: 5 kΩ 电位计模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$)

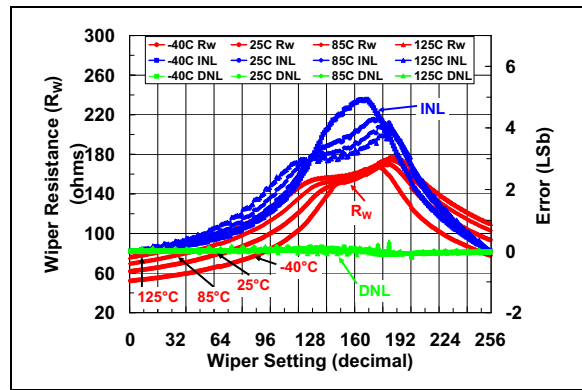


图 2-9: 5 kΩ 变阻器模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 480\ \mu\text{A}$)

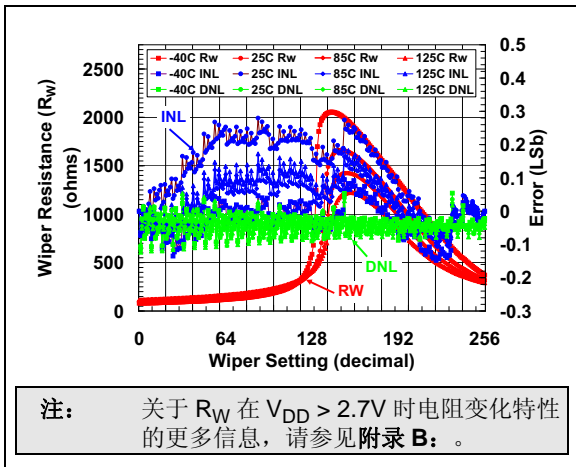


图 2-7: 5 kΩ 电位计模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$)

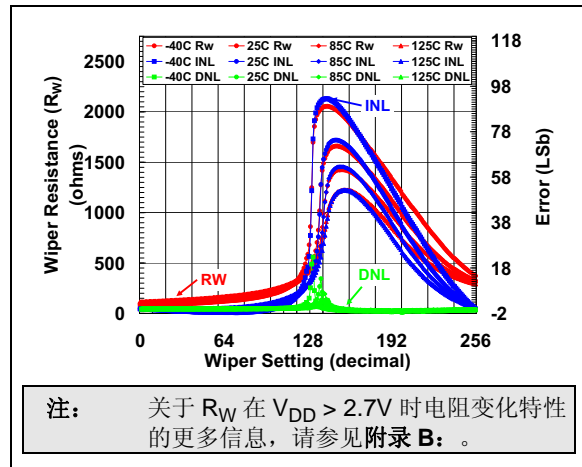


图 2-10: 5 kΩ 变阻器模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 260\ \mu\text{A}$)

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

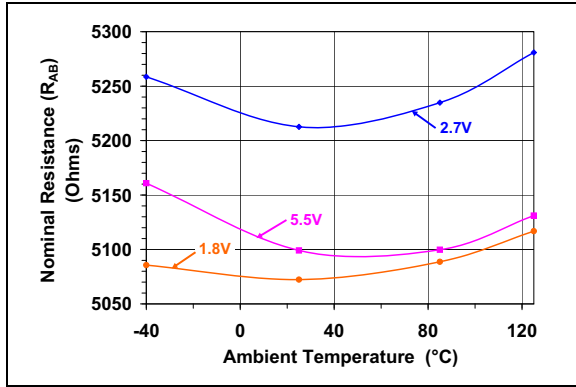


图2-11: 5 kΩ: 标称电阻 (R_{AB}) (Ω) — 环境温度和 V_{DD} 关系曲线

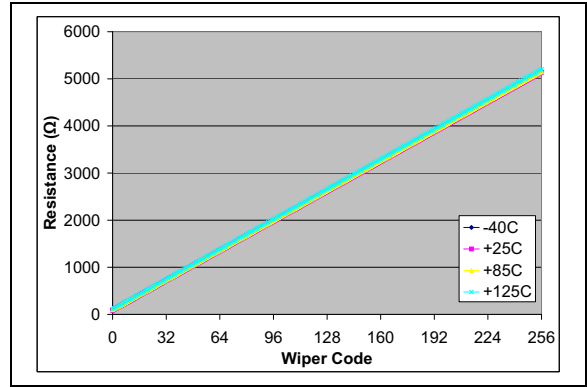


图2-12: 5 kΩ: R_{WB} (Ω) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 190\ \mu\text{A}$)

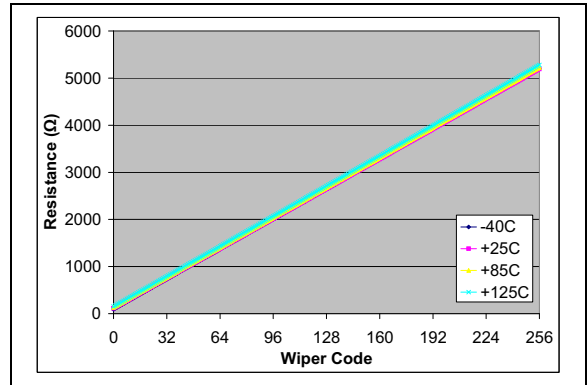
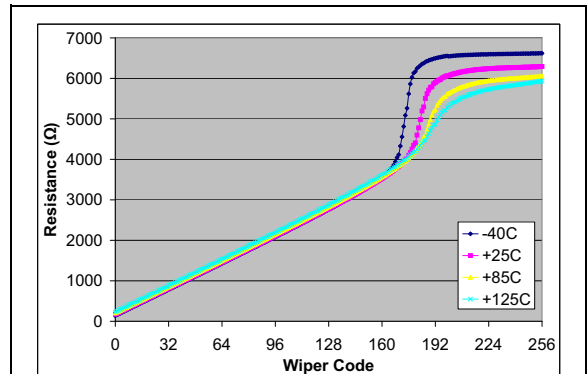


图2-13: 5 kΩ: R_{WB} (Ω) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 190\ \mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B。

图2-14: 5 kΩ: R_{WB} (Ω) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 190\ \mu\text{A}$)

MCP433X/435X

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

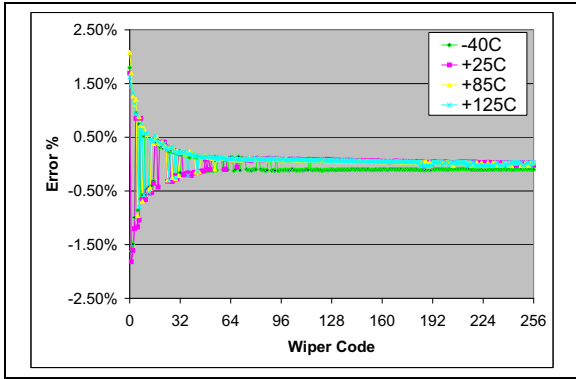


图 2-15: 5 kΩ: 相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 ($R_{BW0}-R_{BW3}$) (%) — 抽头设置和温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 190 \mu\text{A}$)

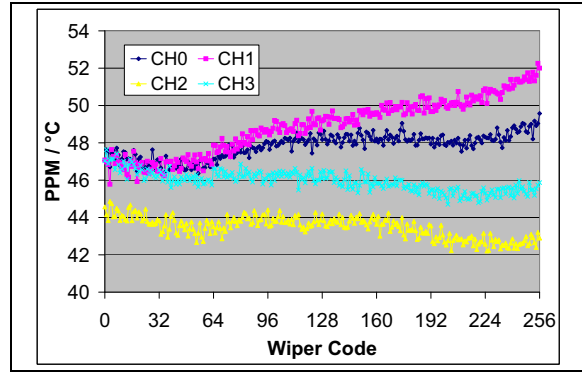


图 2-18: 5 kΩ: R_{WB} PPM/°C— 抽头设置关系曲线 ($(R_{BW}(\text{编码}=n, 125^\circ\text{C}) - R_{BW}(\text{编码}=n, -40^\circ\text{C})) / R_{BW}(\text{编码}=256, 25^\circ\text{C}) / 165^\circ\text{C} * 1,000,000$) ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 190 \mu\text{A}$)

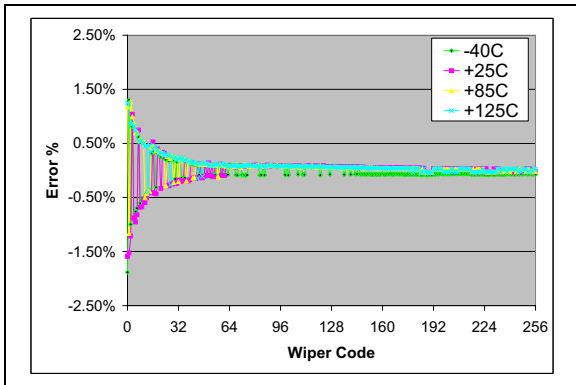


图 2-16: 5 kΩ: 相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 ($R_{BW0}-R_{BW3}$) (%) — 抽头设置和温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 190 \mu\text{A}$)

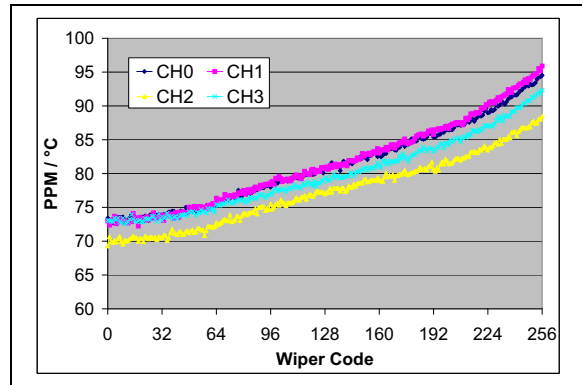
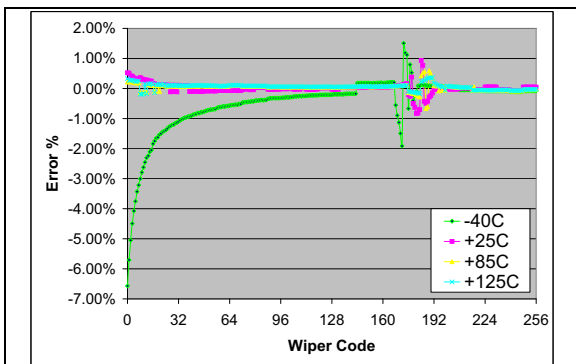
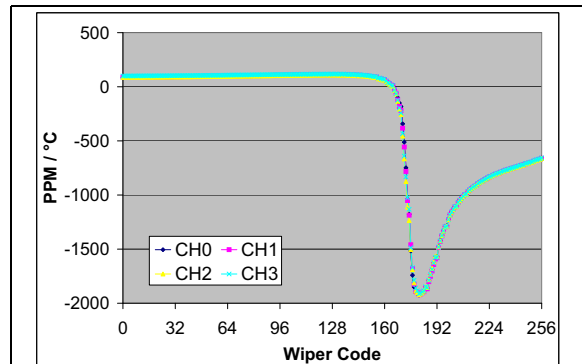


图 2-19: 5 kΩ: R_{WB} PPM/°C— 抽头设置关系曲线 ($(R_{BW}(\text{编码}=n, 125^\circ\text{C}) - R_{BW}(\text{编码}=n, -40^\circ\text{C})) / R_{BW}(\text{编码}=256, 25^\circ\text{C}) / 165^\circ\text{C} * 1,000,000$) ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 190 \mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B。

图 2-17: 5 kΩ: 相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 ($R_{BW0}-R_{BW3}$) (%) — 抽头设置和温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 190 \mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B。

图 2-20: 5 kΩ: R_{WB} PPM/°C— 抽头设置关系曲线 ($(R_{BW}(\text{编码}=n, 125^\circ\text{C}) - R_{BW}(\text{编码}=n, -40^\circ\text{C})) / R_{BW}(\text{编码}=256, 25^\circ\text{C}) / 165^\circ\text{C} * 1,000,000$) ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 190 \mu\text{A}$)

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$ ， $V_{DD} = 5\text{V}$ ， $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

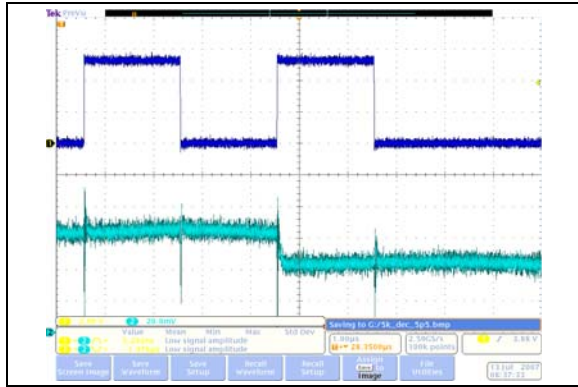


图 2-21: $5\text{ k}\Omega$: 低电压递减抽头稳定时间 ($1\ \mu\text{s}/\text{Div}$) 关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

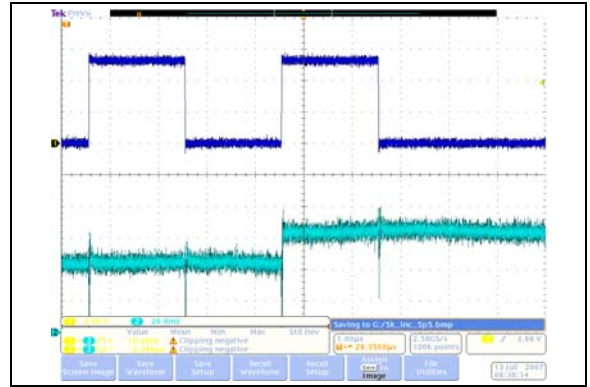


图 2-24: $5\text{ k}\Omega$: 低电压递增抽头稳定时间 ($1\ \mu\text{s}/\text{Div}$) 关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

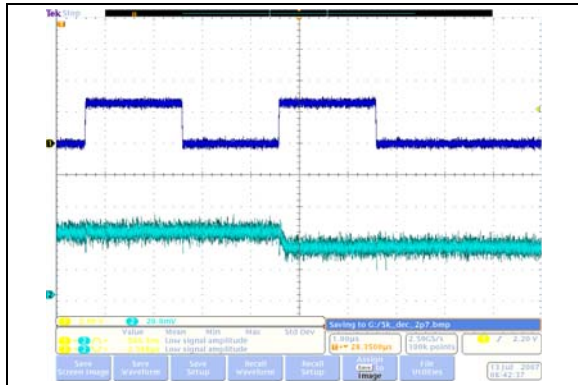


图 2-22: $5\text{ k}\Omega$: 低电压递减抽头稳定时间 ($1\ \mu\text{s}/\text{Div}$) 关系曲线 ($V_{DD} = 2.7\text{V}$)

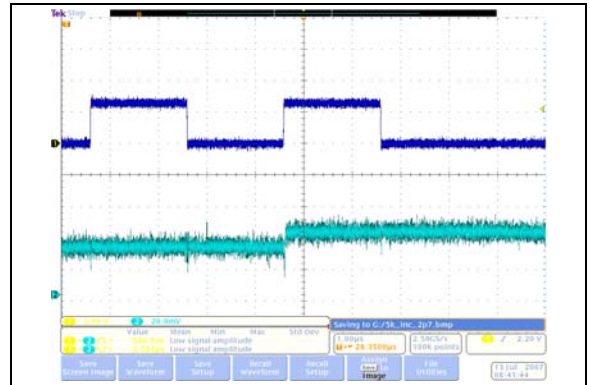


图 2-25: $5\text{ k}\Omega$: 低电压递增抽头稳定时间 ($1\ \mu\text{s}/\text{Div}$) 关系曲线 ($V_{DD} = 2.7\text{V}$)

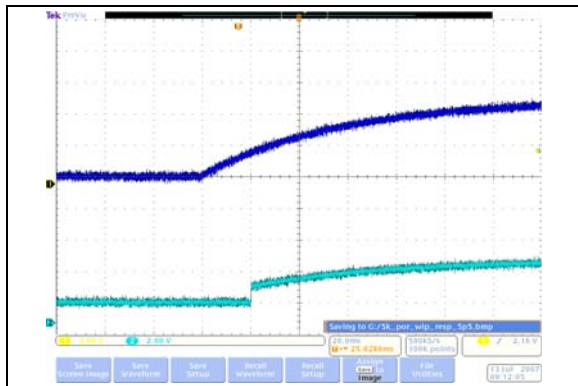


图 2-23: $5\text{ k}\Omega$: 上电时抽头响应时间 ($20\ \text{ms}/\text{Div}$) 关系曲线

MCP433X/435X

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

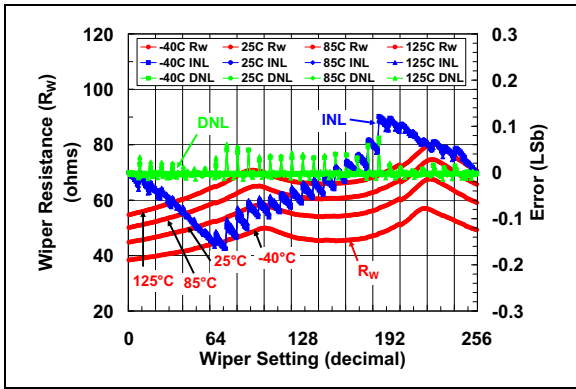


图2-26: 10 kΩ 电位计模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

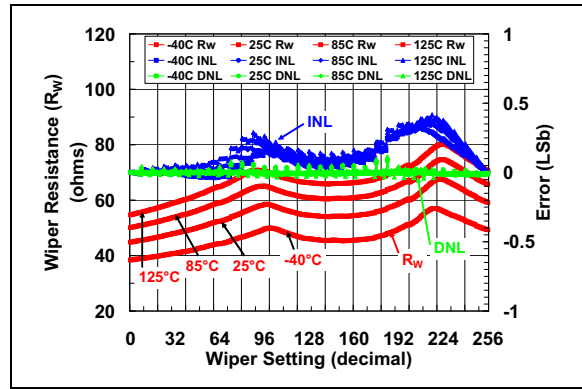


图2-29: 10 kΩ 变阻器模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 450\ \mu\text{A}$)

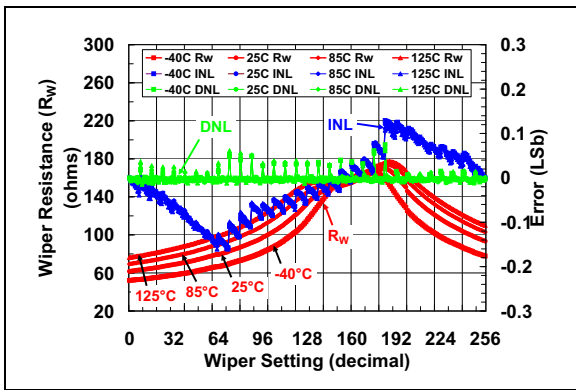


图2-27: 10 kΩ 电位计模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$)

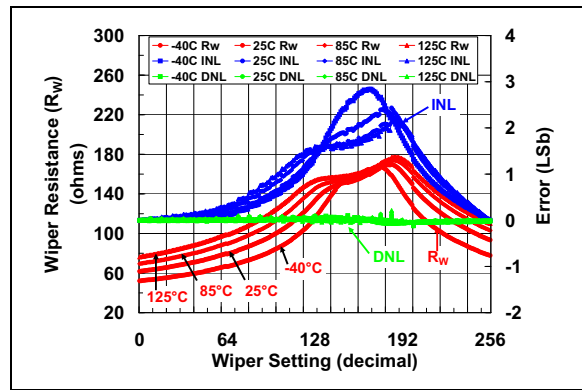
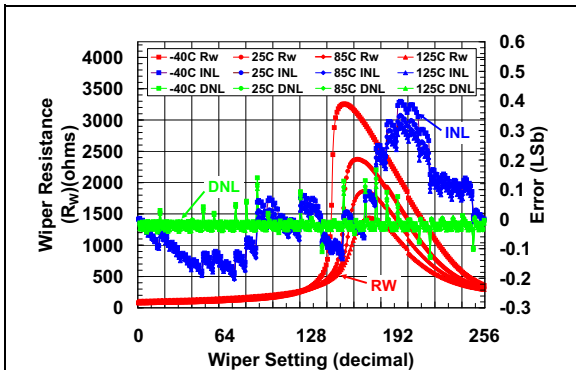
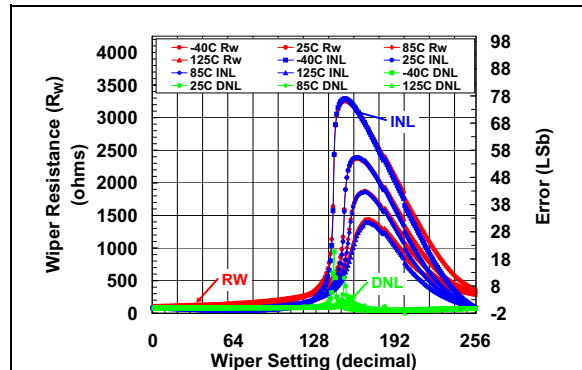


图2-30: 10 kΩ 变阻器模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 240\ \mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B。

图2-28: 10 kΩ 电位计模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B。

图2-31: 10 kΩ 变阻器模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 125\ \mu\text{A}$)

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$ ， $V_{DD} = 5\text{V}$ ， $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

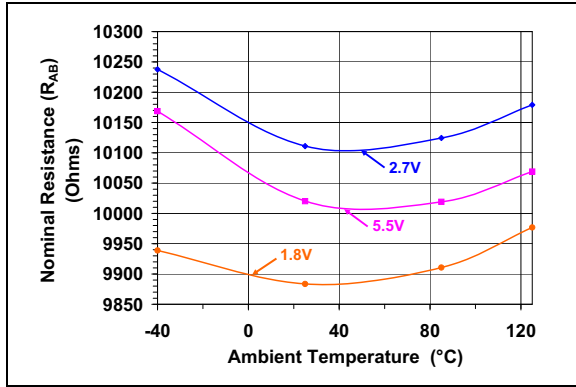


图 2-32: 10 kΩ: 标称电阻 (R_{AB}) (Ω) — 环境温度和 V_{DD} 关系曲线

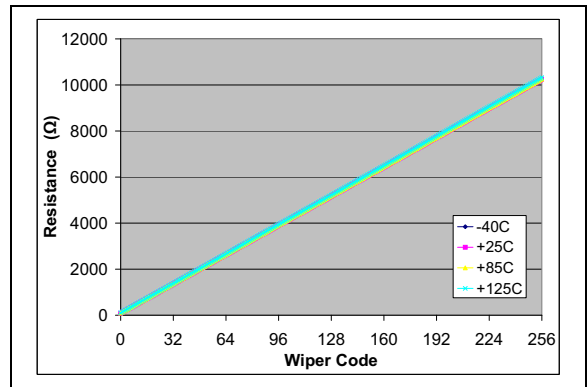


图 2-33: 10 kΩ: R_{WB} (Ω) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 150\ \mu\text{A}$)

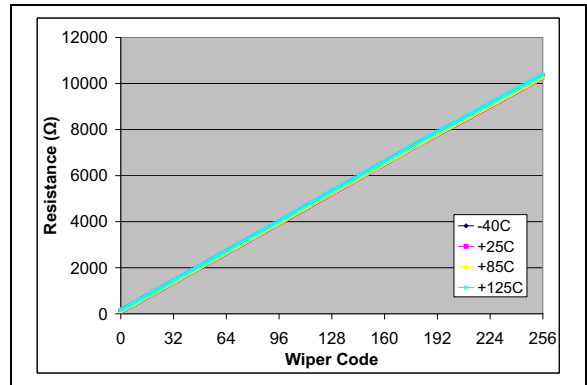
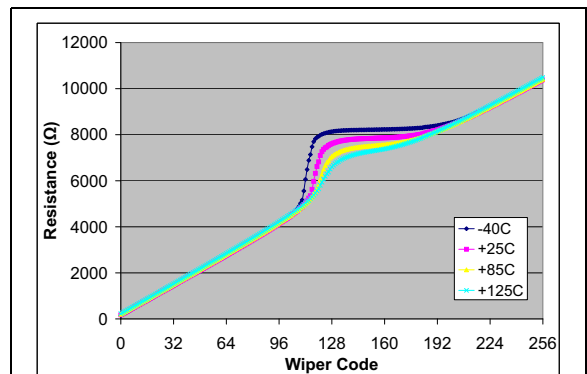


图 2-34: 10 kΩ: R_{WB} (Ω) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 150\ \mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B。

图 2-35: 10 kΩ: R_{WB} (Ω) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 150\ \mu\text{A}$)

MCP433X/435X

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

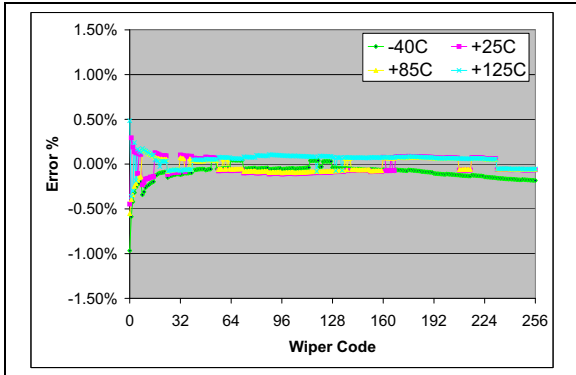


图 2-36: 10 kΩ: 相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 ($R_{BW0}-R_{BW3}$) (%) — 抽头设置和温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 150\ \mu\text{A}$)

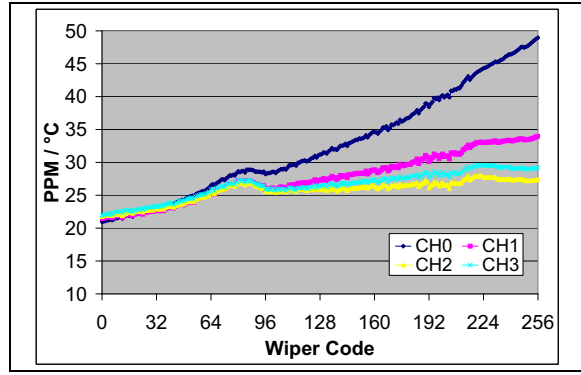


图 2-39: 10 kΩ: R_{WB} PPM/°C—抽头设置关系曲线 ($(R_{BW}(\text{编码}=n, 125^\circ\text{C}) - R_{BW}(\text{编码}=n, -40^\circ\text{C})) / R_{BW}(\text{编码}=256, 25^\circ\text{C}) / 165^\circ\text{C} * 1,000,000$) ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 150\ \mu\text{A}$)

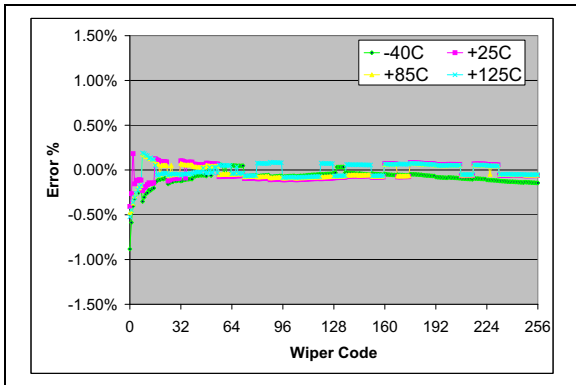


图 2-37: 10 kΩ: 相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 ($R_{BW0}-R_{BW3}$) (%) — 抽头设置和温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 150\ \mu\text{A}$)

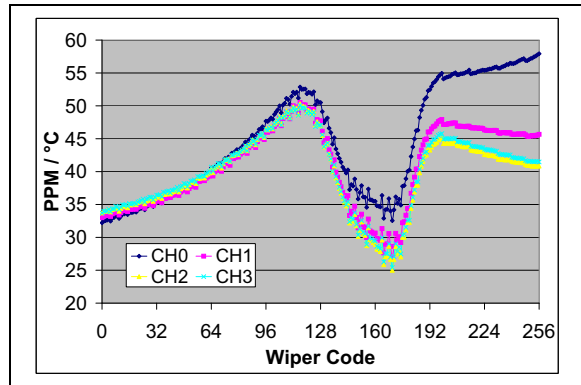
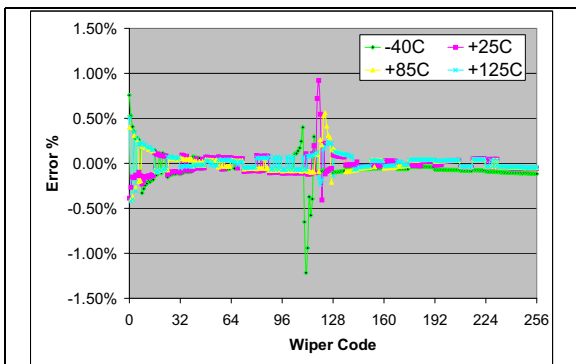
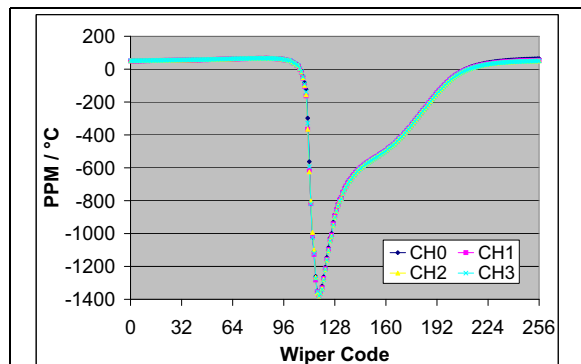


图 2-40: 10 kΩ: R_{WB} PPM/°C—抽头设置关系曲线 ($(R_{BW}(\text{编码}=n, 125^\circ\text{C}) - R_{BW}(\text{编码}=n, -40^\circ\text{C})) / R_{BW}(\text{编码}=256, 25^\circ\text{C}) / 165^\circ\text{C} * 1,000,000$) ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 150\ \mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B。

图 2-38: 10 kΩ: 相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 ($R_{BW0}-R_{BW3}$) (%) — 抽头设置和温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 150\ \mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B。

图 2-41: 10 kΩ: R_{WB} PPM/°C—抽头设置关系曲线 ($(R_{BW}(\text{编码}=n, 125^\circ\text{C}) - R_{BW}(\text{编码}=n, -40^\circ\text{C})) / R_{BW}(\text{编码}=256, 25^\circ\text{C}) / 165^\circ\text{C} * 1,000,000$) ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 150\ \mu\text{A}$)

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

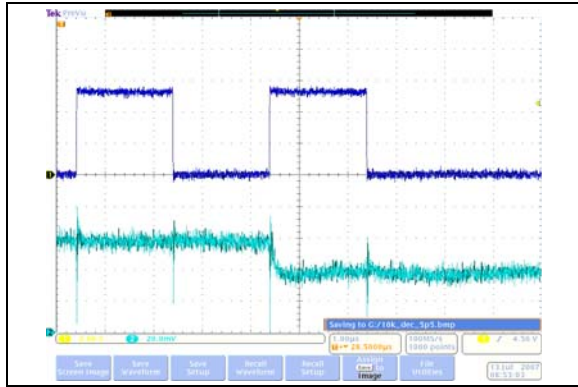


图 2-42: $10\text{ k}\Omega$: 低电压递减抽头稳定时间 ($1\ \mu\text{s}/\text{Div}$) 关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

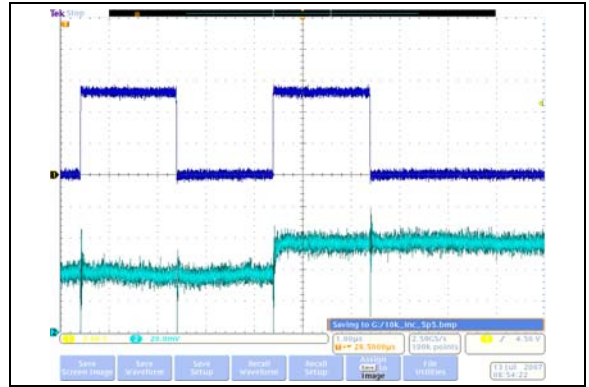


图 2-44: $10\text{ k}\Omega$: 低电压递增抽头稳定时间 ($1\ \mu\text{s}/\text{Div}$) 关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

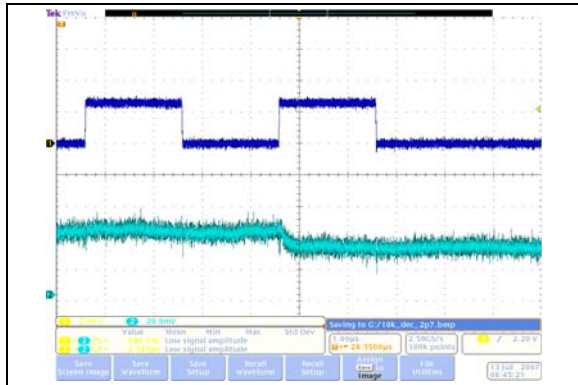


图 2-43: $10\text{ k}\Omega$: 低电压递减抽头稳定时间 ($1\ \mu\text{s}/\text{Div}$) 关系曲线 ($V_{DD} = 2.7\text{V}$)

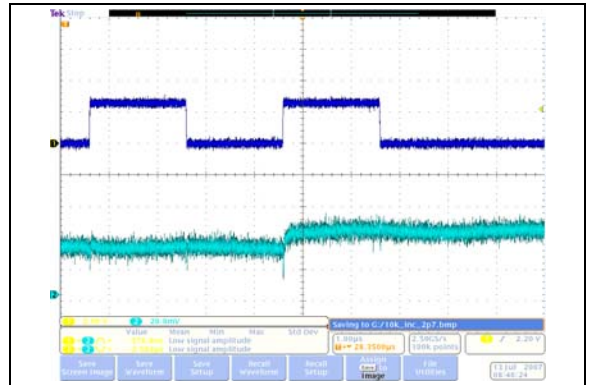


图 2-45: $10\text{ k}\Omega$: 低电压递增抽头稳定时间 ($1\ \mu\text{s}/\text{Div}$) 关系曲线 ($V_{DD} = 2.7\text{V}$)

MCP433X/435X

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

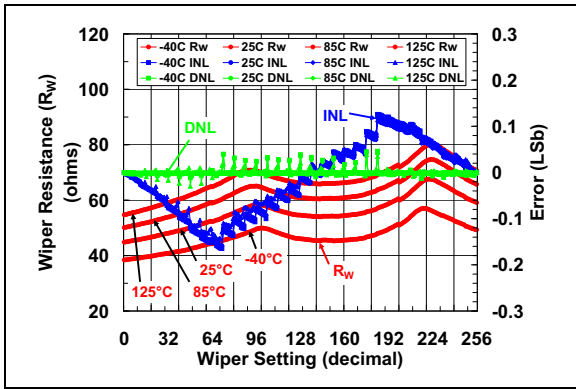


图2-46: 50 kΩ 电位计模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

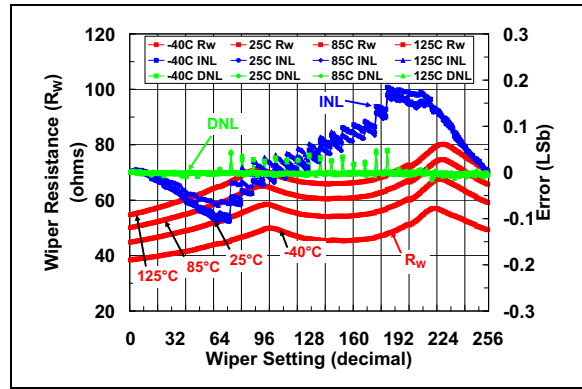


图2-49: 50 kΩ 变阻器模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 90\ \mu\text{A}$)

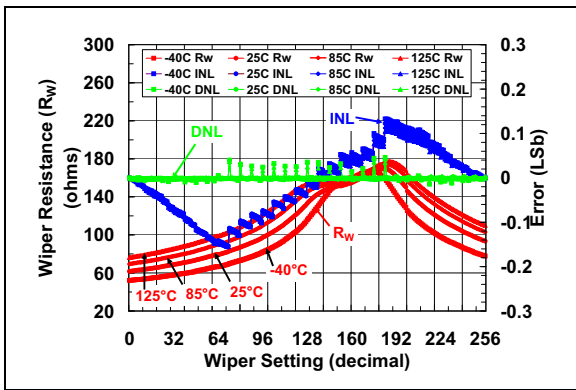


图2-47: 50 kΩ 电位计模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$)

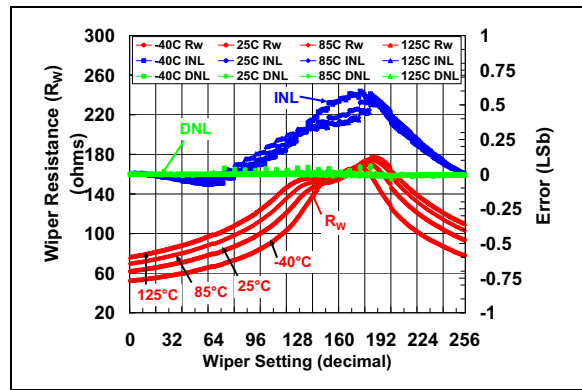


图2-50: 50 kΩ 变阻器模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 48\ \mu\text{A}$)

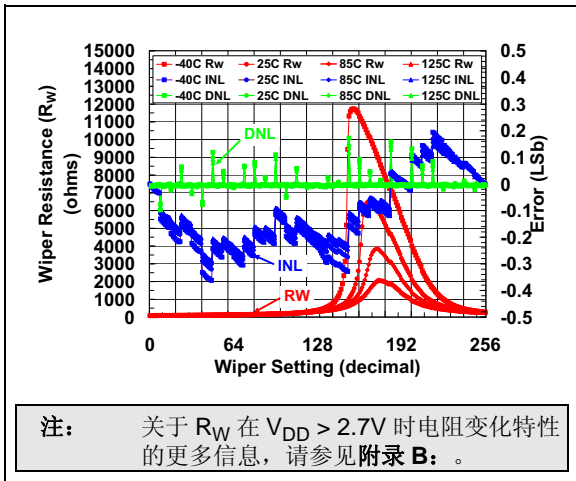


图2-48: 50 kΩ 电位计模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$)

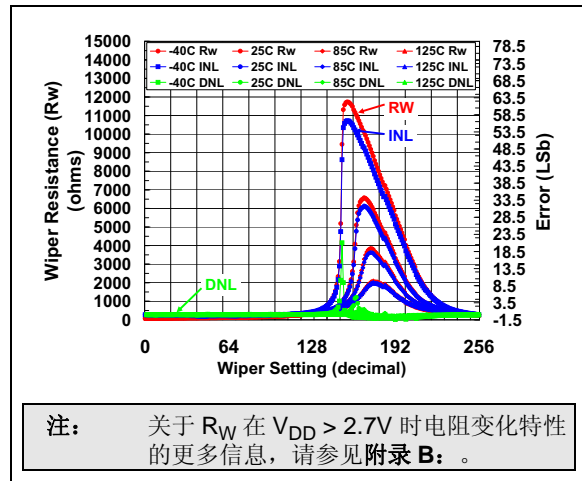


图2-51: 50 kΩ 变阻器模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 25\ \mu\text{A}$)

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

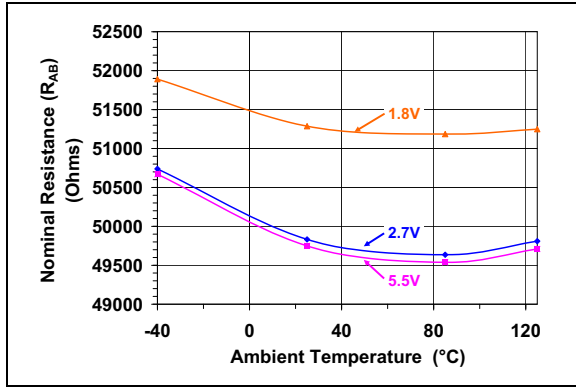


图 2-52: 50 kΩ: 标称电阻 (R_{AB}) (Ω) — 环境温度和 V_{DD} 关系曲线

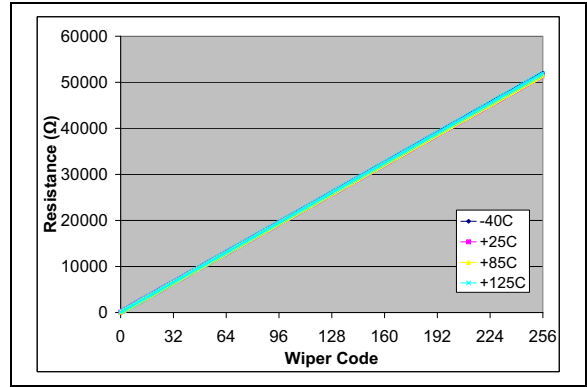


图 2-53: 50 kΩ: R_{WB} (Ω) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 90\ \mu\text{A}$)

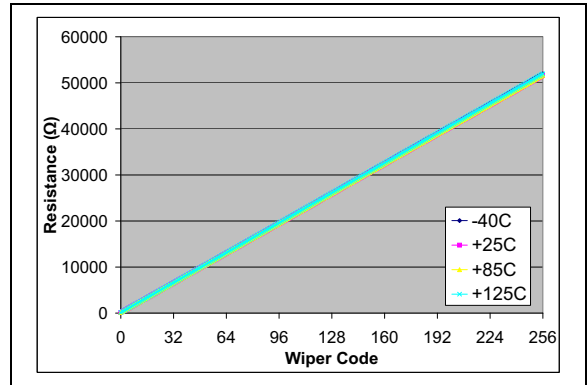
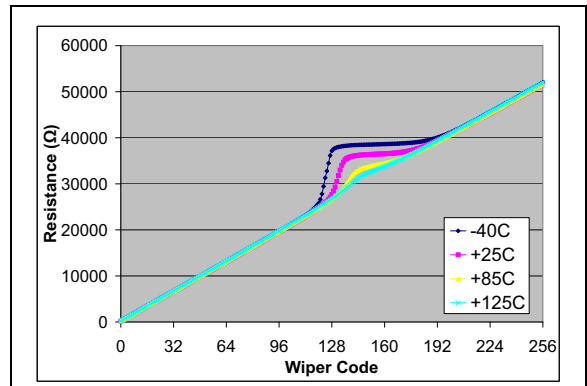


图 2-54: 50 kΩ: R_{WB} (Ω) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 48\ \mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B。

图 2-55: 50 kΩ: R_{WB} (Ω) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 30\ \mu\text{A}$)

MCP433X/435X

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

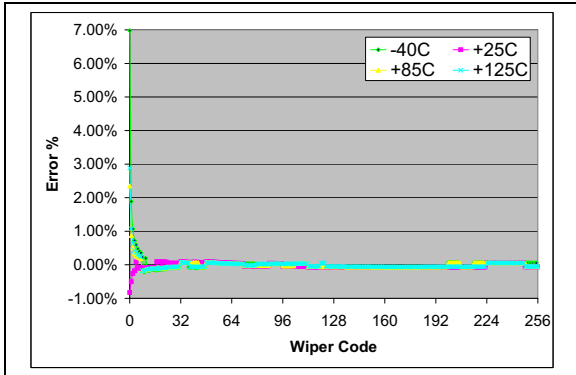


图 2-56: 50 kΩ: 相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 (R_{BW0} - R_{BW3}) (%) — 抽头设置和温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 90 \mu\text{A}$)

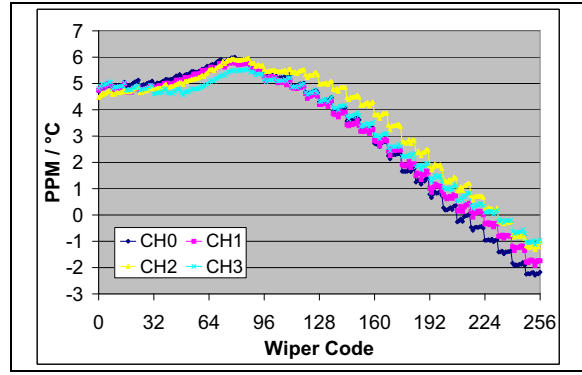


图 2-59: 50 kΩ: R_{WB} PPM/°C— 抽头设置关系曲线 ($(R_{BW}(\text{编码}=n, 125^\circ\text{C}) - R_{BW}(\text{编码}=n, -40^\circ\text{C})) / R_{BW}(\text{编码}=256, 25^\circ\text{C}) / 165^\circ\text{C} * 1,000,000$) ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 90 \mu\text{A}$)

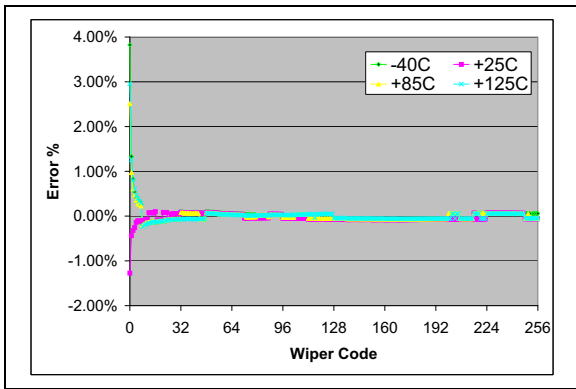


图 2-57: 50 kΩ: 相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 (R_{BW0} - R_{BW3}) (%) — 抽头设置和温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 48 \mu\text{A}$)

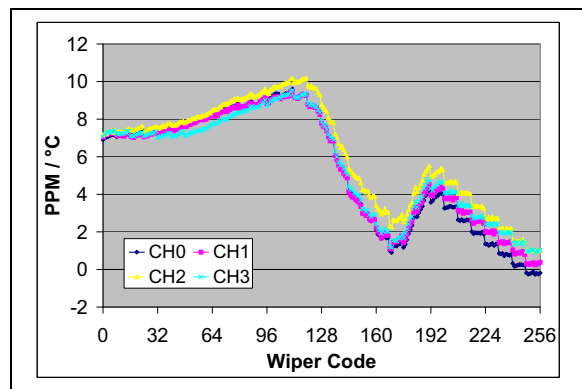
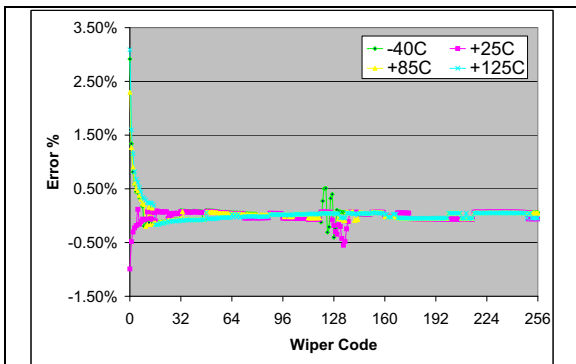
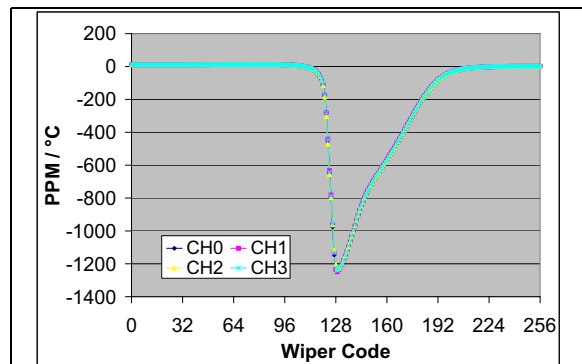


图 2-60: 50 kΩ: R_{WB} PPM/°C— 抽头设置关系曲线 ($(R_{BW}(\text{编码}=n, 125^\circ\text{C}) - R_{BW}(\text{编码}=n, -40^\circ\text{C})) / R_{BW}(\text{编码}=256, 25^\circ\text{C}) / 165^\circ\text{C} * 1,000,000$) ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 48 \mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B。

图 2-58: 50 kΩ: 相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 (R_{BW0} - R_{BW3}) (%) — 抽头设置和温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 30 \mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B。

图 2-61: 50 kΩ: R_{WB} PPM/°C— 抽头设置关系曲线 ($(R_{BW}(\text{编码}=n, 125^\circ\text{C}) - R_{BW}(\text{编码}=n, -40^\circ\text{C})) / R_{BW}(\text{编码}=256, 25^\circ\text{C}) / 165^\circ\text{C} * 1,000,000$) ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 30 \mu\text{A}$)

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$ ， $V_{DD} = 5\text{V}$ ， $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

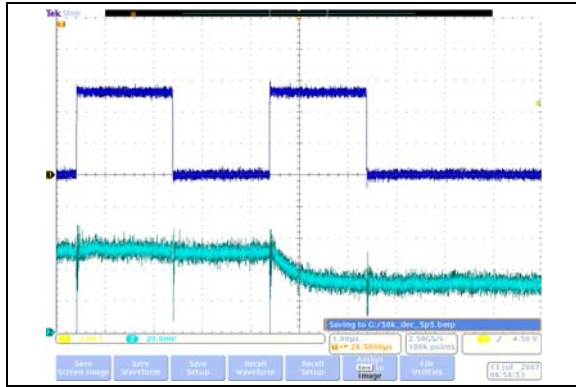


图 2-62: $50\text{ k}\Omega$: 低电压递减抽头稳定时间 ($1\ \mu\text{s}/\text{Div}$) 关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

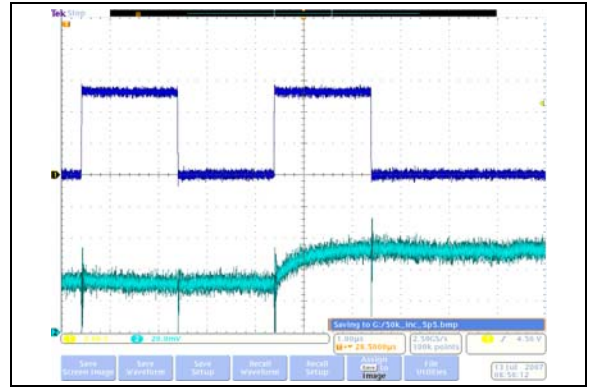


图 2-64: $50\text{ k}\Omega$: 低电压递增抽头稳定时间 ($1\ \mu\text{s}/\text{Div}$) 关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

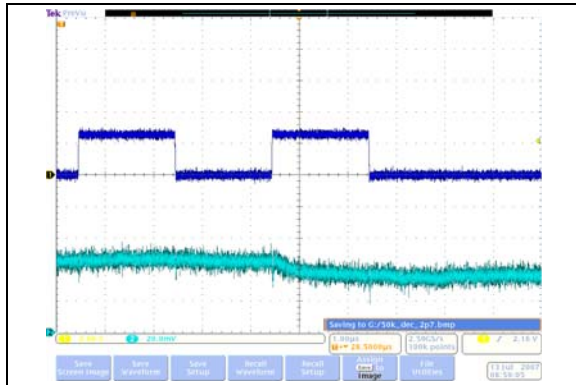


图 2-63: $50\text{ k}\Omega$: 低电压递减抽头稳定时间 ($1\ \mu\text{s}/\text{Div}$) 关系曲线 ($V_{DD} = 2.7\text{V}$)

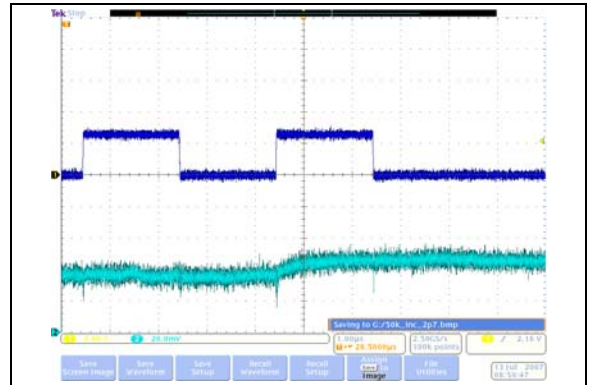


图 2-65: $50\text{ k}\Omega$: 低电压递增抽头稳定时间 ($1\ \mu\text{s}/\text{Div}$) 关系曲线 ($V_{DD} = 2.7\text{V}$)

MCP433X/435X

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

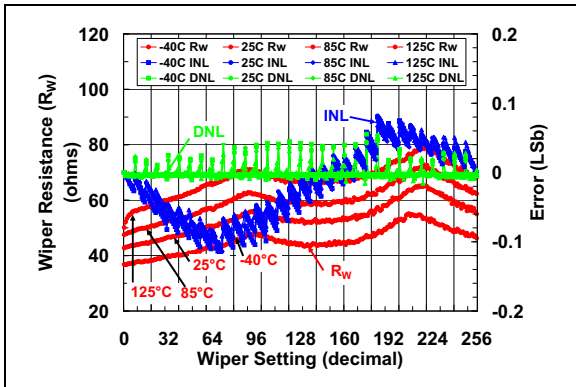


图2-66: 100 kΩ 电位计模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

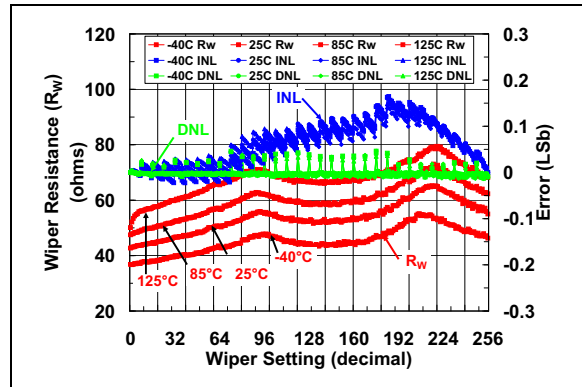


图2-69: 100 kΩ 变阻器模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 45\ \mu\text{A}$)

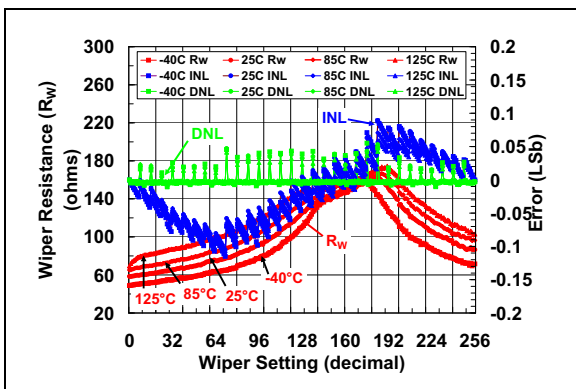


图2-67: 100 kΩ 电位计模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$)

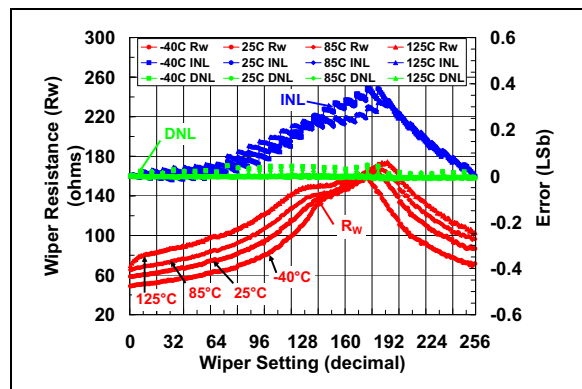


图2-70: 100 kΩ 变阻器模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 24\ \mu\text{A}$)

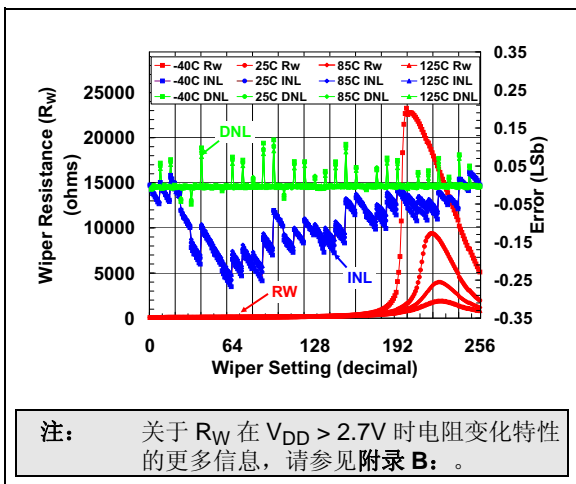


图2-68: 100 kΩ 电位计模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$)

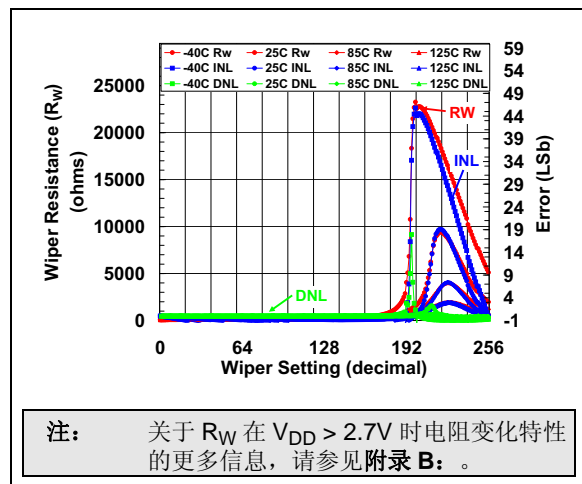


图2-71: 100 kΩ 变阻器模式: R_W (Ω)、INL (LSb)、DNL (LSb) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 10\ \mu\text{A}$)

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

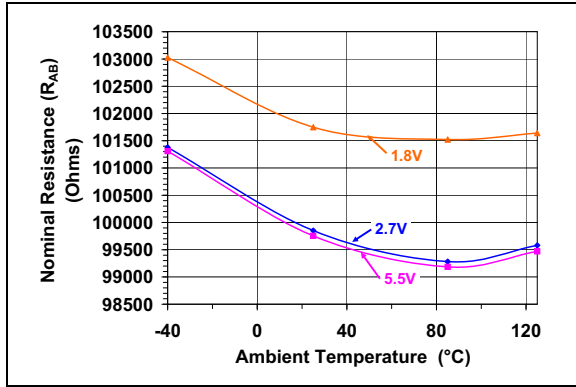


图 2-72: 100 kΩ: 标称电阻 (R_{AB}) (Ω) — 环境温度和 V_{DD} 关系曲线

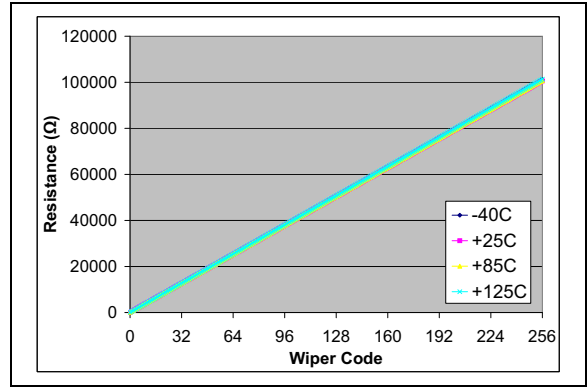


图 2-73: 100 kΩ: R_{WB} (Ω) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 45\mu\text{A}$)

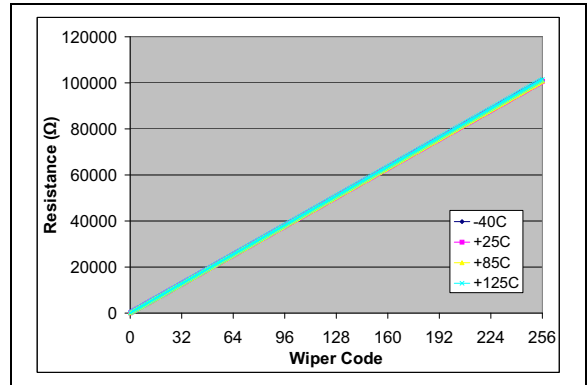
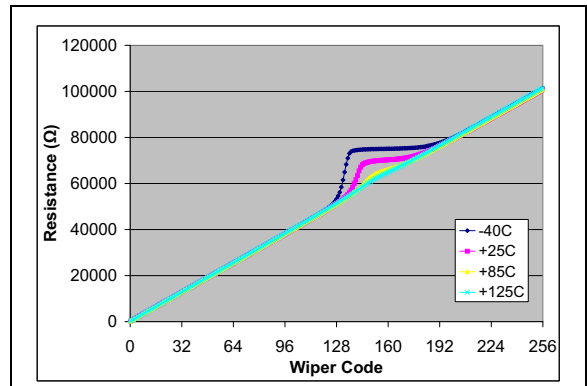


图 2-74: 100 kΩ: R_{WB} (Ω) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 24\mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B。

图 2-75: 100 kΩ: R_{WB} (Ω) — 抽头设置和环境温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 15\mu\text{A}$)

MCP433X/435X

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

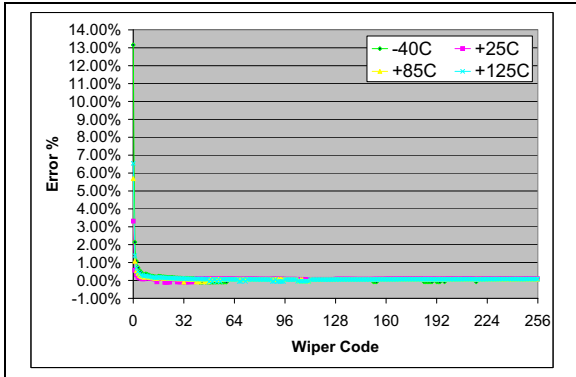


图 2-76: 100 kΩ: 相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 ($R_{BW0}-R_{BW3}$) (%) — 抽头设置和温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 45 \mu\text{A}$)

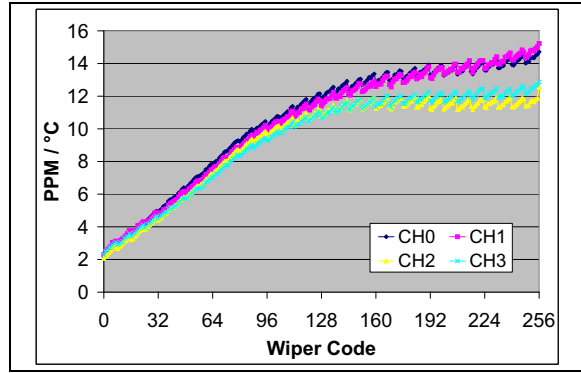


图 2-79: 100 kΩ: R_{WB} PPM/°C— 抽头设置关系曲线 ($(R_{BW}(\text{编码}=n, 125^\circ\text{C}) - R_{BW}(\text{编码}=n, -40^\circ\text{C})) / R_{BW}(\text{编码}=256, 25^\circ\text{C}) / 165^\circ\text{C} * 1,000,000$) ($V_{DD} = 5.5\text{V}$, $I_W = 45 \mu\text{A}$)

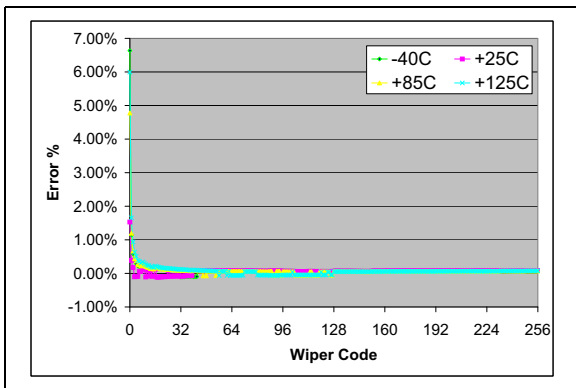


图 2-77: 100 kΩ: 相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 ($R_{BW0}-R_{BW3}$) (%) — 抽头设置和温度关系曲线 ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 24 \mu\text{A}$)

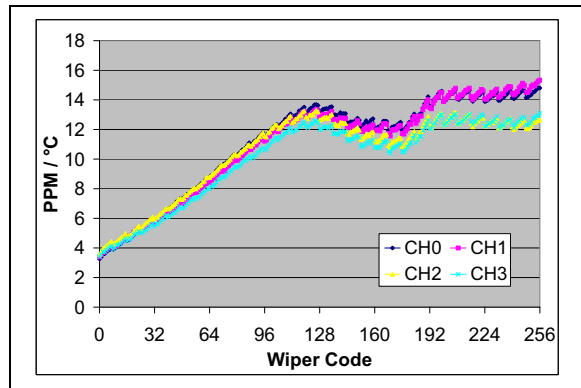
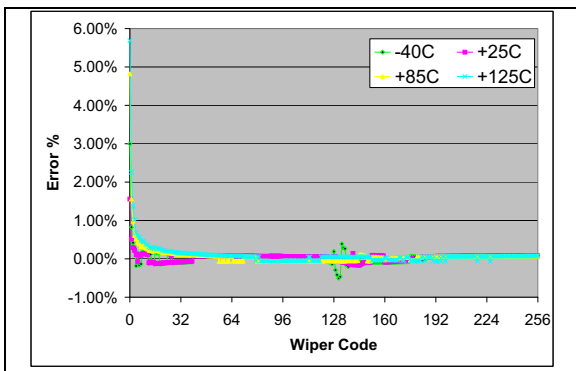
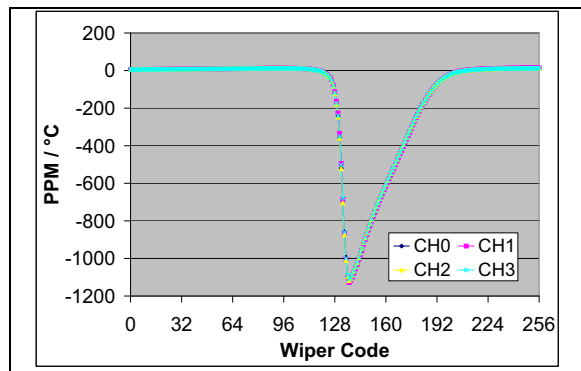


图 2-80: 100 kΩ: R_{WB} PPM/°C— 抽头设置关系曲线 ($(R_{BW}(\text{编码}=n, 125^\circ\text{C}) - R_{BW}(\text{编码}=n, -40^\circ\text{C})) / R_{BW}(\text{编码}=256, 25^\circ\text{C}) / 165^\circ\text{C} * 1,000,000$) ($V_{DD} = 3.0\text{V}$, $I_W = 24 \mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B:。

图 2-78: 100 kΩ: 相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 ($R_{BW0}-R_{BW3}$) (%) — 抽头设置和温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 15 \mu\text{A}$)



注：关于 R_W 在 $V_{DD} > 2.7\text{V}$ 时电阻变化特性的更多信息，请参见附录 B:。

图 2-81: 100 kΩ: R_{WB} PPM/°C— 抽头设置关系曲线 ($(R_{BW}(\text{编码}=n, 125^\circ\text{C}) - R_{BW}(\text{编码}=n, -40^\circ\text{C})) / R_{BW}(\text{编码}=256, 25^\circ\text{C}) / 165^\circ\text{C} * 1,000,000$) ($V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_W = 15 \mu\text{A}$)

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$ ， $V_{DD} = 5\text{V}$ ， $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

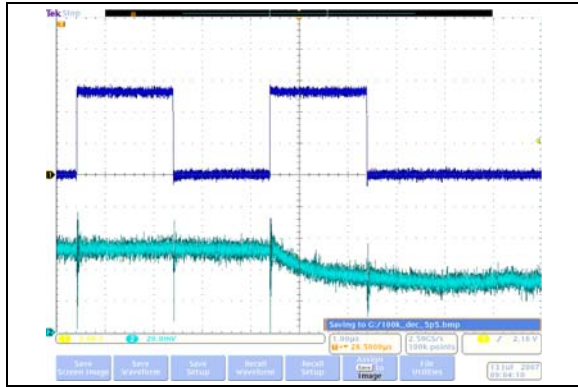


图 2-82: 100 kΩ: 低电压递减抽头稳定时间 (1 μs/Div) 关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

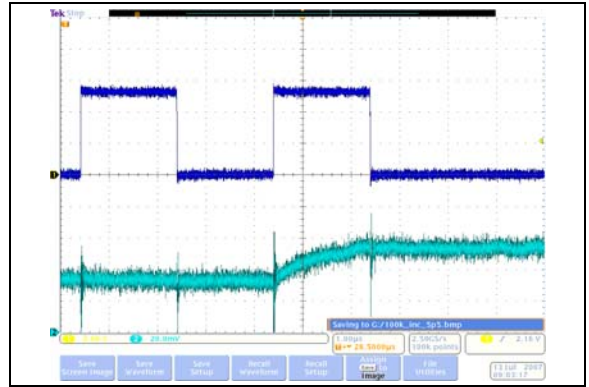


图 2-84: 100 kΩ: 低电压递增抽头稳定时间 (1 μs/Div) 关系曲线 ($V_{DD} = 5.5\text{V}$)

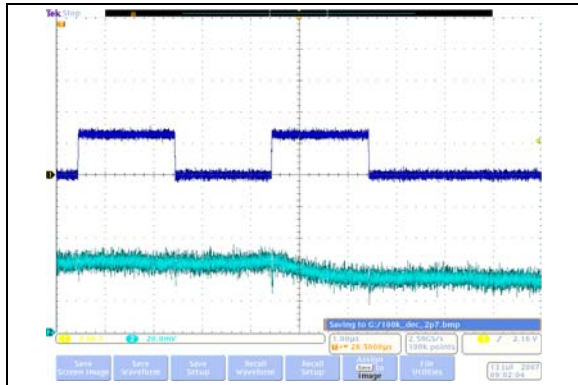


图 2-83: 100 kΩ: 低电压递减抽头稳定时间 (1 μs/Div) 关系曲线 ($V_{DD} = 2.7\text{V}$)

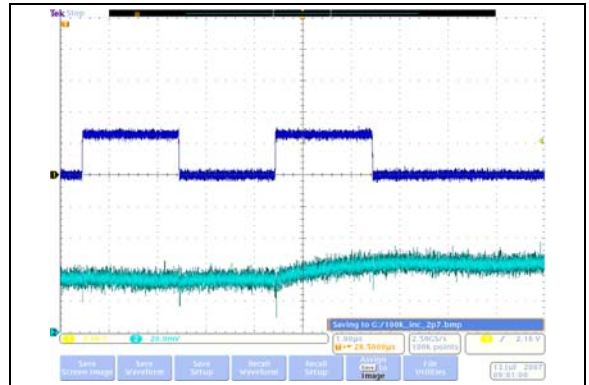


图 2-85: 100 kΩ: 低电压递增抽头稳定时间 (1 μs/Div) 关系曲线 ($V_{DD} = 2.7\text{V}$)

MCP433X/435X

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$ ， $V_{DD} = 5\text{V}$ ， $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

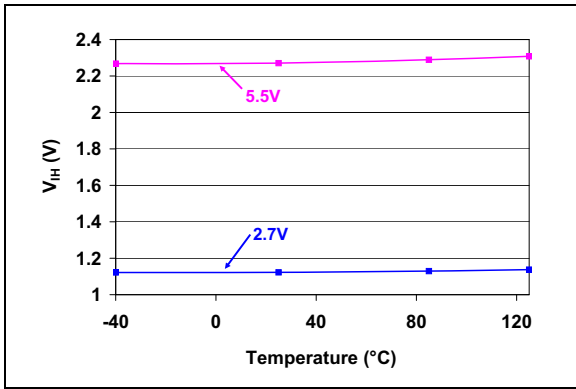


图 2-86: V_{IH} (SDI、SCK、 $\overline{\text{CS}}$ 和 RESET) — V_{DD} 和温度关系曲线

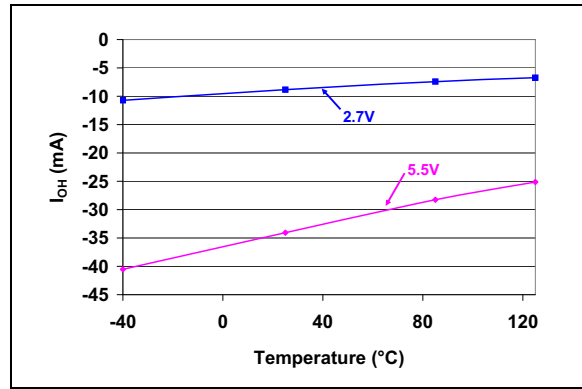


图 2-88: I_{OH} (SDO) — V_{DD} 和温度关系曲线

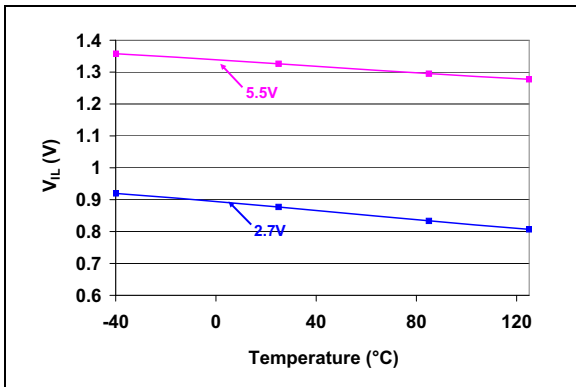


图 2-87: V_{IL} (SDI、SCK、 $\overline{\text{CS}}$ 和 RESET) — V_{DD} 和温度关系曲线

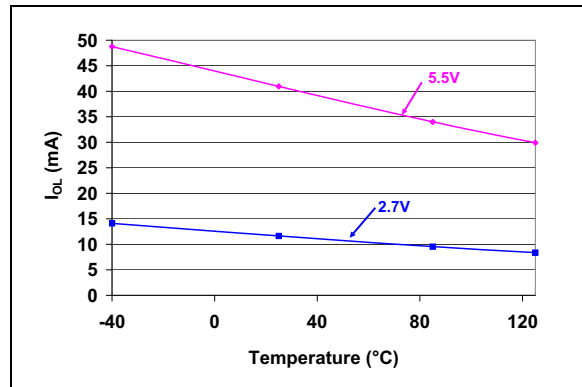


图 2-89: I_{OL} (SDO) — V_{DD} 和温度关系曲线

注：除非另外说明，否则 $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ 。

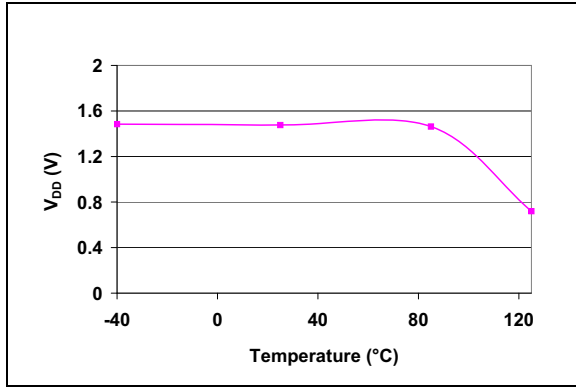


图 2-90: POR/BOR 跳变点 — V_{DD} 和温度关系曲线

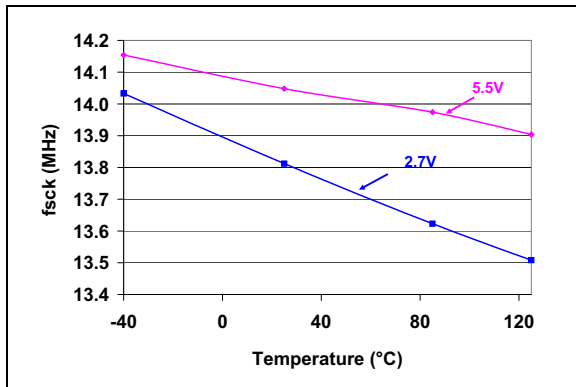


图 2-91: SCK 输入频率 — 电压和温度关系曲线

2.1 测试电路

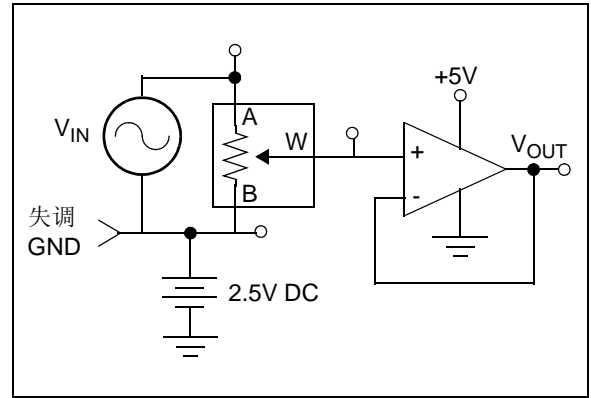


图 2-92: -3 db 增益 — 频率测量

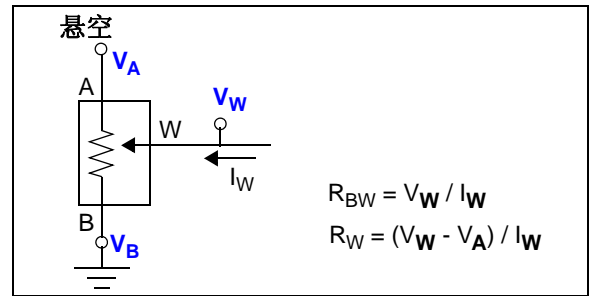


图 2-93: R_{BW} 和 R_W 测量

MCP433X/435X

注:

3.0 引脚说明

表 3-1 列出了引脚说明。其后还附有更多的器件引脚说明。

表 3-1: MCP433X/435X 的引脚说明

引脚			符号	I/O	缓冲器类型	弱上拉 / 下拉 (注 1)	标准功能
TSSOP		QFN					
14引脚	20引脚	20引脚					
—	1	19	P3A	A	模拟	无	电位计 3 接线端 A
1	2	20	P3W	A	模拟	无	电位计 3 抽头端
2	3	1	P3B	A	模拟	无	电位计 3 接线端 B
3	4	2	$\overline{\text{CS}}$	I	HV (带ST)	“智能”	SPI 片选输入
4	5	3	SCK	I	HV (带ST)	“智能”	SPI 时钟输入
5	6	4	SDI	I	HV (带ST)	“智能”	SPI 串行数据输入
6	7	5	V _{SS}	—	P	—	地
7	8	6	P1B	A	模拟	无	电位计 1 接线端 B
8	9	7	P1W	A	模拟	无	电位计 1 抽头端
—	10	8	P1A	A	模拟	无	电位计 1 接线端 A
—	11	9	P0A	A	模拟	无	电位计 0 接线端 A
9	12	10	P0W	A	模拟	无	电位计 0 抽头端
10	13	11	P0B	A	模拟	无	电位计 0 接线端 B
—	14	12	NC	I	I	—	无连接
—	15	13	$\overline{\text{RESET}}$	I	HV (带ST)	有	硬件复位引脚
11	16	14	SDO	O	O	无	SPI 串行数据输出
12	17	15	V _{DD}	—	P	—	正电源输入
13	18	16	P2B	A	模拟	无	电位计 2 接线端 B
14	19	17	P2W	A	模拟	无	电位计 2 抽头端
—	20	18	P2A	A	模拟	无	电位计 2 接线端 A
—	—	21	EP	—	—	—	裸露焊盘 (注 2)

图注: HV (带 ST) = 可承受高电压的输入 (带施密特触发器输入)
 A = 模拟引脚 (电位计接线端) I = 数字输入 (高阻态)
 O = 数字输出 I/O = 输入 / 输出
 P = 电源

- 注 1:** 当引脚被强制为低电平时, 引脚的“智能”上拉功能会关闭。这么做是为了降低待机和关断电流。
注 2: QFN 封装在封装底部有一个触点。该触点导电连接到裸片基板, 因此应当断开连接, 或连接到与器件 V_{SS} 引脚相同的地。

MCP433X/435X

3.1 片选 ($\overline{\text{CS}}$)

$\overline{\text{CS}}$ 引脚是串行接口的片选输入。将 $\overline{\text{CS}}$ 引脚强制为 V_{IL} 可以使能串行命令。将 $\overline{\text{CS}}$ 引脚强制为 V_{IHH} 可以使能高压串行命令。

3.2 串行时钟 (SCK)

SCK 引脚是串行接口的串行时钟引脚。该引脚连接到主控制器的 SCK 引脚。MCP43XX 是 SPI 从器件，所以它的 SCK 引脚是仅输入引脚。

3.3 串行数据输入 (SDI)

SDI 引脚是串行接口的串行数据输入引脚。该引脚连接到主控制器的 SDO 引脚。

3.4 接地 (V_{SS})

V_{SS} 引脚是器件参考地。

3.5 电位计接线端 B

接线端 B 引脚连接到内部电位计的接线端 B。

电位计的接线端 B 固定连接到数字电位计的零量程抽头值。对于 7 位和 8 位器件，这对应于抽头值 0x00。

接线端 B 引脚的极性与接线端 W 或 A 引脚无关。接线端 B 引脚可以支持正电流和负电流。接线端 B 上的电压必须介于 V_{SS} 和 V_{DD} 之间。

MCP43XX 器件有 4 个接线端 B 引脚，每个电阻网络对应一个接线端 B 引脚。

3.6 电位计抽头 (W) 端

接线端 W 引脚连接到内部电位计的接线端 W (抽头)。抽头端是数字电位计的可调接线端。接线端 W 引脚的极性与接线端 A 或 B 引脚无关。接线端 W 引脚可以支持正电流和负电流。接线端 W 上的电压必须介于 V_{SS} 和 V_{DD} 之间。

MCP43XX 器件有 4 个接线端 W 引脚，每个电阻网络对应一个接线端 W 引脚。

3.7 电位计接线端 A

MCP43X1 器件提供接线端 A 引脚，该引脚连接到内部电位计的接线端 A。

电位计的接线端 A 固定连接到数字电位计的满量程抽头值。对于 8 位器件，这对应于抽头值 0x100；对于 7 位器件，这对应于 0x80。

接线端 A 引脚的极性与接线端 W 或 B 引脚无关。接线端 A 引脚可以支持正电流和负电流。接线端 A 上的电压必须介于 V_{SS} 和 V_{DD} 之间。

MCP43X2 器件不提供接线端 A 引脚，内部接线端 A 信号悬空。

MCP43X1 器件有 4 个接线端 A 引脚，每个电阻网络对应一个接线端 A 引脚。

3.8 无连接 (NC)

不使用 NC 引脚。

3.9 复位 ($\overline{\text{RESET}}$)

$\overline{\text{RESET}}$ 引脚用于强制器件进入 POR/BOR 状态。

3.10 串行数据输出 (SDO)

SDO 引脚是串行接口的串行数据输出引脚。该引脚连接到主控制器的 SDI 引脚。

通过该引脚，主控制器可以读取数字电位计寄存器，或者监视命令错误位的状态。

3.11 正电源输入 (V_{DD})

V_{DD} 引脚是器件的正电源输入。输入电源是相对于 V_{SS} 的。

当器件 V_{DD} 小于 V_{min} (2.7V) 时，器件的电气性能可能达不到数据手册中的规范。

3.12 裸露焊盘 (EP)

该焊盘导电连接到器件的基板。该焊盘应当连接到与 V_{SS} 引脚相同的电势 (或断开连接)。在与 PCB 散热器连接时，该焊盘可用于协助器件散热。

4.0 功能概述

本数据手册介绍包含 4 个易失性数字电位计和变阻器器件的器件系列，称为 MCP43XX。MCP43X1 器件是电位计配置，而 MCP43X2 器件是变阻器配置。

如**器件框图**所示，有 4 个主要功能模块。这些功能模块是：

- **POR/BOR 和复位操作**
- **存储器映射**
- **电阻网络**
- **串行接口 (SPI)**

本节讨论 POR/BOR 操作和存储器映射，电阻网络和 SPI 操作将在它们各自的小节中描述。第 7.0 节中讨论了**器件命令**。

4.1 POR/BOR 和复位操作

当器件的 V_{SS} 施加电源时，发生上电复位。当对器件供电时，如果电源（电压）降低到低于规定范围，会发生欠压复位。

器件 RAM 保持电压 (V_{RAM}) 低于 POR/BOR 电压跳变点 (V_{POR}/V_{BOR})。最大 V_{POR}/V_{BOR} 电压低于 1.8V。

当 $V_{POR}/V_{BOR} < V_{DD} < 2.7V$ 时，模拟电气性能可能无法满足数据手册中的规范。在该区域中，如果执行了正确的串行命令，器件可以递增、递减、读和写它的易失性存储器。

当 $V_{DD} < V_{POR}/V_{BOR}$ 或 \overline{RESET} 引脚为低电平时，使能引脚弱上拉功能。

4.1.1 上电复位

器件上电时，器件 V_{DD} 将上升到高于 V_{POR}/V_{BOR} 电压。当 V_{DD} 电压高于 V_{POR}/V_{BOR} 电压后，会发生以下情况：

- 易失性抽头寄存器中装入默认值
- TCON 寄存器中装入它们的默认值
- 器件能够进行数字操作

4.1.2 欠压复位

器件关闭电源时，器件 V_{DD} 将下降到低于 V_{POR}/V_{BOR} 电压。

当 V_{DD} 电压降低到低于 V_{POR}/V_{BOR} 电压后，会发生以下情况：

- 串行接口被禁止

如果 V_{DD} 电压降低到低于 V_{RAM} 电压，会发生以下情况：

- 易失性抽头寄存器的内容可能被破坏
- TCON 寄存器的内容可能被破坏

在电压恢复到高于 V_{POR}/V_{BOR} 电压时，操作与上电复位时相同（见第 4.1.1 节“上电复位”）。

串行命令由于欠压条件而未能完成时，可能导致存储单元的内容被破坏。

4.1.3 \overline{RESET} 引脚

\overline{RESET} 引脚可用于强制器件进入其 POR/BOR 状态。将 \overline{RESET} 引脚强制为低电平时，可以强制器件进入复位状态。这意味着 TCON 寄存器会被强制设为它们的默认值，而易失性抽头寄存器中会装入默认值。此外，SPI 接口会被禁止。

通过该功能，可以使用硬件方法将所有寄存器同时更新为默认值。

4.1.4 \overline{RESET} 引脚和 BOR/POR 电路的交互

图 4-1 给出了 \overline{RESET} 引脚信号和 POR/BOR 信号如何进行交互，从而控制器件硬件复位状态的图示。

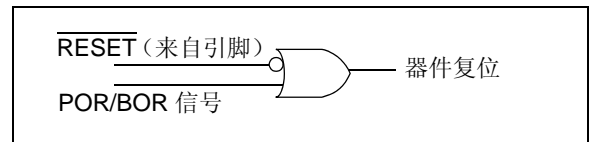


图 4-1: POR/BOR 信号和 \overline{RESET} 引脚交互

MCP433X/435X

4.2 存储器映射

器件存储器支持 16 个存储单元，宽度为 9 位（16x9 位）。该存储空间只包含易失性存储单元（见表 4-2）。

4.2.1 易失性存储器（RAM）

有 6 个易失性存储单元。这些存储单元是：

- 易失性抽头 0
- 易失性抽头 1
- 易失性抽头 2
- 易失性抽头 3
- 端控制（TCON0）寄存器 0
- 端控制（TCON1）寄存器 1

易失性存储器在 RAM 保持电压（ V_{RAM} ）下开始工作。POR/BOR 抽头编码如表 4-1 中所示。

表 4-1: 标准设置

电阻编码	典型 R_{AB} 值	默认 POR 抽头设置	抽头编码	
			8 位	7 位
-502	5.0 k Ω	中间量程	80h	40h
-103	10.0 k Ω	中间量程	80h	40h
-503	50.0 k Ω	中间量程	80h	40h
-104	100.0 k Ω	中间量程	80h	40h

表 4-2: 存储器映射和受支持的命令

地址	功能	存储器类型	允许的命令	不允许的命令 ⁽¹⁾	出厂初始化	
					7 位	8 位
00h	易失性抽头 0	RAM	读、写、递增和递减	—	7 位	040h
					8 位	080h
01h	易失性抽头 1	RAM	读、写、递增和递减	—	7 位	040h
					8 位	080h
02h	保留	—	无	全部	—	
03h	保留	—	无	全部	—	
04h	易失性 TCON0 寄存器	RAM	读和写	递增和递减	1FFh	
05h	保留	—	无	全部	—	
06h	易失性抽头 2	RAM	读、写、递增和递减	—	7 位	040h
					8 位	080h
07h	易失性抽头 3	RAM	读、写、递增和递减	—	7 位	040h
					8 位	080h
08h	保留	—	无	全部	—	
09h	保留	—	无	全部	—	
0Ah	易失性 TCON1 寄存器	RAM	读和写	递增和递减	1FFh	
0Bh-0Fh	保留	—	无	全部	—	

注 1: 对该地址执行相应命令会产生错误条件。要退出错误条件，用户必须将 CS 引脚置为 V_{IH} 电平，然后再恢复为有效状态（ V_{IL} 或 V_{IHH} ）。

4.2.1.1 端控制 (TCON) 寄存器

有两个端控制 (TCON) 寄存器。它们称为 TCON0 和 TCON1。每个寄存器包含 8 个控制位。每个抽头对应 4 个位。寄存器 4-1 描述了 TCON0 寄存器的每个位，而寄存器 4-2 描述了 TCON1 寄存器的每个位。

每个电阻网络接线端连接的状态可以单独控制。即，每个接线端 (A、B 和 W) 可以单独与电阻网络连接 / 断开。

这使系统可以最大程度降低通过数字电位计的电流。

当串行命令完成时，写入指定 TCON 寄存器的值将出现在相应的电阻网络接线端上。

在 POR/BOR 时，对于连接的所有接线端，这两个寄存器将装入 1FFh (9 位)。主控制器需要检测 POR/BOR 事件，然后更新易失性 TCON 寄存器的值。

寄存器 4-1: TCON0 位⁽¹⁾

R-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
D8	R1HW	R1A	R1W	R1B	R0HW	R0A	R0W	R0B
bit 8								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 8 **D8:** 保留。强制为 1
- bit 7 **R1HW:** 电阻 1 硬件配置控制位
 该位用于强制电阻 1 为硬件引脚的“关断”配置
 1 = 电阻 1 不强制为硬件引脚“关断”配置
 0 = 电阻 1 强制为硬件引脚“关断”配置
- bit 6 **R1A:** 电阻 1 接线端 A (P1A 引脚) 连接控制位
 该位用于将电阻 1 接线端 A 与电阻 1 网络连接 / 断开
 1 = P1A 引脚连接到电阻 1 网络
 0 = P1A 引脚从电阻 1 网络断开
- bit 5 **R1W:** 电阻 1 抽头 (P1W 引脚) 连接控制位
 该位用于将电阻 1 抽头与电阻 1 网络连接 / 断开
 1 = P1W 引脚连接到电阻 1 网络
 0 = P1W 引脚从电阻 1 网络断开
- bit 4 **R1B:** 电阻 1 接线端 B (P1B 引脚) 连接控制位
 该位用于将电阻 1 接线端 B 与电阻 1 网络连接 / 断开
 1 = P1B 引脚连接到电阻 1 网络
 0 = P1B 引脚从电阻 1 网络断开
- bit 3 **R0HW:** 电阻 0 硬件配置控制位
 该位用于强制电阻 0 为硬件引脚的“关断”配置
 1 = 电阻 0 不强制为硬件引脚“关断”配置
 0 = 电阻 0 强制为硬件引脚“关断”配置
- bit 2 **R0A:** 电阻 0 接线端 A (P0A 引脚) 连接控制位
 该位用于将电阻 0 接线端 A 与电阻 0 网络连接 / 断开
 1 = P0A 引脚连接到电阻 0 网络
 0 = P0A 引脚从电阻 0 网络断开
- bit 1 **R0W:** 电阻 0 抽头 (P0W 引脚) 连接控制位
 该位用于将电阻 0 抽头与电阻 0 网络连接 / 断开
 1 = P0W 引脚连接到电阻 0 网络
 0 = P0W 引脚从电阻 0 网络断开
- bit 0 **R0B:** 电阻 0 接线端 B (P0B 引脚) 连接控制位
 该位用于将电阻 0 接线端 B 与电阻 0 网络连接 / 断开
 1 = P0B 引脚连接到电阻 0 网络
 0 = P0B 引脚从电阻 0 网络断开

注 1: 这些位不会影响抽头寄存器的值。

MCP433X/435X

寄存器 4-2: TCON1 位⁽¹⁾

R-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
D8	R3HW	R3A	R3W	R3B	R2HW	R2A	R2W	R2B
bit 8								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 8 **D8:** 保留。强制为 1
- bit 7 **R3HW:** 电阻 3 硬件配置控制位
 该位用于强制电阻 3 为硬件引脚的“关断”配置
 1 = 电阻 3 不强制为硬件引脚“关断”配置
 0 = 电阻 3 强制为硬件引脚“关断”配置
- bit 6 **R3A:** 电阻 3 接线端 A (P3A 引脚) 连接控制位
 该位用于将电阻 3 接线端 A 与电阻 3 网络连接 / 断开
 1 = P3A 引脚连接到电阻 3 网络
 0 = P3A 引脚从电阻 3 网络断开
- bit 5 **R3W:** 电阻 3 抽头 (P3W 引脚) 连接控制位
 该位用于将电阻 3 抽头与电阻 3 网络连接 / 断开
 1 = P3W 引脚连接到电阻 3 网络
 0 = P3W 引脚从电阻 3 网络断开
- bit 4 **R3B:** 电阻 3 接线端 B (P3B 引脚) 连接控制位
 该位用于将电阻 3 接线端 B 与电阻 3 网络连接 / 断开
 1 = P3B 引脚连接到电阻 3 网络
 0 = P3B 引脚从电阻 3 网络断开
- bit 3 **R2HW:** 电阻 2 硬件配置控制位
 该位用于强制电阻 2 为硬件引脚的“关断”配置
 1 = 电阻 2 不强制为硬件引脚“关断”配置
 0 = 电阻 2 强制为硬件引脚“关断”配置
- bit 2 **R2A:** 电阻 2 接线端 A (P2A 引脚) 连接控制位
 该位用于将电阻 2 接线端 A 与电阻 2 网络连接 / 断开
 1 = P2A 引脚连接到电阻 2 网络
 0 = P2A 引脚从电阻 2 网络断开
- bit 1 **R2W:** 电阻 2 抽头 (P2W 引脚) 连接控制位
 该位用于将电阻 2 抽头与电阻 2 网络连接 / 断开
 1 = P2W 引脚连接到电阻 2 网络
 0 = P2W 引脚从电阻 2 网络断开
- bit 0 **R2B:** 电阻 2 接线端 B (P2B 引脚) 连接控制位
 该位用于将电阻 2 接线端 B 与电阻 2 网络连接 / 断开
 1 = P2B 引脚连接到电阻 2 网络
 0 = P2B 引脚从电阻 2 网络断开

注 1: 这些位不会影响抽头寄存器的值。

5.0 电阻网络

电阻网络具有 7 位或 8 位分辨率。每个电阻网络都允许从零量程到满量程的连接。图 5-1 给出了器件电阻网络的框图。

电阻网络由几个部分组成。这些部分包括：

- 梯形电阻网络
- 抽头
- 关断（接线端连接）

器件具有 4 个电阻网络。它们称为电位计 0、电位计 1、电位计 2 和电位计 3。

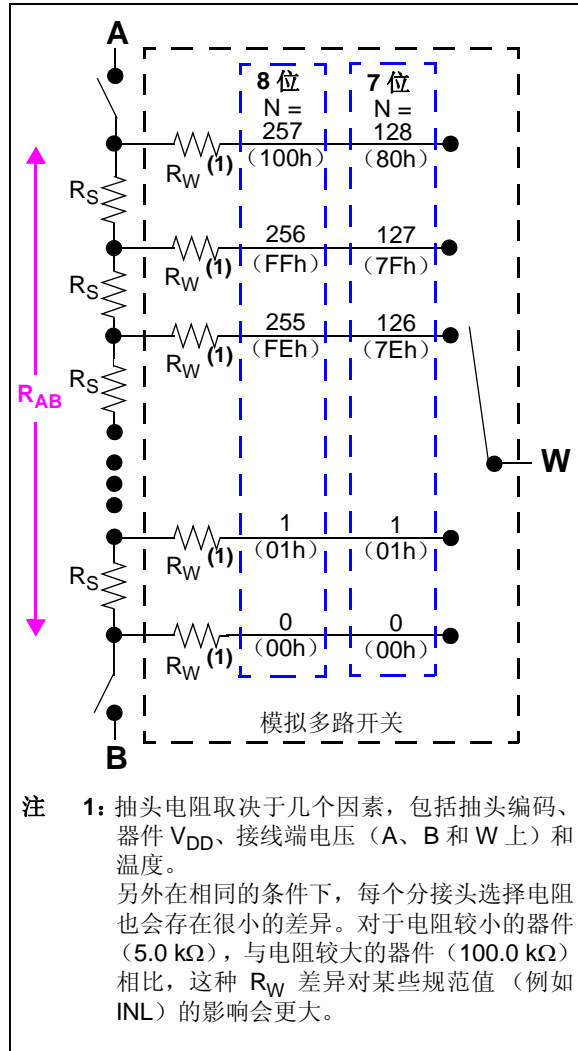


图 5-1: 电阻框图

5.1 梯形电阻网络模块

梯形电阻网络包含一组串联的等值电阻（ R_S ），两个电阻之间有一个连接点（分接头）。串联电路（梯形网络）中的电阻总数决定 R_{AB} 电阻（见图 5-1）。梯形电阻网络的端点连接到模拟开关，模拟开关连接到器件的接线端 A 和接线端 B 引脚。 R_{AB} （和 R_S ）电阻会随电压和温度发生微小变化。

对于 8 位器件，在接线端 A 和接线端 B 之间，有 256 个电阻串联。抽头可以设置为分接到 256 个电阻中的任意一个，从而提供 257 种可能的设置（包括接线端 A 和接线端 B）。

对于 7 位器件，在接线端 A 和接线端 B 之间有 128 个电阻串联。抽头可以设置为分接到 128 个电阻中的任意一个，从而提供 129 种可能的设置（包括接线端 A 和接线端 B）。

公式 5-1 给出了电阻步长的计算公式。

公式 5-1: R_S 计算

$R_S = \frac{R_{AB}}{(256)}$	8 位器件

$R_S = \frac{R_{AB}}{(128)}$	7 位器件

MCP433X/435X

5.2 抽头

每个分接点 (R_S 电阻之间) 是一个模拟开关的连接点。模拟开关的另一端连接到公共端信号, 该信号连接到接线端 W (抽头) 引脚。

易失性抽头寄存器中的值用于选择关闭哪个模拟开关, 从而将 W 接线端连接到选定的梯形电阻网络的节点。

抽头可以直接连接到接线端 B 或接线端 A 。对于零量程连接, 接线端 W (抽头) 将连接到接线端 B (抽头设置为 $000h$)。对于满量程连接, 接线端 W (抽头) 将连接到接线端 A (抽头设置为 $100h$ 或 $80h$)。在这些配置中, 接线端 W 和另一个接线端 (A 或 B) 之间的唯一电阻是模拟开关的电阻。

抽头设置值大于满量程 (对于 8 位器件, 抽头设置为 $100h$; 对于 7 位器件, 抽头设置为 $80h$) 时, 抽头设置依然是满量程设置 (接线端 W (抽头) 连接到接线端 A)。表 5-1 给出了满量程抽头设置映射。

公式 5-2 给出了用于确定抽头和接线端 B 之间电阻的计算公式。

公式 5-2: R_{WB} 计算

$R_{WB} = \frac{R_{AB}N}{(256)} + R_W$ <p style="text-align: right; margin-right: 50px;">8 位器件</p> <p style="text-align: center;">N = 0 至 256 (十进制)</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/>
$R_{WB} = \frac{R_{AB}N}{(128)} + R_W$ <p style="text-align: right; margin-right: 50px;">7 位器件</p> <p style="text-align: center;">N = 0 至 128 (十进制)</p>

表 5-1: 易失性抽头值 — 抽头位置映射

抽头设置		属性
7 位	8 位	
3FFh-081h	3FFh-101h	保留 (满量程 ($W = A$)), 递增和递减命令被忽略
080h	100h	满量程 ($W = A$), 递增命令被忽略
07Fh-041h	0FFh-081h	$W = N$
040h	080h	$W = N$ (中间量程)
03Fh-001h	07Fh-001h	$W = N$
000h	000h	零量程 ($W = B$) 递减命令被忽略

5.3 关断

关断功能用于最大程度降低器件的电流消耗。MCP43XX 有一种方法可以实现关断：

- **端控制寄存器 (TCON)**

它与 MCP42XXX 器件的区别在于硬件关断引脚 (SHDN) 已被替换为 **RESET** 引脚。硬件关断引脚功能仍然可以通过对 TCON 寄存器执行软件命令而使用。

5.3.1 端控制寄存器 (TCON)

端控制 (TCON) 寄存器是易失性寄存器，用于配置每个电阻网络接线端引脚 (A、B 和 W) 到电阻网络的连接。[寄存器 4-1](#) 和 [寄存器 4-2](#) 显示了这两个寄存器。

RxHW 位会强制使选定电阻网络的状态与 MCP42X1 的 **SHDN** 引脚的状态相同。通过 **RxA**、**RxW** 和 **RxB** 位，可以实现替代性的低功耗配置。

当 **RxHW** 位为 0 时：

- P0A、P1A、P2A 和 P3A 接线端断开
- P0W、P1W、P2W 和 P3W 接线端同时分别连接到 P0B、P1B、P2B 和 P3B 接线端 (见 [图 5-2](#))

注： 当 **RxHW** 位强制电阻网络为硬件 **SHDN** 状态时，TCON0 或 TCON1 寄存器的 **RxA**、**RxW** 和 **RxB** 位的状态会被改写 (忽略)。当 **RxHW** 位的状态不再强制电阻网络为硬件 **SHDN** 状态时，TCON0 或 TCON1 寄存器的 **RxA**、**RxW** 和 **RxB** 位会恢复控制接线端连接状态。也就是说，**RxHW** 位不会破坏 **RxA**、**RxW** 和 **RxB** 位的状态。

RxHW 位不会破坏易失性抽头寄存器或 TCON 寄存器中的值。当退出关断模式 (**RxHW** 位 = 1) 时：

- 器件恢复为易失性抽头值指定的抽头设置
- TCON 寄存器恢复控制接线端状态

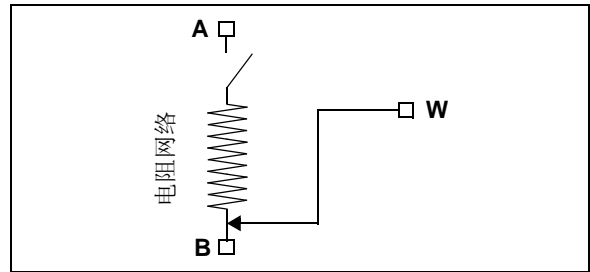


图 5-2: 电阻网络关断状态 (**RxHW=0**)

MCP433X/435X

注:

6.0 串行接口 (SPI)

MCP43XX 器件支持 SPI 串行协议。该 SPI 以从模式工作（不会产生串行时钟）。

SPI 接口最多使用 4 个引脚。这些引脚是：

- $\overline{\text{CS}}$ ——片选
- SCK——串行时钟
- SDI——串行数据输入
- SDO——串行数据输出

图 6-1 给出了典型的 SPI 接口。在 SPI 接口中，主器件的输出引脚连接到从器件的输入引脚，主器件的输入引脚连接到从器件的输出引脚。

MCP4XXX SPI 的模块支持两种（共 4 种）标准 SPI 模式。它们是模式 0,0 和 1,1。SPI 模式由 SCK 引脚的状态 (V_{IH} 或 V_{IL}) 决定（当 $\overline{\text{CS}}$ 引脚从无效 (V_{IH}) 转变为有效 (V_{IL} 或 V_{IHH}) 时）。

所有 SPI 接口信号都可以承受高电压。

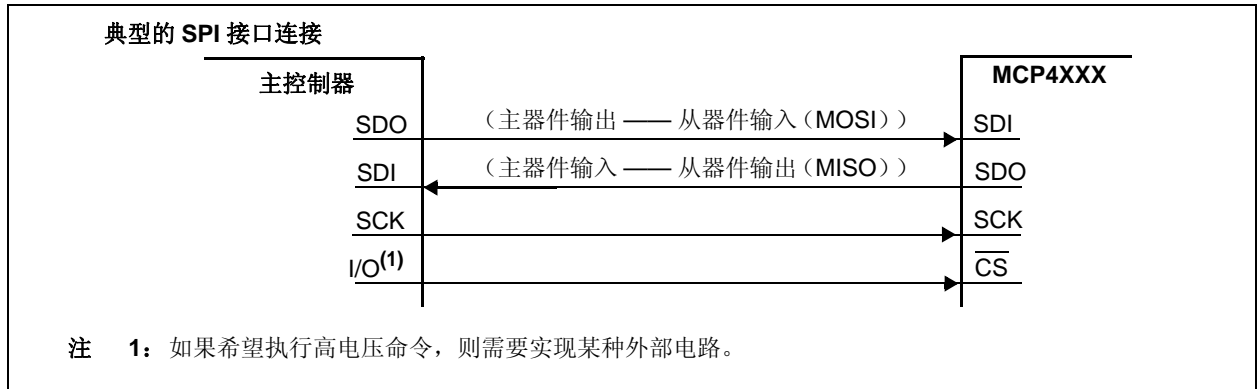


图 6-1: 典型的 SPI 接口框图

MCP433X/435X

6.1 SDI、SDO、SCK 和 $\overline{\text{CS}}$ 操作

本节讨论 4 个 SPI 接口引脚的操作。这些引脚是：

- SDI（串行数据输入）
- SDO（串行数据输出）
- SCK（串行时钟）
- $\overline{\text{CS}}$ （片选）

根据所选择的命令，串行接口在 8 位或 16 位边界工作。 $\overline{\text{CS}}$ 引脚用于构造 SPI 命令。

6.1.1 串行数据输入（SDI）

串行数据输入（SDI）信号是进入器件的数据信号。该引脚上的值在 SCK 信号的上升沿进行锁存。

6.1.2 串行数据输出（SDO）

串行数据输出（SDO）信号是从器件传出的数据信号。该引脚上的值在 SCK 信号的下降沿驱动。

当 $\overline{\text{CS}}$ 引脚被强制为有效电平（ V_{IL} 或 V_{IHH} ）时，SDO 引脚会被驱动。SDO 引脚的状态由命令中串行位的位置、所选择的命令和是否存在命令错误状态（CMDERR）决定。

6.1.3 串行时钟（SCK）（SPI 工作频率）

SPI 接口规定的工作频率最高可达 10 MHz。实际的时钟速率取决于系统的配置和所使用的串行命令。表 6-1 列出了 SCK 频率。

表 6-1: SCK 频率 (1)

存储器类型访问		命令	
		读	写、递增和递减
易失性存储器	SDI 和 SDO	10 MHz	10 MHz

注 1: 这是没有外部上拉电阻时的最大时钟频率。

6.1.4 $\overline{\text{CS}}$ 信号

片选（ $\overline{\text{CS}}$ ）信号用于选择器件和构造命令序列。要启动命令或命令序列， $\overline{\text{CS}}$ 信号必须从无效状态（ V_{IH} ）转换为有效状态（ V_{IL} 或 V_{IHH} ）。

在 $\overline{\text{CS}}$ 信号变为有效之后，SDO 引脚会被驱动，并且时钟计数器会被复位。

注： 在 $\overline{\text{CS}}$ 引脚变为有效到 SCK 引脚的第一个边沿之间需要有一定的延时。

如果对于某条 SPI 命令，发生了错误条件，那么命令字节的命令错误（CMDERR）位（在 SDO 引脚上）将会被驱动为低电平（ V_{IL} ）。要退出错误条件，用户必须将 $\overline{\text{CS}}$ 引脚设为 V_{IH} 电平。

当 $\overline{\text{CS}}$ 引脚恢复为无效状态（ V_{IH} ）时，SPI 模块会复位（包括地址指针）。当 $\overline{\text{CS}}$ 引脚处于无效状态（ V_{IH} ）时，串行接口会被忽略。这使主控制器可以使用相同的 SDI、SDO 和 SCK 信号与其他 SPI 器件接口。

$\overline{\text{CS}}$ 引脚具有内部上拉电阻。当 $\overline{\text{CS}}$ 引脚上的电压为 V_{IL} 电平时，该电阻会被禁止。这意味着当 $\overline{\text{CS}}$ 引脚未被驱动时，内部上拉电阻会将该信号上拉为 V_{IH} 电平。当 $\overline{\text{CS}}$ 引脚被驱动为低电平（ V_{IL} ）时，电阻会变得很大，以降低器件电流消耗。

$\overline{\text{CS}}$ 引脚具有高电压能力，允许执行高电压命令。由于支持高电压命令，电路可以与相应的非易失性器件兼容。

6.2 SPI 模式

SPI 模块支持两种（共 4 种）标准 SPI 模式。它们是模式 0,0 和 1,1。模式由第一个时钟位（8 位字节）的上升沿时 SDI 引脚的状态决定。

6.2.1 模式 0,0

在**模式 0,0**下：SCK 空闲状态 = 低电平 (V_{IL})，数据在 SCK 的上升沿从 SDI 引脚传入，在 SCK 的下降沿从 SDO 引脚传出。

6.2.2 模式 1,1

在**模式 1,1**下：SCK 空闲状态 = 高电平 (V_{IH})，数据在 SCK 的上升沿从 SDI 引脚传入，在 SCK 的下降沿从 SDO 引脚传出。

6.3 SPI 波形

图 6-2 至图 6-5 给出了不同 SPI 命令的波形。图 6-2 和图 6-3 是读和写命令。图 6-4 和图 6-5 是递增和递减命令。由于支持高电压命令，电路可以与相应的非易失性器件兼容。

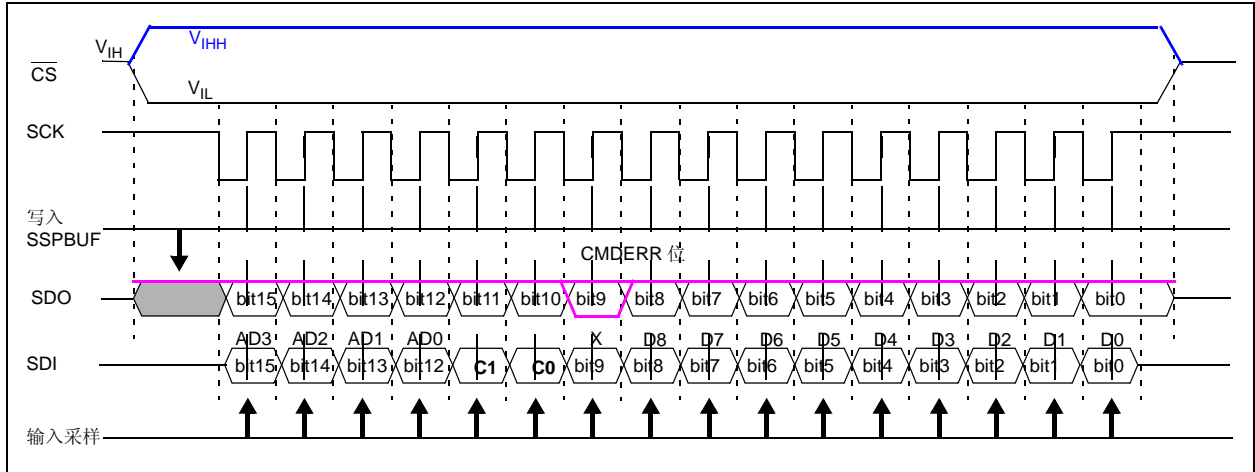


图 6-2: 16 位命令（写和读）——SPI 波形（模式 1,1）

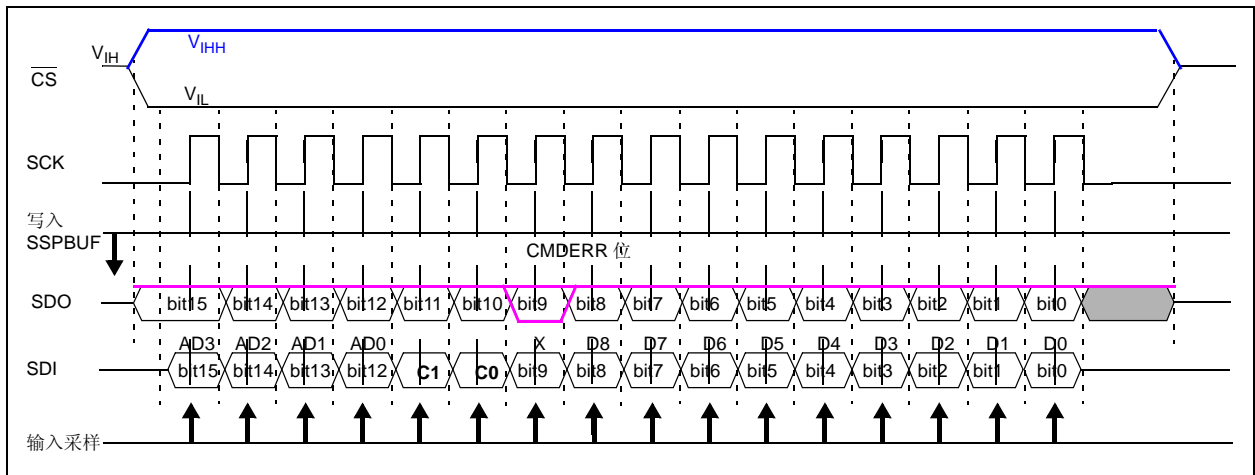


图 6-3: 16 位命令（写和读）——SPI 波形（模式 0,0）

MCP433X/435X

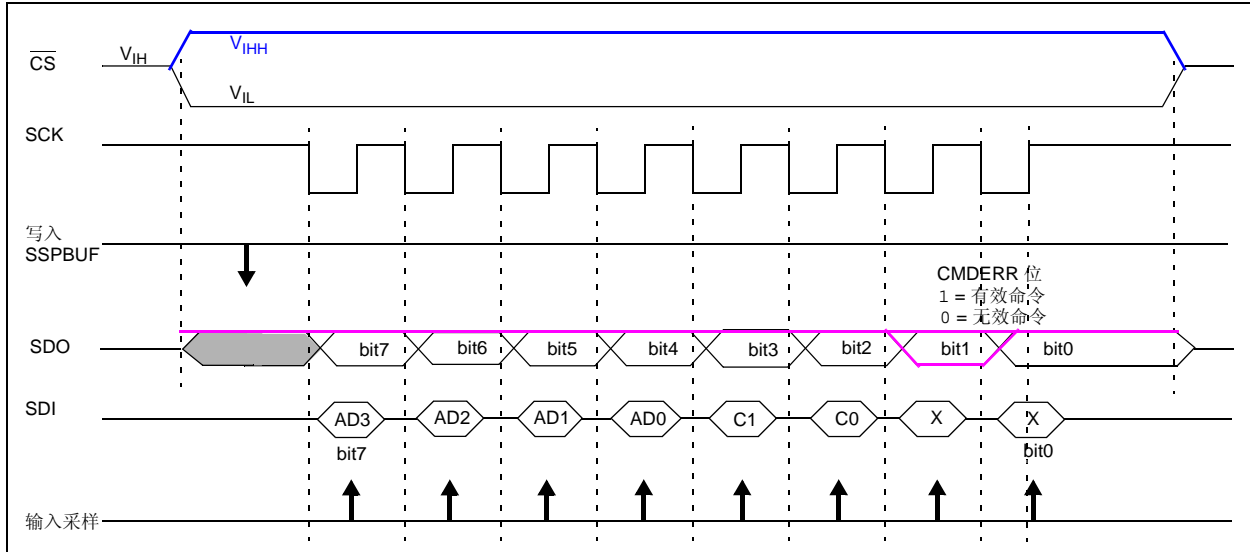


图 6-4: 8 位命令 (递增和递减) —— 对于 PIC MCU 的 SPI 波形 (模式 1,1)

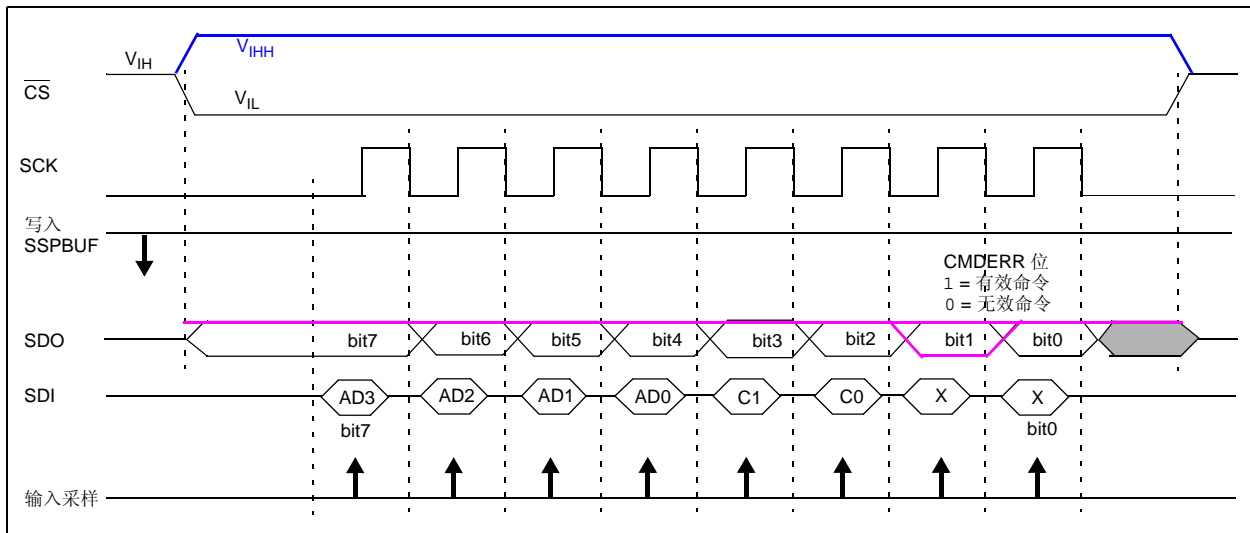


图 6-5: 8 位命令 (递增和递减) —— 对于 PIC MCU 的 SPI 波形 (模式 0,0)

7.0 器件命令

MCP43XX 的 SPI 命令格式支持 16 个存储器地址单元和 4 条命令。每条命令具有两种模式：

- 正常串行命令
- 高电压串行命令

正常串行命令是 \overline{CS} 引脚被驱动为 V_{IL} 时的那些命令。使用高电压串行命令， \overline{CS} 引脚被驱动为 V_{IH} 。在每种模式下，有 4 条可能的命令。表 7-1 列出了这些命令。

8 位命令（**递增抽头**和**递减抽头**命令）中包含命令字节（见图 7-1），而 16 位命令（**读数据**和**写数据**命令）中包含命令字节和数据字节。命令字节中包含两个数据位，请参见图 7-1。

表 7-2 列出了对于每个存储单元支持的命令，以及 SDI 和 SDO 引脚上的相应值。

表 7-3 概括了所有 SPI 命令，以及它们与其他器件功能的交互。

7.1 命令字节

命令字节具有 3 个字段，即地址、命令和 2 个数据位，请参见图 7-1。当前仅定义了一个数据位（D8）。它用于写命令。

当主器件发送正确的命令字节选择所需的操作时，会访问器件存储器。被访问的存储单元包含在命令字节的 AD3:AD0 位中。所期望的操作包含在命令字节的 C1:C0 位中，请参见表 7-1。C1:C0 决定所期望的存储单元是被读取、写入、递增（抽头设置 +1）还是递减（抽头设置 -1）。递增和递减命令仅对于易失性抽头寄存器有效。

当命令字节装入器件（在 SDI 引脚上）时，器件的 SDO 引脚被驱动。对于该命令的前 6 位，SDO 引脚将输出高位。在第 7 位，SDO 引脚将输出 CMDERR 位状态（见第 7.3 节“错误条件”）。第 8 位的状态取决于所选择的命令。

表 7-1: 命令位概述

C1:C0 位状态	命令	位数	在易失性 / 非易失性存储器上操作
11	读数据	16 位	两者
00	写数据	16 位	两者
01	递增	8 位	仅易失性存储器
10	递减	8 位	仅易失性存储器

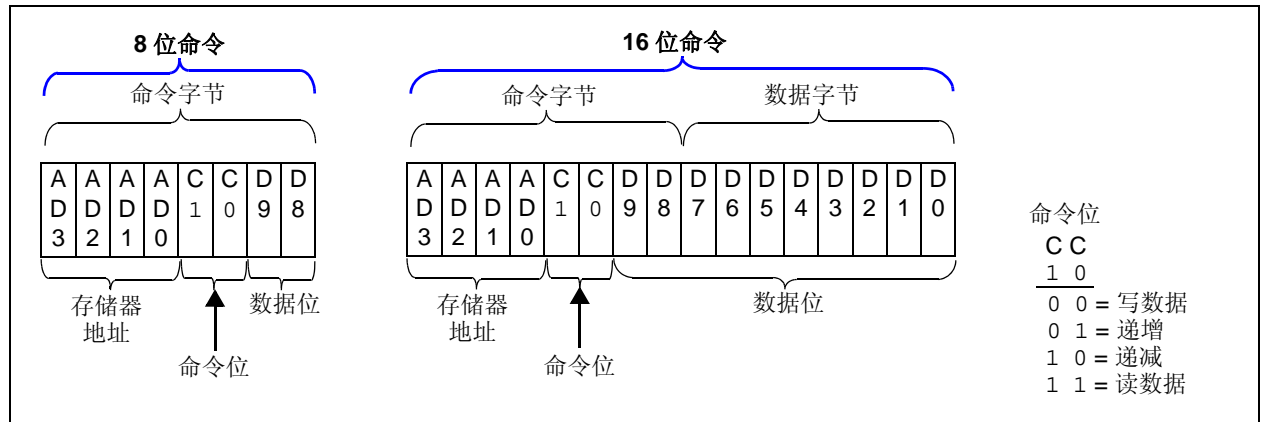


图 7-1: 通用 SPI 命令格式

MCP433X/435X

表 7-2: 存储器映射和受支持的命令

地址		命令	数据 (10 位) (1)	SPI 字符串 (二进制)	
值	功能			MOSI (SDI 引脚)	MISO (SDO 引脚) (2)
00h	易失性抽头 0	写数据	nn nnnn nnnn	0000 00nn nnnn nnnn	1111 1111 1111 1111
		读数据	nn nnnn nnnn	0000 11nn nnnn nnnn	1111 111n nnnn nnnn
		递增抽头	—	0000 0100	1111 1111
		递减抽头	—	0000 1000	1111 1111
01h	易失性抽头 1	写数据	nn nnnn nnnn	0001 00nn nnnn nnnn	1111 1111 1111 1111
		读数据	nn nnnn nnnn	0001 11nn nnnn nnnn	1111 111n nnnn nnnn
		递增抽头	—	0001 0100	1111 1111
		递减抽头	—	0001 1000	1111 1111
02h	保留	无	—	—	—
03h	保留	无	—	—	—
04h (3)	易失性 TCON0 寄存器	写数据	nn nnnn nnnn	0100 00nn nnnn nnnn	1111 1111 1111 1111
		读数据	nn nnnn nnnn	0100 11nn nnnn nnnn	1111 111n nnnn nnnn
05h	保留	无	—	—	—
06h	易失性抽头 2	写数据	nn nnnn nnnn	0110 00nn nnnn nnnn	1111 1111 1111 1111
		读数据	nn nnnn nnnn	0110 11nn nnnn nnnn	1111 111n nnnn nnnn
		递增抽头	—	0110 0100	1111 1111
		递减抽头	—	0110 1000	1111 1111
07h	易失性抽头 3	写数据	nn nnnn nnnn	0111 00nn nnnn nnnn	1111 1111 1111 1111
		读数据	nn nnnn nnnn	0111 11nn nnnn nnnn	1111 111n nnnn nnnn
		递增抽头	—	0111 0100	1111 1111
		递减抽头	—	0111 1000	1111 1111
08h	保留	无	—	—	—
09h	保留	无	—	—	—
0Ah (3)	易失性 TCON1 寄存器	写数据	nn nnnn nnnn	1010 00nn nnnn nnnn	1111 1111 1111 1111
		读数据	nn nnnn nnnn	1010 11nn nnnn nnnn	1111 111n nnnn nnnn
0Bh-0Fh	保留	无	—	—	—

- 注 1: 数据存储寄存器仅为 9 位宽, 所以 MSb 会被器件忽略。
 注 2: 所有这些地址/命令组合都是有效的, 所以 CMDERR 位会置 1。任何其他地址/命令组合都属于命令错误状态, CMDERR 位将清零。
 注 3: 递增或递减命令对于这些地址无效。

7.2 数据字节

只有读命令和写命令使用数据字节，请参见图 7-1。这些命令会将数据字节的 8 位与命令字节中包含的一个数据位 (D8) 连接来构成 9 位数据 (D8:D0)。命令字节格式支持最多 9 位数据，以便使 8 位电阻网络可以设置为满量程 (100h 或更高)。这使抽头可以连接到接线端 A 和接线端 B。

D9 位当前未用，对应于 SDO 数据中的 CMDERR 位的位置。

7.3 错误条件

CMDERR 位用于指示所接收到的 4 个地址位 (AD3:AD0) 和 2 个命令位 (C1:C0) 是否是有效的组合 (见表 4-2)。如果组合有效，则 CMDERR 位为高电平；如果组合无效，则 CMDERR 为低电平。

如果指定向某个非易失性地址执行写操作，并且在 $\overline{\text{CS}}$ 引脚驱动为无效 (V_{IH}) 之前出现了另一条 SPI 命令，则命令错误位也会为低电平。

时钟数不是 8 的倍数的 SPI 命令会被忽略。

一旦发生错误条件，随后的所有命令都会被忽略。随后的所有 SDO 位都将为低电平，直到通过将 $\overline{\text{CS}}$ 引脚强制为无效状态 (V_{IH}) 而清除 CMDERR 条件为止。

7.3.1 中止发送

只有 SPI 发送具有正确的 SCK 脉冲数时，才会执行 SPI 发送。只有接收到全部数量的时钟之后，命令才会被执行。一些命令还需要强制 $\overline{\text{CS}}$ 引脚为无效状态 (V_{IH})。如果 $\overline{\text{CS}}$ 引脚被强制为无效状态 (V_{IH})，串行接口会复位。不完整的命令不会被执行。

SPI 比其他总线协议更容易受噪声影响。最可能的情况是噪声破坏了送入 MCP43XX 的数据值，或者 SCK 引脚被插入了额外的时钟脉冲。这可能导致器件中的数据被破坏，或者发生命令错误，因为地址和命令位不是有效的组合。额外的 SCK 脉冲还会导致 SPI 数据 (SDI) 和时钟 (SCK) 失去同步。将 $\overline{\text{CS}}$ 引脚强制为无效状态 (V_{IH}) 会复位串行接口。SPI 接口将忽略 SDI 和 SCK 引脚上的活动，直到检测到 $\overline{\text{CS}}$ 引脚转换为有效状态 (V_{IH} 至 V_{IL} 或 V_{IH} 至 V_{IHH})。

- | |
|---|
| <p>注 1: 当 MCP43XX 不接收数据时，建议将 $\overline{\text{CS}}$ 引脚强制为无效电平 (V_{IL})。</p> <p>2: 另外，建议将很长的连续命令串分解为单条命令或较短的连续命令串。这可以降低 SCK 引脚上的噪声破坏所需 SPI 命令的可能性。</p> |
|---|

MCP433X/435X

7.4 连续命令

器件支持连续执行命令的功能。当 \overline{CS} 引脚处于有效状态 (V_{IL} 或 V_{IHH}) 时, 可以接收任意的有效命令序列。

以下示例是有效的事件序列:

1. \overline{CS} 引脚驱动为有效 (V_{IL} 或 V_{IHH})。
2. 读命令。
3. 递增命令 (抽头 0)。
4. 递增命令 (抽头 0)。
5. 递减命令 (抽头 1)。
6. 写命令 (易失性存储器)。
7. \overline{CS} 引脚驱动为无效 (V_{IH})。

- 注 1:** 建议当 \overline{CS} 引脚有效时, 仅发出一类命令。当更改命令时, 建议将 \overline{CS} 引脚变为无效, 然后将它强制恢复为有效状态。
- 2:** 另外, 建议将很长的命令串分解为较短的命令串。这可以降低 SCK 引脚上的噪声破坏所需 SPI 命令串的可能性。

表 7-3: 命令

命令名称	位数	\overline{CS} 引脚上为高电压 (V_{IHH}) ?
写数据	16 位	—
读数据	16 位	—
递增抽头	8 位	—
递减抽头	8 位	—
高电压写数据	16 位	是
高电压读数据	16 位	是
高电压递增抽头	8 位	是
高电压递减抽头	8 位	是

7.5 写数据 正常和高电压

写命令是 16 位命令。图 7-2 给出了命令的格式。

接收到格式正确的写命令（16 个时钟）之后，针对易失性存储单元的写命令会更改该单元的内容。

7.5.1 单次写入易失性存储器

写操作要求 \overline{CS} 引脚处于有效状态 (V_{IL} 或 V_{IHH})。通常， CS 引脚将处于无效状态 (V_{IH})，并被驱动为有效状态 (V_{IL})。然后，16 位写命令（命令字节和数据字节）通过 SCK 和 SDI 引脚传入。接收到全部 16 位之后，所指定的易失性地址会被更新。如果写命令不是正好为 16 个时钟脉冲，则不会发生写操作。这可以防止系统问题破坏非易失性存储单元的内容。

图 6-2 和图 6-3 给出了单次写操作的可能波形。

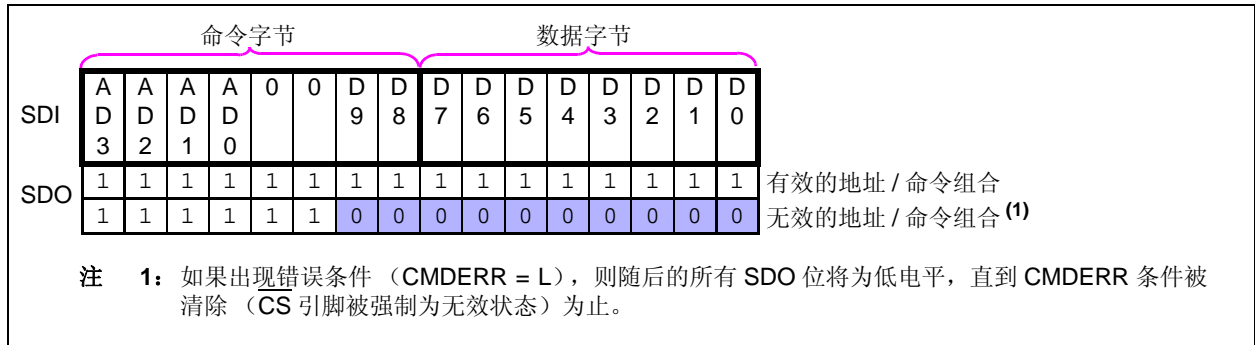


图 7-2: 写命令——SDI 和 SDO 状态

MCP433X/435X

7.5.2 连续写入易失性存储器

只有写操作针对易失性存储器寄存器（地址 00h、01h 和 04h）时，才可以执行连续写操作。

图 7-3 给出了 3 次连续写操作的序列。写操作不需要针对同一易失性存储器地址。

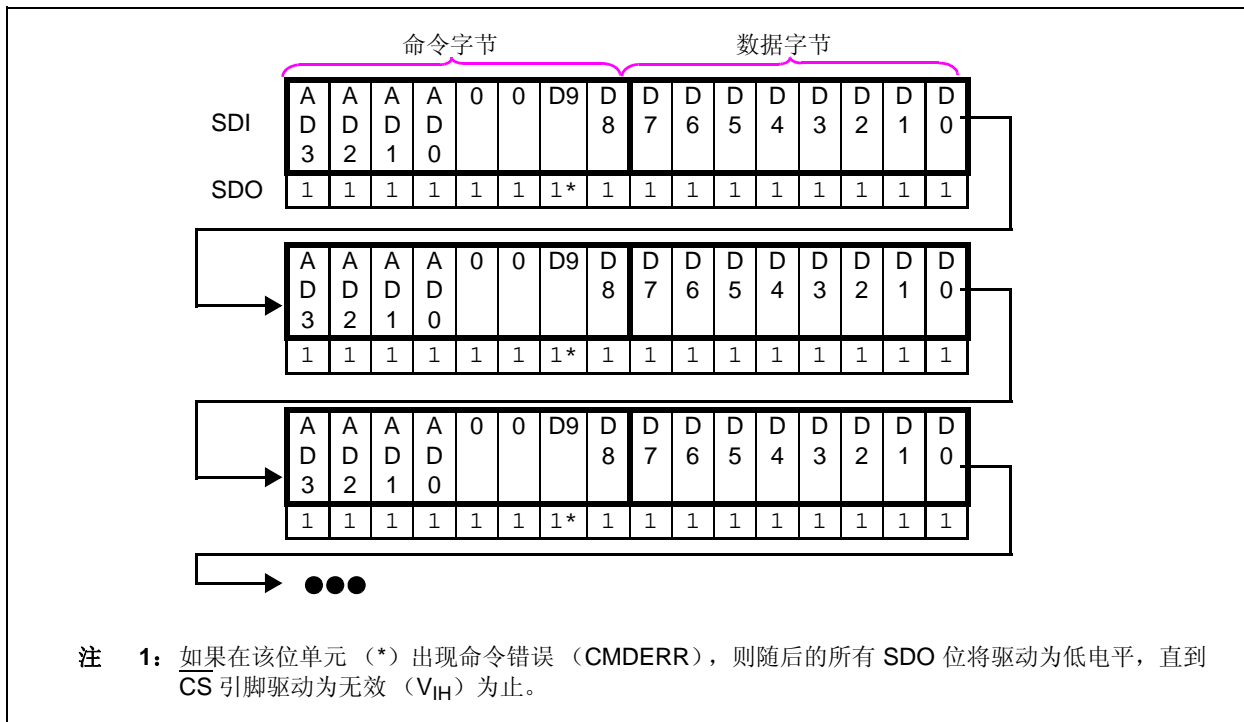


图 7-3: 连续写序列

7.6 读数据 正常和高电压

读命令是 16 位命令。图 7-4 给出了命令的格式。
 读命令的前 6 位决定地址和命令。第 7 个时钟将在 SDO 引脚上输出 CMDERR 位。对于剩下的 9 个时钟，器件将传输指定地址 (AD3:AD0) 的 9 个数据位 (D8:D0)。图 7-4 给出了读命令的 SDI 和 SDO 信息。

7.6.1 单次读

读操作要求 \overline{CS} 引脚处于有效状态 (V_{IL} 或 V_{IHH})。通常， \overline{CS} 引脚将处于无效状态 (V_{IH})，并被驱动为有效状态 (V_{IL} 或 V_{IHH})。然后，16 位读命令 (命令字节和数据字节) 通过 SCK 和 SDI 引脚传入。SDO 引脚在第 7 位 (CMDERR 位) 开始驱动数据，寻址获得的数据在第 8 至 16 个时钟传出。图 6-2 和图 6-3 给出了单次读操作的可能波形。

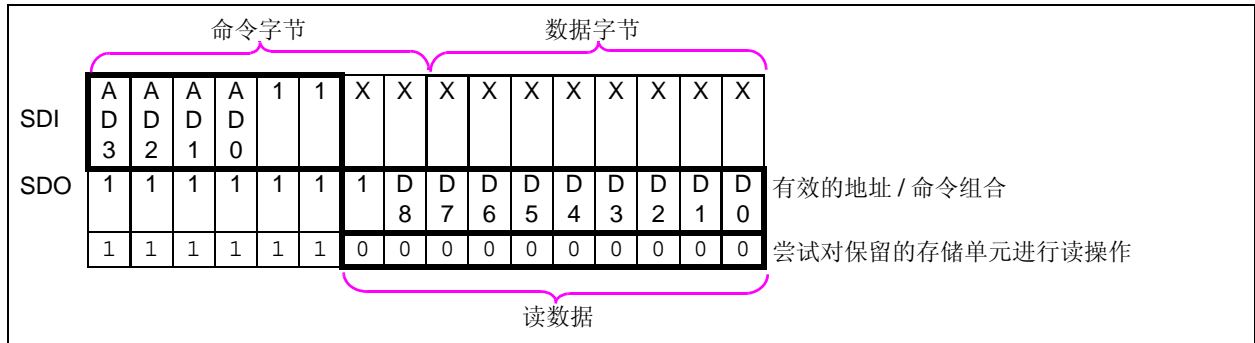


图 7-4: 读命令——SDI 和 SDO 状态

MCP433X/435X

7.6.2 连续读

连续读使得可以快速读取器件存储器的内容。连续读可以针对所有存储单元执行。

图 7-5 给出了 3 次连续读操作的序列。读操作不需要针对同一存储器地址。

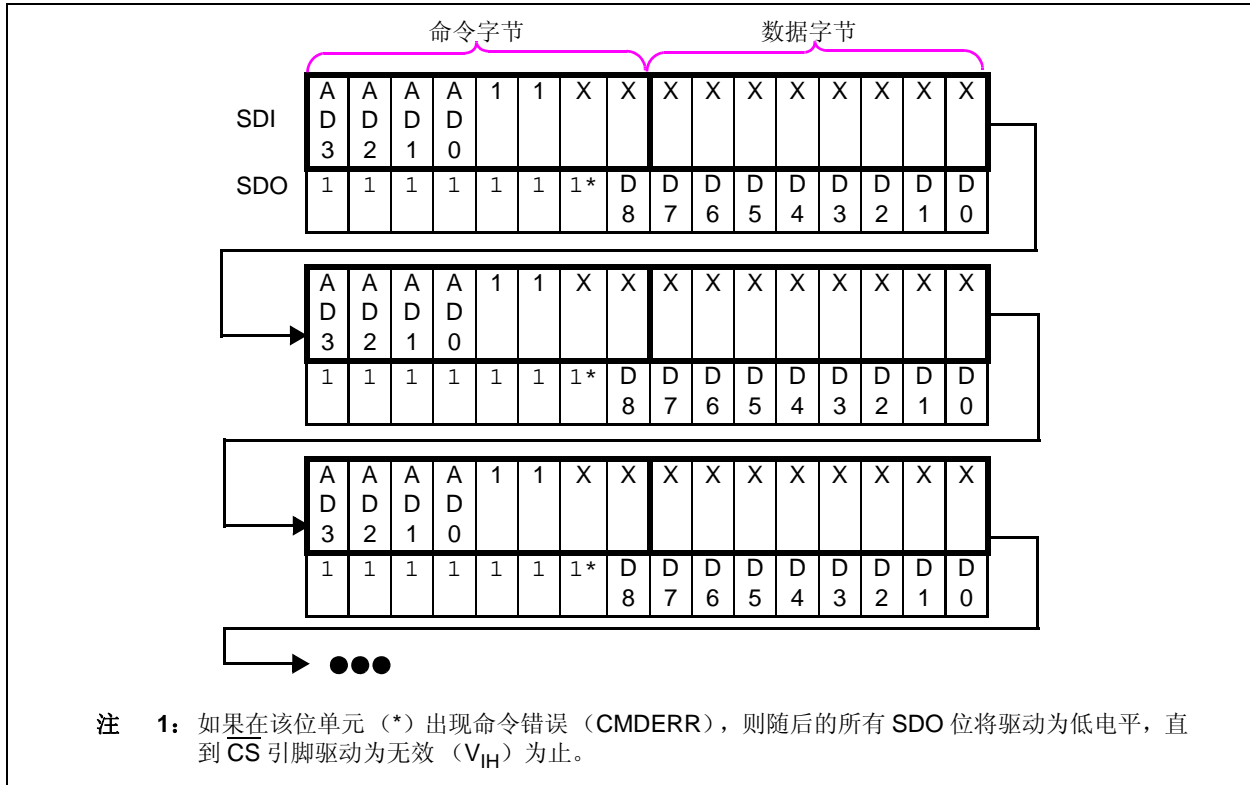


图 7-5: 连续读序列

7.7 递增抽头

正常和高电压

递增命令是 8 位命令。仅能针对易失性存储单元发出递增命令。图 7-6 给出了命令的格式。

接收到格式正确的命令（8 个时钟）之后，针对易失性存储单元的递增命令会更改该单元的内容。

通过递增命令，可以以最低的开销，快速、简便地修改易失性抽头单元的值（+1）。

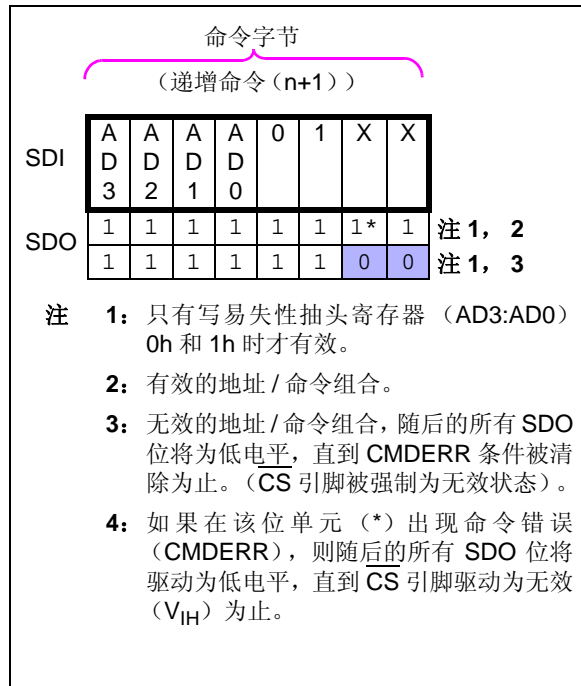


图 7-6: 递增命令——SDI 和 SDO 状态

注: 表 7-2 列出了递增抽头命令的有效地址。其他地址无效。

7.7.1 单次递增

通常，CS 引脚开始时处于无效状态 (V_{IH})，但也可能由于完成了另一条命令而已经处于有效状态。

图 6-4 和图 6-5 给出了单次递增操作的可能波形。递增操作要求 CS 引脚处于有效状态 (V_{IL} 或 V_{IHH})。通常，CS 引脚将处于无效状态 (V_{IH})，并被驱动为有效状态 (V_{IL} 或 V_{IHH})。然后，8 位递增命令 (命令字节) 通过使用 SCK 引脚从 SDI 引脚传入。SDO 引脚会在第 7 个时钟驱动 CMDERR 位。

对于 8 位器件，抽头值最高将递增至 100h；对于 7 位器件，最高将递增至 80h。当抽头值到达满量程 (8 位 = 100h, 7 位 = 80h) 之后，抽头值将不再递增。如果抽头寄存器的值介于 101h 和 1FFh 之间，递增命令会被禁止。关于递增命令与当前易失性抽头值关系的更多信息，请参见表 7-4。

对于单次递增，递增操作只需要递增命令字节，同时 CS 引脚有效 (V_{IL} 或 V_{IHH})。

在抽头递增到所需位置之后，CS 引脚应强制为 V_{IH}，以确保 SCK 引脚上的意外电平跳变不会导致抽头设置发生变化。在上次所需的递增发生之后，应尽快 (在器件规范时间内) 将 CS 引脚驱动为 V_{IH}。

表 7-4: 递增操作 — 易失性抽头值

当前抽头设置		抽头 (W) 属性	递增命令起作用?
7 位 电位计	8 位 电位计		
3FFh 081h	3FFh 101h	保留 (满量程 (W = A))	否
080h	100h	满量程 (W = A)	否
07Fh 041h	0FFh 081	W = N	是
040h	080h	W = N (中间量程)	
03Fh 001h	07Fh 001	W = N	
000h	000h	零量程 (W = B)	是

MCP433X/435X

7.7.2 连续递增

只有写易失性存储器寄存器（地址 00h、01h、06h 和 07h）时，才可以执行连续递增操作。

图 7-7 给出了 3 次连续写的连续递增序列。写操作不需要针对同一易失性存储器地址。

执行连续递增命令时，对于接收到的每个递增命令，选定的抽头将从 n 修改为 $n+1$ 。对于 8 位器件，抽头值最高将递增至 100h；对于 7 位器件，最高将递增至 80h。当抽头值到达满量程（8 位 = 100h，7 位 = 80h）之后，抽头值将不再递增。如果抽头寄存器的值介于 101h 和 1FFh 之间，递增命令会被禁止。

递增命令可以无需升高 \overline{CS} 引脚电压重复发送，直到满足所需的条件。

执行连续的命令串时，递增命令后可以跟随任意其他有效命令。

在接收到命令（第 8 个时钟）之后，抽头端将移动。

在抽头递增到所需位置之后， \overline{CS} 引脚应强制为 V_{IH} ，以确保 SCK 引脚上的意外电平跳变不会导致抽头设置发生变化。在上次所需的递增发生之后，应尽快（在器件规范时间内）将 \overline{CS} 引脚驱动为 V_{IH} 。

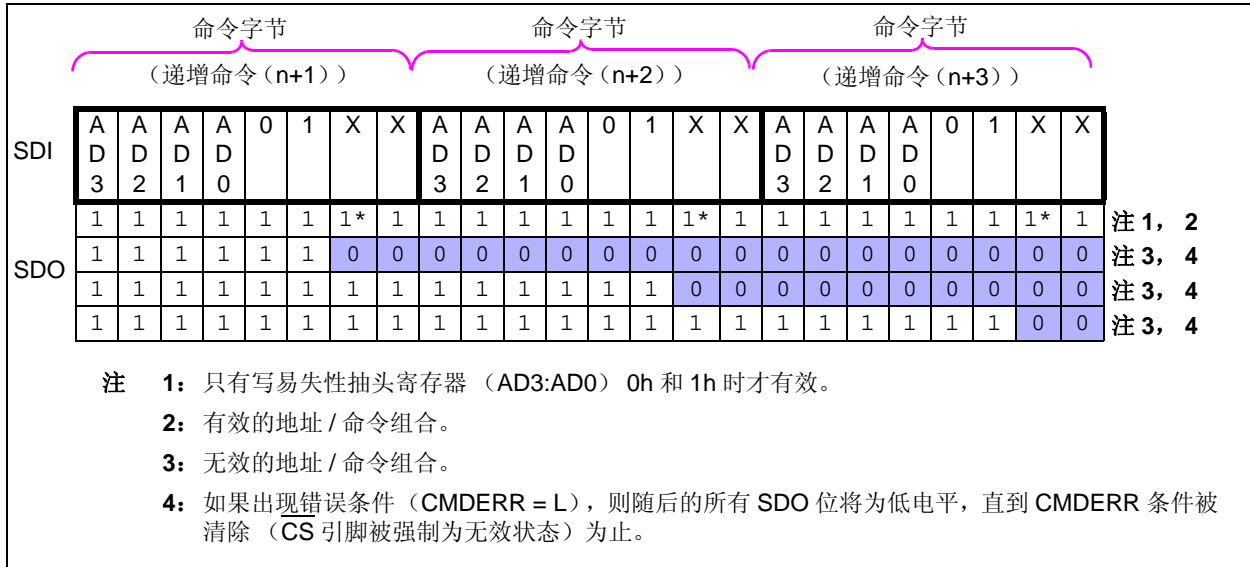


图 7-7: 连续递增命令 —— SDI 和 SDO 状态

7.8 递减抽头

正常和高电压

递减命令是 8 位命令。仅能针对易失性存储单元发出递减命令。图 7-6 给出了命令的格式。

接收到格式正确的命令（8 个时钟）之后，针对易失性存储单元的递减命令会更改该单元的内容。

通过递减命令，可以以最低的开销，快速、简便地修改易失性抽头单元的值（-1）。

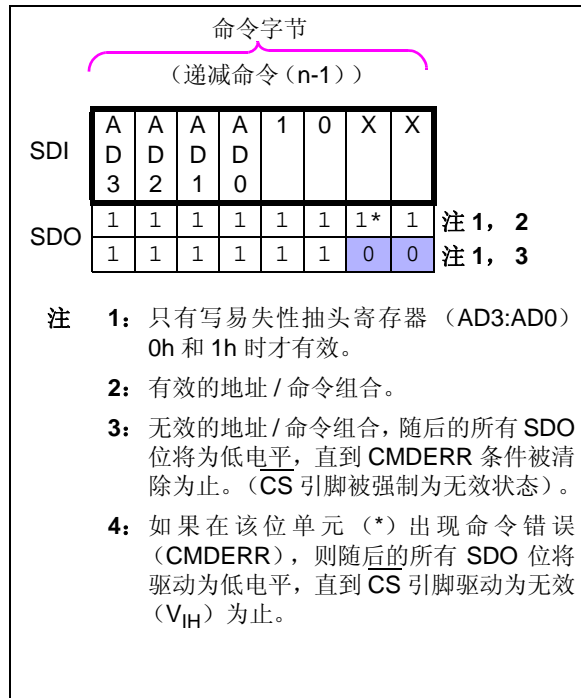


图 7-8: 递减命令——SDI 和 SDO 状态

注: 表 7-2 列出了递减抽头命令的有效地址。其他地址无效。

7.8.1 单次递减

通常，CS 引脚开始时处于无效状态 (V_{IH})，但也可能由于完成了另一条命令而已经处于有效状态。

图 6-4 和图 6-5 给出了单次递减操作的可能波形。递减操作要求 CS 引脚处于有效状态 (V_{IL} 或 V_{IHH})。通常，CS 引脚将处于无效状态 (V_{IH})，并被驱动为有效状态 (V_{IL} 或 V_{IHH})。然后，8 位递减命令（命令字节）通过使用 SCK 引脚从 SDI 引脚传入。SDO 引脚会在第 7 个时钟驱动 CMDERR 位。

抽头值将从抽头满量程值（对于 8 位器件为 100h；对于 7 位器件为 80h）开始递减。高于抽头满量程值（8 位 = 101h 至 1FFh，7 位 = 81h 至 FFh）时，递减命令会被禁止。如果抽头寄存器的值为零量程值（000h），那么抽头值将不递减。关于递减命令与当前易失性抽头值关系的更多信息，请参见表 7-5。

对于单次递减，递减操作只需要递减命令字节，同时 CS 引脚有效 (V_{IL} 或 V_{IHH})。

在抽头递减到所需位置之后，CS 引脚应强制为 V_{IH}，以确保 SCK 引脚上的意外电平跳变不会导致抽头设置发生变化。在上次所需的递减发生之后，应尽快（在器件规范时间内）将 CS 引脚驱动为 V_{IH}。

表 7-5: 递减操作 — 易失性抽头值

当前抽头设置		抽头 (W) 属性	递减命令起作用?
7 位 电位计	8 位 电位计		
3FFh 081h	3FFh 101h	保留 (满量程 (W = A))	否
080h	100h	满量程 (W = A)	是
07Fh 041h	0FFh 081	W = N	是
040h	080h	W = N (中间量程)	
03Fh 001h	07Fh 001	W = N	
000h	000h	零量程 (W = B)	否

MCP433X/435X

7.8.2 连续递减

只有写易失性存储器寄存器（地址 00h、01h 和 04h）时，才可以执行连续递减操作。

图 7-9 给出了 3 次连续写的连续递减序列。写操作不需要针对同一易失性存储器地址。

执行连续递减命令时，对于接收到的每个递减命令，选定的抽头将从 n 修改为 $n-1$ 。抽头值将从抽头满量程值（对于 8 位器件为 100h；对于 7 位器件为 80h）开始递减。高于抽头满量程值（8 位 = 101h 至 1FFh，7 位 = 81h 至 FFh）时，递减命令会被禁止。如果抽头寄存器的值为零量程值（000h），那么抽头值将不递减。关于递减命令与当前易失性抽头值关系的更多信息，请参见表 7-5。

递减命令可以无需升高 \overline{CS} 引脚电压重复发送，直到满足所需的条件。

执行连续的命令串时，递减命令后可以跟随任意其他有效命令。

在接收到命令（第 8 个时钟）之后，抽头端将移动。

在抽头递减到所需位置之后， \overline{CS} 引脚应强制为 V_{IH} ，以确保 SCK 引脚上的意外电平跳变不会导致抽头设置发生变化。在上次所需的递减发生之后，应尽快（在器件规范时间内）将 \overline{CS} 引脚驱动为 V_{IH} 。

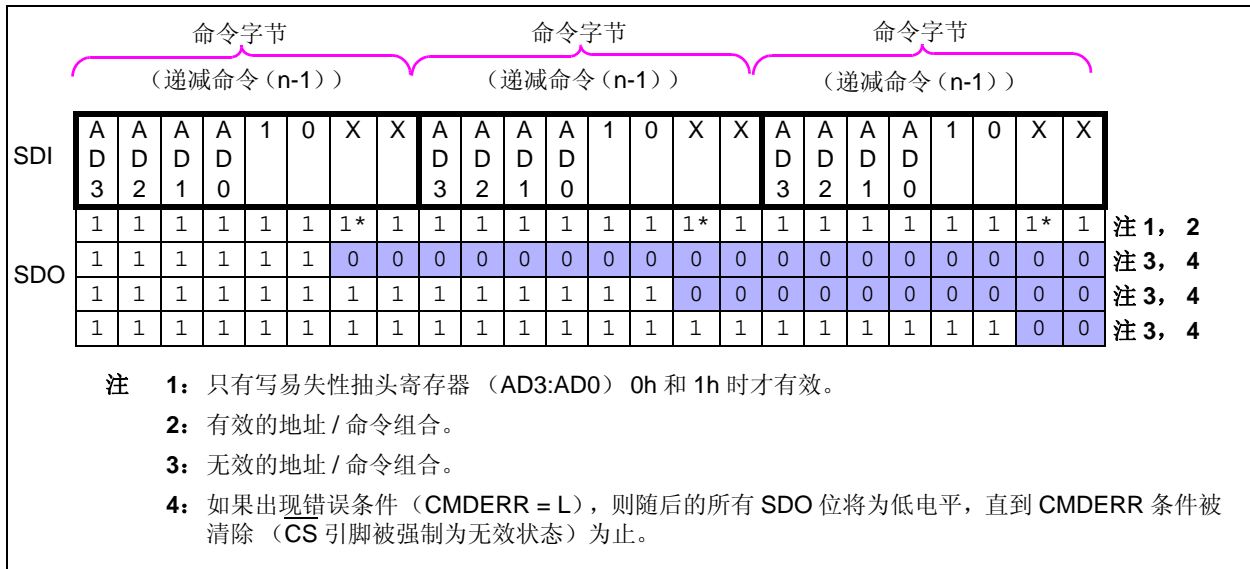


图 7-9: 连续递减命令——SDI 和 SDO 状态

8.0 应用示例

数字电位计在现代电子电路中有大量的实际应用。最广泛的应用包括设置点阈值的高精度校准、传感器微调、LCD 偏置微调、音频衰减、可调电源、电机控制过电流跳变设置、可调增益放大器和偏移微调。在工作电压和接线端电压处于 CMOS 工艺限制 ($V_{DD}=2.7V$ 至 $5.5V$) 内的应用中, MCP433X/435X 器件可以用于代替常用的机械式微调电位计。

8.1 分离电源轨应用

对于用于与主控制器连接的所有输入, 其输入引脚都支持高电压。这使 MCP43XX 器件可以用于分离电源轨应用。

一种示例是电池应用, 在应用中, PIC[®] MCU 由电池电源 (4.8V) 直接供电, MCP43XX 器件由 3.3V 的稳压电源供电。

对于 SPI 应用, 这些输入是:

- CS
- SCK
- SDI (或 SDI/SDO)
- RESET

图 8-1 和图 8-2 给出了两个分离电源轨系统示例。在这种系统中, MCP43XX 接口输入信号需要能够支持 PIC MCU 输出高电压 (V_{OH})。

在示例 1 (图 8-1) 中, MCP43XX 接口输入信号需要能够支持 PIC MCU 输出高电压 (V_{OH})。如果分离电源轨的电压太大, 由于 MCP43XX V_{OH} 电平与主控制器 V_{IH} 电平相关, 用户可能需要进行一些电平转换。

在示例 2 (图 8-2) 中, MCP43XX 接口输入信号需要能够支持 PIC MCU 输出高电平 (V_{OH}) 的较低电压。

表 8-1 列出了示例 PIC 单片机 I/O 电压规范和 MCP43XX 规范。所以, 该 PIC MCU 的工作电压为 3.3V, V_{OH} 驱动为 2.64V; MCP43XX 工作电压为 5.5V, V_{IH} 为 2.47V。因此, 接口信号满足规范。

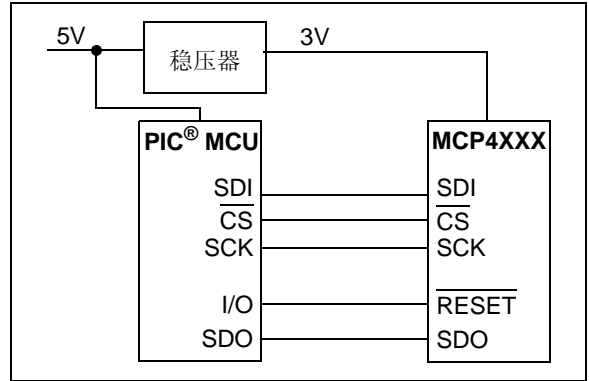


图 8-1: 示例分离电源轨系统 1

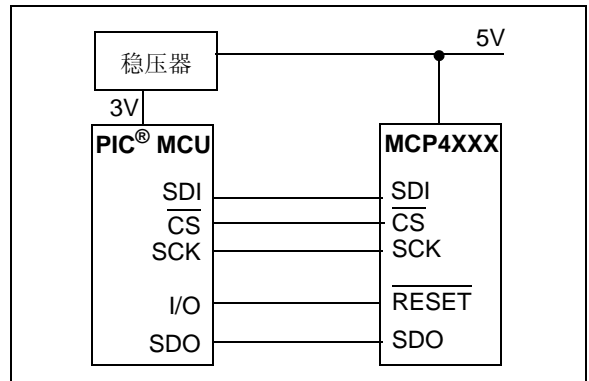


图 8-2: 示例分离电源轨系统 2

表 8-1: $V_{OH}-V_{IH}$ 比较

PIC [®] MCU (1)			MCP43XX (2)			备注
V_{DD}	V_{IH}	V_{OH}	V_{DD}	V_{IH}	V_{OH}	
5.5	4.4	4.4	2.7	1.215	— (3)	
5.0	4.0	4.0	3.0	1.35	— (3)	
4.5	3.6	3.6	3.3	1.485	— (3)	
3.3	2.64	2.64	4.5	2.025	— (3)	
3.0	2.4	2.4	5.0	2.25	— (3)	
2.7	2.16	2.16	5.5	2.475	— (3)	

- 注
- 1: V_{OH} 最小值 = $0.8 * V_{DD}$;
 V_{OL} 最大值 = 0.6V
 V_{IH} 最小值 = $0.8 * V_{DD}$;
 V_{IL} 最大值 = $0.2 * V_{DD}$;
 - 2: V_{OH} 最小值 (仅限 SDA) = ;
 V_{OL} 最大值 = $0.2 * V_{DD}$
 V_{IH} 最小值 = $0.45 * V_{DD}$;
 V_{IL} 最大值 = $0.2 * V_{DD}$
 - 3: MCP43XX 唯一的输出引脚是 SDO, 它是支持高电压的漏极开路输出 (或具有内部上拉功能的漏极开路输出)

MCP433X/435X

8.2 用于将 \overline{CS} 引脚强制为 V_{IH} 的技术

图 8-3 中的电路给出了使用 TC1240A 倍压电荷泵的方法。当 SHDN 引脚为高电平时，TC1240A 关闭， \overline{CS} 引脚上的电平由 PIC[®] 单片机（MCU）IO2 引脚控制。

当 SHDN 引脚为低电平时，TC1240A 开启， V_{OUT} 电压为 $2 * V_{DD}$ 。电阻 R_1 的选取要使 \overline{CS} 引脚电压高于使 PIC MCU 的 IO2 引脚钳位在大约 V_{DD} 的电压。

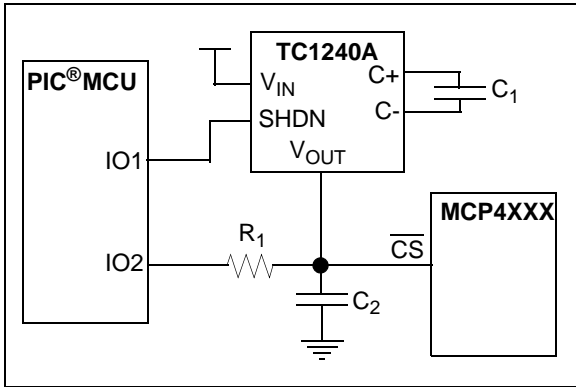


图 8-3: 使用 TC1240A 产生 V_{IH} 电压

图 8-4 中的电路给出了 MCP402X 非易失性数字电位计评估板（部件编号：MCP402XEV）中使用的方法。该方法要求系统电压大约为 5V。这可以确保当 PIC10F206 进入欠压条件时， \overline{CS} 引脚上的电平不足以更改所存储的抽头值。“MCP402X Nonvolatile Digital Potentiometer Evaluation Board User's Guide”（DS51546）中包含了完整的原理图。

GP0 是通用 I/O 引脚，而 GP2 既可以作为通用 I/O 引脚，也可以输出内部时钟。

对于串行命令，需要将 GP2 引脚配置为输入（高阻抗）。GP0 引脚的输出状态将决定 \overline{CS} 引脚上的电压 (V_{IL} 或 V_{IH})。

对于高电压串行命令，需要将 GP0 输出引脚强制为输出高电平 (V_{OH})，并将 GP2 引脚配置为输出内部时钟。这将构成电荷泵，并提高 \overline{CS} 引脚上的电压（当系统电压大约为 5V 时）。

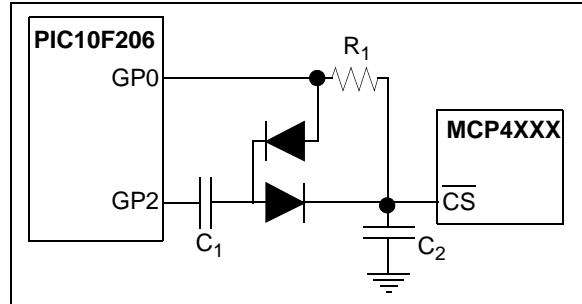


图 8-4: MCP4XXX 非易失性数字电位计评估板 (MCP402XEV) 产生 V_{IH} 电压的实现方式

8.3 使用关断模式

图 8-5 给出了可使用独立接线端的可能应用电路，其中可以使用独立接线端。断开抽头时，晶体管输入可以达到偏置电平（需要降低系统电流时，可以断开 A 或 B）。断开接线端 A 时，可以通过到公共端 B 的 R_{BW} 变阻器值修改晶体管输入。断开接线端 B 时，可以通过到公共端 A 的 R_{AW} 变阻器值修改晶体管输入。公共端 A 和公共端 B 可以连接到 V_{DD} 和 V_{SS} 。

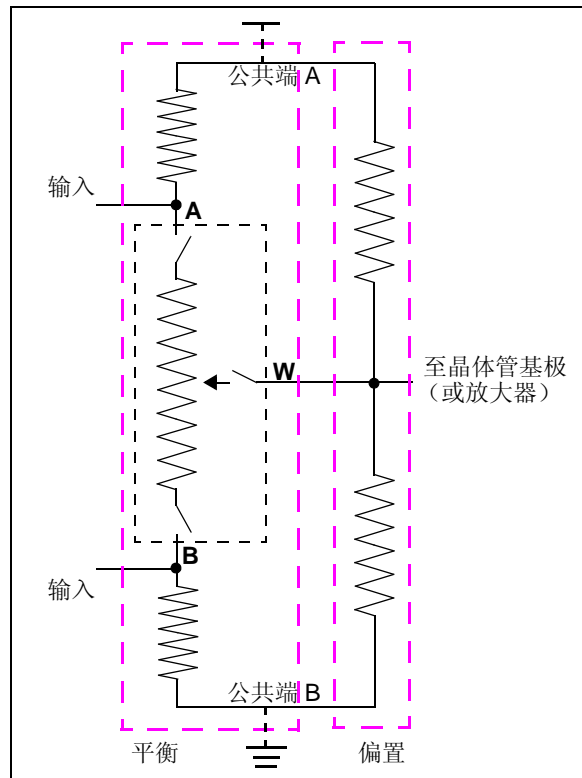


图 8-5: 使用接线端断开功能的示例应用电路

8.4 设计注意事项

在使用 MCP43XX 器件设计系统时，需要考虑以下注意事项：

- 电源注意事项
- 布线注意事项

8.4.1 电源注意事项

典型的应用需要使用旁路电路，以滤除电源走线中感应产生的高频噪声。旁路电容可以帮助最大程度降低这些噪声源对信号完整性的影响。图 8-6 给出了适当的旁路方案的图示。

在该示例中，建议的旁路电容值为 $0.1\ \mu\text{F}$ 。该电容应尽可能靠近（在 $4\ \text{mm}$ 以内）器件电源引脚（ V_{DD} ）。

为这些器件供电的电源应尽可能纯净。如果应用电路具有独立的数字电源和模拟电源， V_{DD} 和 V_{SS} 应位于模拟平面。

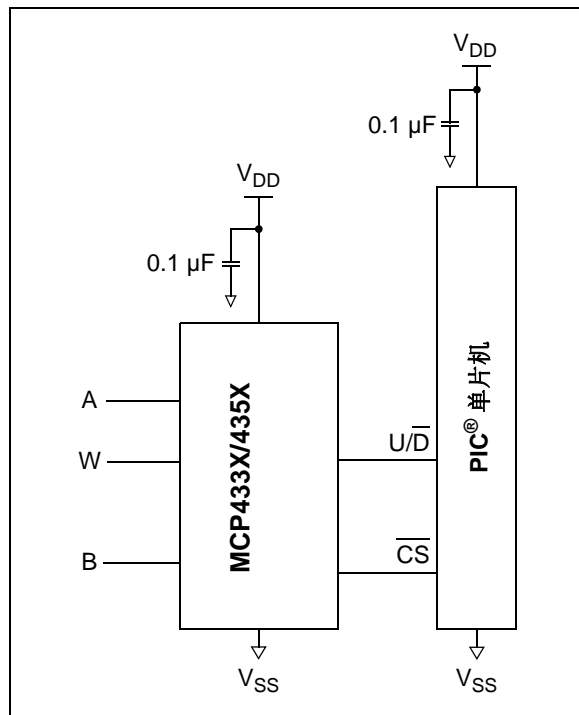


图 8-6: 典型的单片机连接

8.4.2 布线注意事项

有几个布线注意事项可能适合于您的应用。这些注意事项包括：

- 噪声
- 引脚布局兼容性
- PCB 面积要求

8.4.2.1 噪声

电感耦合 AC 瞬态和数字开关噪声会降低输入和输出信号完整性，可能会降低 MCP43XX 的性能。仔细的电路板布线可以最大程度降低这些影响，并提高信噪比（Signal-to-Noise Ratio, SNR）。使用低电感地平面、隔离输入、隔离输出和适当去耦电路的多层电路板对于实现硅片可提供的性能非常重要。对于特别苛刻的环境，可能需要对关键信号进行屏蔽保护。

如果希望确保低噪声，那么建议不要使用面包板或绕线电路板。

8.4.2.2 引脚布局兼容性

MCP43XX 引脚排列规范的制定是为了在设计系统时，可以简便地支持使用双路（MCP42XX）或四路（MCP43XX）器件。

图 8-7 显示了双路器件如何装到四路器件的引脚布局中。对于变阻器器件，双路器件采用 MSOP 封装，所以两种引脚布局需要相互偏移。

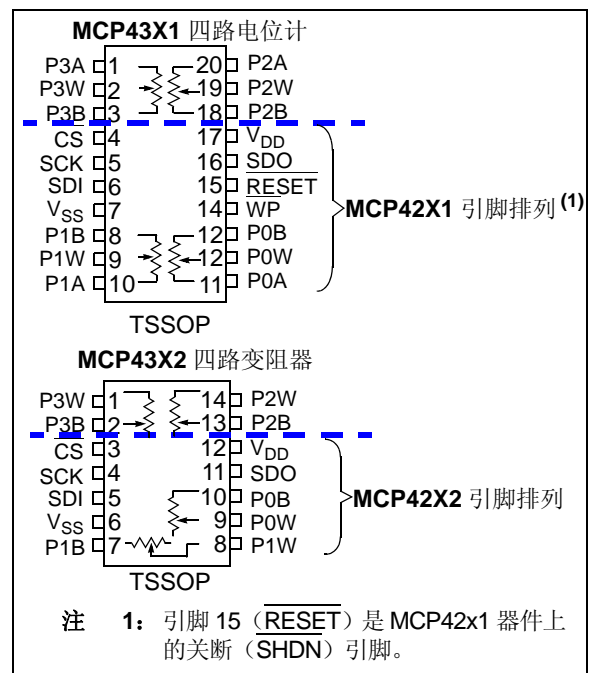


图 8-7: 四路引脚排列 (TSSOP 封装) 与双路引脚排列

MCP433X/435X

图 8-8 所示为在同一 PCB 上支持四路和双路选项的应用，可能的布局实现方式。

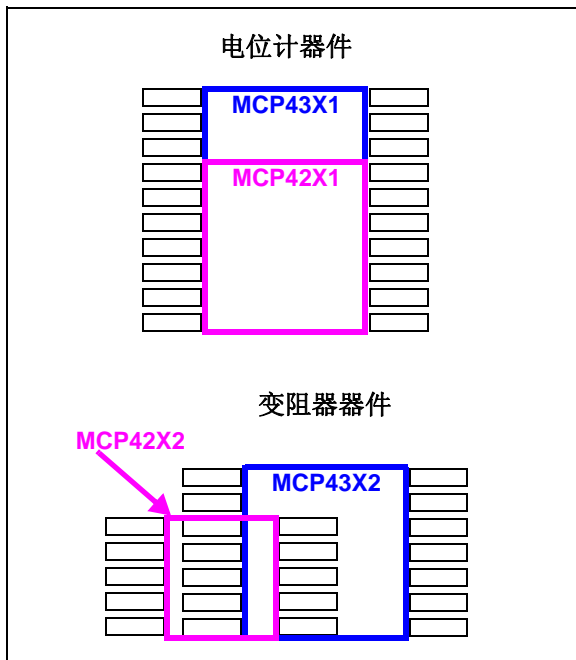


图 8-8: 支持四路和双路器件的布局

8.4.2.3 PCB 面积要求

在某些应用中，PCB 面积是进行器件选择的一项标准。表 8-2 列出了对应于不同封装选项的封装尺寸和面积。表中还列出了相对于最小面积的相对面积因数。对于在空间方面要求严格的应用，建议采用 QFN 封装。

表 8-2: 封装尺寸⁽¹⁾

封装			封装尺寸			
引脚数	类型	代码	尺寸 (mm)		面积 (mm ²)	相对面积
			X	Y		
14	TSSOP	ST	5.10	6.40	32.64	2.04
20	QFN	ML	4.00	4.00	16.00	1
	TSSOP	ST	6.60	6.40	42.24	2.64

注 1: 不包括建议的焊盘布局尺寸。

8.4.3 电阻温度系数

图 2-11、图 2-32、图 2-52 和图 2-72 给出了电阻温度系数的特性曲线。

这些曲线显示电阻网络设计可针对随温度升高而产生的电阻变化进行修正。该技术可以降低端到端的电阻 (R_{AB}) 变化。

8.4.4 可承受高电压的引脚

串行接口引脚上的高电压支持 (V_{IHH}) 支持在线适应分离电源轨应用和电源同步问题。

9.0 开发支持

9.1 开发工具

有几种开发工具可以用于帮助设计和评估 MCP43XX 器件。表 9-1 列出了当前可获得的工具。

这些电路板可以从 Microchip 网站 (www.microchip.com) 直接购买。

表 9-1: 开发工具

电路板名称	部件编号	支持的器件
20 引脚 TSSOP 和 SSOP 评估板	TSSOP20EV	MCP43XX
MCP4361 评估板 ⁽¹⁾	MCP43XXEV	MCP4361
MCP42XX 数字电位计 PICtail™ Plus 演示板	MCP42XXDM-PTPLS	MCP42XX
MCP4XXX 数字电位计子板 ⁽²⁾	MCP4XXXDM-DB	MCP42XXX、MCP42XX、MCP4021 和 MCP4011

注 1: 该评估板计划在 2010 年 3 月推出。该评估板使用了 TSSOP20EV PCB，并需要使用 PICKIT™ 串行分析器（详情请参见用户指南）。该工具包中还包含了 1 个空白 TSSOP20EV PCB。

2: 需要使用 PICDEM™ 演示板（详情请参见用户指南）。

表 9-2: 技术文档

应用笔记编号	标题	文献编号
AN1080	Understanding Digital Potentiometers Resistor Variations	DS01080
AN737	Using Digital Potentiometers to Design Low-Pass Adjustable Filters	DS00737
AN692	Using a Digital Potentiometer to Optimize a Precision Single Supply Photo Detect	DS00692
AN691	《优化数字电位器电路，减少绝对和温度差异》	DS00691A_CN
AN219	Comparing Digital Potentiometers to Mechanical Potentiometers	DS00219
—	Digital Potentiometer Design Guide	DS22017
—	Signal Chain Design Guide	DS21825

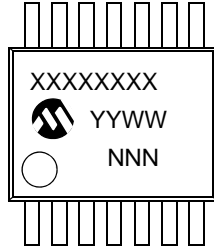
MCP433X/435X

注:

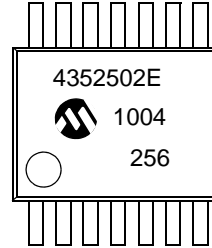
10.0 封装信息

10.1 封装标识信息

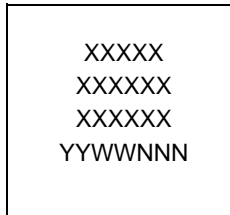
14 引脚 TSSOP



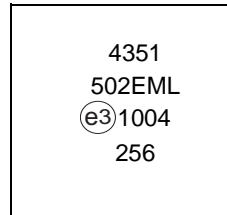
示例



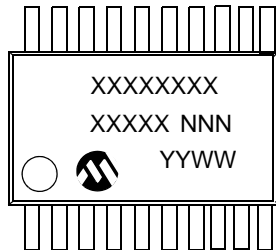
20 引脚 QFN (4x4)



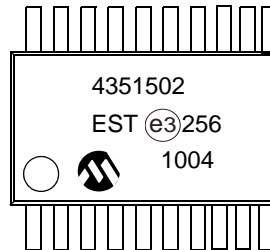
示例



20 引脚 TSSOP



示例



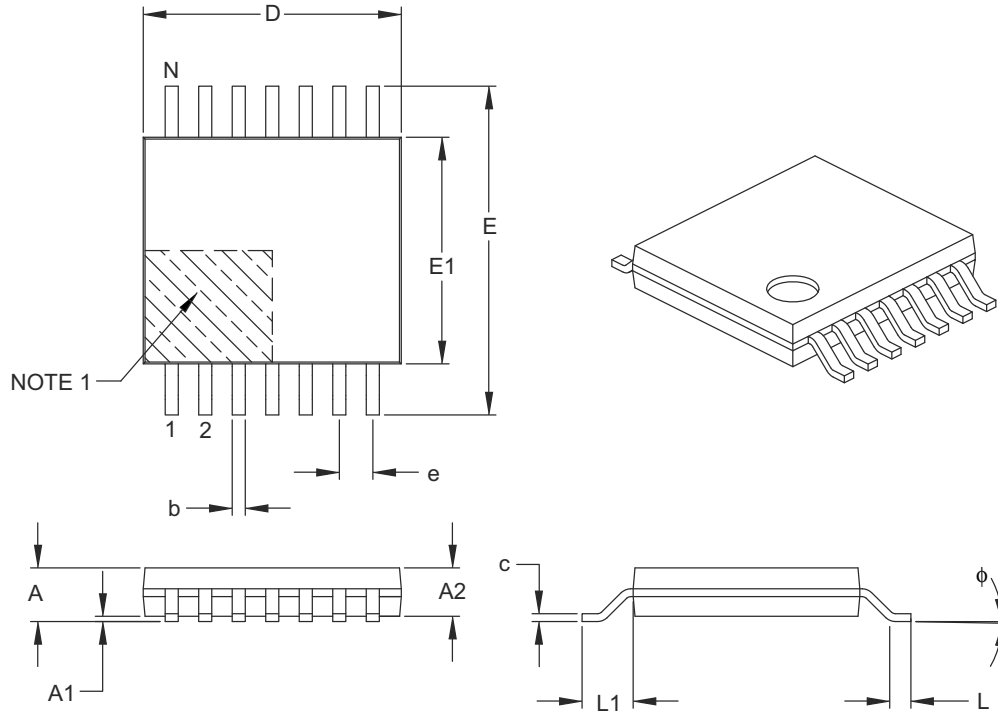
图注: XX...X 客户信息
 Y 年份代码 (日历年的最后一位数字)
 YY 年份代码 (日历年的最后两位数字)
 WW 星期代码 (一月一日的星期代码为“01”)
 NNN 以字母数字排序的追踪代码
 (e3) 雾锡 (Matte Tin, Sn) 的 JEDEC 无铅标志
 * 本封装为无铅封装。JEDEC 无铅标志 ((e3)) 标示于此种封装的外包装上。

注: Microchip 元器件编号如果无法在同一行内完整标注, 将换行标出, 因此会限制表示客户信息的字符数。

MCP433X/435X

14 引脚塑封薄型缩小外形封装 (ST) —— 主体 4.4 mm [TSSOP]

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	14		
Pitch	e	0.65 BSC		
Overall Height	A	–	–	1.20
Molded Package Thickness	A2	0.80	1.00	1.05
Standoff	A1	0.05	–	0.15
Overall Width	E	6.40 BSC		
Molded Package Width	E1	4.30	4.40	4.50
Molded Package Length	D	4.90	5.00	5.10
Foot Length	L	0.45	0.60	0.75
Footprint	L1	1.00 REF		
Foot Angle	ϕ	0°	–	8°
Lead Thickness	c	0.09	–	0.20
Lead Width	b	0.19	–	0.30

Notes:

- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

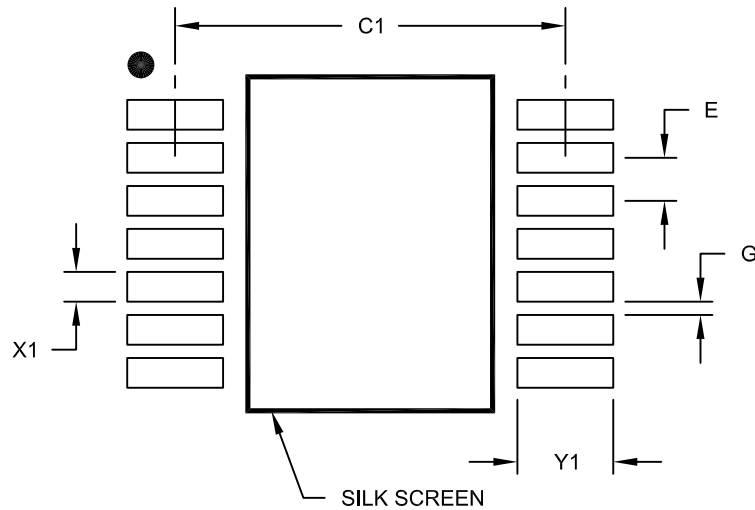
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-087B

14 引脚塑封薄型缩小外形封装 (ST) —— 主体 4.4 mm [TSSOP]

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



RECOMMENDED LAND PATTERN

Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E	0.65 BSC		
Contact Pad Spacing	C1		5.90	
Contact Pad Width (X14)	X1			0.45
Contact Pad Length (X14)	Y1			1.45
Distance Between Pads	G	0.20		

Notes:

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

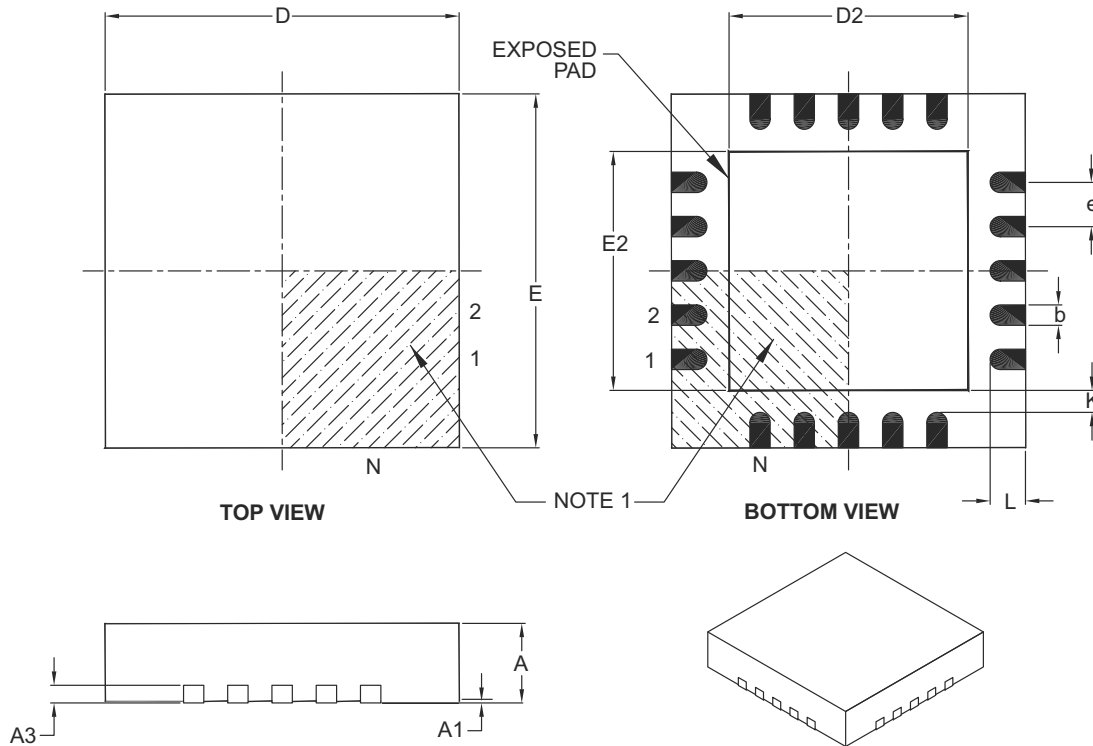
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing No. C04-2087A

MCP433X/435X

20 引脚塑封正方扁平无脚封装 (ML) —— 主体 4x4x0.9 mm [QFN]

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	20		
Pitch	e	0.50 BSC		
Overall Height	A	0.80	0.90	1.00
Standoff	A1	0.00	0.02	0.05
Contact Thickness	A3	0.20 REF		
Overall Width	E	4.00 BSC		
Exposed Pad Width	E2	2.60	2.70	2.80
Overall Length	D	4.00 BSC		
Exposed Pad Length	D2	2.60	2.70	2.80
Contact Width	b	0.18	0.25	0.30
Contact Length	L	0.30	0.40	0.50
Contact-to-Exposed Pad	K	0.20	-	-

Notes:

- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- Package is saw singulated.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

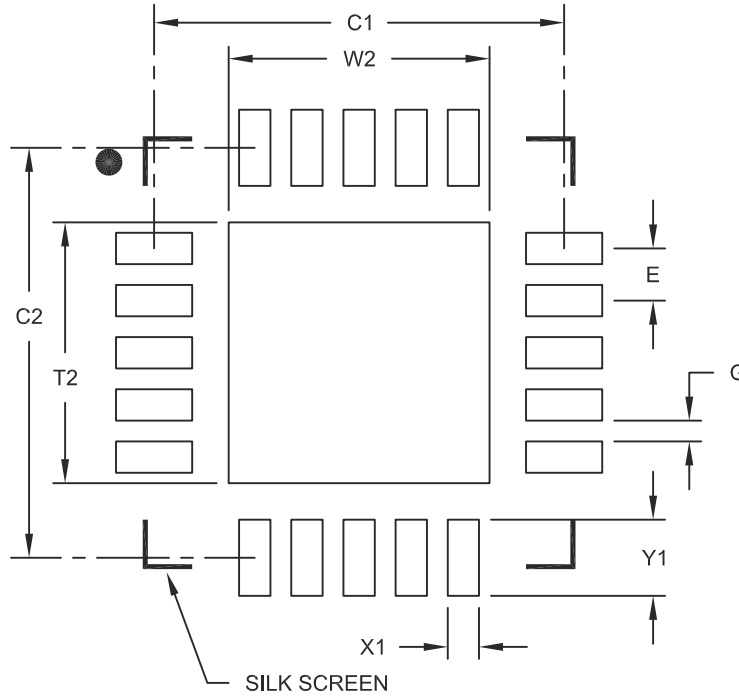
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-126B

20 引脚塑封正方扁平无脚封装 (ML) —— 主体 4x4 mm [QFN], 触点长度为 0.40 mm

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



RECOMMENDED LAND PATTERN

Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E	0.50 BSC		
Optional Center Pad Width	W2			2.50
Optional Center Pad Length	T2			2.50
Contact Pad Spacing	C1		3.93	
Contact Pad Spacing	C2		3.93	
Contact Pad Width	X1			0.30
Contact Pad Length	Y1			0.73
Distance Between Pads	G	0.20		

Notes:

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

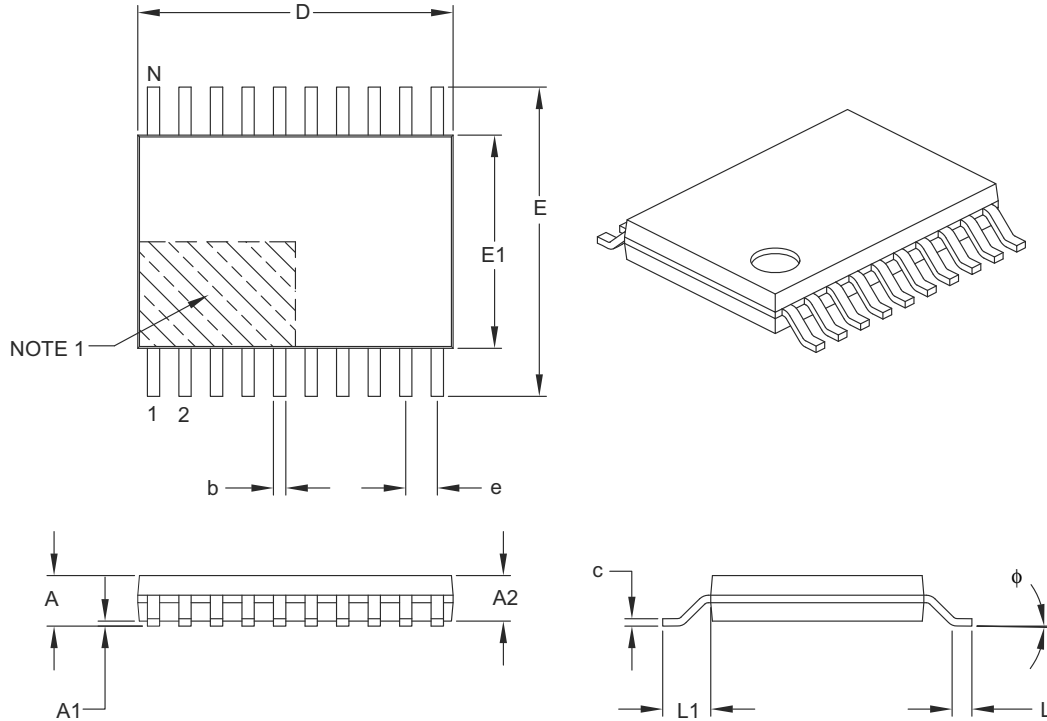
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing No. C04-2126A

MCP433X/435X

20 引脚塑封薄型缩小外形封装 (ST) —— 主体 4.4 mm [TSSOP]

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



Units		MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	20		
Pitch	e	0.65 BSC		
Overall Height	A	–	–	1.20
Molded Package Thickness	A2	0.80	1.00	1.05
Standoff	A1	0.05	–	0.15
Overall Width	E	6.40 BSC		
Molded Package Width	E1	4.30	4.40	4.50
Molded Package Length	D	6.40	6.50	6.60
Foot Length	L	0.45	0.60	0.75
Footprint	L1	1.00 REF		
Foot Angle	φ	0°	–	8°
Lead Thickness	c	0.09	–	0.20
Lead Width	b	0.19	–	0.30

Notes:

- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

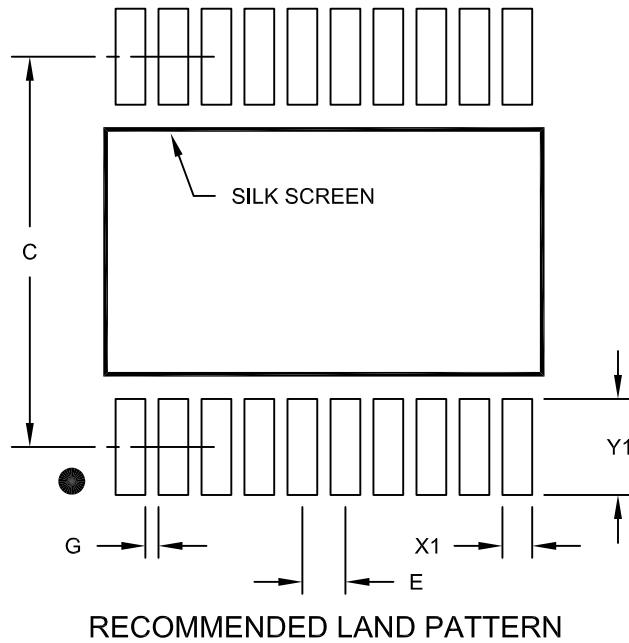
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-088B

20 引脚塑封薄型缩小外形封装 (ST) —— 主体 4.4 mm [TSSOP]

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
Contact Pitch	E	0.65 BSC		
Contact Pad Spacing	C		5.90	
Contact Pad Width (X20)	X1			0.45
Contact Pad Length (X20)	Y1			1.45
Distance Between Pads	G	0.20		

Notes:

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

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

Microchip Technology Drawing No. C04-2088A

MCP433X/435X

注:

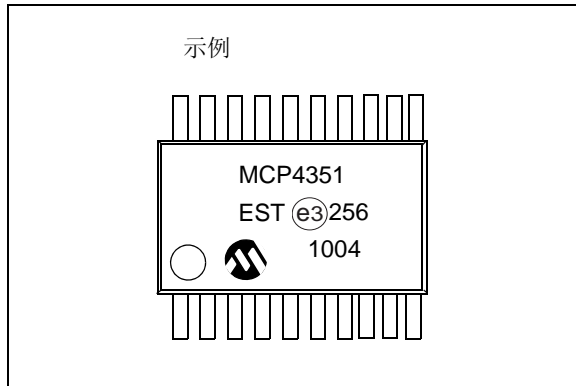
附录 A: 版本历史

版本 A (2010 年 3 月)

- 本文档的初始版本。

注: 原先的 TSSOP-20 器件样片使用的是图 A-1 中显示的示例标识方式。以后的器件样片将使用第 10 章中显示的器件标识方式。

图 A-1: 原先的示例 TSSOP-20 器件标识



MCP433X/435X

注:

附录 B: 特性数据分析

一些设计人员可能希望了解器件规定工作条件之外的器件工作特性。

了解电阻网络特性对于一些应用可能会很有用，它们包括电池供电器件和遇到欠压条件的应用。

在电池应用中，应用的电压会随时间而衰减，直到装上新电池为止。在电压衰减时，系统可以继续工作。在达到某个电压时，应用的电压将低于所规定的工作电压范围。这具体取决于在设计中使用的各种元件。但了解在遇到这种低电压范围时所预期的器件特性仍然会很有用。不同于像单片机那样可以使用外部监控器件来强制控制器进入复位状态，数字电位计的电阻特性并未具体规定。但了解其工作特性对于针对这种低电压条件来设计应用电路会很重要。

了解电阻网络低电压特性对于另一种应用场合也很重要，即系统欠压条件。

对于 MCP433X/435X 器件，规定的最低模拟工作电压为 2.7V。在器件测试中，接线端 A 与器件 V_{DD} 连接（仅对于电位计配置），接线端 B 与 V_{SS} 连接。

B.1 低电压操作

本附录给出了较低电压下的 CMOS 半导体特性的概述。这对于更好地理解 MCP433X/435X 器件的 1.8V 电阻网络特性图很重要。

对于下面的讨论，我们将使用 5 k Ω 器件的数据。选择该数据的原因是，对于 R_{AB} 电阻较小的器件，抽头电阻变化的影响更大。

图 B-1 以百分比形式显示了相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差，而图 B-2 显示了 R_{BW} 电阻与抽头编码的关系曲线图。非线性行为大约出现在抽头编码 160 处。图 B-2 中更好地显示了这一点， R_{BW} 电阻在此处从线性斜率开始改变。该变化是由于抽头电阻改变而产生的。

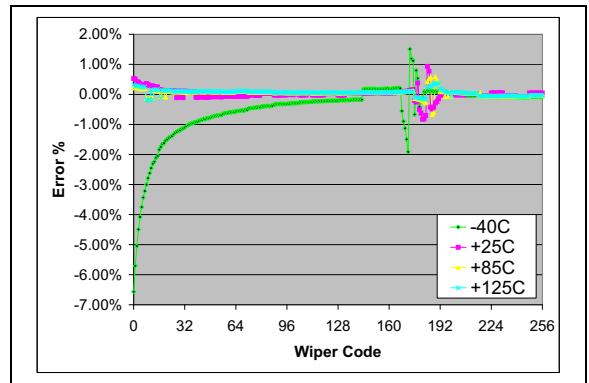


图 B-1: 1.8V 时相对于平均 R_{BW} 的最大 R_{BW} 误差 ($R_{BW0}-R_{BW3}$) — 抽头编码和温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8V$, $I_W = 190 \mu A$)

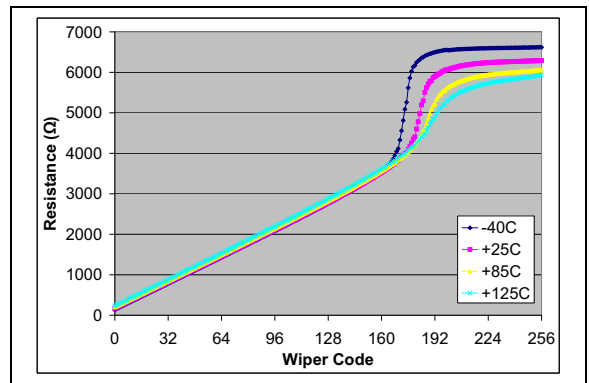


图 B-2: R_{BW} — 抽头编码和温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8V$, $I_W = 190 \mu A$)

MCP433X/435X

图 B-3 和图 B-4 显示了 V_{DD} 电压为 5.5V、3.0V 和 1.8V 时的抽头电阻。这两张图形中显示了当梯形电阻网络抽头节点电压 (V_{WCn}) 接近 $V_{DD}/2$ 电压时，抽头电阻会增大。这两张图形中也显示了构成抽头开关的 NMOS 和 PMOS 晶体管的不同电阻特性。这通过抽头编码电阻曲线显示，该曲线在中间量程编码 (抽头编码 = 128) 处并不镜像对称。

那么，为什么 R_W 图在大约中间量程 (抽头编码 = 128) 处显示最大电阻，而 R_{BW} 图却在编码 160 处显示该结果？

要了解这一点，需要先了解晶体管的低电压特性，以及数据的测量方式。

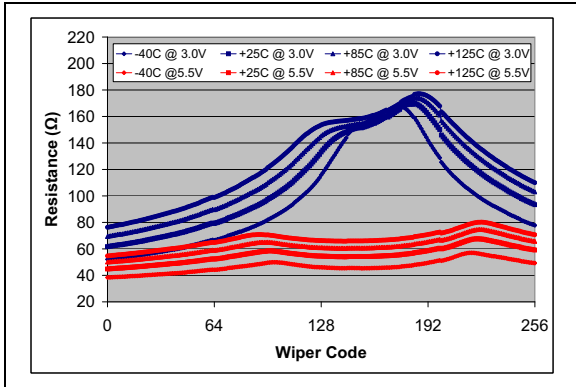


图 B-3: 抽头电阻 (R_W) — 抽头编码和温度关系曲线 ($V_{DD} = 5.5V$, $I_W = 900 \mu A$; $V_{DD} = 3.0V$, $I_W = 480 \mu A$)

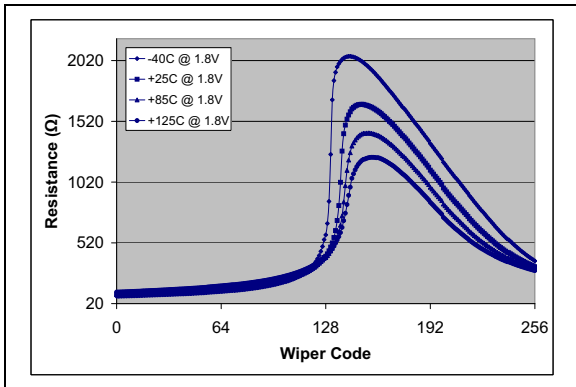


图 B-4: 抽头电阻 (R_W) — 抽头编码和温度关系曲线 ($V_{DD} = 1.8V$, $I_W = 260 \mu A$)

了解数据的收集方法非常重要。图 B-5 显示了用于测量 R_{BW} 和 R_W 电阻的技术。在该技术中，接线端 A 悬空，接线端 B 接地。然后，向抽头中送入一个固定电流 (I_W)，并测量相应的抽头电压 (V_W)。通过 R_{BW} 送入一个已知电流 (I_W)，然后测量抽头 (V_W) 和接线端 A (V_A) 之间的电压差，可以计算得到抽头电阻 (R_W)，请参见图 B-5。 I_W 电流改变时，抽头电压 (V_W) 也会改变。这可能会影响器件的抽头电阻 (R_W)。

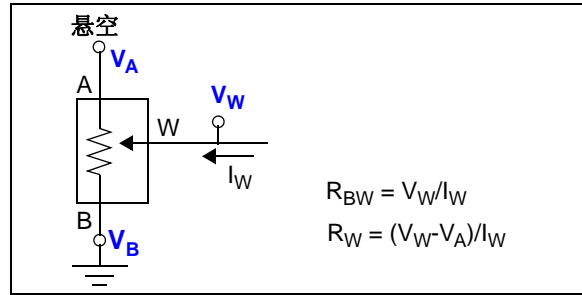


图 B-5: R_{BW} 和 R_W 测量

图 B-6 给出了电阻网络的框图；其中， R_{AB} 电阻由 256 个 R_S 电阻串联组成。这些电阻是多晶硅器件。每个抽头开关都是由 NMOS 和 PMOS 晶体管构成的模拟开关。图 B-7 给出了抽头开关更详细的图示。抽头电阻会受抽头开关节点上电压 (V_G 、 V_W 和 V_{WCn}) 的影响。此外，温度也会影响抽头开关的特性，请参见图 B-4。

NMOS 晶体管和 PMOS 晶体管具有不同的特性。这些特性和抽头开关节点电压决定每个抽头编码处的 R_W 电阻。电阻网络中每个抽头开关特性的变化会大于 R_S 电阻的变化。

电阻网络节点上的电压 (V_{WCn}) 取决于所选的抽头编码和施加到 V_A 、 V_B 和 V_W 的电压。抽头开关 V_G 电压与 V_W 或 V_{WCn} 电压的比率决定晶体管导通的强弱程度。当晶体管弱导通时，抽头电阻 R_W 将很高。当晶体管强导通时，抽头电阻 (R_W) 将处于典型范围。

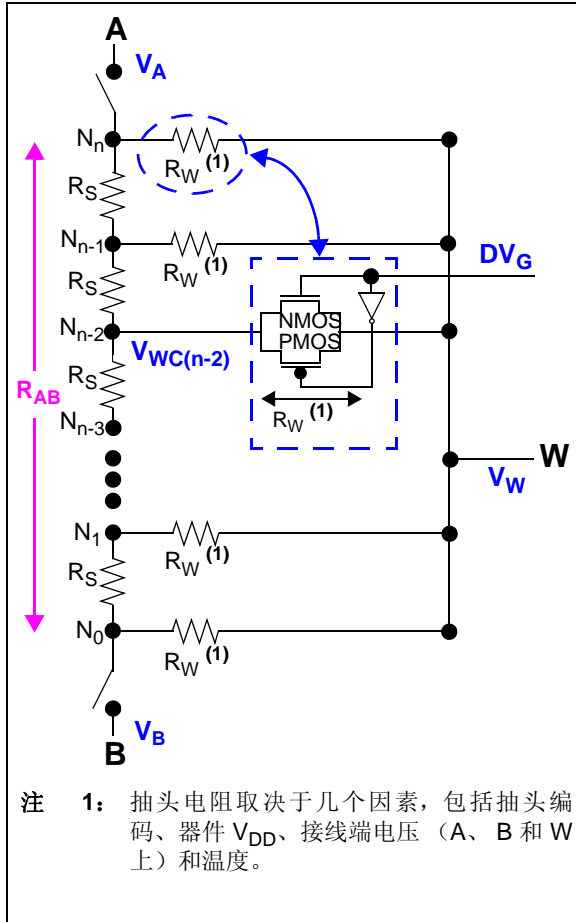


图 B-6: 电阻网络框图

抽头的特性由每个电阻网络分接点的抽头开关的特性决定。图 B-7 给出了抽头开关的示例。当器件工作电压降低时, 抽头开关的特性会因 V_G 信号电压降低而改变。

图 B-7 给出了抽头开关的实现图示。当晶体管关断时, 开关电阻可达数十亿 Ω 。当晶体管导通时, 开关电阻取决于 V_G 、 V_W 和 V_{WCn} 电压。该电阻称为 R_W 。

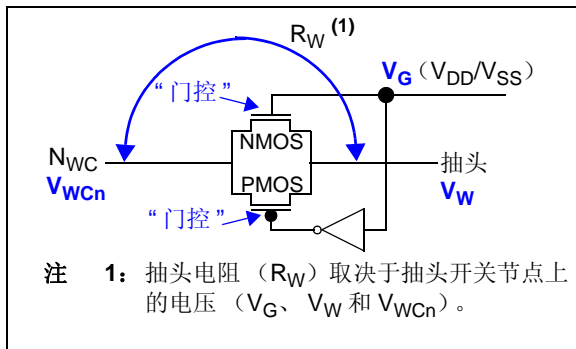


图 B-7: 抽头开关

查看 3.0V 和 1.8V 数据的抽头电压 (V_W) 可以得到图 B-8 和图 B-9 中的图形。在 1.8V 图形中, 当 V_W 接近 0.8V 时, 电压会非线性上升。由于 $V = I * R$, 并且电流 (I_W) 是恒定的, 这意味着器件电阻大约在抽头编码 160 处非线性增大。

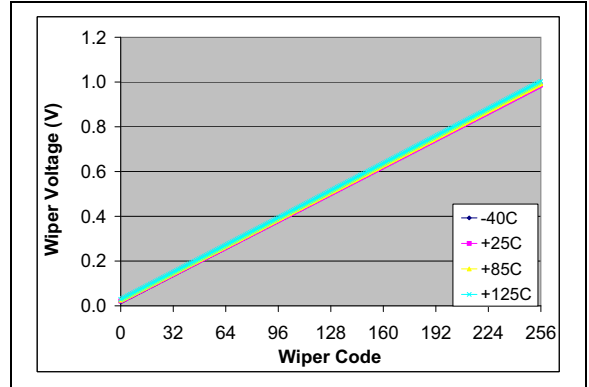


图 B-8: 抽头电压 (V_W) — 抽头编码关系曲线 ($V_{DD} = 3.0V$, $I_W = 190 \mu A$)

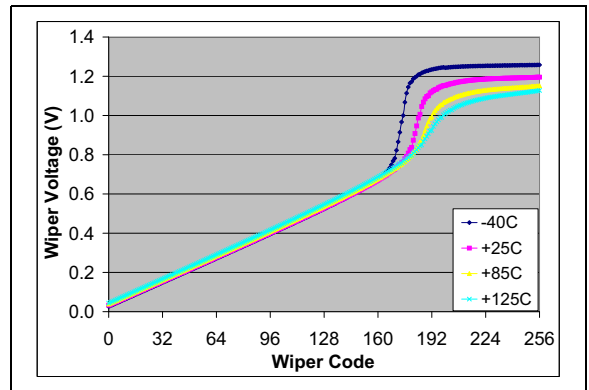


图 B-9: 抽头电压 (V_W) — 抽头编码关系曲线 ($V_{DD} = 1.8V$, $I_W = 190 \mu A$)

MCP433X/435X

使用 MCP43XX 模拟开关的 NMOS 和 PMOS 器件的模拟模型 (图 B-10)，可以绘制器件导通时的器件电阻图。图 B-11 和图 B-12 显示了随 V_{IN} 电压上升时 NMOS 和 PMOS 器件的电阻。抽头电阻 (R_W) 等于 NMOS 和 PMOS 器件的并联电阻 ($R_W = R_{NMOS} \parallel R_{PMOS}$)。在小于 NMOS 和 PMOS 器件的阈值电压时，电阻会变得极大 (数十亿 Ω)。在晶体管工作区中，电阻会小很多。对于这两张图形，电阻使用不同的数值尺度。图 B-13 和图 B-14 仅绘制了对应于工作区的 NMOS 和 PMOS 器件电阻，以及所产生的抽头电阻。对于这两张图形，所有电阻使用相同的数值尺度。

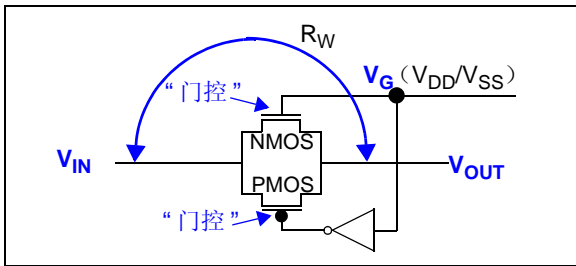


图 B-10: 模拟开关

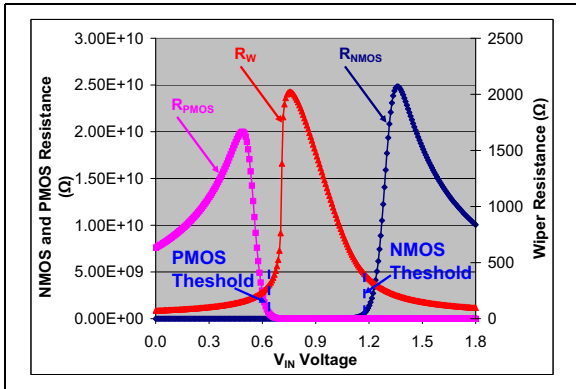


图 B-11: NMOS 和 PMOS 晶体管电阻 (R_{NMOS} 和 R_{PMOS}) 以及抽头电阻 (R_W) — V_{IN} 关系曲线 ($V_{DD} = 3.0V$)

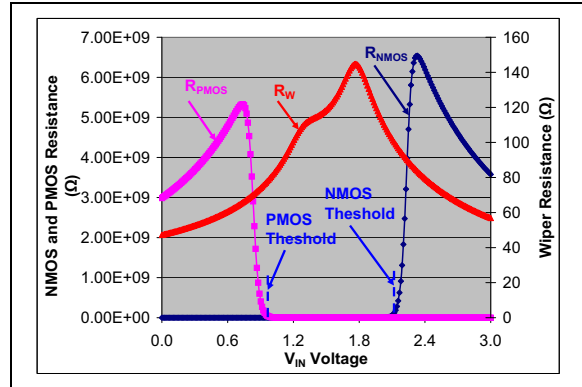


图 B-12: NMOS 和 PMOS 晶体管电阻 (R_{NMOS} 和 R_{PMOS}) 以及抽头电阻 (R_W) — V_{IN} 关系曲线 ($V_{DD} = 1.8V$)

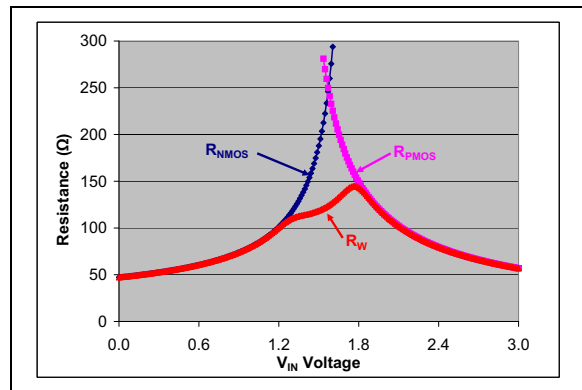


图 B-13: NMOS 和 PMOS 晶体管电阻 (R_{NMOS} 和 R_{PMOS}) 以及抽头电阻 (R_W) — V_{IN} 关系曲线 ($V_{DD} = 3.0V$)

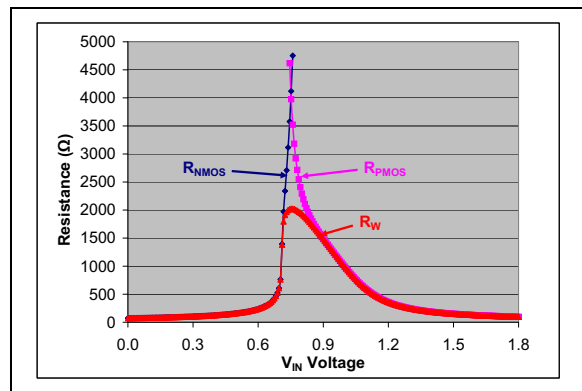


图 B-14: NMOS 和 PMOS 晶体管电阻 (R_{NMOS} 和 R_{PMOS}) 以及抽头电阻 (R_W) — V_{IN} 关系曲线 ($V_{DD} = 1.8V$)

B.2 针对低电压特性优化电路设计

通过应用设计，可以最大程度降低低电压非线性特性。本节给出了两个可用于控制可编程参考电压 (V_{OUT}) 的应用电路。

最大程度降低低电压非线性特性的方法是将抽头开关节点上的电压保持为某个特定电压，使 NMOS 或 PMOS 晶体管两者之一导通。

它的一个示例就是对参考电压 (V_{OUT}) 使用数字电位计。假设我们希望 V_{OUT} 的范围为 $0.5 * V_{DD}$ 至 $0.6 * V_{DD}$ 。

在示例实现 1 (图 B-15) 中，使用电阻 R1 和 R2 来连接数字电位计。当抽头编码处于满量程时， V_{OUT} 电压将为 $\geq 0.6 * V_{DD}$ ；当抽头编码处于零量程时， V_{OUT} 电压将为 $\leq 0.5 * V_{DD}$ 。请记住，必须包含数字电位计的 R_{AB} 变化。表 B-1 显示了 V_{OUT} 电压可以选择为介于 $0.455 * V_{DD}$ 和 $0.727 * V_{DD}$ 之间，它包含了所需的范围。对应于电阻网络节点上的电压，在 1.8V 时， V_A 电压的范围将为 1.29V 至 1.31V， V_B 电压的范围将为 0.82V 至 0.86V。这些电压会使抽头电阻处于非线性区域 (见图 B-12)。在电位计模式下，抽头电阻的变化通常不会产生问题，如 INL/DNL 图 (图 2-7) 所示。

在示例实现 2 (图 B-16) 中，我们在变阻器模式下使用数字电位计。梯形电阻网络使用电阻 R1 和 R2， R_{BW} 位于梯形电阻网络底部。当抽头编码处于满量程时， V_{OUT} 电压将为 $\geq 0.6 * V_{DD}$ ；当抽头编码处于零量程时， V_{OUT} 电压将为 $\leq 0.5 * V_{DD}$ 。请记住，必须包含数字电位计的 R_{AB} 变化。表 B-2 显示了 V_{OUT} 电压可以选择为介于 $0.50 * V_{DD}$ 和 $0.687 * V_{DD}$ 之间，它包含了所需的范围。对应于电阻网络节点上的电压，在 1.8V 时， V_W 电压的范围为 0.29V 至 0.38V。这些电压使抽头电阻处于线性区域 (见图 B-12)。

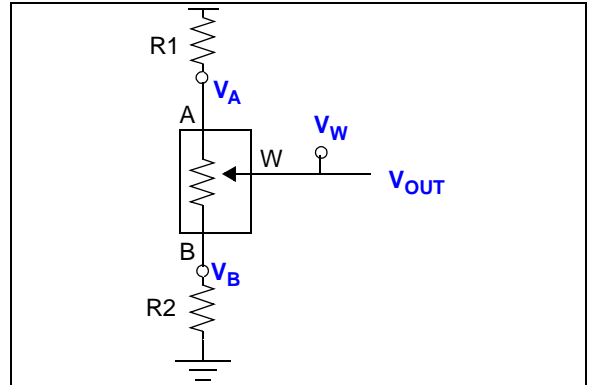


图 B-15: 示例实现 1

表 B-1: 示例 1 电压计算

	变化		
	最小值	典型值	最大值
R1	12,000	12,000	12,000
R2	20,000	20,000	20,000
R_{AB}	8,000	10,000	12,000
V_{OUT} (FS时)	$0.714 V_{DD}$	$0.70 V_{DD}$	$0.727 V_{DD}$
V_{OUT} (ZS时)	$0.476 V_{DD}$	$0.50 V_{DD}$	$0.455 V_{DD}$
V_A	$0.714 V_{DD}$	$0.70 V_{DD}$	$0.727 V_{DD}$
V_B	$0.476 V_{DD}$	$0.50 V_{DD}$	$0.455 V_{DD}$

图注: FS—— 满量程, ZS—— 零量程

MCP433X/435X

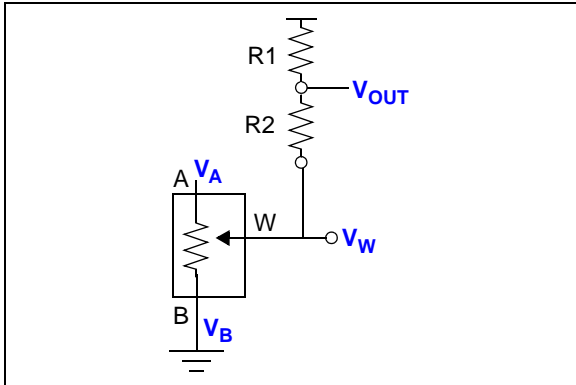


图 B-16: 示例实现 2

表 B-2: 示例 2 电压计算

	变化		
	最小值	典型值	最大值
R1	10,000	10,000	10,000
R2	10,000	10,000	10,000
R_{BW} (最大值)	8,000	10,000	12,000
V_{OUT} (FS时)	$0.667 V_{DD}$	$0.643 V_{DD}$	$0.687 V_{DD}$
V_{OUT} (ZS时)	$0.50 V_{DD}$	$0.50 V_{DD}$	$0.50 V_{DD}$
V_W (FS时)	$0.333 V_{DD}$	$0.286 V_{DD}$	$0.375 V_{DD}$
V_W (ZS时)	V_{SS}	V_{SS}	V_{SS}

图注: FS——满量程, ZS——零量程

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。

器件编号	-XXX	X	/XX
器件	电阻版本	温度范围	封装
<p>器件：</p> <p>MCP4331: 四路易失性 7 位电位计 MCP4331T: 四路易失性 7 位电位计 (卷带式)</p> <p>MCP4332: 四路易失性 7 位变阻器 MCP4332T: 四路易失性 7 位变阻器 (卷带式)</p> <p>MCP4351: 四路易失性 8 位电位计 MCP4351T: 四路易失性 8 位电位计 (卷带式)</p> <p>MCP4352: 四路易失性 8 位变阻器 MCP4352T: 四路易失性 8 位变阻器 (卷带式)</p>			
<p>电阻版本：</p> <p>502 = 5 kΩ 103 = 10 kΩ 503 = 50 kΩ 104 = 100 kΩ</p>			
<p>温度范围：</p> <p>E = -40°C 至 +125°C (扩展级)</p>			
<p>封装：</p> <p>ST = 塑封薄型缩小外形封装 (TSSOP), 14/20 引脚 ML = 塑封正方扁平无脚封装 (4x4 QFN), 20 引脚</p>			
<p>示例：</p> <p>a) MCP4331-502E/XX: 5 kΩ, 20 引脚器件 b) MCP4331T-502E/XX: T/R, 5 kΩ, 20 引脚器件 c) MCP4331-103E/XX: 10 kΩ, 20 引脚器件 d) MCP4331T-103E/XX: T/R, 10 kΩ, 20 引脚器件 e) MCP4331-503E/XX: 50 kΩ, 20 引脚器件 f) MCP4331T-503E/XX: T/R, 50 kΩ, 20 引脚器件 g) MCP4331-104E/XX: 100 kΩ, 20 引脚器件 h) MCP4331T-104E/XX: T/R, 100 kΩ, 20 引脚器件</p> <p>a) MCP4332-502E/XX: 5 kΩ, 14 引脚器件 b) MCP4332T-502E/XX: T/R, 5 kΩ, 14 引脚器件 c) MCP4332-103E/XX: 10 kΩ, 14 引脚器件 d) MCP4332T-103E/XX: T/R, 10 kΩ, 14 引脚器件 e) MCP4332-503E/XX: 50 kΩ, 8 引脚器件 f) MCP4332T-503E/XX: T/R, 50 kΩ, 14 引脚器件 g) MCP4332-104E/XX: 100 kΩ, 14 引脚器件 h) MCP4332T-104E/XX: T/R, 100 kΩ, 14 引脚器件</p> <p>a) MCP4351-502E/XX: 5 kΩ, 20 引脚器件 b) MCP4351T-502E/XX: T/R, 5 kΩ, 20 引脚器件 c) MCP4351-103E/XX: 10 kΩ, 20 引脚器件 d) MCP4351T-103E/XX: T/R, 10 kΩ, 20 引脚器件 e) MCP4351-503E/XX: 50 kΩ, 20 引脚器件 f) MCP4351T-503E/XX: T/R, 50 kΩ, 20 引脚器件 g) MCP4351-104E/XX: 100 kΩ, 20 引脚器件 h) MCP4351T-104E/XX: T/R, 100 kΩ, 20 引脚器件</p> <p>a) MCP4352-502E/XX: 5 kΩ, 14 引脚器件 b) MCP4352T-502E/XX: T/R, 5 kΩ, 14 引脚器件 c) MCP4352-103E/XX: 10 kΩ, 14 引脚器件 d) MCP4352T-103E/XX: T/R, 10 kΩ, 14 引脚器件 e) MCP4352-503E/XX: 50 kΩ, 14 引脚器件 f) MCP4352T-503E/XX: T/R, 50 kΩ, 14 引脚器件 g) MCP4352-104E/XX: 100 kΩ, 14 引脚器件 h) MCP4352T-104E/XX: T/R, 100 kΩ, 14 引脚器件</p> <p>XX = ST, 适用于 14/20 引脚 TSSOP = ML, 适用于 20 引脚 QFN</p>			

MCP433X/435X

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 safest 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、Octopus、Omniscient Code Generation、PICC、PICC-18、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、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: 978-1-60932-283-0

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 and 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: 678-957-9614
Fax: 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: 216-447-0464
Fax: 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: 408-961-6444
Fax: 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: 886-7-536-4818
Fax: 886-7-536-4803

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