

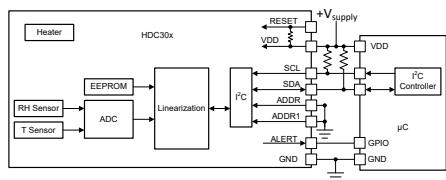
HDC302x-Q1 汽车级 0.5%RH 数字相对湿度传感器和 0.19%RH/年 LTD、4s 响应、偏移误差校正、0.1°C 温度传感器

1 特性

- 符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准
 - 温度等级 1 : -40°C 至 125°C
 - 器件 HBM ESD 分类等级 2
 - 器件 CDM ESD 分类等级 C4
- 功能安全型**
 - 可提供用于功能安全系统设计的文档
- 相对湿度 (RH) 传感器 :
 - 工作范围 : 0% 至 100%
 - 精度 : $\pm 0.5\%$ (典型值)
 - 偏移误差校正 : 减少偏移, 使器件恢复到精度规格内
 - 长期漂移 : 0.19%RH/年
 - 通过集成加热器实现冷凝防护
- 温度传感器:
 - 工作范围 : -40°C 至 125°C
 - 精度 : 典型值 $\pm 0.3^\circ\text{C}$
- NIST 可追溯性 : 相对湿度和温度
- 输出短路保护
- 低功耗 : 平均电流 $0.4\mu\text{A}$
- I^2C 接口支持高达 1MHz 的速度
 - 四个可选的 I^2C 地址
 - 通过 CRC 校验和实现数据保护
- 电源电压 : 1.62V 至 5.50V
- 具有自动测量模式
- 可编程中断
- 可编程 RH 和温度测量偏移
- 工厂原装聚酰亚胺胶带总成盖
- 工厂原装 IP67 级环保套
- 具有可湿性侧面选项的 WSON 封装

2 应用

- 汽车 HVAC 控制模块
- 汽车 HVAC 传感器 - 空气质量
- 汽车颗粒物 PM2.5
- 电池管理系统
- 板载充电
- 汽车摄像头



典型应用

3 说明

HDC302x-Q1 是一款基于集成式电容的相对湿度 (RH) 和温度传感器。该器件能够在宽电源电压范围 (1.62V 至 5.5V) 内提供高测量精度并实现低功耗，紧凑型 2.5mm × 2.5mm × 0.8mm WSON 8 引脚封装。温度传感器和湿度传感器在量产阶段均经过 100% 测试和修正，可通过 NIST 进行追溯，且使用经 ISO/IEC 17025 标准校准的设备进行了验证。

偏移误差校正功能可减少 RH 传感器因老化、暴露于极端工作条件和污染物环境所产生的偏移，使器件恢复到精度规格内。在电池供电的物联网应用中，自动测量模式和警报功能可通过更大程度减少 MCU 睡眠时间来降低系统功耗。有四种不同 I^2C 地址支持高达 1MHz 的速度。加热器用于消散冷凝水和湿气。

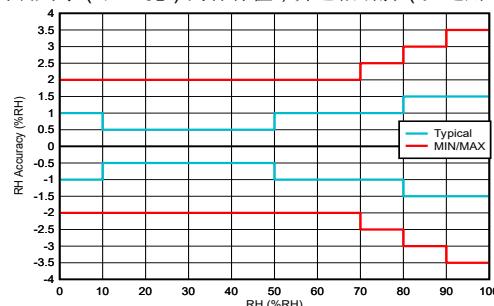
HDC3020-Q1 采用不带保护套的空腔封装。以下两个器件型号提供保护套选项，以保护空腔 RH 传感器：HDC3021-Q1 和 HDC3022-Q1。HDC3021-Q1 具有可拆卸保护胶带，可用于保形涂层和 PCB 清洗。HDC3022-Q1 配有可靠的 IP67 滤膜，起到防尘和防冷凝水的作用。所有三种封装型号均具有可湿性侧面选项。

封装信息

器件型号	封装 ⁽¹⁾	封装尺寸 ⁽²⁾
HDC3020-Q1		
HDC3021-Q1	WSON (8)	2.50mm × 2.50mm × 0.75mm
HDC3022-Q1		

(1) 有关更多信息，请参阅节 11。

(2) 封装尺寸 (长 × 宽) 为标称值，并包括引脚 (如适用)。



相对湿度 (%RH) 精度



本资源的原文使用英文撰写。为方便起见，TI 提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，TI 不保证译文的准确性。为确认准确性，请务必访问 ti.com 参考最新的英文版本 (控制文档)。

内容

1 特性	1	7.3 特性说明	12
2 应用	1	7.4 器件功能模式	15
3 说明	1	7.5 通信	15
4 器件比较	3	8 应用和实现	33
5 引脚配置和功能	4	8.1 应用信息	33
6 规格	5	8.2 典型应用	33
6.1 绝对最大额定值	5	8.3 电源相关建议	34
6.2 ESD 等级	5	8.4 布局	35
6.3 建议运行条件	5	9 器件和文档支持	38
6.4 热性能信息	5	9.1 文档支持	38
6.5 电气特性	6	9.2 接收文档更新通知	38
6.6 I ² C 接口时序	8	9.3 支持资源	38
6.7 时序图	9	9.4 商标	38
6.8 典型特性	10	9.5 静电放电警告	38
7 详细说明	12	9.6 术语表	38
7.1 概述	12	10 修订历史记录	38
7.2 功能方框图	12	11 机械、封装和可订购信息	39

4 器件比较

表 4-1. TI 湿度器件比较

	HDC302x	HDC312x	HDC2010	HDC2080	HDC1010	HDC1080
工作温度(°C)	-40 至 125	-40 至 125	-40 至 85	-40 至 125	-40 至 85	-40 至 125
电源电压 (V)	1.62 至 5.5		1.62 至 3.6			2.7 至 5.5
接口；地址计数	I2C ; 4	比例式模拟；不适用	I2C ; 2			I2C ; 1
RH 精度 (典型值/最大值) (%RH)	±0.5/±2.0, 10%-50% RH ±1.0/±2.0, 10%-70% RH ±1.0/±2.5, 10%-80% RH ±1.5/±3.0, 10%-90% RH	±0.5/±2.0, 10%-50% RH ±1.0/±2.0, 50%-60% RH ±1.0/±2.5, 60%-70% RH ±1.5/±3.0, 70%-90% RH	±2/±3, 20%-80% RH			±2, 10-80%RH ±2, 20-60%RH
RH 可重复性 (%, 典型值)	±0.02	±0.02	±0.1, 14 位分辨率			±0.1, 14 位分辨率
RH LTD (%/年, 典型值)	±0.19	±0.19	±0.25			±0.25
RH 响应时间 (秒, 典型值)	4	4	8			15
温度精度 (典型值/最大值) (°C)	±0.1/±0.2, 0°C 至 50°C ±0.1/±0.3, -40°C 至 100°C ±0.1/±0.4, -40°C 至 125°C	±0.2/±0.6, -20°C 至 100°C ±0.3/±0.7, -40°C 至 125°C	±0.2/±0.4, 15°C 至 45°C ±0.2/±0.7, 5°C 至 60°C	±0.2/±0.4, 10°C 至 35°C ±0.2/±0.7, 5°C 至 60°C	±0.2/±0.4, 5°C 至 60°C	
睡眠电流 (μA, 典型值)	0.4 (按需触发) 0.55 (自动测量)	240	0.05			0.1
活动电流 (μA, 典型值)	99	不适用	650			190
平均 I_{DD} (1Hz 时的典型值)	0.7 (按需触发), 0.9 (自动测量)	不适用	0.55			0.71
NIST 可追溯性	是	是	否			否
保护选项	HDC3021 : 保护胶带 HDC3022 : IP67 滤波器	否 ¹	否	HDC2021 : 保护胶带 HDC2022 : IP67 滤波器	否	
集成式加热器	是	是	是			
封装尺寸 (mm ³)	2.5 × 2.5 × 0.8	2.5 × 2.5 × 0.8	1.5 × 1.5 × 0.675	3 × 3 × 0.8	2 × 1.6 × 0.675	3 × 3 × 0.8

5 引脚配置和功能

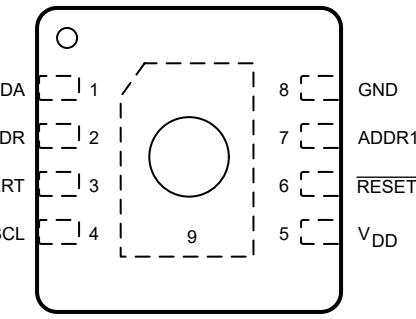


图 5-1. HDC302x-Q1 DEF、DEH、DEJ 封装 8 引脚 WSON 透明顶视图

表 5-1. 引脚功能

引脚		类型 ⁽¹⁾	说明
名称	编号		
ADDR	2	I	I ² C 器件地址引脚。 对于器件地址 0x44 和 0x45, ADDR1 电压必须为 GND。 0x44 要求 ADDR 电压为 GND。 0x45 要求 ADDR 电压为 VDD。 不能保持悬空。
ADDR1	7	I	I ² C 器件地址引脚。 对于器件地址 0x46 和 0x47, ADDR1 电压必须为 VDD。 0x46 要求 ADDR 电压为 GND。 0x47 要求 ADDR 电压为 VDD 不能保持悬空。
ALERT	3	O	中断引脚。推挽式输出。 如果未使用，则必须保持悬空。
GND	8	G	接地
RESET	6	I	重置引脚。低电平有效，内部上拉电阻器连接到 VDD。如果未使用，则连接到 V _{DD} 。
SCL	4	I/O	I ² C 的串行时钟线。
SDA	1	I/O	I ² C 的串行数据线，开漏；需要上拉电阻器。
V _{DD}	5	P	电源电压，范围为 1.62V 至 5.50V。
散热焊盘	9	G	散热焊盘可焊接或保持未焊接状态。如果选择焊接散热焊盘，请附接到连接到 GND 的焊盘（最好是悬空焊盘）。但是，为了更大限度地降低热质量，从而更大限度地提高加热器效率，或者为了测量环境温度，可以保持散热焊盘不连接到 PCB。

(1) I/O = 输入和输出, G = 接地, I = 输入, O = 输出, P = 功率

6 规格

6.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明) ⁽¹⁾

		最小值	最大值	单位
V_{DD}	对 V_{DD} 引脚应用了电压	-0.3	6.0	V
SCL	对 SCL 引脚应用了电压	-0.3	6.0	V
SDA	对 SDA 引脚应用了电压	-0.3	6.0	V
ADDR	对 ADDR 引脚应用了电压	-0.3	6.0	V
ADDR1	对 ADDR1 引脚应用了电压	-0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
ALERT	对 ALERT 引脚应用了电压	-0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
RESET	对 RESET 引脚应用了电压	-0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
T_J	结温	-55	150	°C
T_{stg}	贮存温度	-65	150	°C

(1) 超出“绝对最大额定值”运行可能会对器件造成永久损坏。绝对最大额定值并不表示器件在这些条件下或在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出“建议运行条件”但在“绝对最大额定值”范围内使用，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能并缩短器件寿命。

6.2 ESD 等级

		值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 AEC Q100-002 ⁽¹⁾	± 2000
		充电器件模型 (CDM)，符合 AEC Q100-011	± 750

(1) AEC Q100-002 指示应当按照 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 规范执行 HBM 应力测试

6.3 建议运行条件

	参数	最小值	最大值	单位
V_{DD}	电源电压	1.62	5.5	V
T_{TEMP}	温度传感器 - 自然通风工作温度范围	-40	125	°C
T_{RH}	相对湿度传感器 - 自然通风工作温度范围	-20	80	°C
T_{HEATER}	用于冷凝水去除的集成式加热器 - 自然通风工作温度 ⁽¹⁾	-40	60	°C
RH_{OR}	相对湿度传感器工作范围 (非冷凝) ⁽¹⁾	0	100	%RH

(1) 在非建议的温度运行条件下长时间运行，和/或在 $>80\%$ RH 且温度处于较高建议工作范围内的情况下长时间运行，会导致传感器读数发生变化，恢复速度很慢。请注意，由于可能会结霜，在小于 0°C 的条件下测量相对湿度时要小心。有关更多详细信息，请参阅 [暴露于高温和高湿度条件下](#)。

6.4 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾	HDC3x		单位	
	DEF、DEH DEJ、DEL、 DEQ 和 DER (WSON)			
	8 引脚			
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	84.9	°C/W	
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳 (顶部) 热阻 ⁽²⁾	不适用	°C/W	
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	52.0	°C/W	
Ψ_{JT}	结到顶部的表征参数 ⁽²⁾	不适用	°C/W	
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	51.7	°C/W	
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳 (底部) 热阻	30.4	°C/W	

(1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅 [半导体和 IC 封装热指标](#) 应用手册。

(2) JEDEC 标准 JESD51-X 规定了在封装顶部表面的中心位置进行的这个测量。由于空腔开口位于中心位置，此测量不适用。

6.5 电气特性

$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C , $V_{DD} = 1.62\text{V}$ 至 5.50V (除非另有说明), 典型规格为 $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 1.8\text{V}$ (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位	
相对湿度传感器						
RH_{ACC}	精度 (3) (4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$, 10% 至 50% RH	± 0.5	± 2.0	%RH	
		$T_A = 25^\circ\text{C}$, 0% 至 70% RH	± 1.0	± 2.0		
		$T_A = 25^\circ\text{C}$, 10% 至 80% RH	± 1.0	± 2.5		
		$T_A = 25^\circ\text{C}$, 10% 至 90% RH	± 1.5	± 3.0		
		$T_A = 25^\circ\text{C}$, 0% 至 100% RH	± 1.5	± 3.5		
RH_{REP}	可重复性 (12)	低功耗模式 0 (最低噪声)	± 0.02	%RH		
		低功耗模式 1	± 0.02			
		低功耗模式 2	± 0.03			
		低功耗模式 3 (最低功耗)	± 0.04			
RH_{HYS}	迟滞 (5)	10% 至 90% RH	± 0.8	%RH		
RH_{RT}	响应时间 (6) (7)	10% 至 90% RH $t_{63\%}$ 阶跃。	4	s		
RH_{LTD}	的长期漂移 (4)		0.19	%RH/年		
RH_{PSRR}	电源敏感度 RH 精度	$V_{DD} = 1.8\text{V}$ 至 5.5V	-10 1.8 10	%mRH/ V		
温度传感器						
T_{ACC}	精度	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 50^\circ\text{C}$	± 0.1	± 0.2	°C	
		$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq 100^\circ\text{C}$	± 0.1	± 0.3		
		$-40^\circ\text{C} \leq T_A < 125^\circ\text{C}$	± 0.1	± 0.4		
T_{REP}	可重复性 (12)	低功耗模式 0 (最低噪声)	± 0.04	°C		
		低功耗模式 1	± 0.05			
		低功耗模式 2	± 0.06			
		低功耗模式 3 (最低功耗)	± 0.08			
T_{RT}	响应时间 (搅拌液体) (6) (13)	$25^\circ\text{C} < T_A < 75^\circ\text{C}$ $t_{63\%}$ 阶跃 Roger 的 4350B PCB 1.575mm 厚度	2	s		
T_{LTD}	长期漂移			± 0.03	°C/年	
T_{PSRR}	电源灵敏度温度精度		-25 -5.7 25	m°C/V		
传感器时序						
t_{meas}	测量持续时间 (8)	低功耗模式 0 (最低噪声)	12.5	14.1	ms	
		低功耗模式 1	7.5	8.4		
		低功耗模式 2	5.0	5.7		
		低功耗模式 3 (最低功耗)	3.7	4.2		
SCL、SDA 引脚						
V_{IL}	低电平输入电压		0.3* V_{DD}	V		
V_{IH}	高电平输入电压		0.7* V_{DD}	V		
V_{OL}	低电平输出电压	$I_{OL} = 3\text{mA}$		0.4	V	
I_{IN}	输入漏电流	SDA 和 SCL 引脚	-0.5	0.5	μA	
C_{IN}	输入电容			4.5	pF	
控制引脚						

$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C , $V_{DD} = 1.62\text{V}$ 至 5.50V (除非另有说明) , 典型规格为 $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 1.8\text{V}$ (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位	
V_{OH}	高电平输出电压 - ALERT	$I_{OH} = -100\mu\text{A}$	$V_{DD} - 0.2$		0.2	V	
	高电平输出电压 - ALERT	$I_{OH} = -3\text{mA}$					
V_{OL}	低电平输出电压 - ALERT	$I_{OL} = 100\mu\text{A}$	$V_{DD} - 0.4$		0.2	V	
	低电平输出电压 - ALERT	$I_{OL} = 3\text{mA}$					
V_{IH}	高电平输入电压 - ADDR、ADDR1、RESET		$0.7*V_{DD}$		0.4	V	
V_{IL}	低电平输入电压 - ADDR、ADDR1、RESET		$0.3*V_{DD}$				
I_I	输入漏电流 - ADDR 和 ADDR1	$V_I = V_{DD}$ 或 GND	-0.5	0.5	μA		
电源							
I_{DD_ACTIVE}	有效电流 ⁽¹⁾	低功耗模式 0 (最低噪声)	110	170	μA		
		低功耗模式 1	108	165			
		低功耗模式 2	103	155			
		低功耗模式 3 (最低功耗)	99	153			
	睡眠电流 ⁽¹⁾	无有效测量 , 按需触发模式 $T_A = 25^\circ\text{C}$	0.36	0.75	μA		
		无有效测量 , 按需触发模式 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C		14.5			
I_{DD_SLEEP}		无有效测量 , 自动测量模式 $T_A = 25^\circ\text{C}$	0.54	1.05			
		无有效测量 , 自动测量模式 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C		15.0			
$I_{DD_AVG_EQN}$	平均电流公式	测量频率 = 每秒样本数	请参阅 ⁽⁹⁾		μA		
I_{DD_AVG}	平均电流 ^{(1) (2)}	按需触发模式 , 低功耗模式 3 (最低功耗) 以每秒 1 个样本的速率触发		0.7			
		按需触发模式 , 低功耗模式 3 (最低功耗) 以每 5 秒 1 个样本的速率触发		0.4			
		自动测量模式 , 低功耗模式 0 (最低噪声) 每秒 1 个样本		1.9			
		自动测量模式 , 低功耗模式 1 每秒 1 个样本		1.3			
		自动测量模式 , 低功耗模式 2 每秒 1 个样本		1.0			
		自动测量模式 , 低功耗模式 3 (最低功耗) 每秒 1 个样本		0.9			
		自动测量模式 , 低功耗模式 3 (最低功耗) 每两秒 1 个样本		0.7			
		全功率 0x3FFF , $V_{DD} = 3.3\text{V}$	249	368	mW		
P_{HEATER}	加热器功率 ⁽¹¹⁾	半功率 0x03FF , $V_{DD} = 3.3\text{V}$	137	203			
		四分之一功率 0x009F , $V_{DD} = 3.3\text{V}$	67	100			
V_{POR}	上电复位阈值电压	电源上升	1.35		V		
V_{BOR}	欠压检测电压	电源下降	1.19		V		

$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C , $V_{DD} = 1.62\text{V}$ 至 5.50V (除非另有说明) , 典型规格为 $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 1.8\text{V}$ (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
SensorPUR	上电就绪	$V_{DD} \geq 1.62\text{V}$ 时传感器就绪		3.5	5.0	ms
SensorRR	复位就绪	复位后传感器就绪		1.3	3.0	ms
R_{RESET}	RESET 引脚内部上拉电阻			49		$\text{k}\Omega$
t_{RESET_NPW}	用于触发硬复位的负脉冲宽度		1			μs
EEPROM (T、RH 偏移和警报)						
OS_{END}	编程耐久性		1000	50000		周期
OS_{RET}	数据保留时间	100% 通电时间	10	100		年
t_{PROG}	EEPROM 编程时间			53	77	ms
I_{EEPROM}	EEPROM 写入静态电流	无有效测量；串行总线无效		525		μA

- (1) 不包括 I²C 读/写通信或通过 SCL 和 SDA 的上拉电阻器电流
- (2) 转换过程中的平均电流消耗
- (3) 不包括迟滞和长期漂移
- (4) 基于使用 Arrhenius-Peck 加速模型进行的 THB (温湿度偏差) 测试。排除灰尘、气相溶剂和其他污染物 (例如包装材料、粘合剂或胶带等产生的蒸汽) 的影响。
- (5) 迟滞值是特定 RH 点的上升和下降 RH 环境中 RH 测量值的差值
- (6) 实际响应时间变化取决于系统热质量和气流
- (7) 在环境湿度发生阶跃变化后, RH 输出变化占总 RH 变化 63% 的时间
- (8) 测量持续时间包括测量相对湿度和温度的时间
- (9) $I_{DD_AVG_EQN} = \text{测量频率} \times I_{DD_ACTIVE} \times t_{meas} + I_{sleep} \times (1 - (\text{测量频率} \times t_{meas}))$
验证单位是否匹配 (例如: 测量频率以 Hz 为单位, t_{meas} 以秒为单位, 并且所有电流使用同一个单位)
- (10) 在环境温度发生阶跃变化后, 温度输出变化占总温度变化 63% 的时间
- (11) 有关加热器的更多详细信息, 请参阅 [HDC3x 器件用户指南](#)
- (12) 典型值是在温度和电源电压范围内的 3Σ 测量值。

6.6 I²C 接口时序

最小值和最大值规格适用于 -40°C 至 125°C 温度范围且 $V_{DD} = 1.62\text{V}$ 至 5.50V (除非另有说明) ⁽¹⁾

参数	快速模式		快速+ 模式		单位	
	最小值	最大值	最小值	最大值		
$f_{(SCL)}$	SCL 运行频率	1	400	1	1000	kHz
$t_{(BUF)}$	停止和启动条件之间的总线空闲时间	1.3		0.5		μs
$t_{(SUSTA)}$	重复启动条件建立时间	0.6		0.26		μs
$t_{(HDSTA)}$	重复启动条件后的保持时间。 在此周期后, 生成第一个时钟。	0.6		0.26		μs
$t_{(SUSTO)}$	STOP 条件建立时间	0.6		0.26		μs
$t_{(HDDAT)}$	数据保持时间 ⁽²⁾	0	900	0	150	ns
$t_{(SUDAT)}$	数据建立时间	100		50		ns
$t_{(LOW)}$	SCL 时钟低电平周期	1.3		0.5		μs
$t_{(HIGH)}$	SCL 时钟高电平周期	0.6		0.26		μs
$t_{(VDDAT)}$	数据有效时间 (数据响应时间) ⁽³⁾		0.9		0.45	μs
t_R	SDA 和 SCL 上升时间	20	300		120	ns
t_F	SDA 和 SCL 下降时间	$20 \times (V_{DD}/5.5\text{V})$	300	$20 \times (V_{DD}/5.5\text{V})$	120	ns
t_{LPF}	毛刺信号抑制滤波器	50		50		ns

⁽¹⁾ 控制器和器件的 V_{DD} 值相同。

⁽²⁾ 对于快速模式, $t_{(HDDAT)}$ 最大值可达 $0.9\mu\text{s}$, 比 $t_{(VDDAT)}$ 最大值要小一个转换时间。

⁽³⁾ $t_{(VDDAT)}$ = 数据信号从 SCL 低电平到 SDA 输出 (高电平到低电平, 以更差的情况为准) 的时间。

6.7 时序图

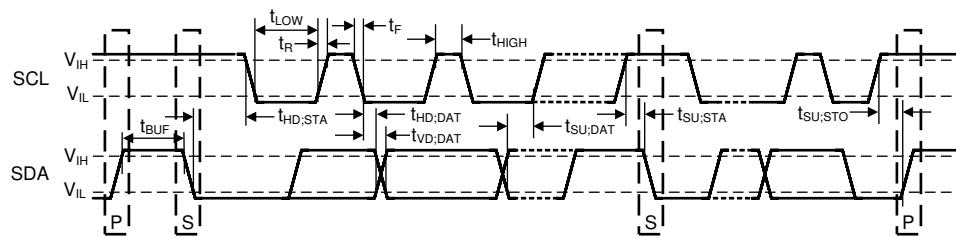


图 6-1. HDC302x-Q1 I²C 时序图

6.8 典型特性

除非另有说明。 $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 1.80\text{V}$ 。

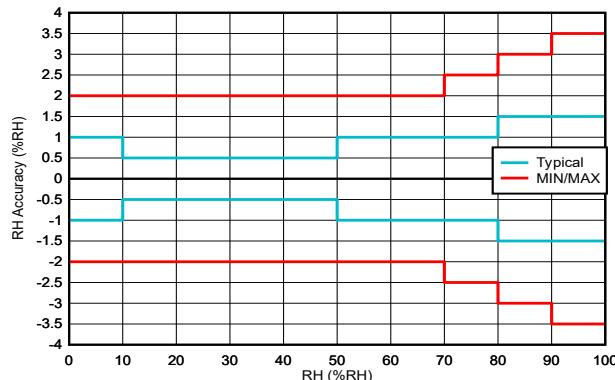


图 6-2. RH 精度与 RH 间的关系

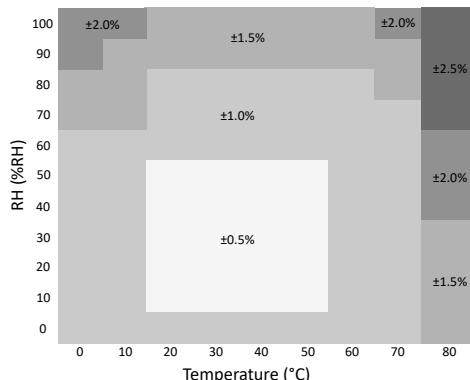


图 6-3. 相对湿度和温度范围内的典型 RH 精度

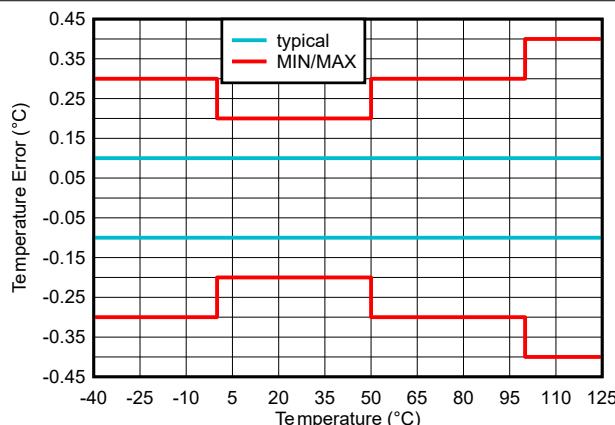


图 6-4. 温度精度与温度间的关系

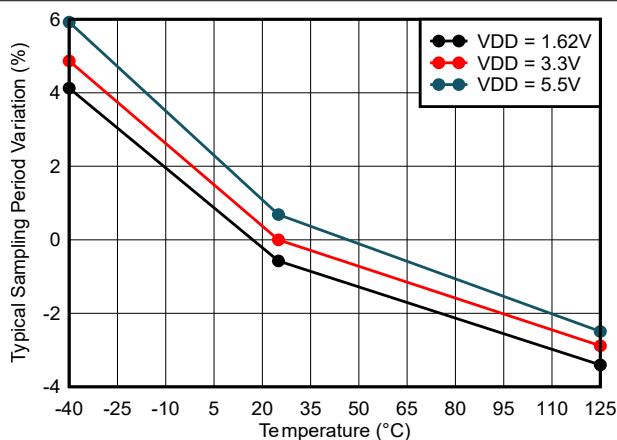


图 6-5. 自动采样时序变化

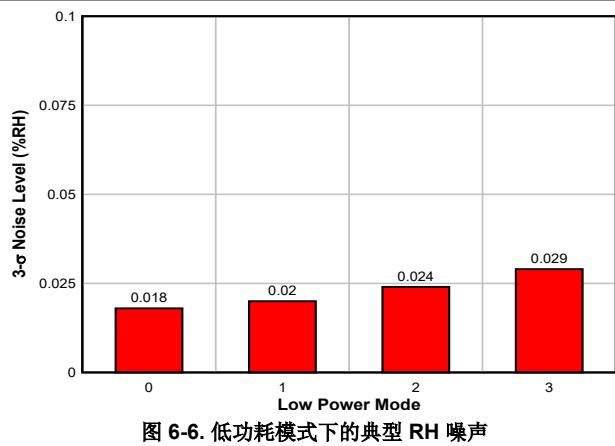


图 6-6. 低功耗模式下的典型 RH 噪声

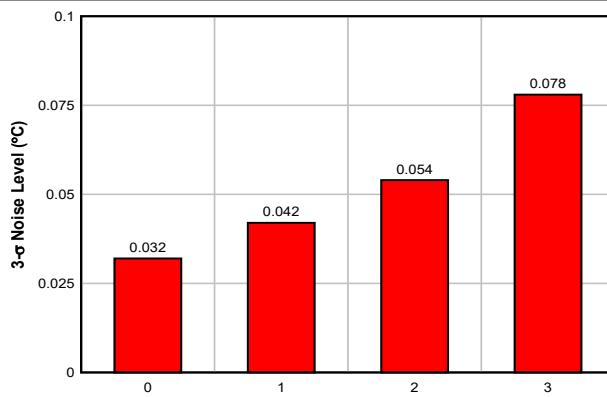


图 6-7. 低功耗模式下的典型温度噪声

6.8 典型特性 (续)

除非另有说明。 $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 1.80\text{V}$ 。

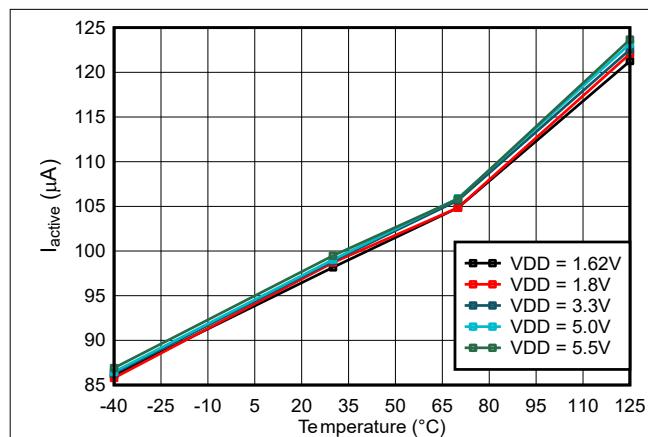


图 6-8. 整个电源电压范围内的 I_{active} 与温度间的关系

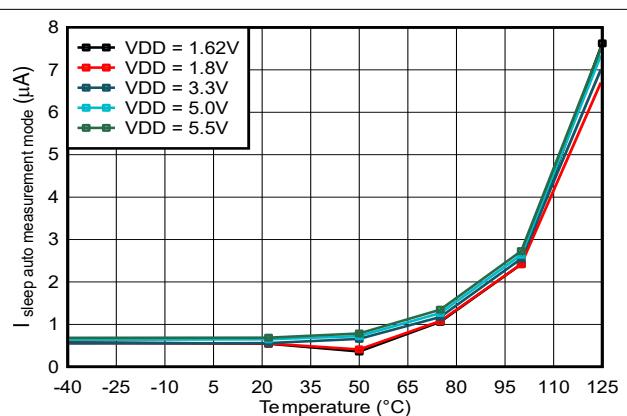


图 6-9. I_{sleep} 自动测量模式与电源温度间的关系

7 详细说明

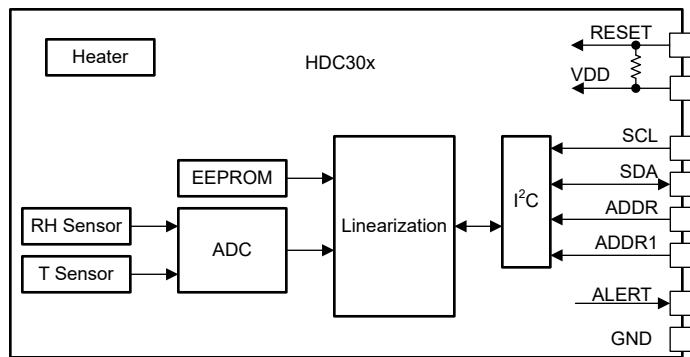
7.1 概述

HDC302x-Q1 是一款集成式接口数字传感器，包含湿度检测和温度检测元件、模数转换器、校准存储器，以及 I²C 兼容接口 2.50mm × 2.50mm、8 引脚 WSON 封装的湿度检测和温度检测元件。HDC302x-Q1 还能以极低的功耗提供出色的测量精度。

HDC302x-Q1 通过聚合物电介质电容的变化来测量相对湿度。与包含此类技术的大多数相对湿度传感器一样，必须注意提供出色的器件性能。其中包括：

- 在电路板组装过程中遵循正确的储存和处理程序。此外，还应避免暴露于释气物质（如粉红色存储泡沫）、化学品（如丙酮乙二醇）等。要了解这些指南，请参阅 [HDC3x 器件用户指南](#)。
- 在 PCB 组装和使用过程中，避免暴露于释气物质和腐蚀性化学品。要了解这些指南，请参阅 [HDC3x 器件用户指南](#)。
- 在电路板组装和操作期间保护传感器免受污染。如果无法做到，请使用提供保护盖选项的数字版本：
 - HDC3021-Q1 具有可移除保护胶带，从而可在组装过程中应用保形涂层和 PCB 清洗。
 - HDC3022-Q1 配有可靠的 IP67 滤膜，起到防尘和防冷凝水的作用
- 减少长时间暴露于会影响传感器精度的高温和极端湿度下。
- 遵循正确的布局指南以获得最佳性能。要了解这些指南，请参阅 [湿度传感器的布局和布线优化](#)。

7.2 功能方框图



7.3 特性说明

7.3.1 工厂原装聚酰亚胺胶带

HDC3021-Q1 有一个聚酰亚胺胶带，可以盖住湿度传感器元件的开口。胶带可保护湿度传感器元件免受制造过程中可能产生的污染物的影响，例如 SMT 组装、印刷电路板 (PCB) 清洗和保形涂层。为了准确测量周围环境中的相对湿度，必须在组装完成后取下胶带。胶带可承受至少三个标准回流焊循环。

要从湿度传感器元件上取下聚酰亚胺胶带，TI 建议使用 ESD 安全镊子夹住右上角的无粘性角舌片，然后缓慢地从右上角向左下角向上剥离粘合剂（而不是穿过表面）。这种做法有助于降低刮伤湿度传感器元件的风险。

7.3.2 工厂原装 IP67 保护套

HDC3022-Q1 具有可靠的 IP67 级 PTFE 滤膜，可盖住湿度传感器元件的开口。盖子是一种疏水性微孔 PTFE 箔片，可根据 IP67 规范保护湿度传感器元件免受灰尘、水和 PCB 清洗的影响。此盖设计为在整个使用寿命期间粘附在封装上，同时保持与无膜传感器相同的响应时间。该盖的过滤效率为 99.99%，可过滤小至 100nm 的颗粒。

7.3.3 可润湿侧翼

可润湿侧翼在焊接时加强了侧面端子的润湿性，从而有助于始终如一地形成焊锡圆角。焊锡圆角是可焊性和制造稳健性的可视指标。达到这种焊点几何形状的一致性之后，就可以让自动目视检查系统正确识别已形成的焊点。可润湿侧翼封装与不可润湿侧翼封装的大小相同。HDC302x-Q1 有三个带可润湿侧翼的可订购产品：

- HDC3020DELRQ1 是一款空腔可润湿侧翼封装。
- HDC3021DEQRQ1 是出厂时在传感器腔体和可润湿侧翼上方贴好了聚酰亚胺胶带的封装。
- HDC3022DERRQ1 是出厂时在传感器腔体和可润湿侧翼上方贴好了 IP67 可靠滤膜的封装。

7.3.4 测量相对湿度和温度

HDC302x-Q1 支持测量相对湿度和温度。支持的相对湿度范围为 0% 至 100%，支持的温度范围为 -40°C 至 125°C。每个测量值均以 16 位格式表示，器件不能报告超出报告范围的温度和相对湿度，转换公式记录如下：

$$RH(\%) = 100 \times \left[\frac{RH_{HDC302x}}{2^{16} - 1} \right] \quad (1)$$

$$T(^{\circ}C) = -45 + \left[175 \times \left(\frac{T_{HDC302x}}{2^{16} - 1} \right) \right] \quad (2)$$

$$T(^{\circ}F) = -49 + \left[315 \times \left(\frac{T_{HDC302x}}{2^{16} - 1} \right) \right] \quad (3)$$

7.3.5 RH 偏移误差校正：精度恢复

由于污染物，传感器聚合物电介质的自然老化以及暴露在极端工作条件下导致长期漂移。器件的集成式加热器可用于减少 RH 偏移并除去器件上的冷凝水。除了 RH 偏移校正外，温度还具有偏移校正寄存器。通常，RH 读数取决于温度读数。但是，如果对温度应用数字偏移，则温度变化不会改变 RH 读数。

7.3.6 相对湿度和温度传感器具有 NIST 可追溯性

HDC302x-Q1 器件在生产调试阶段经过 100% 测试，可通过 NIST 进行追溯，且使用经 ISO/IEC 17025 认证标准校准的设备进行了验证。所以 HDC302x-Q1 的设计可用于冷链管理等应用，在这些应用中，建立已知基准的完整校准链至关重要。

7.3.7 测量模式：按需触发与自动测量

HDC302x-Q1 提供两种测量模式：按需触发与自动测量模式

按需触发是根据需要通过 I²C 命令触发的单个温度和相对湿度测量读数。转换测量后，器件将保持睡眠模式，直到接收到另一个 I²C 命令。

自动测量模式是温度和相对湿度的反复测量读数，因此无需通过 I²C 命令重复地发出测量请求。测量间隔可从每 2 秒测量 1 次调整为每秒测量 10 次。在自动测量模式下，HDC302x-Q1 会根据选定的采样率从睡眠模式唤醒并切换至测量模式。

自动测量模式可通过两种方式帮助降低总体系统功耗。首先，无需通过 I²C 命令重复地发起测量，从而消除了流经 SCL 和 SDA 上拉电阻器的灌电流。其次，可以将微控制器编程为深度睡眠模式，并且仅在出现过多的温度和相对湿度测量时通过 ALERT 引脚中断来唤醒。

7.3.8 加热器

HDC302x-Q1 包括一个集成式加热元件，可以打开该元件以去除环境接近露点温度时可能形成的任何冷凝水。此外，加热器可用于温度和 RH 读数验证功能。

如果应用的露点被连续计算和跟踪，并且编写的应用固件使器件可以检测到潜在的冷凝情况（或一段时间），作为预防措施，可以运行软件子程序来激活机载加热器尝试去除冷凝水。加热器启动后，器件继续测量和跟踪 %RH 水平。%RH 读数达到（或接近）0% 之后，可以关闭加热器，以让器件冷却下来。器件冷却可能需要几分钟，但温度测量会继续执行，以验证器件是否恢复正常运行状态，然后会重新启动器件以正常工作。

请注意，当加热器启动时，应根据建议运行条件 T_{HEATER} 限值来限制器件的工作温度。

如果使用空腔传感器，集成式加热器会蒸发在湿度传感器顶部形成的冷凝水。但是，加热器不会去除任何溶解的污染物。存在的污染物残留可能影响湿度传感器的精度。有关冷凝水清除的更多详细信息，请参阅 [HDC302x 器件用户指南](#)。

如果 HDC302x 传感器腔体被水滴覆盖，并且用户希望使用加热器蒸发水滴，请勿超过 100°C，并且不要使温度上升过快。这是因为温度过快地超过 100°C 会导致水滴爆裂，从而损坏传感器腔体中的聚合物。为确保安全，加热器温度应在 5 到 10 秒之间从环境温度升高到 100°C。在非冷凝环境中，短时间超过 100°C 是没有问题的。

7.3.9 可对中断进行编程的警报输出

使用 ALERT 输出引脚来确定 HDC302x-Q1 记录的测量值是否指明温度或相对湿度结果超出编程的“舒适区”。该引脚根据温度和湿度的可编程非易失性阈值发送硬件中断。请注意，ALERT 引脚是强大的推挽输出，因此必须小心避免大电流流入和流出 ALERT 引脚，从而避免传感器自发热。自发热会使传感器温度升高，进而导致 RH 显著下降。

ALERT 输出引脚用于驱动不能进行软件监控的电路块。示例包括使电源开关启动除湿器或启动热关断。此外，ALERT 引脚可使微控制器保持在深度睡眠状态，直到环境条件要求微控制器唤醒它并执行调试和纠正措施，从而更大限度地减少功耗。

7.3.10 校验和计算

校验和计算支持数据的错误检查，通过每 2 个字节数据发送一个校验和字节来支持数据通信的可靠性。在每个数据字节后传输的 8 位 CRC 校验和由 CRC 算法生成。[表 7-1](#) 展示了 CRC 属性。该 CRC 涵盖先前传输的两个数据字节的内容。若要计算校验和，只能使用这两个之前传输的数据字节。

在以下情况下，HDC302x-Q1 将一个 CRC 字节发送到 I²C 控制器：

1. 在传输相对湿度测量值之后
2. 在传输温度测量值之后
3. 在传输状态寄存器之后
4. 在传输任何已编程 ALERT 限值（高警报、设置；高警报、清除；低警报、设置；低警报、清除）之后

在以下情况下，必须将一个 CRC 字节从 I²C 控制器发送到 HDC302x-Q1：

1. 在配置任何 ALERT 限值（高警报、设置；高警报、清除；低警报、设置；低警报、清除）之后。
2. 在配置加热器之后。
3. 将偏移写入器件之后。

表 7-1. HDC302x-Q1 CRC 属性

属性	值
名称	CRC-8/NRSC-5
宽度	8 位
受保护数据	读取数据和/或写入数据
多项式	$0x31 (x^8 + x^5 + x^4 + 1)$
初始化	0xFF
反射输入	假
反射输出	假
最终 XOR	0x00
示例	0xABCD 的 CRC = 0x6F

需要从 HDC302x-Q1 中检索 CRC 字节。在接收 CRC 字节之前，I²C 控制器无法发出 NACK 以取消。[ASC Studio](#) 提供了如何计算 CRC 以及所有其他 HDC302x 通信的示例代码。

7.3.11 相对湿度和温度结果的偏移可编程

HDC302x-Q1 允许用户为相对湿度和温度设定非易失性偏移值。偏移值只能用于增加或减小传感器测量结果。添加或减去湿度或温度的偏移不会影响温度或湿度的结果。例如，通常随着温度升高，湿度随后会在空气中产生固定量的水蒸汽。但是，如果用户对温度结果应用偏移，不会影响湿度读数。

7.4 器件功能模式

HDC302x-Q1 具有两种运行模式：睡眠模式和测量模式。

7.4.1 睡眠模式与测量模式

睡眠模式是制造商设置的上电、通过 **RESET** 引脚的硬复位和软复位时的 HDC302x-Q1 默认模式（该上电模式可重新编程，如 [节 7.5.7.3.5 所述](#)）。HDC302x-Q1 等待 **I²C** 指令，以便触发测量或读取和写入有效数据。测量请求触发 HDC302x-Q1 切换至测量模式，其中来自集成传感器的测量值通过内部 **ADC** 进行传递，并使用器件内的专有方法进行线性化，以生成精确的温度和相对湿度计算。结果存储在相应的数据寄存器中。完成转换后，HDC302x-Q1 返回睡眠模式。用户必须使器件返回睡眠模式以运行加热器并对 **EEPROM** 进行编程。按需触发和自动测量均被视为测量模式。在测量模式下，温度和湿度数据仅可由控制器读取一次。以下任何读取温度和湿度结果的尝试都会产生最小温度和湿度值。

7.5 通信

7.5.1 I²C 接口

HDC302x-Q1 在 **I²C** 总线上仅作为目标器件运行。同一 **I²C** 总线上不允许有多个使用相同地址的器件。通过 **SCL** 和开漏 **I/O** 线、**SDA** 连接到总线。上电后，传感器需要经过传感器上电就绪时间 **Sensor_{PUR}**，然后才能开始采集温度和相对湿度测量值。所有数据字节的传输都是 **MSB** 优先。**I²C** 总线电压可与器件 **VDD** 不同。为了防止器件自发热，建议验证 **I²C** 总线电压是否等于或大于 **VDD**。

7.5.2 I²C 串行总线地址配置

I²C 控制器通过目标地址字节与期望的目标器件通信。目标地址字节包括 7 个地址位和 1 个方向位，这个方向位表明是执行读取还是写入操作。HDC302x-Q1 具有两个地址引脚，可以在单个 **I²C** 总线上支持四个可寻址的 HDC302x-Q1 器件。[表 7-2](#) 描述了用于与最多四个器件进行通信的引脚逻辑电平。

表 7-2. HDC302x-Q1 I²C 器件地址

ADDR	ADDR1	地址 (7 位十六进制表示)
GND	GND	0x44
GND	VDD	0x46
VDD	GND	0x45
VDD	VDD	0x47

7.5.3 I²C 写入 - 发送器件命令

与 HDC302x-Q1 的通信基于命令列表，如 [表 7-4](#) 中所述。未记录的那些命令未经定义，不得发送到器件。

执行 **I²C** 写入序列以将命令发送到 HDC302x-Q1。其中一些命令还需要来自 **I²C** 控制器的配置数据。在这些情况下，配置数据必须附带一个 **CRC** 字节，以便允许 HDC302x-Q1 进行错误检查。[图 7-1](#) 和 [图 7-2](#) 中说明了这两种 **I²C** 写入方案。

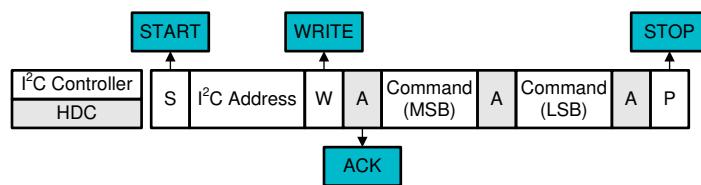


图 7-1. I²C 写入命令，无需配置数据

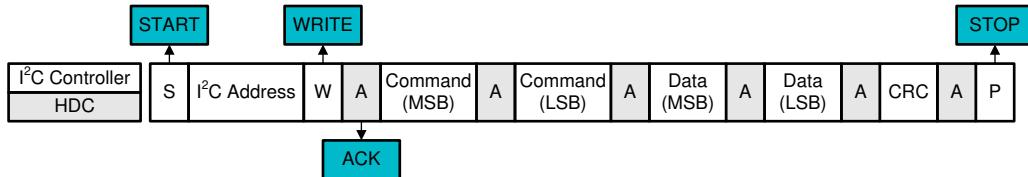


图 7-2. 需要 I²C 写入命令、配置数据和 CRC 字节

7.5.4 I²C 读取 - 检索单一数据结果

执行 I²C 读取序列以从 HDC302x-Q1 检索数据。I²C 读取序列必须遵循用于发起器件读取命令的 I²C 写入序列。CRC 字节始终伴随由 HDC302x-Q1 传输的数据。无论用户是否希望使用 CRC，I²C 控制器都必须接受 CRC 字节。I²C 控制器在接收到 CRC 之前无法发出 NACK 以丢弃 CRC 传输。I²C 读取如图 7-3 所示。

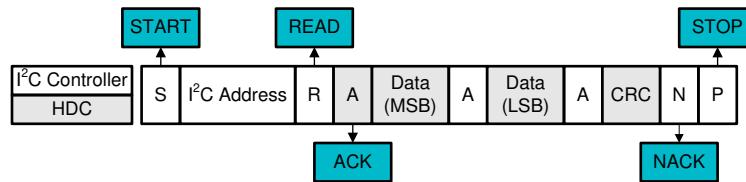


图 7-3. I²C 读取单个数据结果

如果 I²C 控制器未能在任何数据字节后发送 ACK 信号，则 HDC302x-Q1 停止数据字节的传输。

7.5.5 I²C 读取 - 检索多个数据结果

执行 I²C 读取序列以检索多个数据结果且 I²C 控制器不使用 CRC 字节来执行数据完整性检查时，I²C 控制器仍必须接收最终 CRC 字节。该 I²C 读取方案如图 7-4 所示。

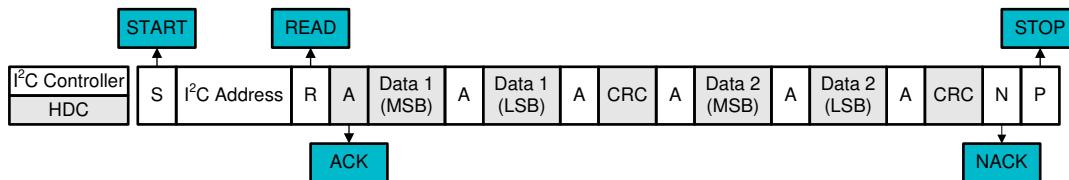


图 7-4. I²C 读取多个数据结果

7.5.6 I²C 重复启动 - 发送命令并检索数据结果

HDC302x-Q1 支持 I²C 重复启动，从而在不释放 I²C 总线的情况下发出命令和检索数据。与所有其他数据检索请求一样，必须保留与最后数据结果相对应的 CRC 字节的接收。图 7-5 中展示了用于单个数据结果检索的该示例，图 7-6 中展示了用于多个数据结果检索的示例。

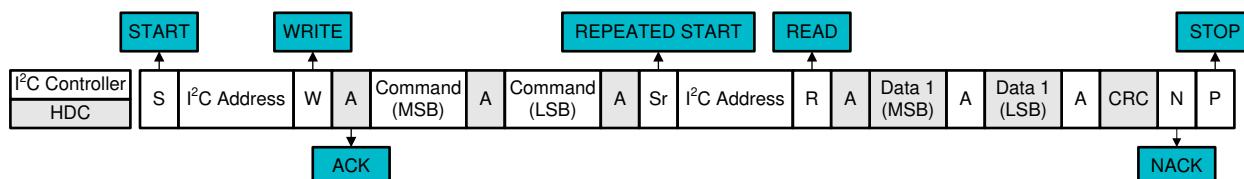


图 7-5. I²C 重复启动序列，单个数据结果

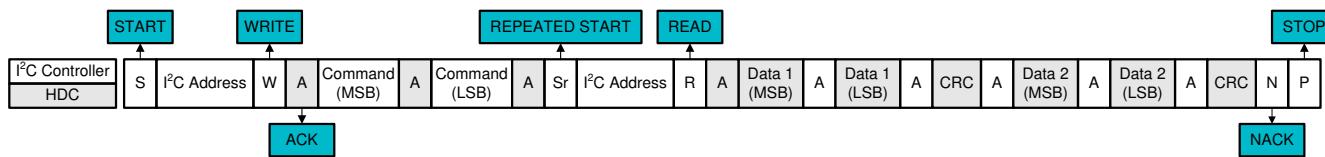


图 7-6. I²C 重复启动序列，多个数据结果

7.5.7 命令表和详细说明

下面的表 7-4 中记录了 HDC302x-Q1 命令结构。下面的小节介绍了有关每个命令的详细信息。

表 7-3. HDC302x 低功耗模式 (LPM) 选项和说明 (25°C , V_{DD} = 3.3V)

低功耗模式 (LPM)	测量持续时间 (典型值)	活动 IQ (典型值)	RH 测量噪声
LPM0	12.5ms	110μA	±0.02%RH
LPM1	7.5ms	108μA	±0.02%RH
LPM2	5.0ms	103μA	±0.03%RH
LPM3	3.7ms	99μA	±0.04%RH

表 7-4. HDC302x-Q1 命令表

十六进制代码 (MSB)	十六进制代码 (LSB)	命令	命令详细信息
24	00	按需触发模式 单个温度 (T) 测量 和相对湿度 (RH) 测量 ⁽¹⁾	低功耗模式 0 (最低噪声)
24	0B		低功耗模式 1
24	16		低功耗模式 2
24	FF		低功耗模式 3 (最低功耗)
20	32	自动测量模式 每 2 秒测量 1 次。	低功耗模式 0 (最低噪声)
20	24		低功耗模式 1
20	2F		低功耗模式 2
20	FF		低功耗模式 3 (最低功耗)
21	30	自动测量模式 每秒测量 1 次。	低功耗模式 0 (最低噪声)
21	26		低功耗模式 1
21	2D		低功耗模式 2
21	FF		低功耗模式 3 (最低功耗)
22	36	自动测量模式 每秒测量 2 次。	低功耗模式 0 (最低噪声)
22	20		低功耗模式 1
22	2B		低功耗模式 2
22	FF		低功耗模式 3 (最低功耗)
23	34	自动测量模式 每秒测量 4 次。	低功耗模式 0 (最低噪声)
23	22		低功耗模式 1
23	29		低功耗模式 2
23	FF		低功耗模式 3 (最低功耗)
27	37	自动测量模式 每秒测量 10 次。	低功耗模式 0 (最低噪声)
27	21		低功耗模式 1
27	2A		低功耗模式 2
27	FF		低功耗模式 3 (最低功耗)
2C	06	按需触发模式 单个温度 (T) 测量 和相对湿度 (RH) 测量 ⁽¹⁾	低功耗模式 0 (最低噪声)
2C	0D		低功耗模式 1
2C	10		低功耗模式 2

表 7-4. HDC302x-Q1 命令表 (续)

十六进制代码 (MSB)	十六进制代 码 (LSB)	命令	命令详细信息
30	93	自动测量模式	退出，然后返回按需触发模式。
E0	00		T 和 RH 的测量读数 (注意：如果 RH 和 T 未更新，则数据读出所有 FF)
E0	01		仅 RH 的测量读数
E0	02		最小 T 的测量历史读数。
E0	03		最大 T 的测量历史读数。
E0	04		最小 RH 的测量历史读数。
E0	05		最大 RH 的测量历史读数。
61	00	配置 T 和 RH 的 ALERT 阈值	配置 “Set Low Alert” 的阈值
61	1D		配置 “Set High Alert” 的阈值
61	0B		配置 “Clear Low Alert” 的阈值
61	16		配置 “Clear High Alert” 的阈值
E1	02	读取 T 和 RH 的 ALERT 阈值	读取 “Set Low Alert” 的阈值
E1	1F		读取 “Set High Alert” 的阈值
E1	09		读取 “Clear Low Alert” 的阈值
E1	14		读取 “Clear High Alert” 的阈值
30	6D	集成式加热器	启用
30	66		禁用
30	6E	集成式加热器	配置 & 读回加热器设置
F3	2D	状态寄存器	读取内容
30	41		清除内容
30	A2	软复位	
36	83	读取 NIST ID (序列号) 字节 5 和 4	
36	84	读取 NIST ID (序列号) 字节 3 和 2	
36	85	读取 NIST ID (序列号) 字节 1 和 0	
37	81	读取制造商 ID (德州仪器 (TI)) (0x3000)	

(1) 对于按需触发模式，有三对命令，其中每一对中的任一命令给出相同的结果：

- 0x2400 和 0x2C06
- 0x240B 和 0x2C0D
- 0x2416 和 0x2C1

表 7-5. HDC302x 不同转换时间的十六进制代码温度和 RH 读取命令

转换速率	3.7ms 转换时间	5ms 转换时间	7.5ms 转换时间	12.5ms 转换时间
按需触发	0x24FF	0x2416	0x240B	0x2400
每秒测量 10 次	0x27FF	0x272A	0x2721	0x2737
每秒测量 4 次	0x23FF	0x2329	0x2322	0x2334
每秒测量 2 次	0x22FF	0x222B	0x2220	0x2236

表 7-5. HDC302x 不同转换时间的十六进制代码温度和 RH 读取命令 (续)

转换速率	3.7ms 转换时间	5ms 转换时间	7.5ms 转换时间	12.5ms 转换时间
每秒测量 1 次	0x21FF	0x212D	0x2126	0x2130
每 2 秒测量 1 次	0x20FF	0x202F	0x2024	0x2032

表 7-6. HDC302x NVM (EEPROM) 编程命令表

十六进制代码 (MSB)	十六进制代码 (LSB)	命令	命令详细信息
61	55	对 T 和 RH 的 ALERT 阈值进行编程	将 ALERT 阈值传输至非易失性存储器 (NVM)
A0	04	对相对湿度和温度结果的偏移进行编程/读取	
61	BB	对默认器件上电/复位测量状态进行编程/读取	此命令还允许用户读回器件的默认设置, 以检查 EEPROM 是否已成功编程。

NVM 编程命令表是指允许用户通过对 EEPROM 进行编程来永久更改 HDC302x 的单独命令。执行任何上述 NVM 编程命令时, 如果 HDC302x 尚未处于睡眠模式, 用户必须首先将 HDC302x 置于睡眠模式。然后, 在发出命令后, 用户必须根据 $t_{PROG} = 77\text{ms}$ 等待。在该 77ms 的等待时间内不能出现其他命令或通信。等待结束时, EEPROM 已完成编程, 可恢复正常运行。

表 7-7. 用于覆盖默认器件上电/复位测量状态的有效配置值列表 HDC302x-Q1

CFG (MSB)	CFG (LSB)	CRC	配置	低功耗模式	每秒测量数
0x00	0x03	0xD2	自动测量模式	0 (最低噪声)	0.5
	0x05	0x74		0 (最低噪声)	1
	0x07	0x16		0 (最低噪声)	2
	0x09	0x09		0 (最低噪声)	4
	0x0B	0x6B		0 (最低噪声)	10
	0x13	0x91		1	0.5
	0x15	0x37		1	1
	0x17	0x55		1	2
	0x19	0x4A		1	4
	0x1B	0x28		1	10
	0x23	0x54		2	0.5
	0x25	0xF2		2	1
	0x27	0x90		2	2
	0x29	0x8F		2	4
	0x2B	0xED		2	10
	0x33	0x17		3 (最低功耗)	0.5
	0x35	0xB1		3 (最低功耗)	1
	0x37	0xD3		3 (最低功耗)	2
	0x39	0xCC		3 (最低功耗)	4
	0x3B	0xAE		3 (最低功耗)	10
	0x00	0x81	恢复出厂默认设置 (睡眠模式)	否 转换	不适用

7.5.7.1 复位

有 4 种方法可复位 HDC302x：软复位命令、I²C 通用广播复位、下电上电、在 nRESET 引脚上施加零脉冲。

7.5.7.1.1 软复位

HDC302x-Q1 提供了一个软件命令，如图 7-7 所示，可以在保持电源电压的同时，强制器件进入默认状态。该功能是等效于通过 RESET 引脚的下电上电或切换进行硬件复位的软件。执行复位后，HDC302x-Q1 复位状态寄存器，从存储器重新加载校准数据和已编程的湿度/温度偏移误差，清除先前存储的测量结果，将中断阈值限制设置回默认条件。

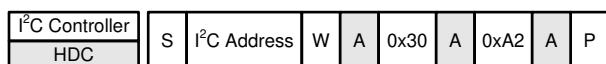


图 7-7. I²C 命令序列：HDC302x-Q1 软件复位

7.5.7.1.2 I²C 通用广播复位

除了特定于器件的软复位命令，HDC302x-Q1 还支持 I²C 规范的通用广播地址。这样就可以使用单个命令来复位整个 I²C 系统（前提是 I²C 总线上的所有器件都支持该命令）。图 7-8 展示了此命令。当传感器能够处理 I²C 命令并且在功能上与软件复位等效时，可识别通用广播。

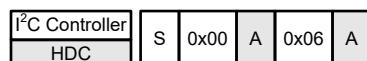


图 7-8. I²C 命令序列：HDC302x-Q1 通过通用广播来复位

7.5.7.2 按需触发

这组命令会触发温度的单次测量采集，然后是相对湿度的测量采集。HDC302x-Q1 从睡眠模式转换为测量模式，并在测量完成后返回睡眠模式。有四个可能的按需触发命令，每个命令对应一个不同的转换时间（因此，具有不同的功耗级别）。表 7-4 展示了这些命令。发出按需触发命令后，主机必须为传感器提供足够的时间来完成有序转换，然后才能开始后续数据读取。

通过 I²C 读取序列获取这些命令的测量读数，如 [I²C 读取 - 检索单一数据结果](#) 和 [I²C 读取 - 检索多个数据结果](#) 中先前所述。测量读数的格式为表示温度的两个数据字节，后跟一个字节的 CRC 校验和，然后是另两个表示相对湿度的数据字节，后跟一个字节的 CRC 校验和，如图 7-9 所示。



图 7-9. I²C 命令序列：按需触发模式下的测量读数示例

如果 I²C 控制器尝试在新测量完成之前读取测量结果，HDC302x-Q1 会以 NACK 条件进行响应，如图 7-10 所示。

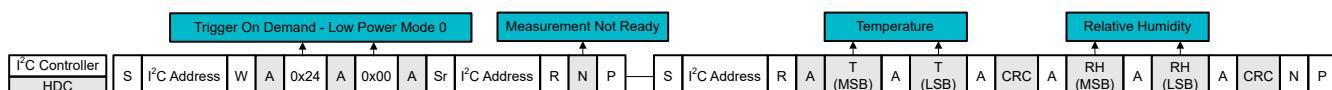


图 7-10. I²C 命令序列：按需触发模式下的测量未就绪示例

7.5.7.3 自动测量模式

自动测量模式强制 HDC302x-Q1 在特定的时序周期内执行温度和相对湿度测量，从而无需 I²C 控制器重复发起测量采集。本节介绍了每个命令的更多详细信息。

7.5.7.3.1 自动测量模式：启用和配置测量间隔时间

启用自动测量模式后，20 个可能的采样周期和转换时间组合可供使用。表 7-4 中记录了这些命令。为避免温度传感器自发热，TI 建议将采样间隔限制为每秒最多测量 1 次，如图 7-11 所示。

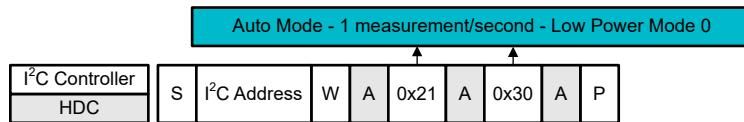


图 7-11. I²C 命令序列：以每秒 1 次测量的间隔启用自动测量模式

7.5.7.3.2 自动测量模式：测量读数

在自动测量模式下可以使用测量读取命令检索最新的测量采集结果，如表 7-4 中所记录，以及如图 7-12 中所示。测量读取完成后，HDC302x-Q1 会清除测量结果。因此，如果下一次读取数据尝试发生在下一次转换尝试之前，读取结果是温度为 +130°C、湿度为 +100%RH。

如按需触发所示，如果 I²C 控制器尝试在测量完成之前读取测量结果，HDC302x-Q1 以 NACK 条件进行响应。

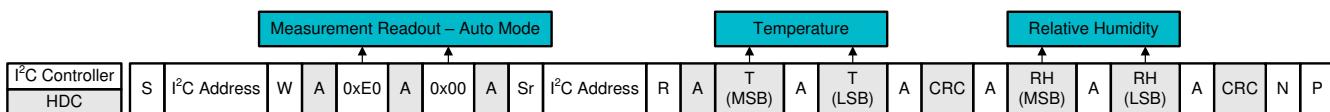


图 7-12. I²C 命令序列：自动测量模式下的测量读取

7.5.7.3.3 自动测量模式：退出

表 7-4 中记录了退出自动测量模式的命令，如图 7-13 所示。HDC302x-Q1 会立即停止任何进行中的测量并返回睡眠模式。

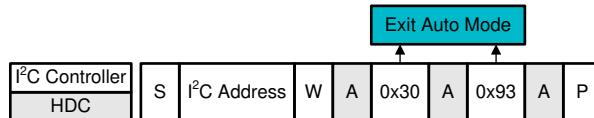


图 7-13. I²C 命令序列：退出自动测量模式

7.5.7.3.4 自动测量模式：极端测量历史记录

在自动测量模式下，HDC302x-Q1 会保存温度和相对湿度的最大和最小测量值历史记录（描述为变量 MIN T、MAX T、MIN RH 和 MAX RH）。表 7-8 汇总了器件复位后 MIN T、MAX T、MIN RH 和 MAX RH 的状态。

表 7-8. 基于 HDC302x-Q1 配置的测量历史记录变量的状态

HDC302x-Q1 配置	MIN T	MAX T	MIN RH	MAX RH
复位后	130°C	-45°C	100%	0%
在自动测量模式内	适当进行监控和锁存			

仅在自动测量模式下更新 MIN T、MAX T、MIN RH 和 MAX RH 的值。可在自动测量模式下和睡眠模式期间读取这些值。这些值只能在发生复位事件时复位为起始值。图 7-14 展示了 I²C 测量读数序列：MIN T、MAX T、MIN RH 和 MAX RH。

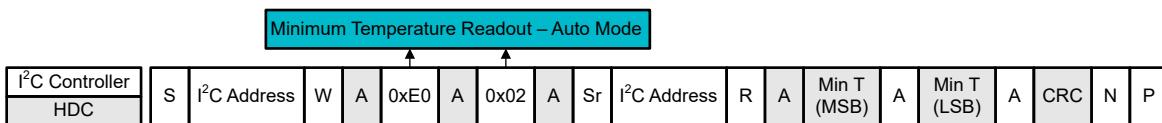


图 7-14. I²C 序列：最低温度测量读数（自动测量模式）

7.5.7.3.5 覆盖默认的器件上电和器件复位状态

HDC302x-Q1 制造商默认认为在器件上电或器件复位后进入睡眠模式。但是，可以向 HDC302x-Q1 发送覆盖命令，以便在每次器件上电和器件复位时强制进入自动测量模式。下面的图 7-15 对该命令进行了说明，表 7-7 中记录了所有可能的命令配置的列表。因为这是一条 EEPROM 编程命令，因此在发出该命令之后直到 EEPROM 编程完成，都不会进行通信。在发出该命令或任何 EEPROM 编程命令之前，必须将 HDC302x 置于睡眠模式。

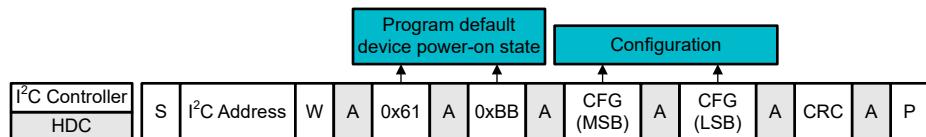


图 7-15. I²C 序列：配置默认上电状态和采样周期

7.5.7.4 ALERT 输出配置

HDC302x-Q1 通过中断输出引脚 (ALERT) 提供硬件的事件通知。具体而言，ALERT 输出表示 状态寄存器 的位 15、11、10 和 4 的状态。检测到事件时，ALERT 输出置位为逻辑高电平，事件结束或清除 状态寄存器 之后，ALERT 输出取消置位为逻辑低电平。

默认情况下，在上电和任何复位事件时激活 ALERT 输出。当 HDC302x-Q1 通过置位 RESET 引脚来禁用。

如果不希望通过 ALERT 输出跟踪温度相关的湿度，则可以如 警报输出：停用环境跟踪功能 中所述禁用此功能。

7.5.7.4.1 警报输出：跟踪环境中的温度和相对湿度

ALERT 输出的主要用途是为违背编程阈值的环境温度和相对湿度测量提供信号通知。总共有 4 个可编程的温度阈值和 4 个可编程的相对湿度阈值，如下面的表 7-4 所记录，以及如图 7-16 所示。

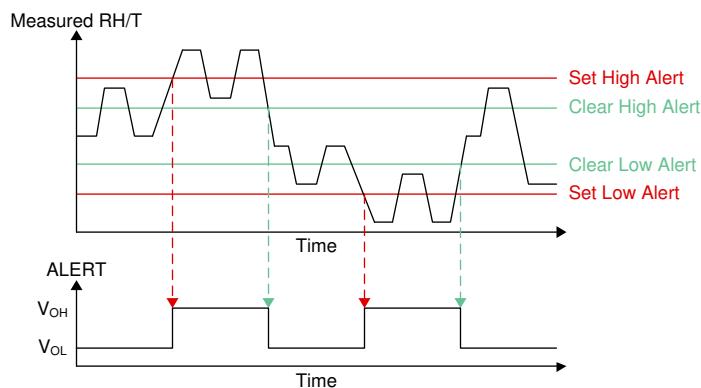


图 7-16. ALERT 可编程环境阈值

下面列出了四个可编程阈值

1. **Set High Alert**：当 HDC302x-Q1 测量到高于此值的温度或相对湿度时，将 ALERT 输出置位。
2. **Clear High Alert**：HDC302x-Q1 测量到低于此值的温度或相对湿度水平时，将 Set High Alert 产生的 ALERT 输出取消置位。
3. **Set Low Alert**：HDC302x-Q1 测量到低于此值的温度或相对湿度水平时，产生对 ALERT 输出进行置位的编程值。
4. **Clear Low Alert**：HDC302x-Q1 测量到高于此值的温度或相对湿度水平时，Set Low Alert 产生对 ALERT 输出取消置位的编程值。

如果用户应用利用 ALERT 输出进行环境跟踪，则最好在采集任何温度或相对湿度测量值之前，对这四个阈值进行编程。在设定阈值与清除阈值之间安排足够的分离非常重要，因为设置电平和清除电平之间的距离较小会导致 ALERT 引脚由于测量噪声而切换为高电平和低电平。

7.5.7.4.2 警报输出：指示环境阈值和默认阈值

Set High Alert、Clear High Alert、Set Low Alert 和 Clear Low Alert 阈值均由截断的 16 位值表示，如图 7-17 所示。来自相对湿度测量的 7 个 MSB 与来自温度测量的 9 个 MSB 串联。实际温度和相对湿度测量结果始终存储为 16 位值，但与编程阈值进行比较时，由于采用截断表示，温度分辨率损失为 0.5°C ，相对湿度分辨率损失为 1%。

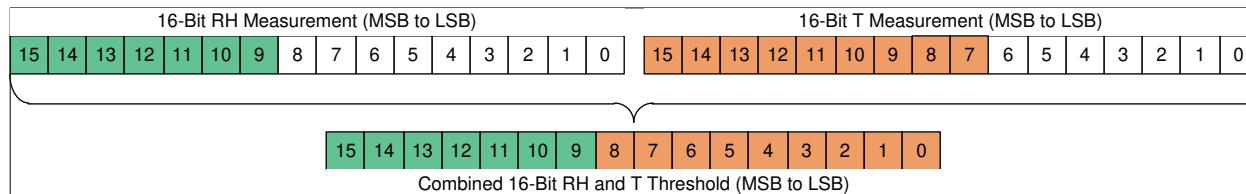


图 7-17. 使用 RH 和 T 组合表示 ALERT 阈值

复位事件之后，相对湿度和温度阈值的制造商默认值记录在下面的表 7-9 中。有关对阈值重新编程的适当命令，请参阅表 7-4。

表 7-9. ALERT 阈值的默认值

ALERT 阈值	制造商默认 RH 阈值	制造商默认 T 阈值	十六进制值	CRC
Set High Alert	80% RH	60°C	0xCD33	0xFD
Clear High Alert	79% RH	58°C	0xCB2D	0x22
Set Low Alert	20% RH	-10°C	0x3266	0xAD
Clear Low Alert	22% RH	-9°C	0x3869	0x37

7.5.7.4.3 警报输出：环境阈值的计算和编程步骤

下面列出了计算 Set High Alert、Clear High Alert、Set Low Alert 和 Clear Low Alert 阈值的步骤：

1. 选择要编程的期望相对湿度和温度阈值以及编程值。
2. 将相对湿度和温度阈值转换为相应的 16 位二进制值
3. 相对湿度保留 7 个 MSB，温度保留 9 个 MSB
4. 将相对湿度的 7 个 MSB 与温度的 9 个 MSB 串联以完成 16 位阈值表示
5. 根据 16 位阈值计算 CRC 字节

下方提供了示例。

1. 在这种情况下，Set High Alert 阈值编程为 90% RH 和 65°C
2. 90% RH 转换为 0b1110011001100111， 65°C T 转换为 0b1010000011101011
3. 90% RH 的 7 个 MSB 为 0b1110011， 65°C T 的 9 个 MSB 为 0b101000001
4. 相对湿度和温度 MSB 串联后，阈值表示为 0b1110011101000001 = 0xE741
5. 对于 0xE741，这对应于 CRC 字节 0x55
 - a. 图 7-18 说明了发送到 HDC302x-Q1 的适当命令。
 - b. HDC302x-Q1 通过 I²C NACK 对错误 CRC 字节的接收作出响应。

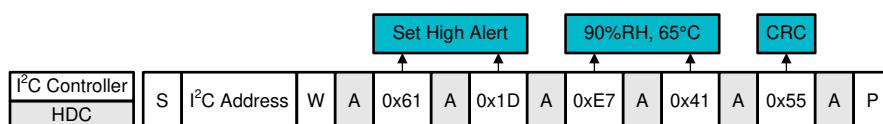


图 7-18. I²C 命令序列：Set High Alert 为 90% RH、 65°C 的示例编程

7.5.7.4.4 警报输出：停用环境跟踪功能

要使 ALERT 输出停止响应温度或相对湿度的测量结果，必须将 Set High Alert 阈值编程为低于 Set Low Alert 阈值。图 7-19 展示了禁用温度和相对湿度跟踪的阈值编程示例。更具体地说：

- 要禁用温度警报跟踪，请执行以下操作：将 Set Low Alert 阈值内的温度位配置为大于 Set High Alert 阈值内的温度位。
- 要禁用湿度警报跟踪，请执行以下操作：将 Set Low Alert 阈值内的湿度位配置为大于 Set High Alert 阈值内的湿度位。

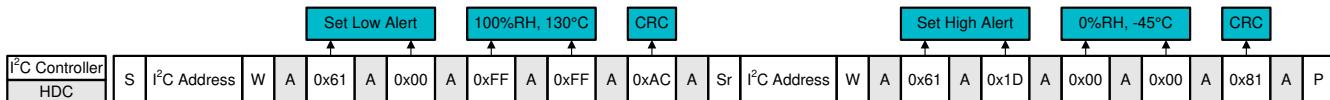


图 7-19. I²C 命令序列：停用温度和相对湿度 ALERT 输出跟踪的示例

7.5.7.4.5 警报输出：将阈值传输至非易失性存储器

如图 7-20 所示，此命令在器件复位或下电上电后启用默认 ALERT 阈值的覆盖。

因为这是一条 EEPROM 编程命令，因此在发出该命令之后直到 EEPROM 编程完成，都不会进行通信。在发出该命令或任何 EEPROM 编程命令之前，必须将 HDC302x 置于睡眠模式。对 EEPROM 进行编程后，建议复位器件并读回所有 ALERT 值，以验证 EEPROM 编程是否成功。

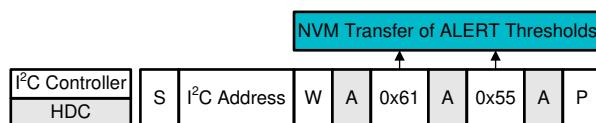


图 7-20. I²C 命令序列：将 ALERT 阈值传输到 NVM 中

7.5.7.5 可编程测量偏移

可以对 HDC302x-Q1 进行编程，以便返回计入已编程偏移值的相对湿度测量值或温度测量值。符号位 (RH 和温度偏移组合寄存器中的位 15 和位 7) 决定是将实际传感器测量结果与偏移相加还是相减。此功能适用于无法将本地热源与温度传感器隔离且所述热源随时间变化 (由于启用/禁用了不同的组件) 的设计。表 7-4 中记录了该命令。

如果用户希望更改偏移，则器件应处于睡眠模式，这是因为如果器件处于自动测量模式，器件可能会产生不可预测的结果。请注意，相对湿度测量使用测量的温度进行校正，而不使用已编程的温度偏移，这样就让用户可以对温度偏移进行编程，从而在不影响相对湿度精度的情况下计入局部发热。

要对任一偏移值进行编程，需要在 EEPROM 中对相应的非易失性存储器位置进行编程。因此，在完成偏移编程之前，不允许 I²C 通信。请参阅 [电气特性](#) 表，了解完成单个位置的编程所需的时间 t_{PROG} ，以及在编程期间所需的电流 I_{EEPROM} 。这些说明不仅适用于偏移编程，也适用于所有 EEPROM 编程命令。

7.5.7.5.1 指示偏移值和出厂默认值

如图 7-21 所示，相对湿度 (RH_{OS}) 和温度 (T_{OS}) 的编程偏移值组合为单个 16 位表示。7 位表示 RH_{OS}，7 位表示 T_{OS}，1 个操作位 (RH_{+/}) 用于加上或减去 RH_{OS}，1 个操作位 (T_{+/}) 用于加上或减去 T_{OS}。在相对湿度的 16 位表示中，位 13 至位 7 用于表示 RH_{OS}。在温度的 16 位表示中，位 12 至位 6 用于表示 T_{OS}。

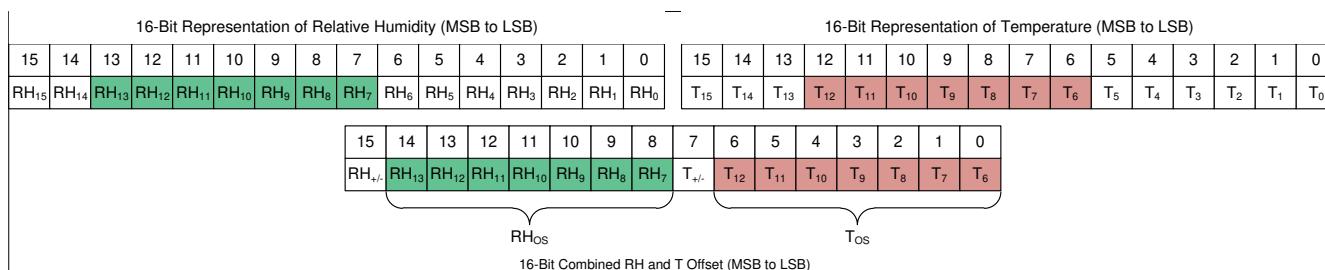


图 7-21. 数据结构用于表示 RH 和 T 的编程偏移值

7.5.7.5.2 出厂默认偏移值

HDC302x-Q1 出厂发货时，RH_{OS} 和 T_{OS} 的默认值均为 0x00。

7.5.7.5.3 计算相对湿度偏移值

表 7-10 记录了用 RH_{OS} 内每个单独的相对湿度偏移位表示的已编程偏移值。最小可编程偏移为 0.1953125%，最大可编程偏移为 24.8046875%。即使偏移为负，RH 也无法报告低于 0% RH。

表 7-10. 相对湿度偏移值 (RH_{OS}) 用每个数据位表示

RH 偏移位	编程为 0 时的值	编程为 1 时的值
RH _{+/}	减法	向
RH ₁₃	0	12.5
RH ₁₂	0	6.25
RH ₁₁	0	3.125
RH ₁₀	0	1.5625
RH ₉	0	0.78125
RH ₈	0	0.390625
RH ₇	0	0.1953125

下面的表 7-11 给出了一些可能计算出的相对湿度偏移值 (包括操作位 RH_{+/}) 的示例：

表 7-11. RH_{OS} 的编程值示例

RH ₊₋	RH ₁₃	RH ₁₂	RH ₁₁	RH ₁₀	RH ₉	RH ₈	RH ₇	RH 偏移值
1	0	0	0	0	0	0	1	+0.1952125% RH
0	0	0	0	0	0	0	1	-0.1952125% RH
1	1	0	0	0	0	0	0	+12.5% RH
0	1	0	0	0	0	0	0	-12.5% RH
1	0	1	0	1	0	1	0	+8.203125% RH
0	0	1	0	1	0	1	0	-8.203125% RH
1	1	1	1	1	1	1	1	+24.8046875% RH
0	1	1	1	1	1	1	1	-24.8046875% RH

7.5.7.5.4 计算温度偏移值

表 7-12 记录了用 T_{OS} 内每个单独的温度偏移位表示的已编程偏移值。最小可编程偏移为 0.1708984375°C，最大可编程偏移为 21.7041015625°C。RH 通常取决于温度，但变化的温度偏移不会影响 RH 读数。

表 7-12. 温度偏移值 (T_{OS}) 用每个数据位表示

T 偏移位	编程为 0 时的值	编程为 1 时的值
T ₊₋	减法	向
T ₁₂	0	10.9375
T ₁₁	0	5.46875
T ₁₀	0	2.734375
T ₉	0	1.3671875
T ₈	0	0.68359375
T ₇	0	0.341796875
T ₆	0	0.1708984375

下面的表 7-13 给出了一些可能计算出的温度偏移值 (包括操作位 T₊₋) 的示例：

表 7-13. T_{OS} 的编程值示例

T ₊₋	T ₁₂	T ₁₁	T ₁₀	T ₉	T ₈	T ₇	T ₆	T 偏移值
1	0	0	0	0	0	0	1	+0.1708984375°C
0	0	0	0	0	0	0	1	-0.1708984375°C
1	1	0	0	0	0	0	0	+10.9375°C
0	1	0	0	0	0	0	0	-10.9375°C
1	0	1	0	1	0	1	0	+7.177734375°C
0	0	1	0	1	0	1	0	-7.177734375°C
1	1	1	1	1	1	1	1	21.7041015625°C
0	1	1	1	1	1	1	1	-21.7041015625°C

7.5.7.5.5 对偏移值进行编程

确定如 [计算相对湿度偏移值](#) 和 [计算温度偏移值](#) 中所记录的 RH₊₋、RH_{OS}、T₊₋ 和 T_{OS} 的期望值之后，确定正确的 CRC 校验和并将所有三个字节发送到 HDC302x-Q1，如图 7-22 所示 (以及 +8.20% RH 和 -7.17°C 的示例场景)。发出此命令后，通信暂停至少需 50ms。

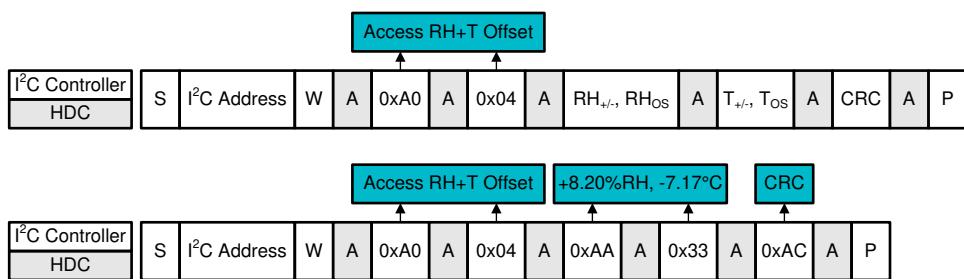


图 7-22. I²C 命令序列：对 RH 和 T 偏移进行编程 (+8.20% RH 和 -7.17°C 的示例)

7.5.7.5.6 验证编程偏移值

表 7-4 中记录了用于验证已编程偏移值的命令，图 7-23 中说明了命令序列。在对温度或湿度偏移进行编程后，用户必须等待至少 77ms，然后才能尝试读回新的编程值。

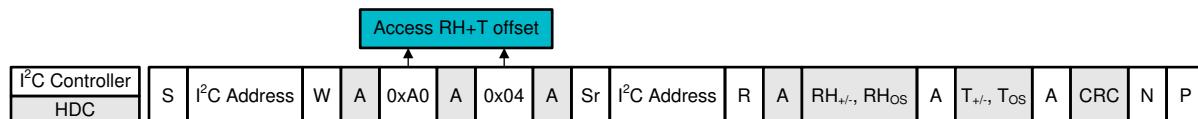


图 7-23. I²C 命令序列：验证已编程 RH 和 T 偏移

7.5.7.6 状态寄存器

状态寄存器包含有关 HDC302x-Q1 运行状态的实时信息，如表 7-14 中所述。有两个与状态寄存器相关的命令：Read Content 和 Clear Content，如表 7-4 中所记录，以及如图 7-24 和图 7-25 所示。

表 7-14. 客户视图：状态寄存器

位	默认值	说明
15	1	总体警报状态 0 = 无活动警报 1 = 至少一个 跟踪或复位警报
14	0	保留
13	0	加热器状态 0 = 加热器禁用 1 = 加热器启用
12	0	保留
11	0	RH 跟踪警报 .在警报引脚上镜像 0 = 无 RH 警报 1 = RH 警报
10	0	T 跟踪警报 .在警报引脚上镜像 0 = 无 T 警报 1 = T 警报
9	0	RH 高跟踪警报 0 = 无 RH 高警报 1 = RH 高警报
8	0	RH 低跟踪警报 0 = 无 RH 低警报 1 = RH 低警报
7	0	T 高跟踪警报 0 = 无 T 高警报 1 = T 高警报

表 7-14. 客户视图：状态寄存器（续）

位	默认值	说明
6	0	T 低跟踪警报 0 = 无 T 低警报 1 = T 低警报
5	0	保留
4	1	检测到器件复位 警报。在警报引脚上镜像。 0 = 自上次清除状态寄存器以来未检测到复位 1 = 检测到器件复位（通过硬复位、软复位命令或电源导通）
3	0	保留
2	0	保留
1	0	保留
0	0	上一次数据写入的校验和验证 0 = 通过（接收到正确的校验和） 1 = 失败（接收到不正确的校验和）。 只能通过成功的数据写入或复位事件来清除。

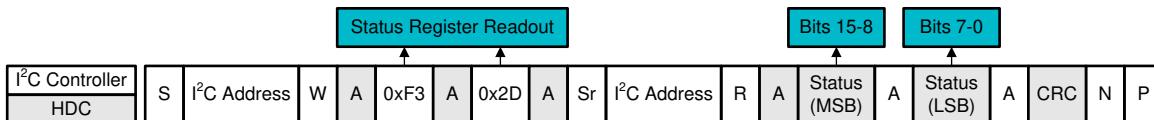


图 7-24. I²C 命令序列：读取状态寄存器

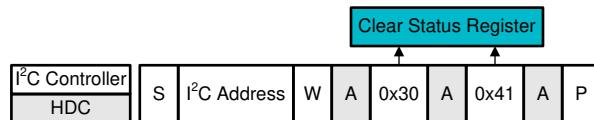


图 7-25. I²C 命令序列：清除状态寄存器

清除状态寄存器命令仅清除状态寄存器中的复位和跟踪位。

7.5.7.7 加热器：启用和禁用

HDC302x-Q1 包括一个集成式加热器，它有足够的功率，支持在冷凝环境中运行。加热器可防止冷凝和去除冷凝水，从而保护湿度传感器区域。表 7-4 中记录了加热器的启用和禁用，如图 7-26 和图 7-27 所示。

加热器预计会影响温度测量结果和相对湿度测量结果。基于 IC 的湿度传感器使用内核温度估算环境温度。使用加热器会使内核温度比环境温度高出 80°C（具体取决于电源电压）。因此，在加热器工作时，无法获得准确的环境温度和相对湿度测量结果。

务必要认识到集成加热器会蒸发在湿度传感器顶部形成的冷凝水，但不会去除任何溶解的污染物。这种污染物残留（如果存在）可能会影响湿度传感器的精度。HDC3022Q Q1 可靠的 IP67 级 PTFE 滤膜可在冷凝物蒸发时保护湿度传感器免受冷凝和溶解污染物的影响。

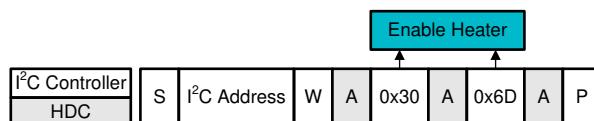


图 7-26. I²C 命令序列：启用加热器

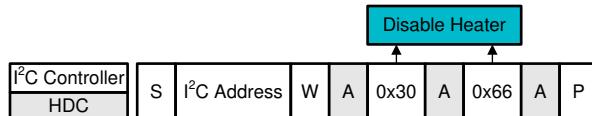


图 7-27. I²C 命令序列：禁用加热器

7.5.7.8 加热器：配置加热器电流大小

HDC302x-Q1 加热器架构由 14 个并联电阻器组成，可支持多种不同的功率级别。此电阻器数组旨在根据环境温度和电源电压配置适当的加热器电流，以进行偏移误差校正或冷凝水预防/去除。加热器数组用 HEATER_CONFIG[15:0] 表示，其定义如下：

HEATER_CONFIG[15:0] = H₁₃H₁₂H₁₁H₁₀H₉H₈H₇H₆H₅H₄H₃H₂H₁H₀，其中每个 H_X 位表示 14 个加热器中第 X 个的配置。下表提供了部分加热器配置选项的列表。

加热器的功率级别还取决于 VDD，VDD 越高，所提供的加热器功率越高，且器件发热量越高。在传感器顶部存在冷凝水的情况下，必须小心避免超过 100°C。

表 7-15. HEATER_CONFIG[16:0] 的示例配置

期望的加热器配置	所需的 HEATER_CONFIG[15:0][HEX]	CRC
启用加热器全功率	3F FF	06
启用加热器半功率	03 FF	00
启用加热器四分之一功率	00 9F	96

表 7-16. 加热器典型电阻值表

加热器代码，十六进制	典型电阻值 (Ω)
1	1875.7
2	1379.3
4	1361.7
8	674.5
F	292.4
10	692.0
20	692.0
40	472.8
80	475.3
F0	145.2
100	478.0
200	477.6
400	281.6
800	281.6
F00	93.2
1000	283.7
2000	284.6
3FFF	40.3

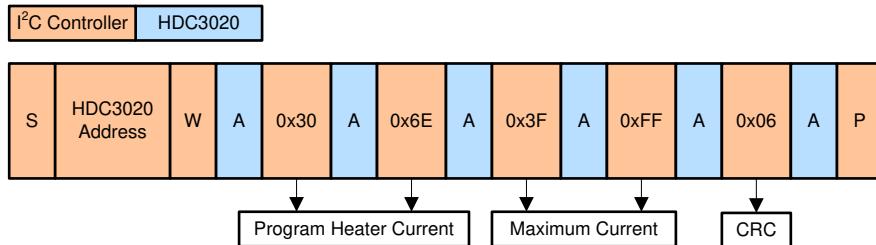


图 7-28. I²C 命令序列：配置加热器电流全功率

7.5.7.9 读取 NIST ID/序列号

每个 HDC302x-Q1 配置有不可更改的唯一 48 位代码，用于支持传感器的 NIST 可追溯性。此值还可用于表示该器件的唯一序列号。读取完整的 48 位值需要三个命令，如图 7-29、图 7-30 和图 7-31 所示。每个命令都会返回两个字节的 NIST ID，后跟一个 CRC 字节。从 MSB 到 LSB，完整的器件 NIST ID 读取为 NIST_ID_5、NIST_ID_4、NIST_ID_3、NIST_ID_2、NIST_ID_1 和 NIST_ID_0。

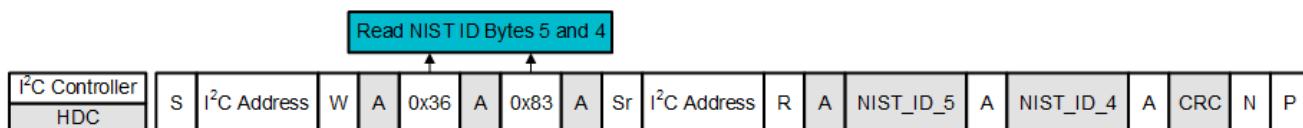


图 7-29. I²C 命令序列：读取 NIST ID (字节 NIST_ID_5，然后是 NIST_ID_4)

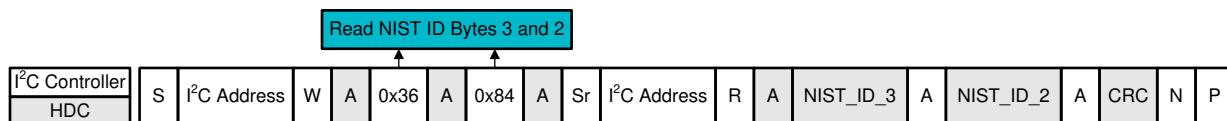


图 7-30. I²C 命令序列：读取 NIST ID (字节 NIST_ID_3，然后是 NIST_ID_2)

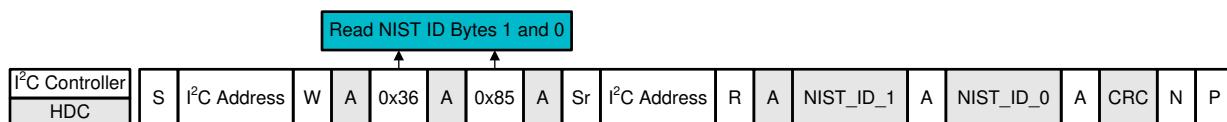


图 7-31. I²C 命令序列：读取 NIST ID (字节 NIST_ID_1，然后是 NIST_ID_0)

8 应用和实现

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 器件规格的范围，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户应负责确定器件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计，以确保系统功能。

8.1 应用信息

HDC302x-Q1 用于测量电路板上安装器件位置的相对湿度和温度。可配置的 I²C 地址选项支持在单个串行总线上监控最多四个位置。

计算出的 RH 值取决于温度读数，因此，使传感器温度与空气温度相匹配对于获得精确的 RH 结果非常重要。务必小心确保 HDC302x 未被外部源加热，也未在正常运行期间自发热。

8.2 典型应用

一种在激光雷达中需要相对湿度和温度传感器的常见汽车应用。HDC302x-Q1 传感器与一个处理器配对，该处理器从传感器收集相对湿度和温度数据，以便根据环境条件校正激光雷达，从而提高系统精度，或识别摄像头镜头上的冷凝，并使加热器能够清除该冷凝。图 8-1 显示了适用于激光雷达系统的湿度传感器系统方框图。请注意，HDC302x-Q1 支持 1.62V 至 5.5V 的宽电源电压范围，因此汽车电池有一个子系统，可生成 HDC302x-Q1 所需的较低电压。

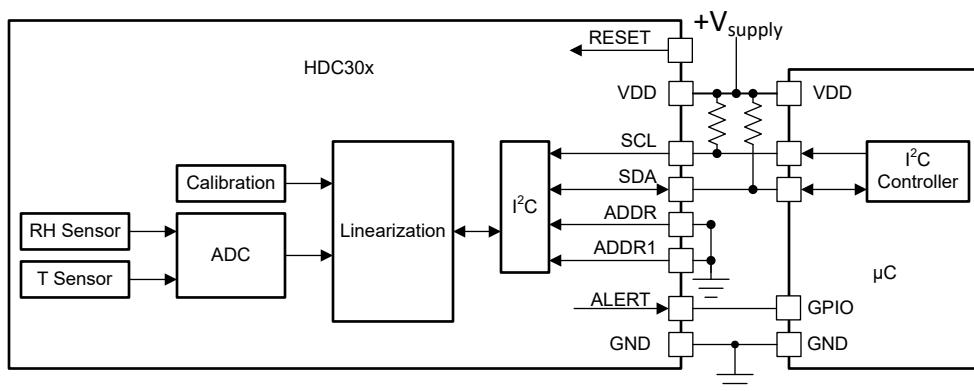


图 8-1. 典型湿度应用原理图

8.2.1 设计要求

为提高测量精度，TI 建议将 HDC302x-Q1 与有源电路、电池、显示器和电阻元件形式的所有热源隔离开来。如果设计空间有限，器件周围的切口或包含小沟槽有助于尽可能减少从 PCB 热源到 HDC302x-Q1 的热传递。为避免 HDC302x-Q1 自发热，TI 建议将器件配置为每秒最多测量 1 次。避免器件从热源（如散热器或太阳）获得热量。

HDC302x-Q1 仅作为目标器件运行，通过与 I²C 兼容的串行接口与主机进行通信。SCL 是输入引脚，SDA 是双向引脚，ALERT 是输出。HDC302x-Q1 在 SDA 上需要一个上拉电阻器。如果系统微处理器 SCL 引脚为漏极开路，则需要一个 SCL 上拉电阻器。上拉电阻器的建议值通常是 5k Ω 。在某些应用中，上拉电阻器可以低于或高于 5k Ω 。上拉电阻器的大小由 I²C 线路上的电容量、总线泄漏和通信频率决定。有关更多详细信息，请参阅 [I²C 上拉电阻器计算应用手册](#)。建议在 V+ 和 GND 之间连接一个容值为 0.1 μ F 的旁路电容器。使用额定温度范围与应用工作范围相匹配的陶瓷电容器类型，并将该电容器放置在尽可能靠近 HDC302x-Q1 的 VDD 引脚的位置。ADDR 和 ADDR0 引脚应直接连接到 GND 或 VDD，以便根据寻址方案选择四个可能的唯一目标 ID 地址（请参阅表 7-2）。ALERT 输出引脚可连接到微控制器中断，当相对湿度或温度超过编程限制时，该中断就会触发事件。将 ALERT 引脚输入/输出电流保持在 1mA 以下，以防止器件自发热。ALERT 引脚在不使用时应保持悬空。如果未使用 nRESET 引脚，最好将其连接到 VDD。这是为了避免 nRESET 引脚上可能由电磁干扰引起的尖峰脉冲。

用户可决定是否将封装散热焊盘焊接到 PCB 上。不焊接散热焊盘有助于更大限度地降低热质量，从而更大限度地提高加热器效率或更好地测量环境温度（这也为器件提供了承受因冷凝水而导致封装进水所造成短路的最佳机会）。焊接散热焊盘有助于确保 RH 测量的稳定性，因为温度测量由于热质量增加而更稳定。在冷凝环境中使用 HDC302x 时，最好使用 HDC3022，因为 IP67 级滤盖可确保传感器安全防水。为避免短路，用户还必须小心确保器件下方和器件引脚上没有水。

8.2.2 详细设计过程

温度和相对湿度测量的精度取决于传感器精度和传感系统的设置。HDC302x-Q1 在即时环境中测量相对湿度和温度，因此验证传感器的局部条件是否与环境相匹配非常重要。即使在静态条件下，也可以使用器件的物理盖上的一个或多个开口来获得良好的气流。相反，应避免将传感器放置在气流过强（通常大于 1m/s）的位置。强气流会导致较大的温度和湿度噪声。请参阅 PCB 布局 图 8-3，该布局可更大限度地减少 HDC302x-Q1 区域中 PCB 的热质量，从而改善湿度响应时间并提高精度。注意避免冷凝水。传感器表面的液态冷凝水可能导致错误的 RH 读数，还会在封装主体下方造成电气短路。以竖直方向放置传感器有助于冷凝水滴从传感器主体上滚落，并防止灰尘颗粒粘附并留在传感器上。避免直接将传感器暴露在光照下。光照可加热传感器并加速传感器老化，导致 RH 误差随时间推移而增加。

8.2.3 应用曲线

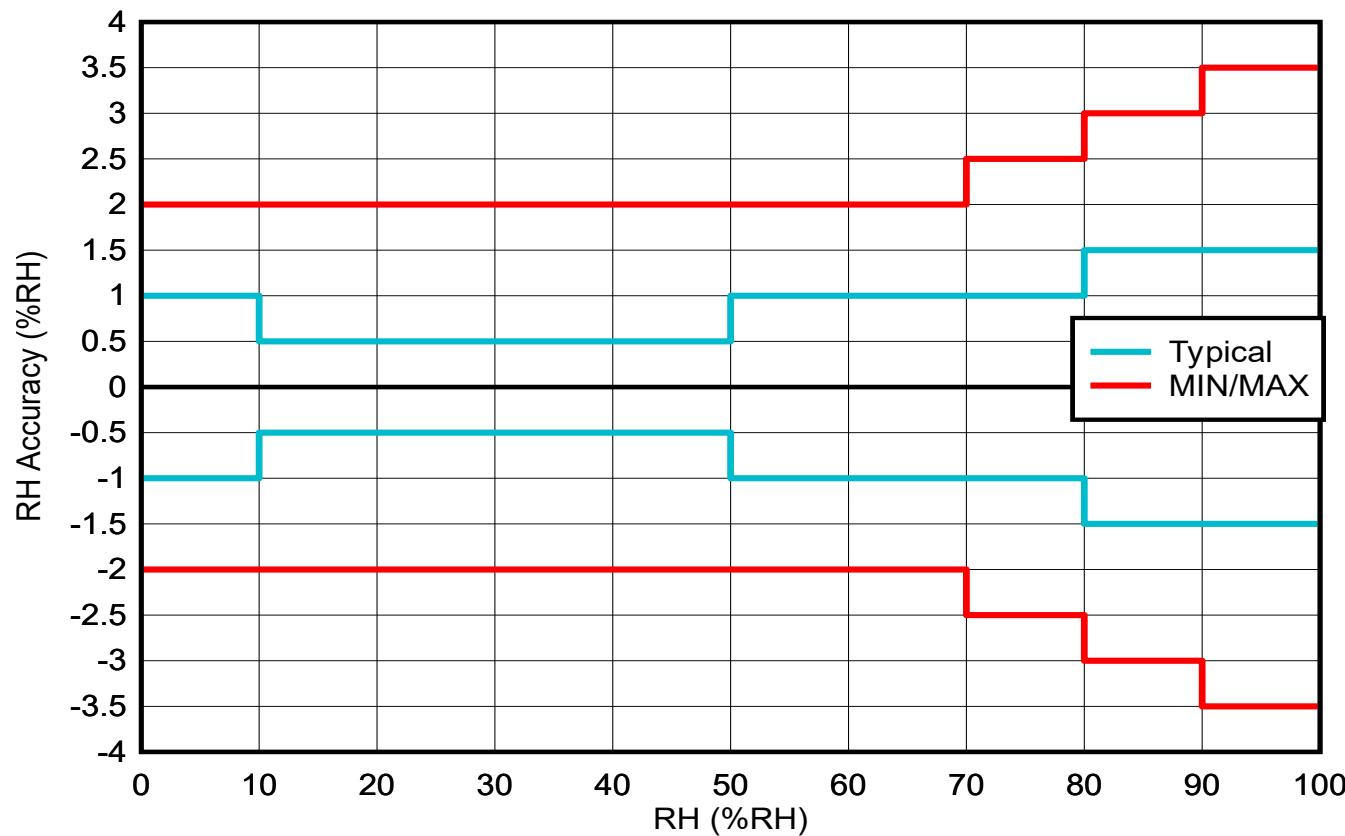


图 8-2. RH 精度与 RH 间的关系

8.3 电源相关建议

HDC302x-Q1 支持 1.62V 至 5.50V 的电源电压范围。TI 建议在 V_{DD} 和 GND 引脚之间使用 0.1 μ F 的多层陶瓷旁路 X7R 电容器。如果用户计划使用加热器或利用 EEPROM 编程特性，则用户必须验证电源和 V_{DD}/GND 布线是否可以处理高达 100mA 的电流。

8.4 布局

8.4.1 布局指南

HDC302x-Q1 采用适当的 PCB 布局对于获得准确的温度和相对湿度测量值至关重要。因此，TI 建议：

1. 将所有热源与 HDC302x-Q1 隔开。该设计意味着要将 HDC302x-Q1 放置在远离电池、显示屏或微控制器等功耗密集型电路板元件的位置。理想情况下，唯一靠近 HDC302x-Q1 的板载组件是电源旁路电容器。有关更多信息，请参阅 [布局示例](#)。
2. 除去器件下方的铜层 (GND, V_{DD})。
3. 在器件周围使用槽或切口以减少热质量，并更快地响应突然的环境变化。
 - [布局示例](#) 中布线的直径为 6mm。虽然该尺寸不重要，但务必要确保充分隔离 PCB 上存在的外部热梯度。散热切口的其他表示以及更多信息请参阅 [优化湿度传感器的布局和布线](#) 应用手册。
4. 按照 [机械、封装和可订购信息](#) 中所示的示例电路板布局布线和模板设计示例进行操作。
 - SCL 和 SDA 线路需要上拉电阻，TI 建议将一个 0.1 μ F 电容器连接到 V_{DD} 线路。
 - TI 建议在 V_{DD} 和 GND 引脚之间使用 0.1 μ F 的多层陶瓷旁路 X7R 电容器。
5. 最好是将封装散热焊盘焊接到保持悬空的电路板焊盘上。但是，封装散热焊盘可以保持悬空状态，以更大限度地减少热泄漏，从而更大限度地提高加热器效率。要详细了解何时让散热焊盘保持悬空状态可能对用户应用有帮助，请参阅 [HDC3x 器件用户指南](#)。

8.4.2 布局示例

将封装散热焊盘焊接到布局示例所示的电路板焊盘上。但是，为了更大限度地降低热质量，从而更大限度地提高加热器效率，或者为了测量环境温度，可以将焊盘保持悬空状态。可以选择将散热焊盘悬空。

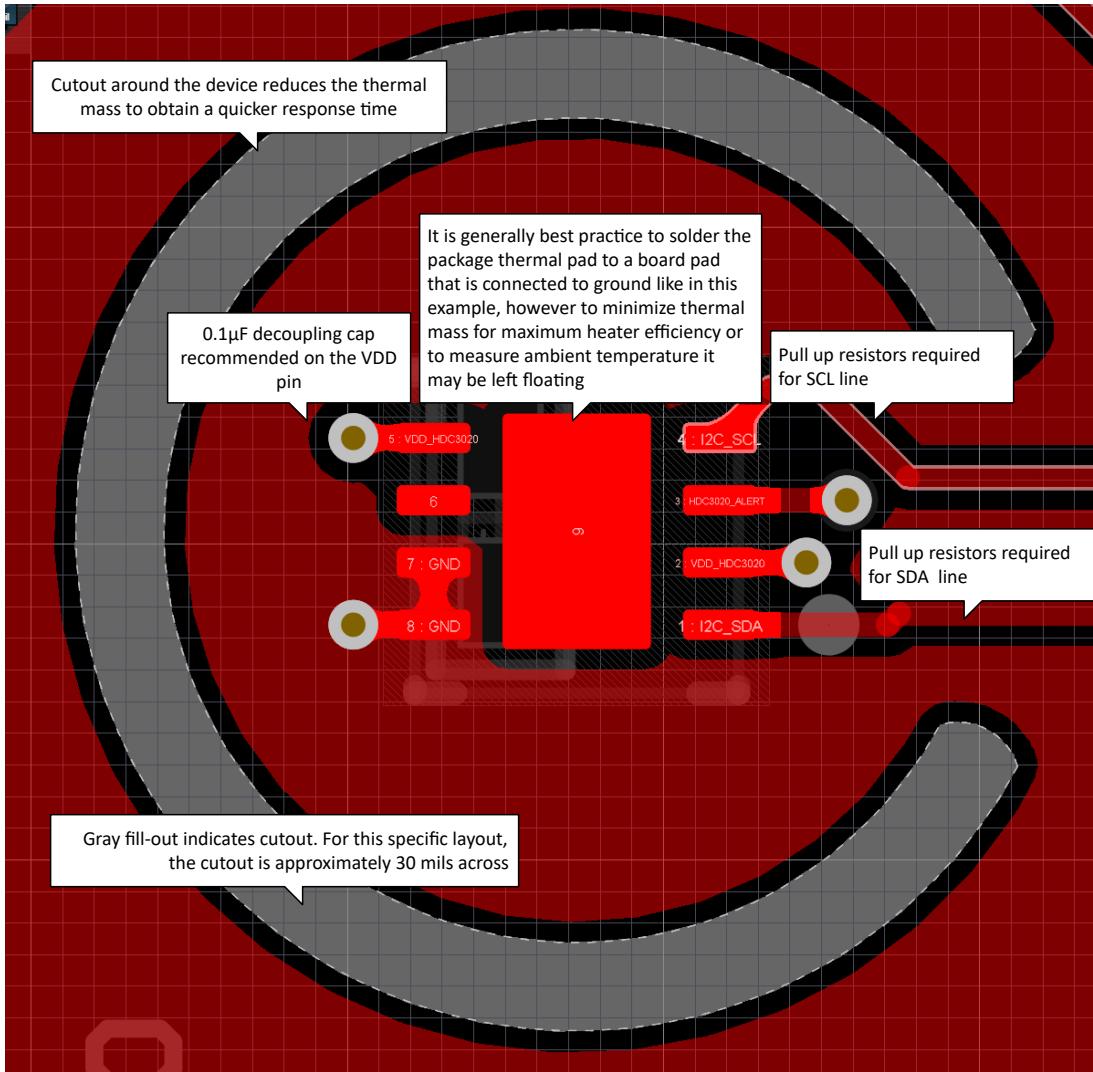


图 8-3. HDC302x-Q1 PCB 布局示例

8.4.3 存储和 PCB 组装

8.4.3.1 储存和处理

与所有湿度传感器一样，HDC302x-Q1 必须遵循标准半导体器件不常见的处理和存储特殊指南。应避免长时间暴露于紫外线和可见光、高温和高湿度，或长时间暴露于化学蒸汽，因为这种暴露可能影响 RH% 精度。在存储期间，避免长时间暴露在极低和极高的湿度下。此外，应保护器件免受制造、运输、操作和封装材料（即胶带、贴纸、气泡箔）产生的释气溶剂蒸汽的影响。避免 RH 传感器移位的最佳实践是将传感器存储在密封的 ESD 安全塑料袋中。有关更多详细信息，请参阅 [HDC3x 器件用户指南](#)。

8.4.3.2 Soldering Reflow

For PCB assembly, standard reflow soldering ovens can be used. The HDC302x-Q1 uses the standard soldering profile IPC/JEDEC J-STD-020 with peak temperatures at 260°C. When soldering the HDC3020Q -Q1, using *no-clean* solder paste is mandatory, and the paste must not be exposed to water or solvent rinses during assembly because these contaminants can affect sensor accuracy. When soldering HDC3021Q -Q1 or HDC3022Q -Q1, both which have a protective cover which protects the sensor, these devices allow for a printed circuit board (PCB) wash.

During reflow due to high temperature exposure, the sensor is expected (whether open cavity or a protective cover device is used) to generally output a shift in relative humidity. This shift reduces over time as the sensor is exposed to typical indoor ambient conditions 25°C and 50% RH for five days. Following this rehydration procedure allows the polymer to correctly settle after reflow and return to the calibrated RH accuracy.

8.4.3.3 返工

TI 建议将 HDC302x-Q1 限制为单次 IR 回流而不进行返工，但如果满足以下准则，则可以进行第二次回流：

- 暴露的聚合物 (湿度传感器) 保持清洁和完好无损。
- 使用免清洗焊膏，工艺不接触任何液体，例如水或溶剂。
- 峰值焊接温度不超过 260°C。

8.4.3.4 暴露于高温和高湿度条件下

超出建议的工作条件长时间暴露可能会暂时使 RH 输出偏移。建议的湿度工作范围为 0 至 100% RH (非冷凝) ，温度范围为 -20°C 至 80°C。在超出这些范围的情况下长时间运行可能会使传感器读数发生变化，恢复速度很慢。

8.4.3.5 烘烤/再水合程序

长时间暴露在极端条件或严重污染情况下可能会影响传感器性能。如果从污染物中观察到持续性偏移，建议采用以下程序来恢复或减少在传感器性能中观察到的误差：

1. 烘烤：100°C，小于 5%RH，5-10 小时
2. 再水合：25°C 和 50% RH，持续 5 天

9 器件和文档支持

9.1 文档支持

9.1.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI), [湿度传感器：存储和处理指南](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [优化湿度传感器的布局和布线](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [HDC3020 EVM 用户指南](#), EVM 用户指南
- 德州仪器 (TI), [HDC3x 器件用户指南](#), 用户指南
- 德州仪器 (TI), [I²C 上拉电阻器计算](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [85°C/85% RH 加速寿命测试对湿度传感器的影响](#) 白皮书
- 德州仪器 (TI), [利用相对湿度传感器增强功能实现超低功耗系统](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [HDC3020 湿度传感器系列如何实现业内超低漂移](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [保持性能长期一致对相对湿度传感器的重要性](#) 技术文章
- 德州仪器 (TI), [借助 ASC Studio 在数秒内连接到传感器](#) 技术文章

9.2 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 [ti.com](#) 上的器件产品文件夹。点击[通知](#)进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

9.3 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#)是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的[使用条款](#)。

9.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

9.5 静电放电警告



静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

9.6 术语表

[TI 术语表](#) 本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

10 修订历史记录

Changes from Revision C (March 2023) to Revision D (November 2024)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 向 引脚配置和功能 部分添加了散热焊盘配置信息.....	4
• 向 图 6-3 添加了 0% 和 100% RH 以及 80°C 数据.....	10
• 更改了用于覆盖默认器件上电/复位测量状态的有效配置值列表表中的多个 CRC 值.....	18
• <i>Changed the Soldering Reflow section to add why rehydration is required for open cavity and protective cover devices and emphasize that all humidity sensors need rehydration after reflow</i>	36

- 向暴露于高温和高湿度条件下部分添加了建议的工作范围..... 37
-

Changes from Revision B (August 2022) to Revision C (March 2023)	Page
• 将数据表状态从“混合量产”更改为“量产数据”	1
• 删除了 HDC3022-Q1 器件的预发布说明.....	1

Changes from Revision A (September 2021) to Revision B (August 2022)	Page
• 将数据表状态从“预告信息”更改为“混合量产”	1
• 将 HDC3020QDEFRQ1 和 HDC3021QDEHRQ1 的可订购状态从“预告信息”更改为“量产数据”	1
• 向特性列表添加了“功能安全型”并链接到其他文档.....	1
• 添加了可湿性侧面封装选项作为产品预发布.....	1
• 将“漂移校正”重命名为“偏移误差校正”	1
• 删除了“ADDR 和 ADDR1 引脚可保持悬空”。该引脚不得保持悬空。	4
• 更新了电气规格以反映预量产测试特性。	5
• 添加了加热器命令.....	18
• 将读取制造 ID 十六进制代码 LSB 的命令代码从 80 更改为 81.....	18
• 添加了额外的按需触发命令代码：0x2C06、0x2C0D、0x2C10.....	18
• 将电源相关建议 和布局部分移到了应用和实施部分.....	34
• 将再水合建议更改为 25°C 和 50% RH，持续 5 天.....	37

11 机械、封装和可订购信息

下述页面包含机械、封装和订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

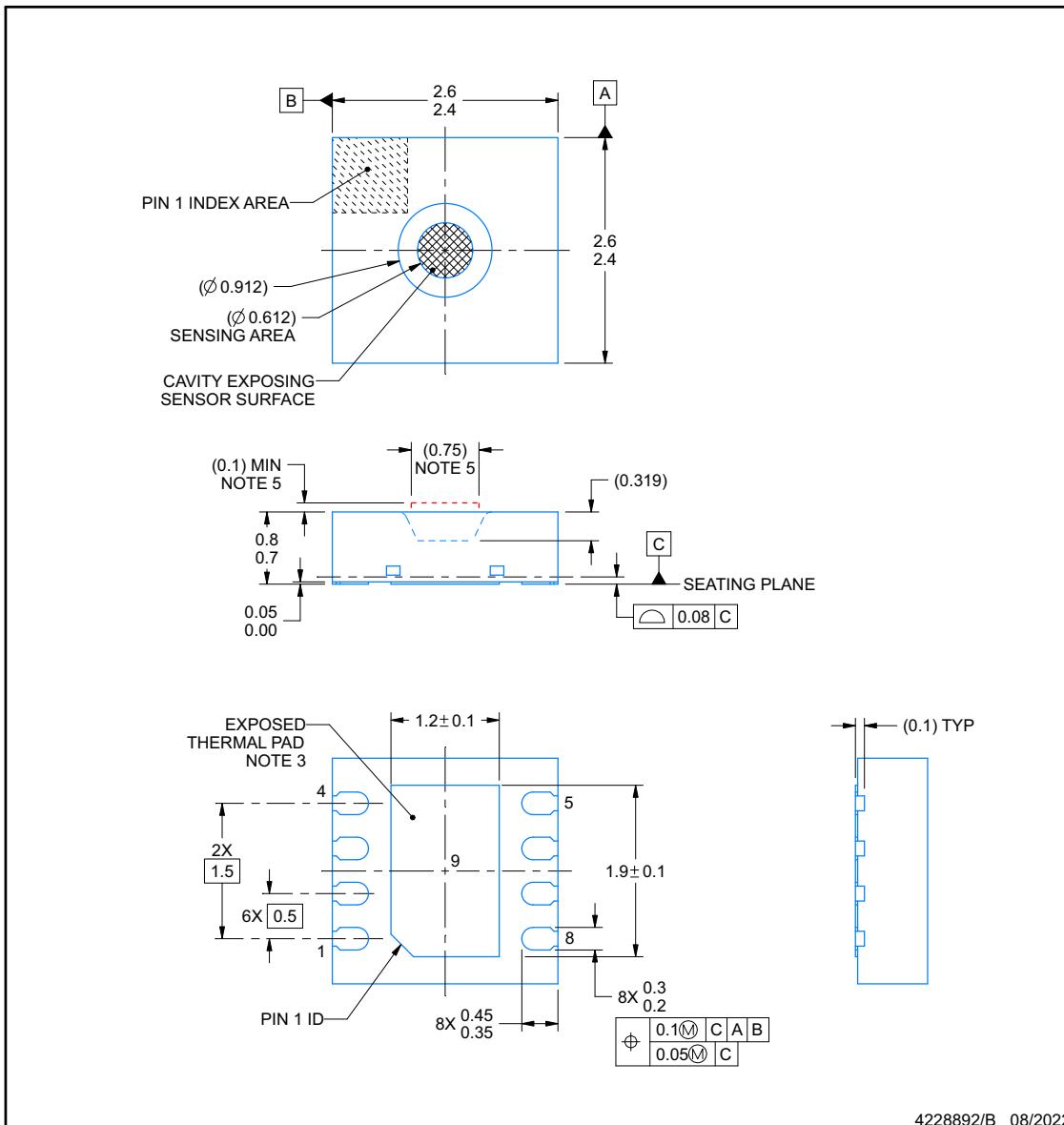
DEF0008A-C01



PACKAGE OUTLINE

WSON - 0.8 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE - NO LEAD



4228892/B 08/2022

NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
 2. This drawing is subject to change without notice.
 3. It is generally best practice to solder the package thermal pad to a board pad that is connected to ground, however to minimize thermal mass for maximum heater efficiency or to measure ambient temperature it may be left floating.
 4. The pick and place nozzle internal diameter has to be between $\phi 0.915$ and $\phi 1.875$ mm.
 5. Customers must maintain adequate clearance from this region to allow for proper functioning of the humidity sensor.

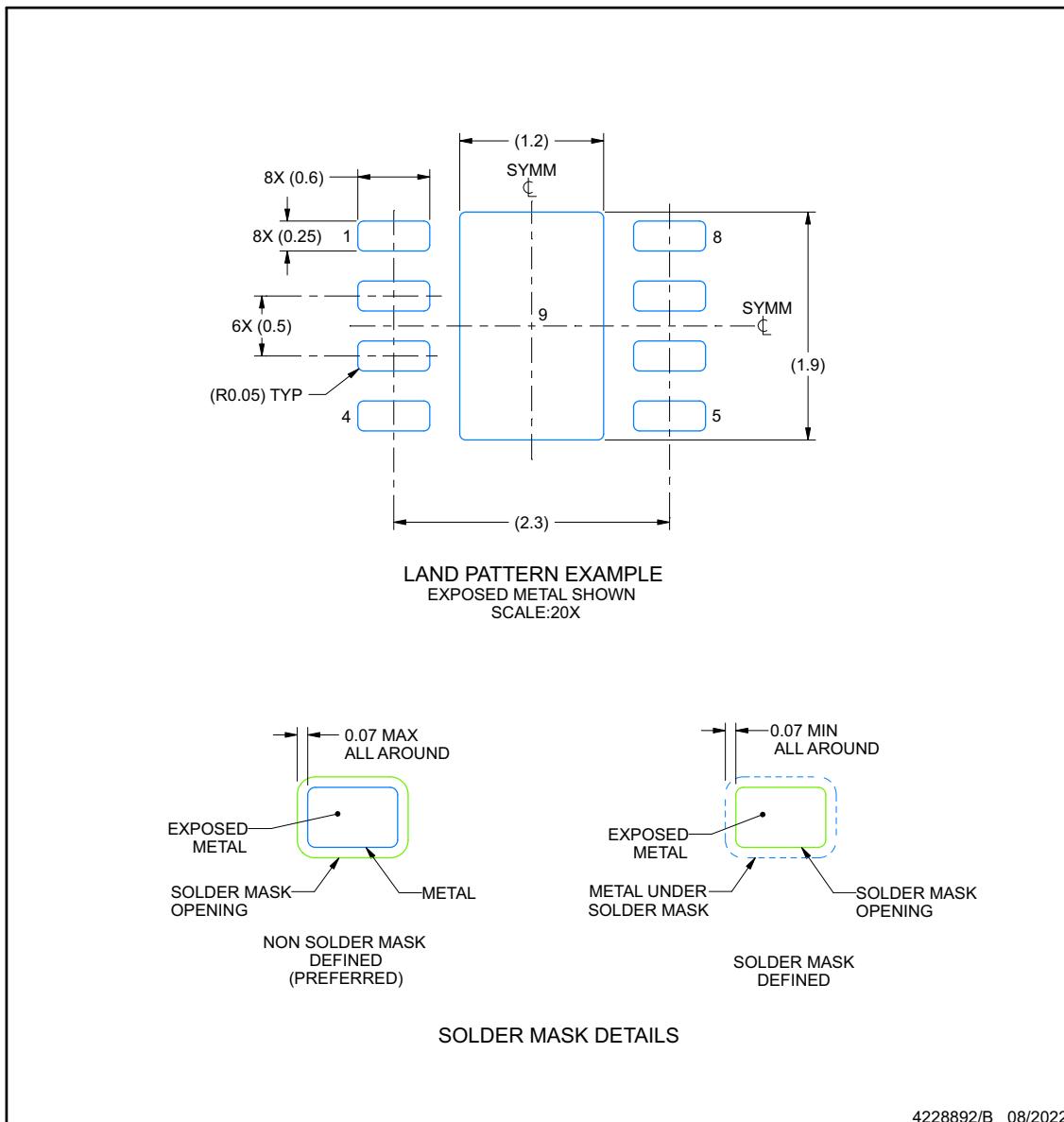


EXAMPLE BOARD LAYOUT

DEF0008A-C01

WSON - 0.8 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE - NO LEAD



NOTES: (continued)

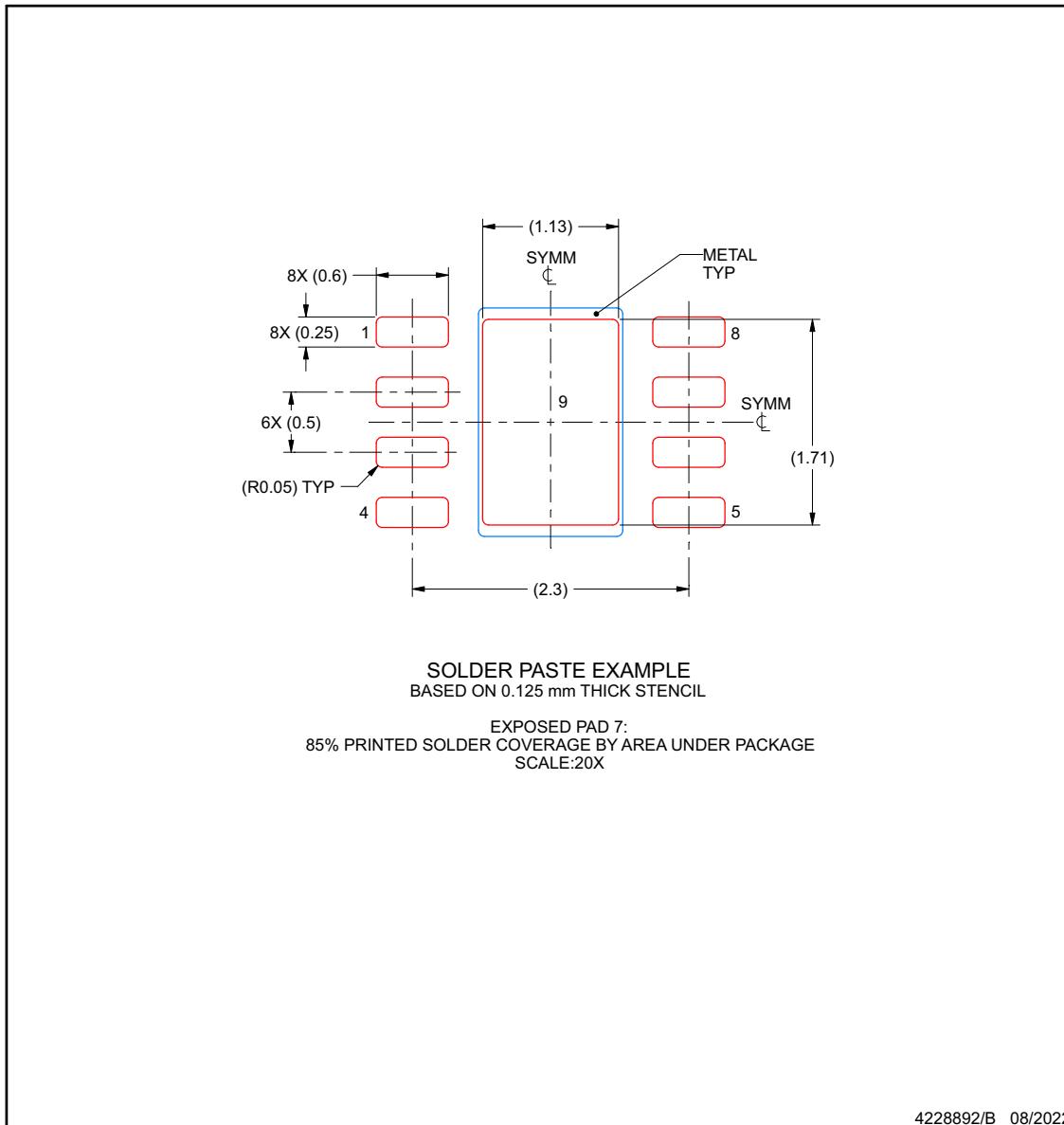
6. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).
7. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DEF0008A-C01

WSON - 0.8 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE - NO LEAD



NOTES: (continued)

8. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

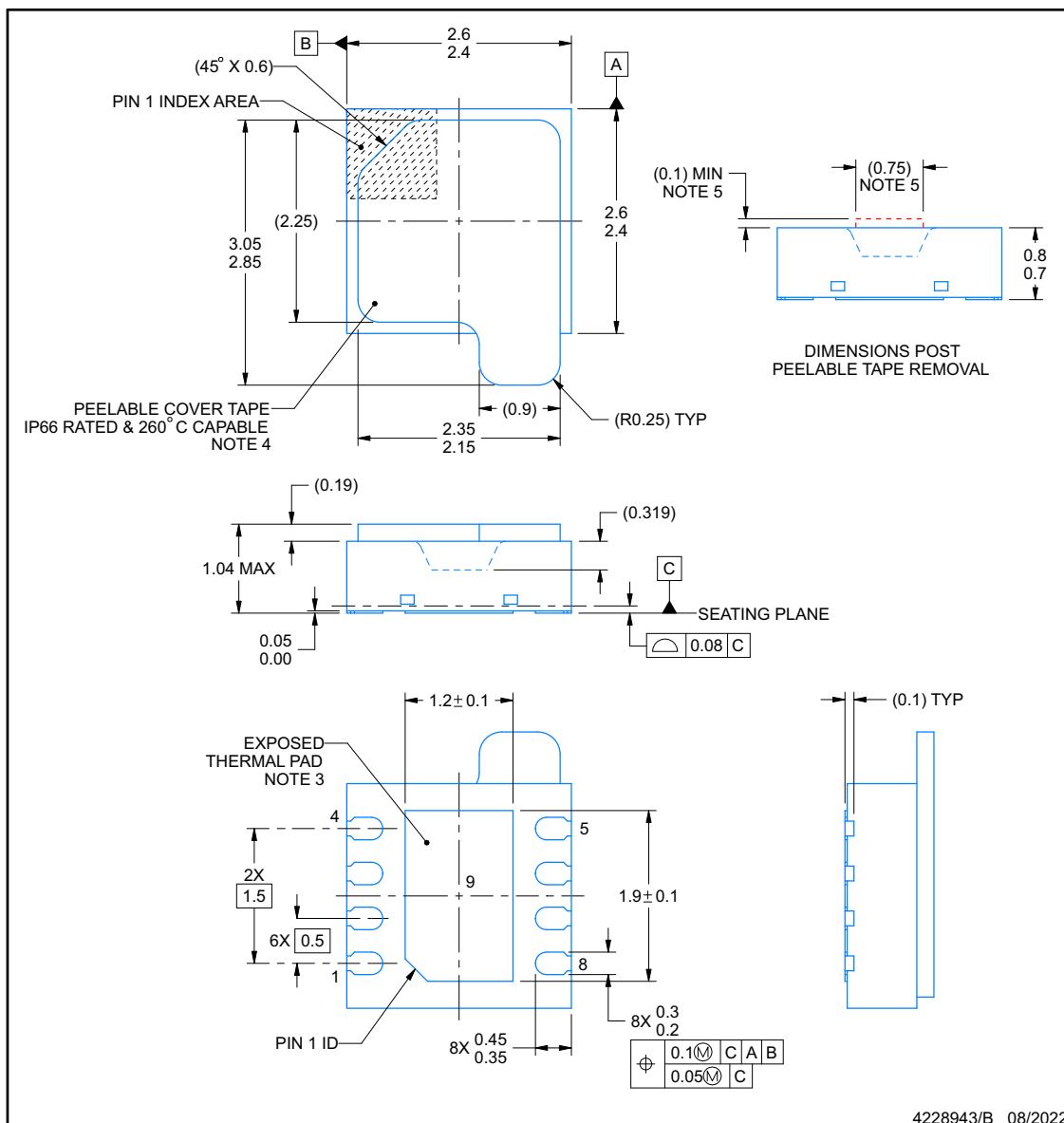


PACKAGE OUTLINE

DEH0008A-C01

WSON - 1.04 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE - NO LEAD



4228943/B 08/2022

NOTES:

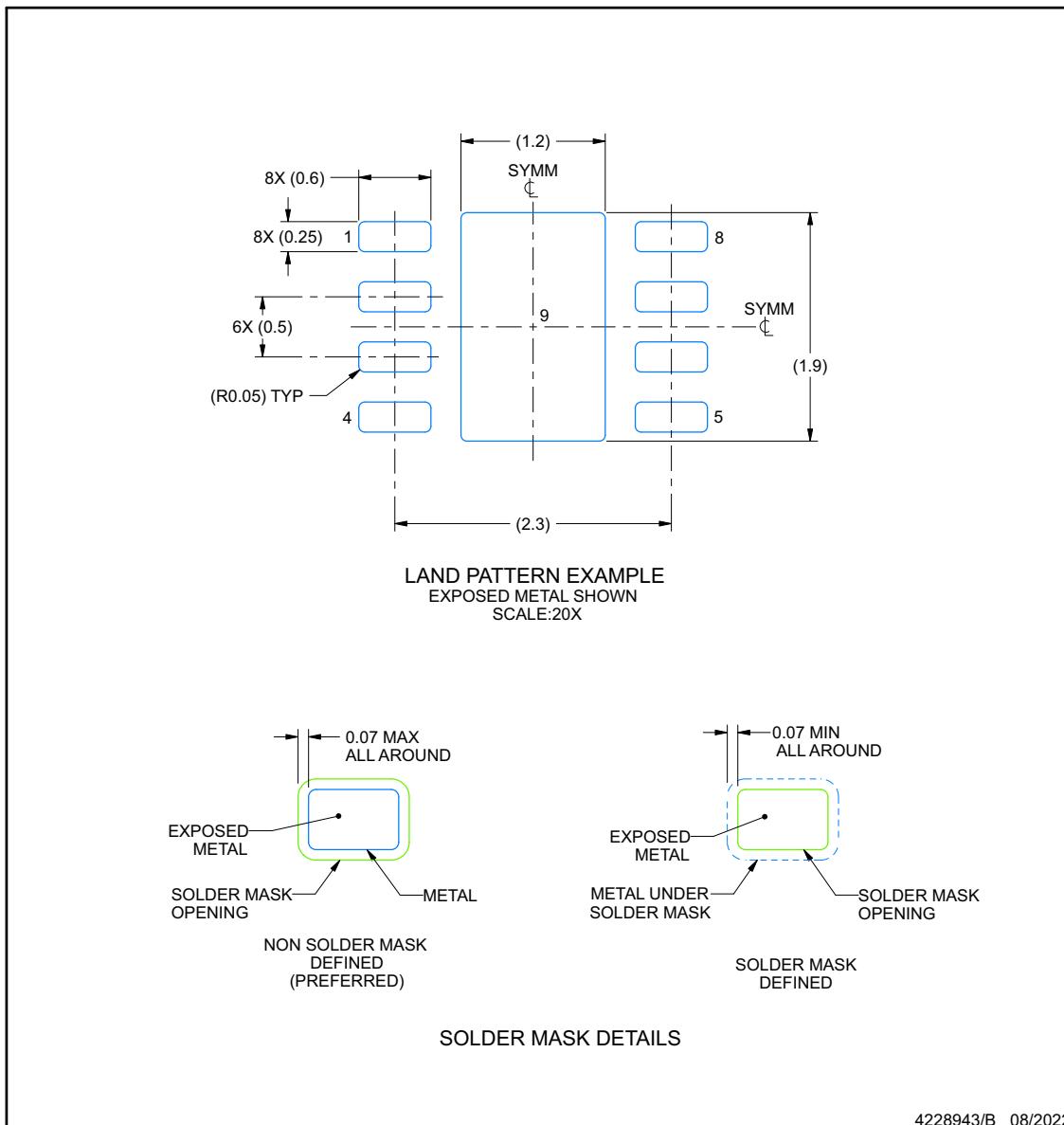
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. It is generally best practice to solder the package thermal pad to a board pad that is connected to ground, however to minimize thermal mass for maximum heater efficiency or to measure ambient temperature it may be left floating.
4. IPXY Rating represents environmental ingress protection from both dust and high pressure water sprays. X=6 represents resistance to dust and Y=6 represents high pressure water spray resistance per IEC60529 testing conditions.
5. Customers must maintain adequate clearance from this region to allow for proper functioning of the humidity sensor.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

DEH0008A-C01

WSON - 1.04 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE - NO LEAD



NOTES: (continued)

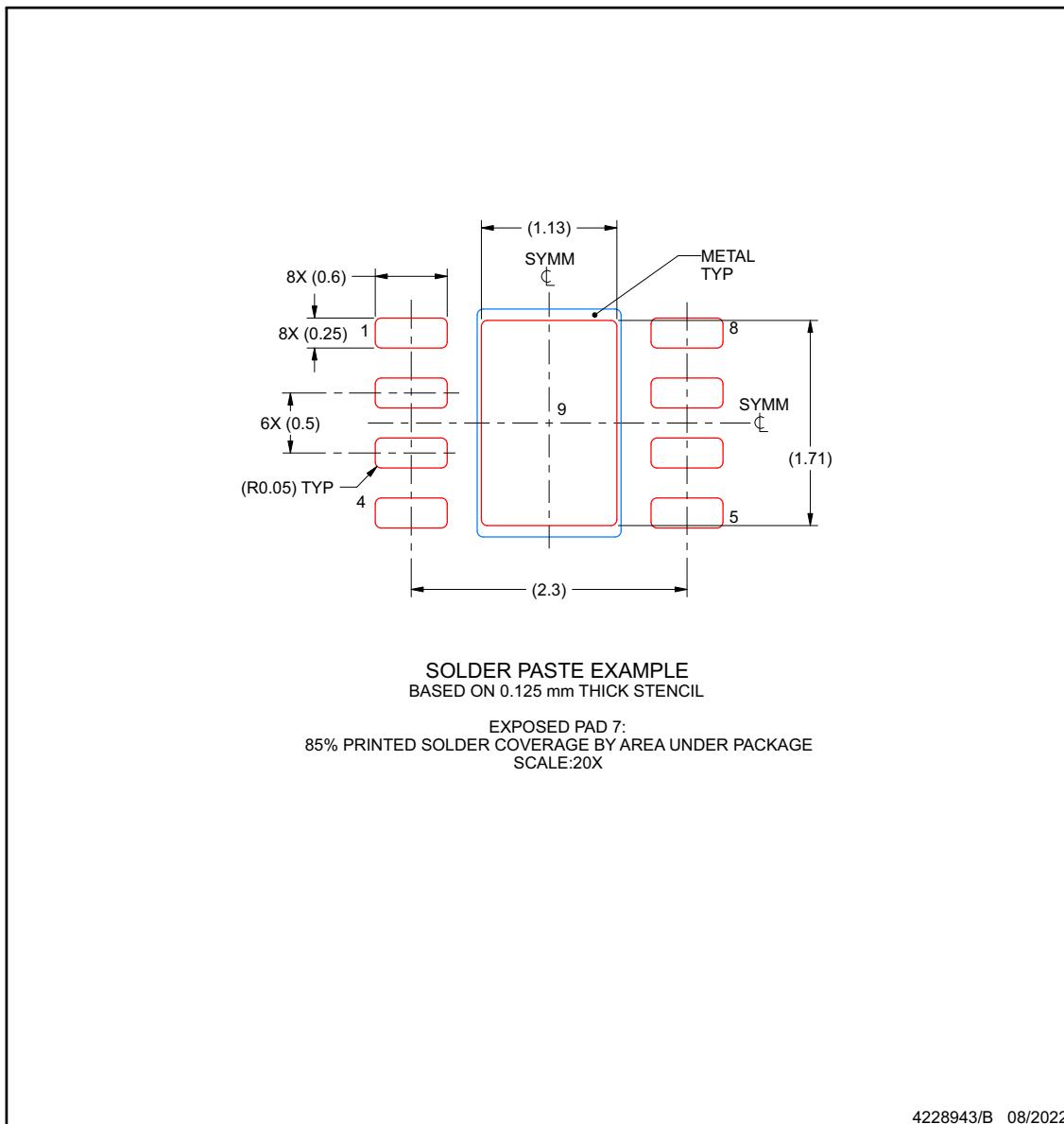
6. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).
7. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DEH0008A-C01

WSON - 1.04 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE - NO LEAD



4228943/B 08/2022

NOTES: (continued)

8. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

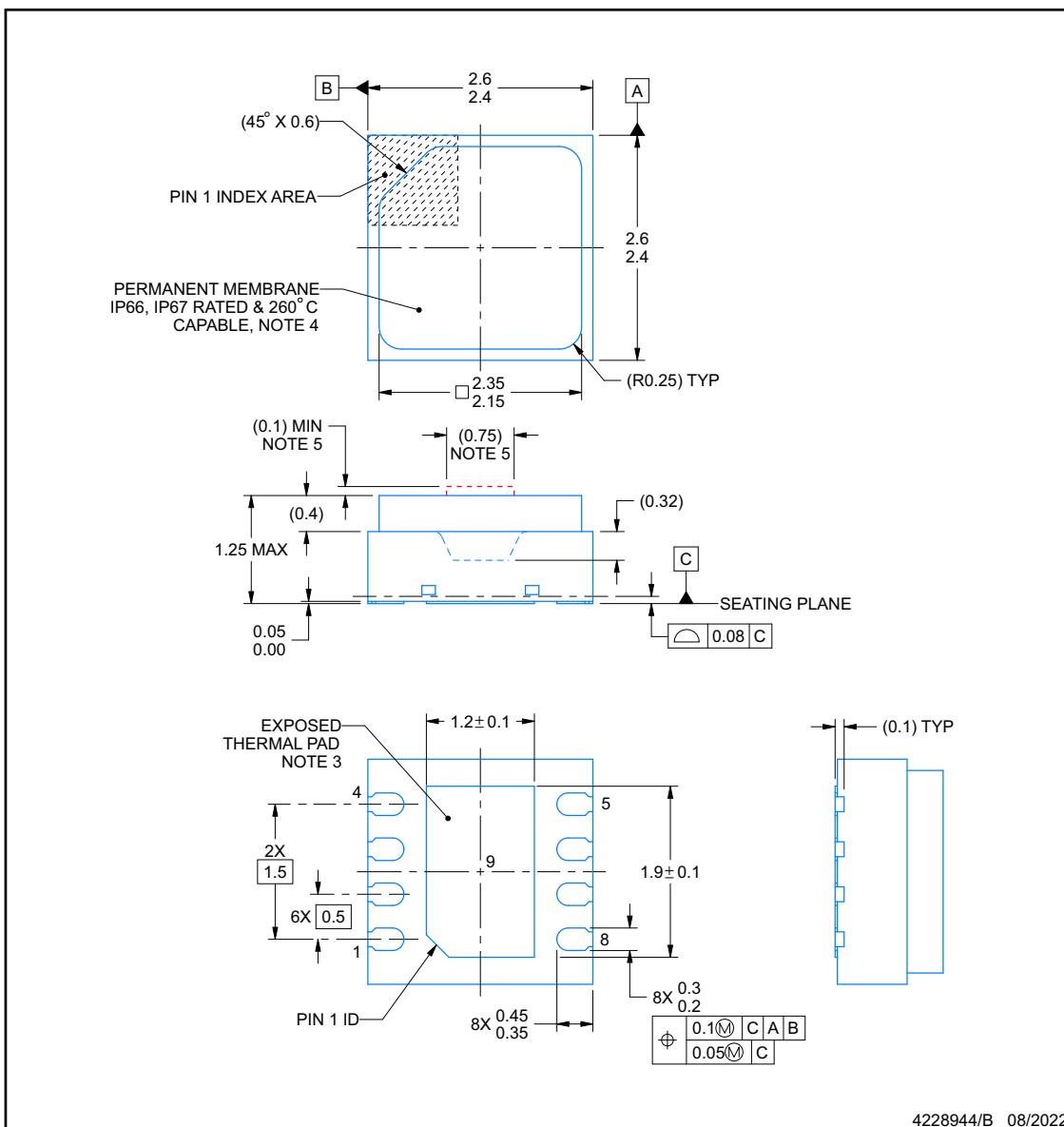
DEJ0008A-C01



PACKAGE OUTLINE

WSON - 1.25 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE - NO LEAD



NOTES:

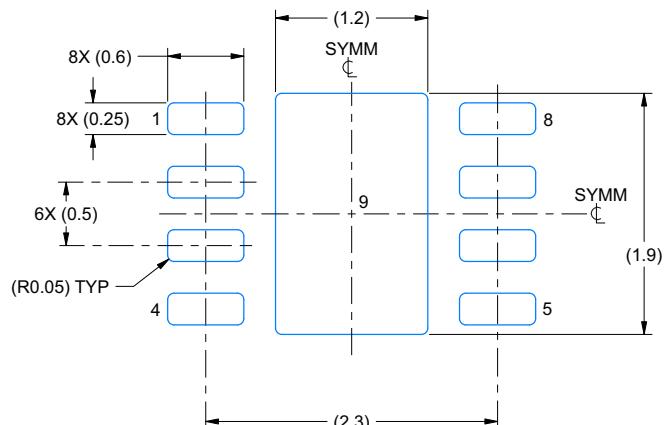
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. It is generally best practice to solder the package thermal pad to a board pad that is connected to ground, however to minimize thermal mass for maximum heater efficiency or to measure ambient temperature it may be left floating.
4. IPXY Rating represents environmental ingress protection from both dust and high pressure water sprays. X=6 represents resistance to dust, Y=6 represents high pressure water spray resistance and Y=7 allows 1m water submersion per IEC60529 testing conditions.
5. Customers must maintain adequate clearance from this region to allow for proper functioning of the humidity sensor.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

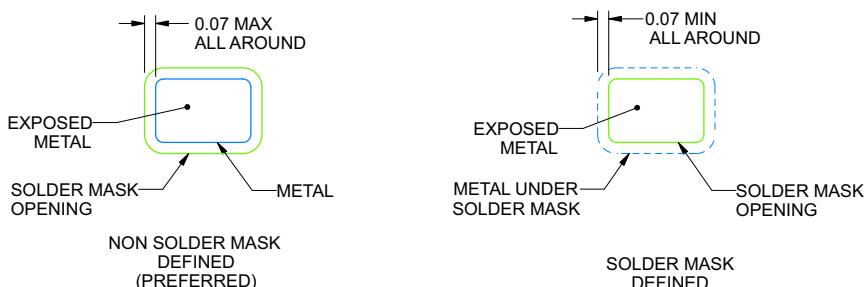
DEJ0008A-C01

WSON - 1.25 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE - NO LEAD



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE:20X



SOLDER MASK DETAILS

4228944/B 08/2022

NOTES: (continued)

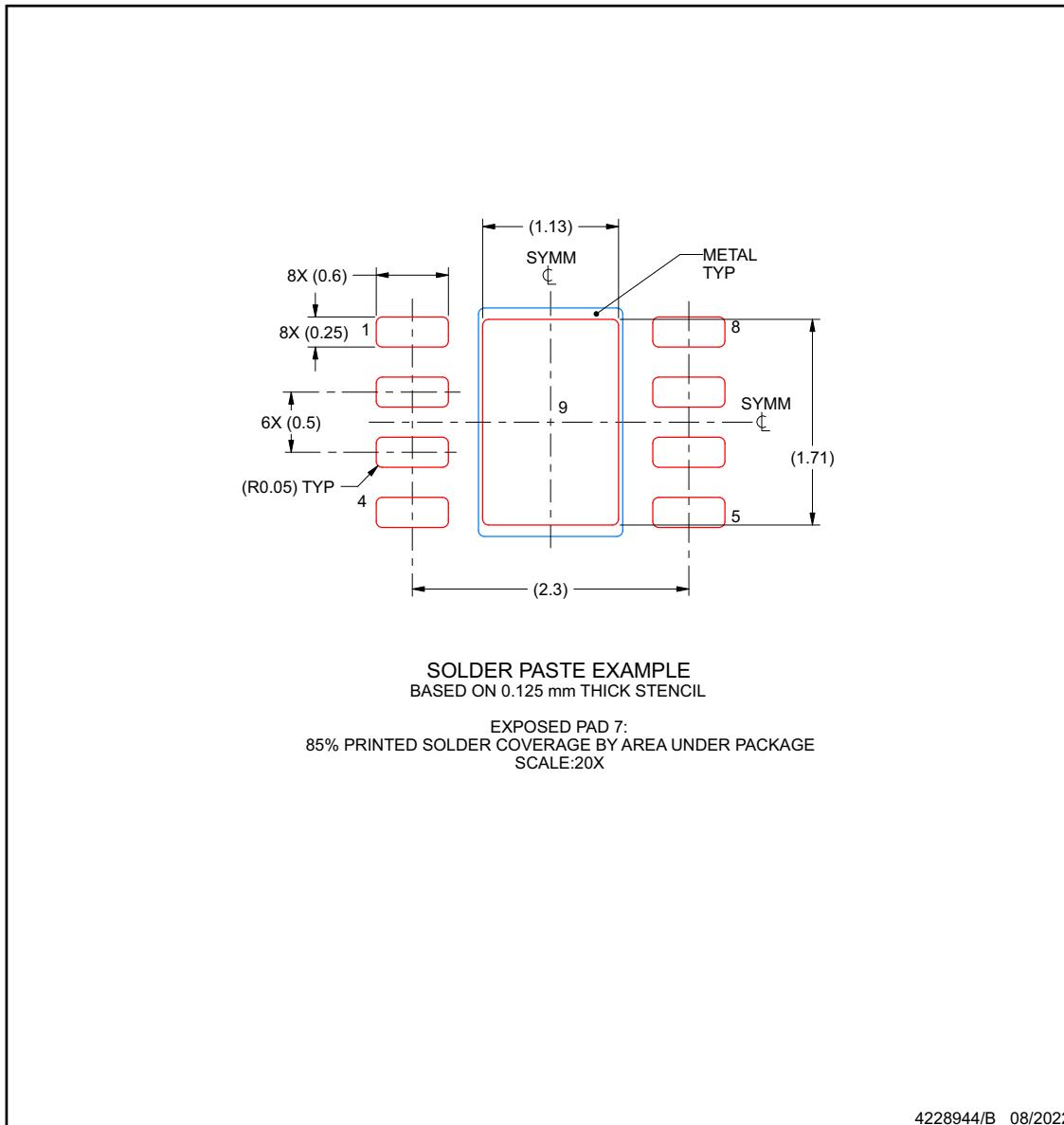
6. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).
7. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DEJ0008A-C01

WSON - 1.25 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE - NO LEAD



4228944/B 08/2022

NOTES: (continued)

8. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package Pins	Package qty Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
HDC3020QDEFRQ1	Active	Production	WSON (DEF) 8	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	P Q
HDC3020QDEFRQ1.A	Active	Production	WSON (DEF) 8	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	P Q
HDC3021QDEHRQ1	Active	Production	WSON (DEH) 8	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	P I
HDC3021QDEHRQ1.A	Active	Production	WSON (DEH) 8	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	P I
HDC3022QDEJRQ1	Active	Production	WSON (DEJ) 8	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	P K
HDC3022QDEJRQ1.A	Active	Production	WSON (DEJ) 8	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	P K

⁽¹⁾ **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).

⁽²⁾ **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

⁽³⁾ **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the [TI RoHS Statement](#) for additional information and value definition.

⁽⁴⁾ **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

⁽⁵⁾ **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

⁽⁶⁾ **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

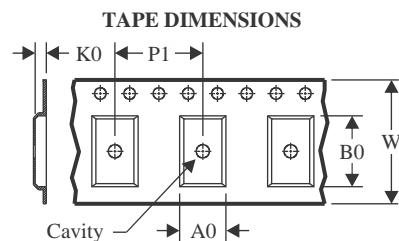
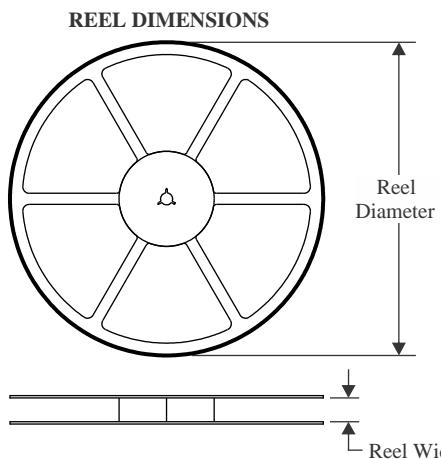
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF HDC3020-Q1, HDC3021-Q1, HDC3022-Q1 :

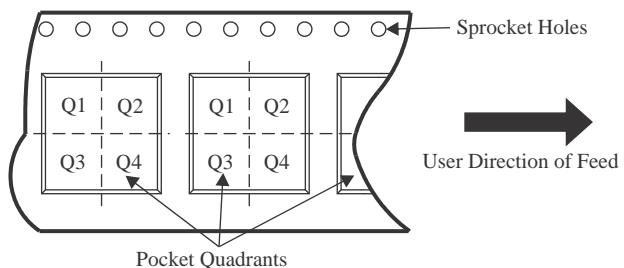
- Catalog : [HDC3020](#), [HDC3021](#), [HDC3022](#)

NOTE: Qualified Version Definitions:

- Catalog - TI's standard catalog product

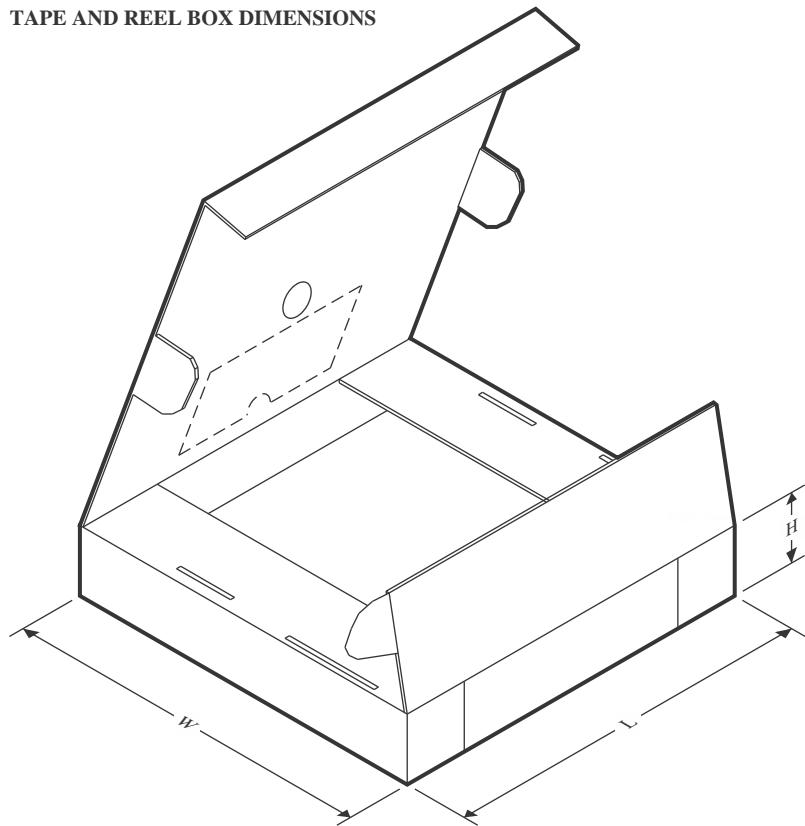
TAPE AND REEL INFORMATION


A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
HDC3020QDEFRQ1	WSON	DEF	8	3000	330.0	12.4	2.75	2.75	1.3	8.0	12.0	Q1
HDC3021QDEHRQ1	WSON	DEH	8	3000	330.0	12.4	2.8	2.8	1.1	8.0	12.0	Q1
HDC3022QDEJRQ1	WSON	DEJ	8	3000	330.0	12.4	2.75	2.75	1.3	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
HDC3020QDEFRQ1	WSON	DEF	8	3000	356.0	338.0	48.0
HDC3021QDEHRQ1	WSON	DEH	8	3000	356.0	338.0	48.0
HDC3022QDEJRQ1	WSON	DEJ	8	3000	356.0	338.0	48.0

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月