

TI 设计 支持 2m 有线通信的 $\pm 2\%$ 精准湿度传感参考设计



TI 设计

TIDA-00972 参考设计为精确、可靠地传感相对湿度和温度提供了一种传感器模块级解决方案。传感器模块利用 TI 的数字湿度和温度传感器来提供高精度传感结果。集成通信总线缓冲器支持在数米接线距离外进行可靠通信。此参考设计解决了开发和制造传感器模块过程中关注的主要问题，并提供测试结果。

设计资源

TIDA-00972	设计文件夹
HDC1080	产品文件夹
TCA9517	产品文件夹
HDC1080EVM	工具文件夹



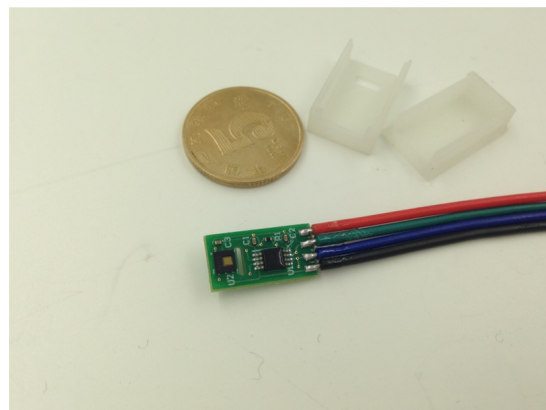
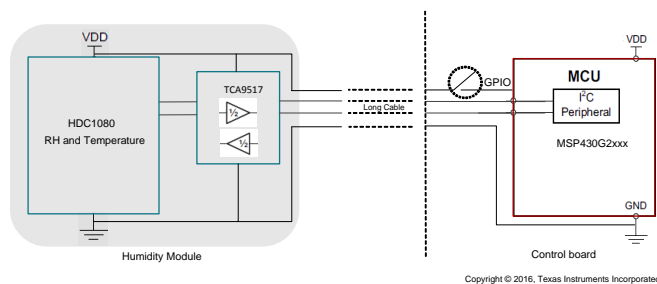
咨询我们的 E2E 专家

设计特性

- 尺寸紧凑的高精度模块：
 - 相对湿度精度为 $\pm 2\%$ (典型值)
 - 温度精度为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ (典型值)
 - PCB 尺寸为 15.7mm \times 7.6mm
- 运行和空闲期间的功耗极低：
 - 带 I²C 缓冲器时为 1.5mA，不带 I²C 缓冲器时为 1.2 μ A
 - 空闲时切断供电
- 支持通过公共线缆进行长电缆 I²C 通信 (2m 长的 AWG24)
- 支持 5V 和 3.3V 电源
- 组件数量少，BOM 成本具有竞争力
- 在严苛环境下可靠运行

典型应用

- 冰箱
- 空调
- 洗衣机和烘干机
- 微波炉



该 TI 参考设计末尾的重要声明表述了授权使用、知识产权问题和其他重要的免责声明和信息。

1 系统概述

1.1 系统说明

相对湿度 (RH) 是 (在固定温度下) 实际水蒸汽和饱和水蒸汽之间的比率, 用百分比表示 (饱和是指最大水蒸汽)。RH 与许多家用电器应用息息相关, 因为了解和控制 RH 可帮助在生活控制环境中实现更好的舒适性、延长储存水果或蔬菜的保鲜期、改善面包房、更高效地控制衣服的干燥过程等等。因此, 在写作本文时, RH 测量正在被越来越多地实施到各种家用电器应用中, 例如空调、加湿器、除湿器、冰箱、烤炉、洗涤器和干燥器。

相对湿度传感器可以放置在系统的控制板上, 或者可以设置为作为通过电缆与控制板相连的非板载传感器模块运行。

在测量相对湿度的各种不同技术中, 电容式湿度传感技术广泛投入家用电器、工业、商业乃至气候遥测应用, 因为这种类型的传感技术利用半导体制造业使用的多种优势原理, 使得传感器具有极低的长期漂移和磁滞。

德州仪器 (TI) 的最新数字湿度传感器之一 HDC1080 基于电容式湿度传感技术, 以很小的封装尺寸 (3x3mm PWSO) 提供出色的精度 ($\pm 2\%$), 并具有极低的功耗 (1sps 时 1.3 μ A)。

本 TI 设计介绍了使用 HDC1080 器件的非板载 RH 传感器模块的组件选择、设计原理、设计和制造注意事项以及测试结果。该设计还演示了模块完全装配后, 传感器在各种操作条件下的性能。

1.2 系统主要技术参数

表 1. 系统主要技术规范

参数	技术规范
精度	相对湿度精度为: $\pm 2\%$ (典型值)
	温度精度: $\pm 0.2^\circ\text{C}$ (典型值)
RH 长期漂移	RH 长期漂移: $\pm 0.25\%$ RH/年
RH 工作范围	RH 工作范围: 0% 至 100% RH 范围
工作温度范围	工作温度范围: -20°C 至 $+85^\circ\text{C}$
工作电压范围	2.7V 至 5.5V
电流消耗	湿度模块工作时的电流消耗: (11 位 RH 和温度测量) 使用 I ² C 缓冲器时为 1.5mA, 不使用 I ² C 缓冲器时为 1.2 μ A
	湿度模块待机状态下的电流消耗: 使用 I ² C 缓冲器时为 1.5mA, 不使用 I ² C 缓冲器时为 200nA; 由 GPIO 电源关闭
输出分辨率	湿度模块的输出分辨率: 11 位或 14 位, 可选
EMI 性能	EN - 61000-4-2 (ESD) 模块引脚接地时为 2kV
PCB 尺寸	15.7mm x 7.6mm
线缆长度	高达 2m AWG24 或等效

1.3 方框图

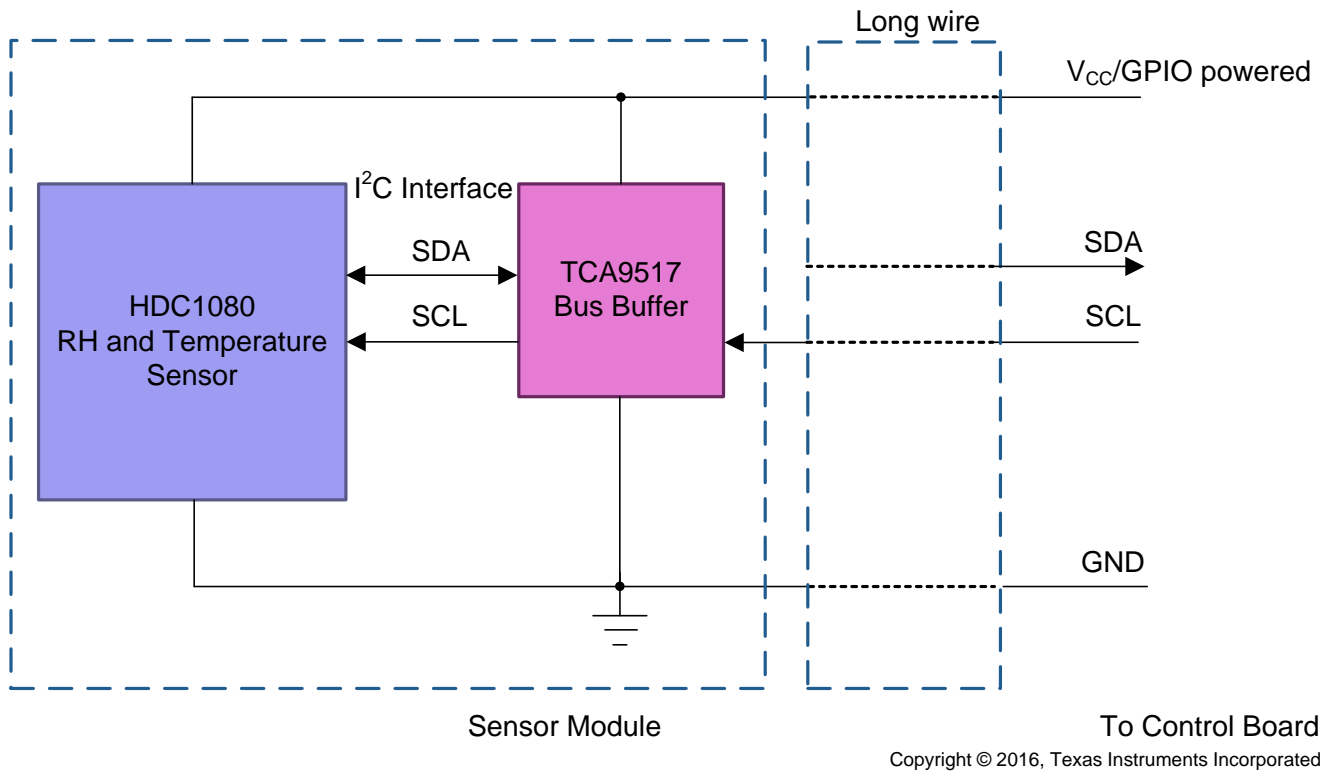


图 1. 方框图

1.4 主要产品

TIDA-00972 TI 设计 特点 以下器件:

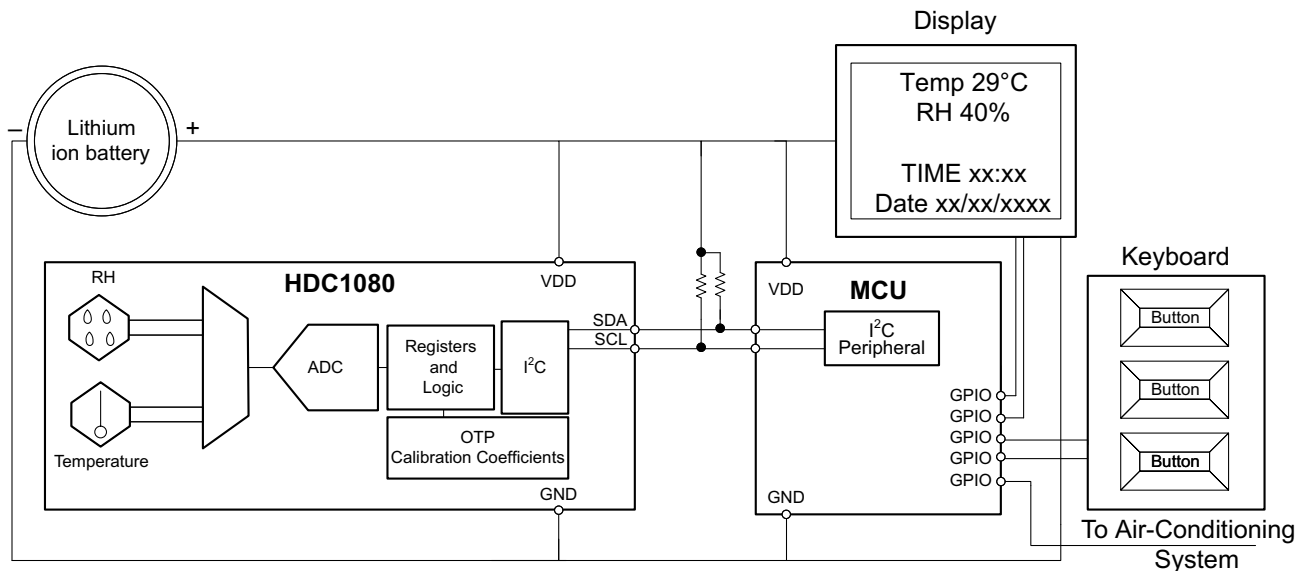
- **HDC1080:**
 - 带温度传感器的低功耗高精度数字湿度传感器
- **TCA9517:**
 - 电平转换 I²C 总线中继器

1.4.1 HDC1080

HDC1080 是一款集成温度传感器的数字湿度传感器，能够以超低功耗提供出色的测量精度（见图 2）。HDC1080 器件支持较宽的工作电源电压范围，并且相比竞争解决方案，该器件可为各类常见应用提供低成本和低功耗替代方案。湿度和温度传感器默认情况下已经在工厂进行校准。

特性：

- 相对湿度精度为 $\pm 2\%$ （典型值）
- 温度精度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ （典型值）
- 高湿度下具有出色的稳定性
- 14 位测量分辨率
- 100nA 休眠模式电流
- 平均电源电流：
 - 1sps、11 位 RH 测量时为 710nA
 - 1sps、11 位 RH 和温度测量时为 1.3 μA
- 电源电压为 2.7V 至 5.5V
- 3x3mm 小型器件封装
- I²C 接口



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

图 2. HVAC 典型应用原理图

1.4.2 TCA9517

TCA9517 是一款具有电平转换功能的双向缓冲器，适用于 I²C 和 SMBus 系统。此器件在混合模式应用中，在低电压（低至 0.9V）和较高电压（2.7V 至 5.5V）之间进行双向电压电平转换（升压转换和降压转换）（请参见图 3）。该器件能够扩展 I²C 和 SMBus 系统，即使在电平转换期间也不会影响系统性能。

TCA9517 可缓冲 I²C 总线上的串行数据 (SDA) 和串行时钟 (SCL) 信号，因此允许在 I²C 应用中连接两条总线电容高达 400pF 的总线。

TCA9517 具有两类驱动器：A 侧驱动器和 B 侧驱动器。所有输入和 I/O 都能够承受 5.5V 的过压，即使器件未通电时也是如此（V_{CCB} = 0V 和/或 V_{CCA} = 0V）。

特性：

- 双通道双向缓冲器
- 与 I²C 总线和 SMBus 兼容
- 在 A 侧上，工作电源电压范围为 0.9V 至 5.5V
- 在 B 侧上，工作电源电压范围为 2.7V 至 5.5V
- 可将电压电平从 0.9V 至 2.7V 转换到 2.7V 至 5.5V
- 针对 PCA9515B 的封装和功能替代产品
- 高电平有效中继器启用输入
- 漏极开路 I²C I/O
- 5.5V 耐压 I²C 和使能输入支持混合模式信号操作
- 适用于标准模式和快速模式 I²C 器件和多重主器件
- 器件断电时 I²C 引脚呈高阻抗状态
- 闩锁性能超过 100mA，符合 JESD 78 II 类规范
- 静电放电 (ESD) 保护性能超过 JESD 22 规范要求
 - 5500V 人体模型 (A114-A)
 - 200V 机器模型 (A115-A)
 - 1000V 充电器件模型 (C101)

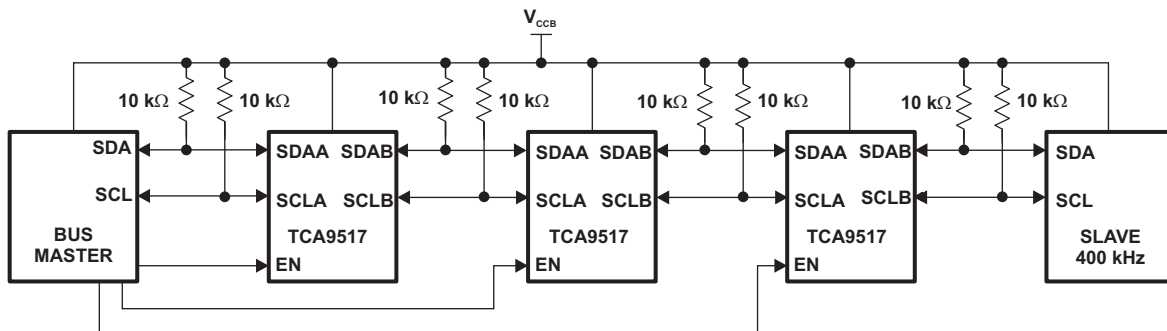


图 3. 典型串行应用

2 系统设计原理

此设计适合家用电器应用（例如冰箱、空调、洗涤器、干燥器等）的非板载相对湿度和温度传感器模块。精确的相对湿度传感结果可帮助现有设备提高总体系统性能，例如保鲜性、舒适度和节能性。

集成式相对湿度传感器使用聚酰亚胺介电层来吸收环境空气中的水分并检测介电材料介电常数的变化。此设计通过比较使用或不使用这些工艺生产的不同传感器模块的测试结果，解决与应用于传感器器件的不同生产工艺（例如再水合和仿形涂层）有关的问题。

为了进行精确的露点计算，本指南还介绍了模块的布局指南，旨在防止热质堆积到其他 PCB 组件上。

2.1 湿度

湿度是指空气（或任何其他气体）中存在水蒸汽。在环境空气中，通常有大约 1% 的水蒸汽，但这个比例可能会有很大变化。干燥环境可能会导致呼吸道、皮肤和眼睛发炎。干燥环境还会导致身体向导电表面静电放电的可能性提高。湿度有多种不同表示方法：

相对湿度：相对湿度是指空气中的水分量与空气在该温度下可以“保持”的水分量的比率。此参数是衡量湿度的最常用方法。相对湿度通常表示为百分比，以符号“%rh”表示；例如“湿度为 51 %rh”。相对湿度这一术语通常简称为 RH（请注意，此缩写不同于单位符号：%rh）。公式 1 用于计算 RH：

$$RH\% = \frac{P_{\text{water vapor}}}{P_{\text{saturation water vapor}}} \times 100 \quad (1)$$

其中：

- $P_{\text{water vapor}}$ 是给定温度下空气中的水蒸汽压力
- $P_{\text{saturation water vapor}}$ 表示空气在给定温度下可以保持的最大水蒸汽量

露点（或露点温度）：露点是指气体在常压下冷却后发生凝结（结露）时的温度。露点是一种有用的衡量指标，原因有两个：

1. 露点指示将某种气体保持在什么温度可以防止发生凝结
2. 露点是气体湿度的一种绝对衡量指标（在任何温度下），并与存在的水蒸汽量（水蒸汽的分压）直接相关

露点用温度单位表示。可以输入相对湿度和温度来计算露点（见公式 2）。

$$D_p = \frac{\lambda \times \left(\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta \times T}{\lambda + T} \right)}{\beta - \left(\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta \times T}{\lambda + T} \right)} \quad (2)$$

对于 -45°C 至 60°C 的温度范围，Magnus 参数通过 $\beta = 17.62$ 和 $\lambda = 243.12^{\circ}\text{C}$ 给定。

2.2 连接传感器模块

HDC1080 传感器包括一个 I²C 接口。在此设计中，HDC1080 器件充当非板载湿度传感器，它通过一个四引脚连接器连接到控制板。

图 4 显示了 HDC1080 传感器板的原理图。

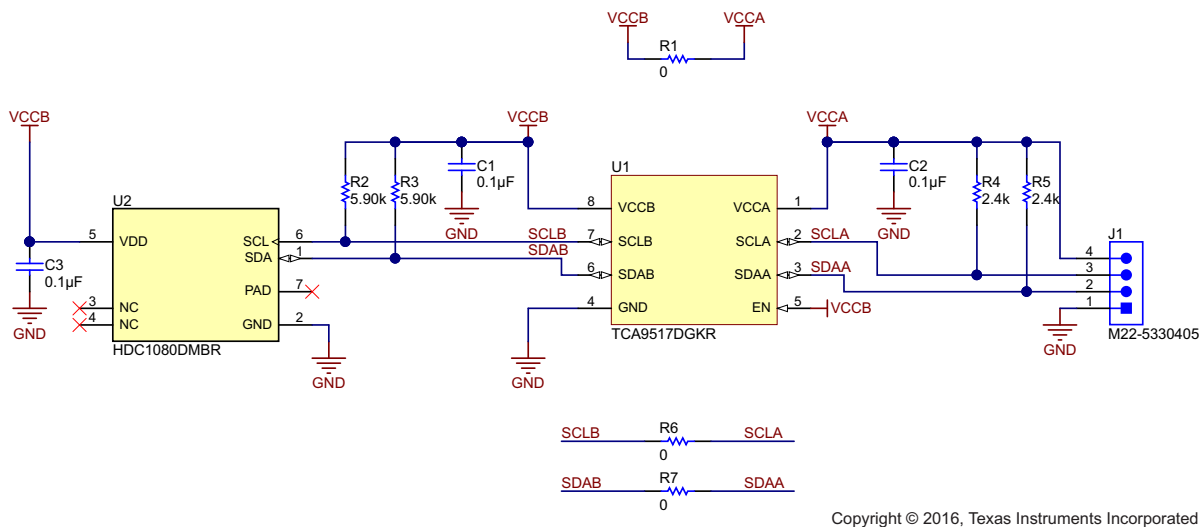


图 4. HDC1080 传感器板原理图

通电后，HDC1080 器件默认情况下处于睡眠模式。在此模式下，HDC1080 等待 I²C 输入，这包括用于配置转换时间、读取电池状态、触发测量和读取测量结果的命令。当器件收到触发测量的命令时，HDC1080 将从睡眠模式唤醒并切换到测量模式。完成测量后，HDC1080 器件返回睡眠模式，从而避免产生不必要的热量并节省功耗。

该器件还配备了一个集成式加热器元件。加热器是一种集成电阻元件，可用于测试传感器或促使冷凝物从传感器上消散。加热器可以使用 HEAT 激活，它是配置寄存器中的位 13。加热器有助于减少长期暴露于高湿度条件下所累积的偏移。

图 5 显示了器件的控制流。

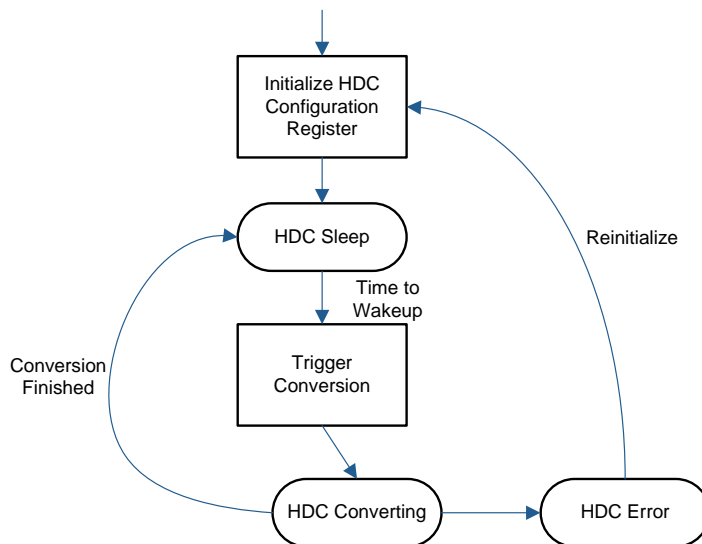


图 5. HDC1080 控制流程图

2.3 I²C 上拉电阻器计算

TIDA-00972 传感器模块包括板载 I²C 上拉电阻器。HDC1080 器件的最大灌电流为 3mA。为了进一步增强 I²C 通信线路的电流驱动能力（对于严苛环境中的长线连接尤其有帮助），在传感器模块上使用了一个具有更高电流驱动能力的 I²C 总线中继器，即 TCA9517 器件。

下面的步骤显示了如何计算上拉电阻值。

强上拉（小电阻器）可能会干扰集成电路 (IC) 在 I²C 引脚上驱动有效低电平的能力。可由 IC 的输入缓冲器读取为有效逻辑低电平的 V_{OL} 电平确定最小上拉电阻 R_{P(min)}。R_{P(min)} 是 V_{CC}、V_{OL(max)} 和 I_{OL} 的函数，如公式 3 所示：

$$R_{P(\min)} = \frac{(V_{CC} - V_{OL(\max)})}{I_{OL}} \quad (3)$$

根据 I²C 标准上升时间规范，最大上拉电阻受总线电容 (C_b) 限制。如果上拉电阻值过高，I²C 线路可能在拉低之前无法上升到逻辑高电平。RC 电路对幅度为 V_{CC}、起始时间为 t = 0 的电压阶跃的反应特性由时间常数 RC 确定。电压波形可用下面的公式 4 表示：

$$V(t) = V_{CC} \times \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}} \right) \quad (4)$$

如公式 5 所示，对于 V_{IH} = 0.7 × V_{CC}：

$$V_{IH} = 0.7 \times V_{CC} = V_{CC} \times \left(1 - e^{\frac{-t_1}{R_P \times C_b}} \right) \quad (5)$$

如公式 6 所示，对于 V_{IL} = 0.3 × V_{CC}：

$$V_{IL} = 0.3 \times V_{CC} = V_{CC} \times \left(1 - e^{\frac{-t_2}{R_P \times C_b}} \right) \quad (6)$$

I²C 总线的上升时间可用下面的公式 7 表示：

$$t_r = t_2 - t_1 = 0.8473 \times R_P \times C_b \quad (7)$$

如公式 8 所示，最大上拉电阻是最大上升时间 (t_r) 的函数：

$$R_{P(\max)} = \frac{t_r}{(0.8473 \times C_b)} \quad (8)$$

根据给定的 I²C 通信接口规范，R_{P(min)} 和 R_{P(max)} 可以按照公式 3 和公式 8 进行计算。可以根据功耗和速度的折衷情况，在 R_{P(min)} 和 R_{P(max)} 之间选择上拉电阻值。

在此设计中，I²C 接口的参数为：

- 模拟到系统控制板（TCA9517 A 侧）：
 - $V_{CC} = 3.3V$
 - $V_{OL(max)} = 0.2V$ （按 TCA9517）
 - $I_{OL} = 6mA$ （按 TCA9517）
 - $C_b = 470pF$ （由 PCB 上的接线和迹线生成的寄生电容，最大 550pF）
 - $t_r = 1000ns$ （标准模式 I²C，100kbps）
- TCA9517 到 HDC1080（TCA9517 B 侧）：
 - $V_{CC} = 3.3V$
 - $V_{OL(max)} = 0.6V$ （按 TCA9517）
 - $I_{OL} = 3mA$ （按 TCA9517）
 - $C_b = 200pF$ （由 PCB 上的接线和迹线生成的寄生电容，最大 400pF）
 - $t_r = 1000ns$ （标准模式 I²C，100kbps）

每侧的上拉电阻值为：

- TCA9517 A 侧： $R_p(max) = 2.511k\Omega$ ， $R_p(min) = 517\Omega$
- TCA9517 B 侧： $R_p(max) = 5.901k\Omega$ ， $R_p(min) = 900\Omega$

为了限制模块的工作和待机电流消耗，建议使用尽可能大的上拉电阻值。对于本设计，在 I²C 总线中继器 (TCA9517) 的 A 侧选择了 2.4k Ω 上拉电阻器，在 B 侧选择了 5.9k Ω 上拉电阻器。

I²C 通信接口总线中继器 A 侧的上拉电阻器可以根据实际应用情况进一步降低，以提高寄生电容，从而确保信号质量。

3 入门硬件和固件

3.1 硬件

图 6 以 mm 为单位显示了传感器模块硬件的紧凑尺寸。

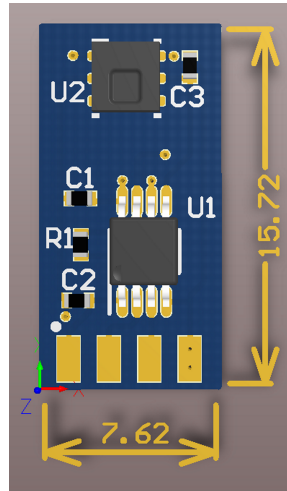


图 6. 传感器模块尺寸

如图 7 所示，模块附带一条 15cm 四线 AWG-24 电缆线束，末端配有 SM 型凸式可断开连接的压接式线到线连接器，间距为 2.54mm (JST SMP-04V-B)。

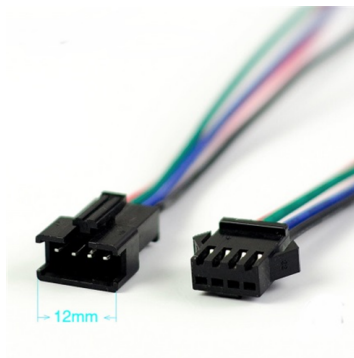


图 7. 线缆连接器

表 2 显示了传感器模块的引脚图。

表 2. 传感器模块引脚图

引脚编号	配线颜色	名称	说明
1	Red	VCC	电源电压
2	绿色	SCL	I ² C 的串行时钟线，位于总线中继器的 A 侧，模块上的 24kΩ 上拉电阻
3	蓝色	SDA	I ² C 的串行数据线，位于总线中继器的 A 侧，模块上的 24kΩ 上拉电阻
4	黑色	GND	接地

注：传感器模块板上的点指示器指示引脚编号 1 (VCC)。

3.2 固件

提供了源文件 `drv_hdc10x0.c` 和 `drv_hdc10x0.h` 以便控制本设计中的 HDC1080 器件，可以重复使用这些文件以便自定义基于 TI MSP430™ 微控制器 (MCU) 的应用。

在 `drv_hdc10x0.c` 中，实施了以下函数调用：

void hdc10x0Init(void):

此函数将 HDC10x0 寄存器的设定值初始化为预定义的全局变量；之后，会将设定值写入到 HDC10x0 寄存器。

void hdc10x0SetConfiguration(regCONFIGURATION_t) 和

void hdc10x0GetConfiguration(regCONFIGURATION_t*):

这两个软件驱动器级函数调用设置和检索 HDC10x0 的配置寄存器。

void hdc10x0TriggerConversion(enum_hdcRegAddr_t):

由于 HDC10x0 系列器件在默认情况下处于睡眠模式，因此，应用必须通过一个 I²C 命令触发 HDC10x0 进行转换。此函数调用触发 HDC10x0 器件进行转换。在此设计中，此函数定义为静态函数。

void hdc10x0ReadConversionResults(void):

此函数从 HDC10x0 器件读出湿度和温度的转换结果并将结果转换为 %RH 和 °C 单位。在此设计中，此函数定义为静态函数。

此设计在 `drv_hdc10x0.h` 中包括寄存器位图以及寄存器地址枚举，以便简化 `hdc10x0` 寄存器的编码。图 8 显示了寄存器位图的示例。

```
//HDC1050 Register bit definitions
typedef union regCONFIGURATION{
    struct
    {
        uint16_t    RESERVED0    : 8;    //0-7
        uint16_t    HRES         : 2;    //8-9
        uint16_t    TRES         : 1;    //10
        uint16_t    BTST         : 1;    //11
        uint16_t    MODE         : 1;    //12
        uint16_t    HEAT         : 1;    //13
        uint16_t    RESERVED1    : 1;    //14
        uint16_t    RST          : 1;    //15
    }bit;
    uint16_t byte;
}regCONFIGURATION_t;
```

图 8. 状态寄存器位图

4 测试和结果

4.1 测试设置

为了评估传感器模块的性能和可靠性，对以不同方式进行预调节和涂层的四种 TIDA-00972 传感器模块变体进行了测试，详见表 3。在器件封装周围，除传感器窗口以外的区域均涂有涂层。涂上此类涂层可以抵抗在极其严苛的环境下可能发生的腐蚀。

表 3. 传感器变体

变体	预调节	涂层
1	N	N
2	N	支持
3	支持	N
4	支持	支持

接受测试的传感器模块通过 1.5m CAT5e 配线连接到 MSP430 LaunchPad™ 开发套件并置于湿度或温度室中进行测试。在整个测试期间捕获和记录结果，并与 VAISALA 的参考传感器进行比较。图 9 显示了用于测量传感器精度和一致性的测试设置。

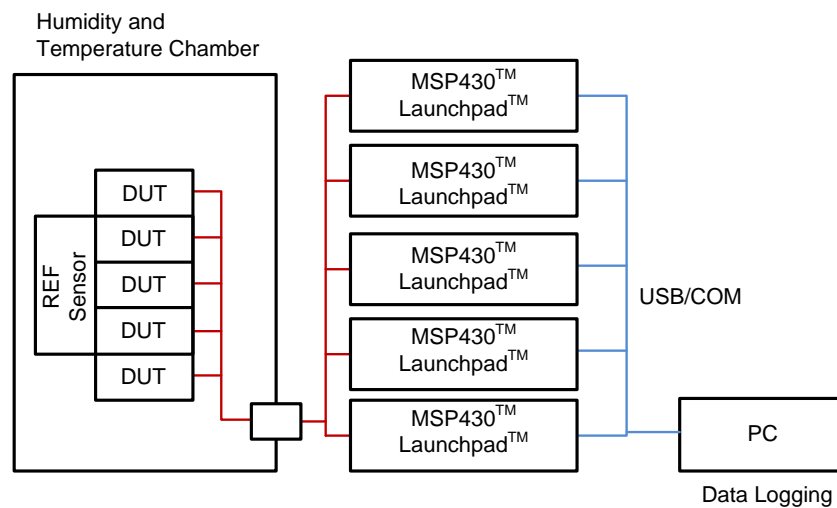


图 9. 测试设置方框图

使用的湿度和温度室是 ESPEC BTL-433 温度和湿度室，温度范围为 -20°C 到 180°C ，湿度范围为 10% 到 95% RH。

图 10 显示了实验室环境下的测试台设置。



图 10. 带湿度和温度室的测试设置

如图 11 所示，测试室内配有循环风扇以确保室内温度和湿度分布均匀。



图 11. 测试室内部

为了与参考传感器进行精确的结果对比，必须将接受测试的传感器模块置于尽可能靠近参考传感器的位置。

图 12 显示了接受测试的传感器和参考传感器的放置。



图 12. 接受测试的传感器和参考传感器的放置

测试期间使用的参考传感器是 VAISALA HM70 + HMP76 温度和湿度传感器，校准精度为：

- 0% 至大约 40% 时 RH 为 $\pm 0.6\%$
- 40% 至大约 97% 时 RH 为 $\pm 1\%$
- 温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$

图 13 显示了参考传感器设备。



图 13. VAISALA 的 HM70 和 HMP76

请参阅8 节以查看设备的校准证书。

4.2 测试数据

本小节详细介绍了湿度传感器在各种不同温度和湿度条件下的精度、一致性和漂移。

图 14 显示了专门为所开展的湿度精度和一致性测试而设计的测试曲线。湿度目标值通过七次阶跃从 20% 提高到了 90%，然后再次下降。测试曲线避免了湿度阶跃突变，从而最大限度地减少了因传感器的不同趋稳行为而导致的误差。此曲线针对 43°C 和 83°C 两个不同目标温度进行了测试。选择这些温度是为了测试 45°C 以下和 85°C 以下的情况。本小节的前半部分介绍了目标温度 43°C 下湿度和温度测量的精度和一致性测试结果。本小节的后半部分显示了目标温度 83°C 下的类似测试结果。

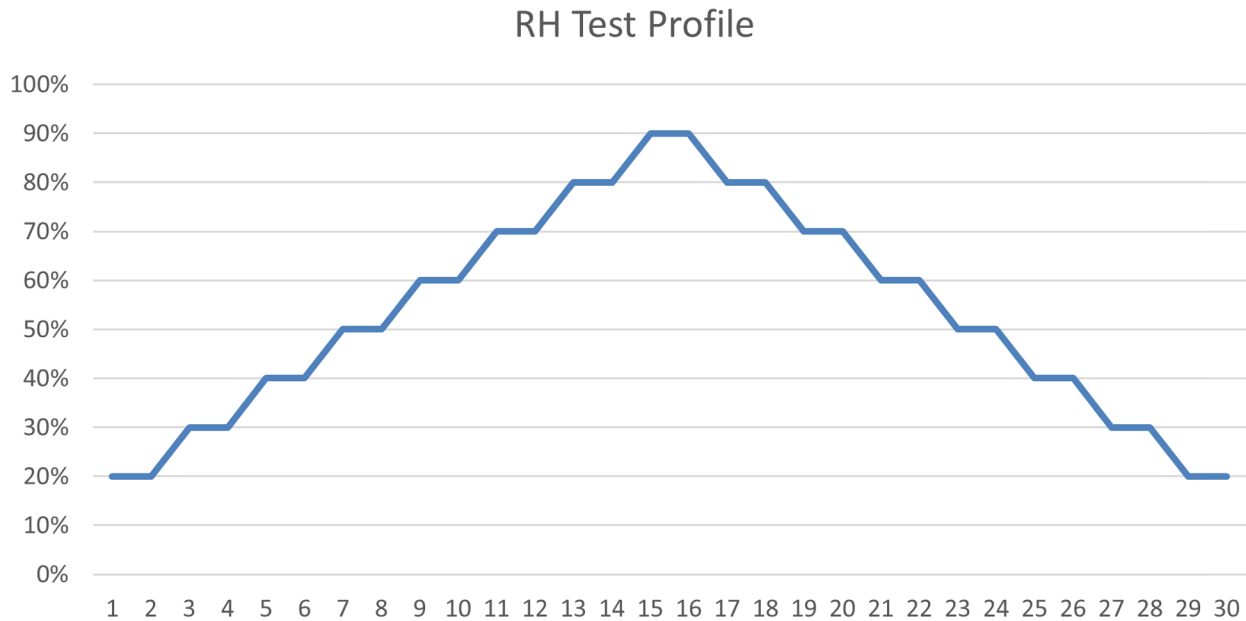


图 14. 测试的湿度曲线设置

下面的图 15 显示了在测量室内目标温度 43°C 下测量的湿度，横坐标轴 (x 轴) 表示绝对时间。使用传感器模块 *RH % Sensor1* 和参考传感器 *RH % REF* 测量的相对湿度以百分比形式绘制在左侧的主纵坐标轴 (y 轴) 上。两个传感器测量的相对湿度在六个小时的测试期间与目标值相符。使用传感器模块和参考传感器 *RH Diff* 测量的值之间的差异也以百分比形式显示，但显示在右侧的辅助 y 轴上。即时差异显示了一些瞬时波动，这是由于存在气流紊流、湿度变化和不同的趋稳时间常数。长期平均差精确位于 $\pm 3\%$ 公差窗口内。假定测试室内的湿度分布绝对均匀且恒定，并且湿度变化的影响可以忽略不计，则此公差窗口是传感器模块和参考传感器的精度之和。由于参考传感器存在 $\pm 1\%$ 的公差，因此，这一结果表明 HDC1080 器件在 43°C 温度下测试的整个相对湿度范围 (10% 至 90%) 内完全位于 $\pm 2\%$ 的精度范围内。这一结果还表明实际精度高于 HDC1080 器件规范，举例来说，在此规范中，放宽了 20% 以下 RH 的精度，10% RH 时为 $\pm 3\%$ ，并放宽了 60% 以上 RH 的精度，70% RH 时为 $\pm 3\%$ ，80% 以上时为 $\pm 4\%$ (请参见 HDC1080 产品说明书图 16[2] 中的)。因此，HDC1080 器件的性能优于其 RH 精度规范。

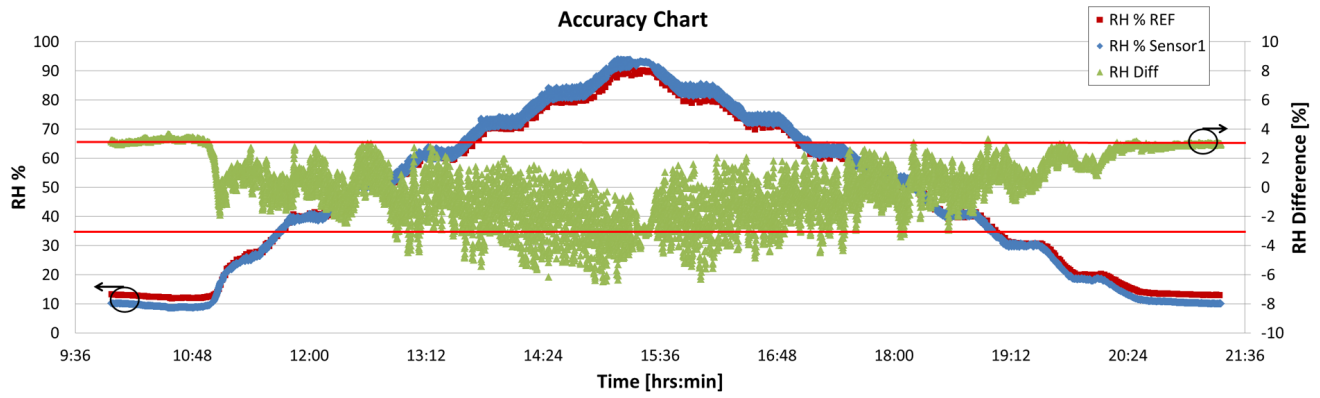


图 15. 43°C 下的湿度精度测试结果

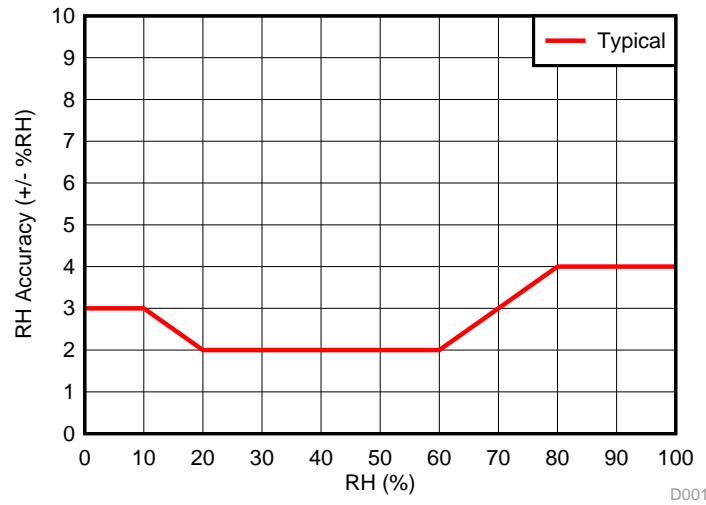


图 16. HDC1080 湿度精度规范与相对湿度

图 17 显示了测量室内目标温度 43°C 下测量的温度，x 轴表示绝对时间。使用传感器模块 *RH % Sensor1* 和参考传感器 *RH % REF* 测量的绝对温度绘制在主 y 轴上，以 °C 为单位。两个传感器测量的温度在测试期间与目标值相符，并显示了参考传感器的最小偏移和稍慢的响应特性。使用传感器模块和参考传感器 *Temp Diff* 测量的温度值之间的差异同样绘制在辅助 y 轴上。即时差异显示了一些波动，这是由于存在气流紊流、随之发生的温度变化和响应特性差异。考虑到所有这些影响，差异仍完全介于 ±0.2°C 公差窗口内，并显示出 HDC1080 在 43°C 时的精度优于 ±0.2°C。

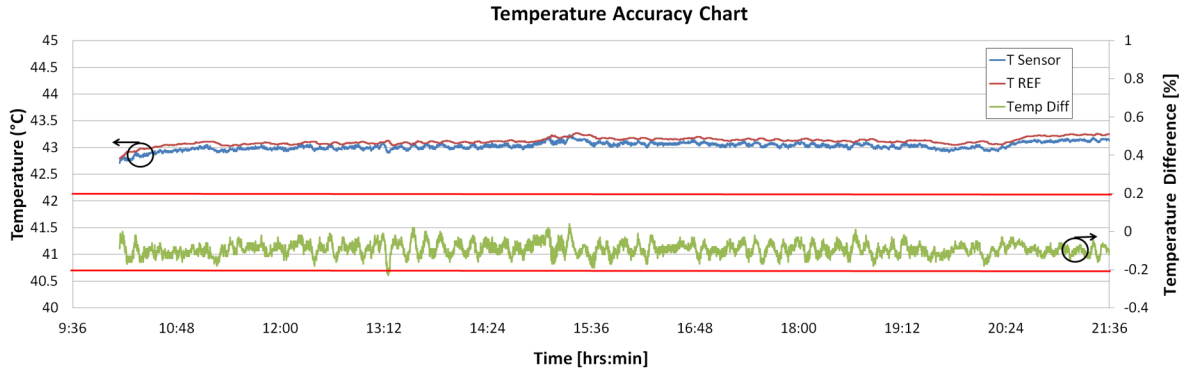


图 17. 43°C 下的温度精度测试结果

图 18 显示了不同传感器在测量室内 43°C 的目标温度下测量的湿度，x 轴表示时间。图形的 y 轴以百分比为单位显示了相对湿度。不同曲线反映了使用传感器模块 *RH % Sensor1*、表 3 中所述的以不同方式预调节和涂层的传感器变体、*RH % Sensor2* 至 *RH % Sensor5* 以及参考传感器 *RH % REF* 测量的湿度。所有模块变体测量的相对湿度值都极为相符，这表明 HDC1080 器件可实现高度的一致性和可靠性以及不依赖于过程变量的湿度测量精度。

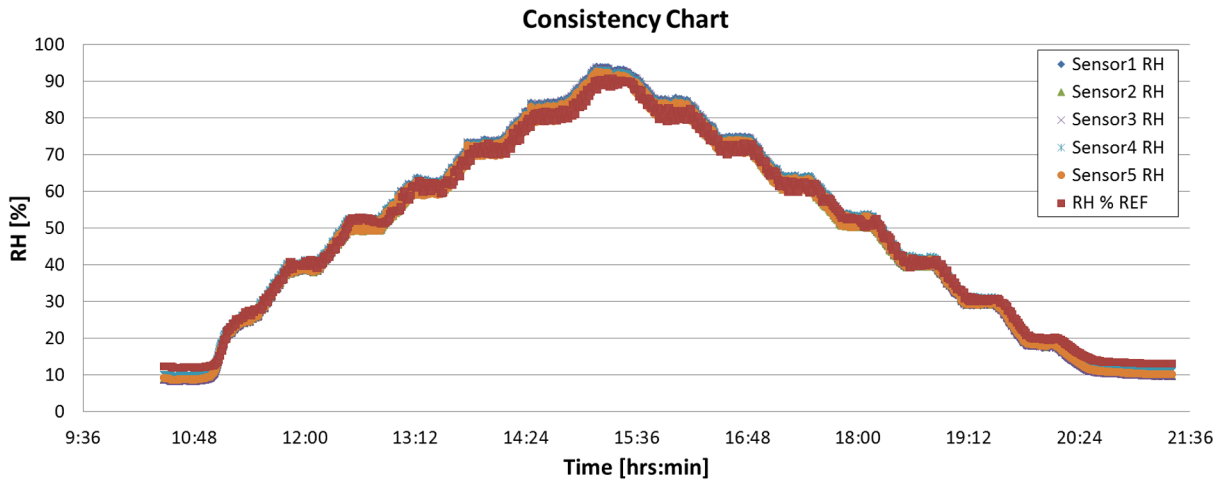


图 18. 43°C 下的湿度一致性测试结果

图 19 显示了在 43°C 目标温度下进行的测量，y 轴表示测量的温度，x 轴表示时间。绘制的曲线反映了用传感器模块 *Sensor1 Temp*、表 3 中所述的以不同方式预调节和涂层的传感器变体、*Sensor2 Temp* 至 *Sensor5 Temp* 以及参考传感器 *T REF* 测量的绝对温度，以 °C 为单位。所有变体测量的温度值都极为相符，这表明 HDC1080 器件可实现高度的一致性和可靠性以及不依赖于过程变量的温度测量精度。

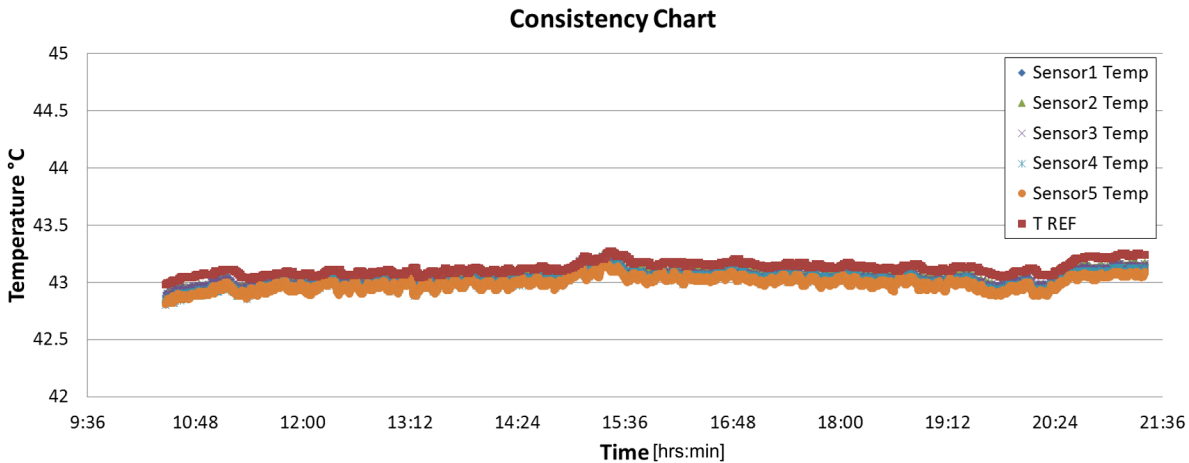


图 19. 43°C 下的温度一致性测试结果

到目前为止，本小节的前半部分显示了 HDC1080 器件满足甚至超过了其在目标温度 43°C 的湿度和温度测量精度规范。本小节的后半部分则探究高目标温度 83°C 下类似测试的结果。

图 20 显示了目标温度 83°C 下测量的湿度随时间的变化关系。用传感器模块 *RH % Sensor1* 和参考传感器 *RH % REF* 测量的相对湿度在主 y 轴上以百分比形式表示。在此测试期间，湿度目标值通过五次阶跃从 20% 提高到 90%，然后再次下降。两个传感器测量的相对湿度在六个小时的测试期间与目标值相符。同样以百分比形式显示了用传感器模块和参考传感器 *RH Diff* 测量的值之间的差异，显示在右侧的辅助 y 轴上。即时差异显示了一些小的瞬时波动，这是由于存在气流紊流和湿度变化。长期平均差异完全介于 $\pm 2\%$ 的公差窗口内。假定测试室内的湿度分布绝对均匀且恒定，并且湿度变化的影响可以忽略不计，则此公差窗口由传感器模块和参考传感器的精度确定。考虑到参考传感器存在 $\pm 1\%$ 的公差，因此，HDC1080 的精度在 83°C 温度下测试的整个相对湿度范围（10% 至 90%）内均介于 $\pm 1\%$ 范围内。这一结果还表明实际精度高于 HDC1080 器件规范，举例来说，在此规范中，放宽了 20% 以下 RH 的精度，10% RH 时为 $\pm 3\%$ ，并放宽了 60% 以上 RH 的精度，70% RH 时为 $\pm 3\%$ ，80% 以上时为 $\pm 4\%$ （请参见前面的图 16）。因此，在 83°C 下，HDC1080 器件的性能也优于其 RH 精度规范。

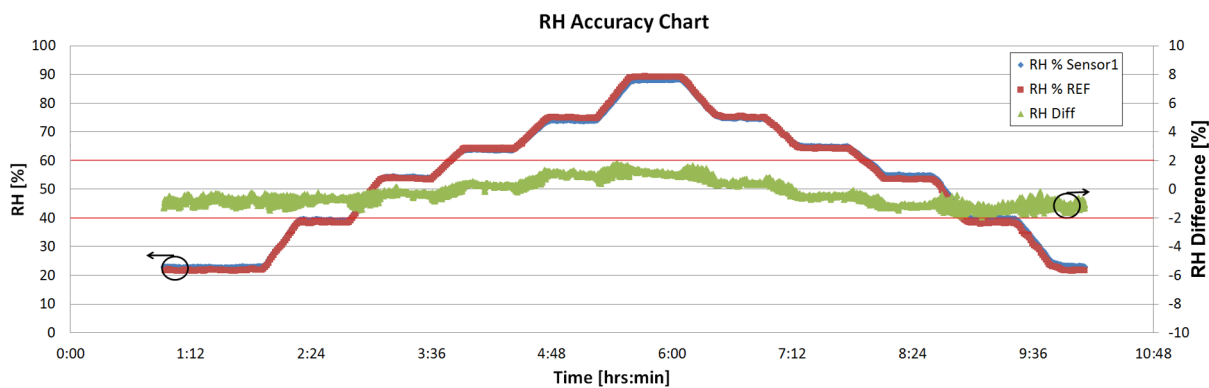


图 20. 85°C 下的湿度精度测试结果

图 21 显示了在目标温度 83°C 下进行测试时测量的温度，x 轴表示绝对时间。主 y 轴绘制了用传感器模块 RH % Sensor1 和参考传感器 RH % REF 测量的绝对温度，以 °C 为单位。由于温度室的温度调节不准确，温度上升到了 83°C 目标值以上。两个传感器测量的温度在整个测试期间高度相符。两条曲线之间的最小偏移保持恒定，并且参考传感器的响应特性同样较慢。用传感器模块和参考传感器 Temp Diff 测量的温度值之间的差异同样显示在辅助 y 轴上。即时差异显示了一些波动，这是由于存在气流紊流、随之发生的温度变化和响应速度差异。考虑到所有这些影响，差异仍完全介于 ±0.3°C 公差窗口内。考虑到参考传感器存在 ±0.1°C 的公差，这一结果表明，在 85°C 以下，HDC1080 的精度优于 ±0.2°C。

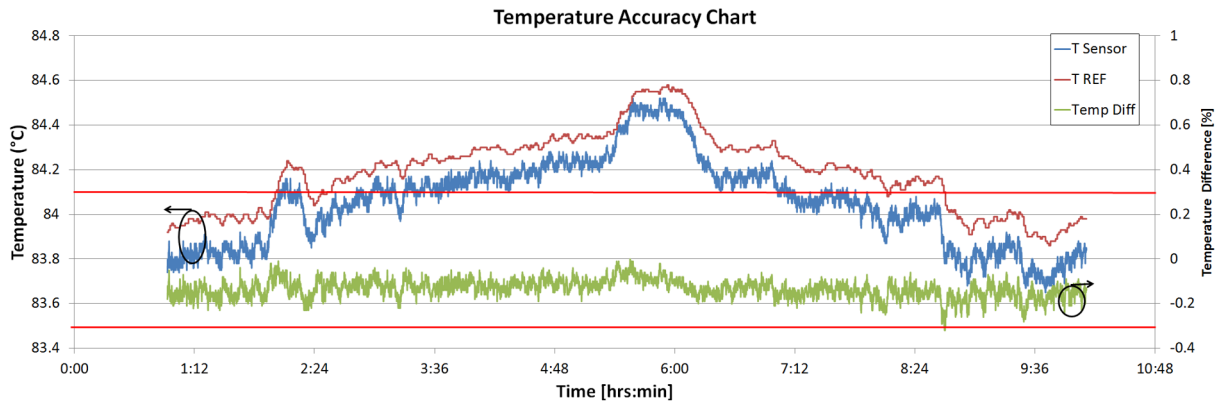


图 21. 85°C 下的温度精度测试结果

图 22 显示了测量室内 83°C 目标温度下测量的湿度，x 轴表示时间。用传感器模块 *RH % Sensor1*、*RH % Sensor2* 至 *RH % Sensor5* 以及参考传感器 *RH % REF* 测量的相对湿度曲线以百分比形式显示在 y 轴上。*RH % Sensor2* 至 *RH % Sensor5* 是按照表 3 所述以不同方式进行预调节和涂层的传感器变体。所有变体测量的相对湿度值都极为相符，这再次证明了 HDC1080 器件可实现高度的一致性和可靠性以及不依赖于过程变量的湿度测量精度。

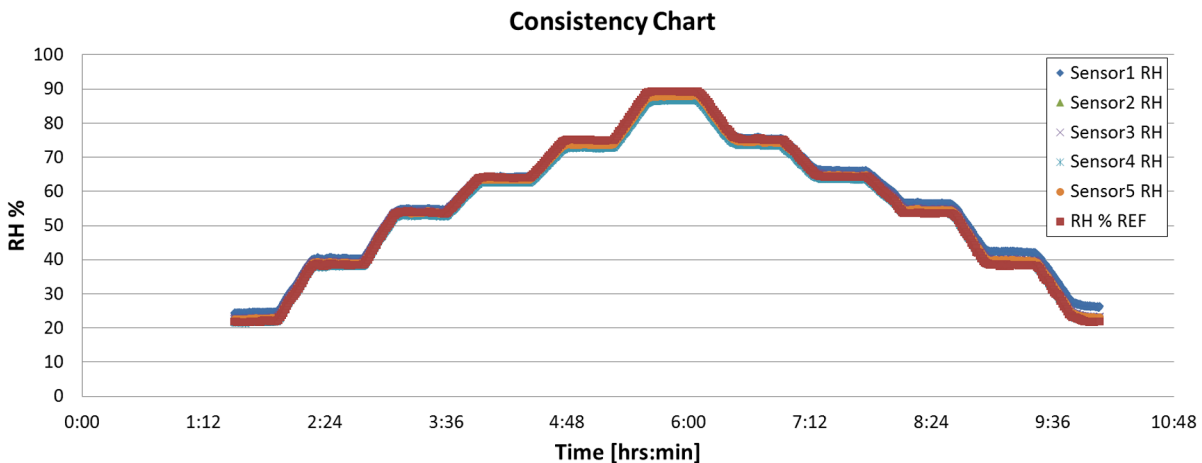


图 22. 85°C 下的湿度一致性测试结果

图 23 显示了在 83°C 目标温度下进行的测量，y 轴表示测量的温度，x 轴表示时间。绘制的数据是用传感器模块 *Sensor1 Temp*、表 3 中所述的以不同方式预调节和涂层的传感器变体、*Sensor2 Temp* 至 *Sensor5 Temp* 以及参考传感器 *T REF* 测量的绝对温度，以 °C 为单位。所有变体测量的温度值都极为相符，这表明 HDC1080 器件可实现高度的一致性和可靠性以及不依赖于过程变量的温度测量精度。

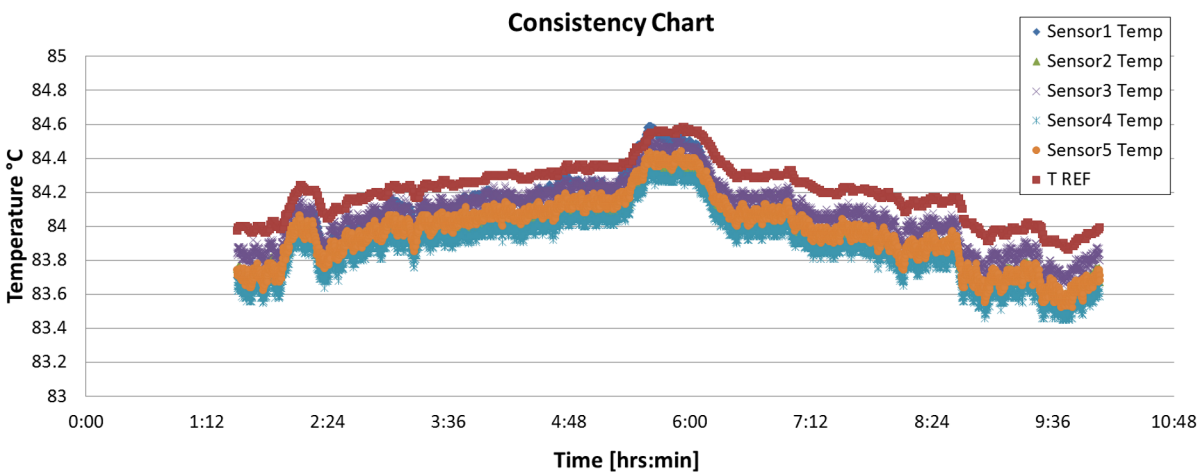


图 23. 85°C 下的温度一致性测试结果

5 设计文件

5.1 原理图

要下载原理图，请参见 [TIDA-00972](#) 中的设计文件。

5.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参见 [TIDA-00972](#) 中的设计文件。

5.3 PCB 布局建议

由于传感器模块的布局尚有改进空间，TI 建议遵循 [HDC1080 产品说明书](#)⁹ 中关于如何降低热质、最大限度地减少与传感器模块的其他器件的热耦合以及实现低解耦回路面积和电感的建议：

- 焊接 DAP 焊盘并使其保持浮动。
- 最大限度地减小 PCB 铜线覆盖和迹线密度并在传感器器件周围避免接地池和铜平面。
- 通过切口将传感器器件从板的其余部分分离。
- 在靠近 HDC1080 的位置放置解耦电容器。用短路迹线关闭经过 HDC1080 器件和解耦电容器的电流回路，以最大限度地减小回路面积和回路电感，并最大限度地提高解耦效率。

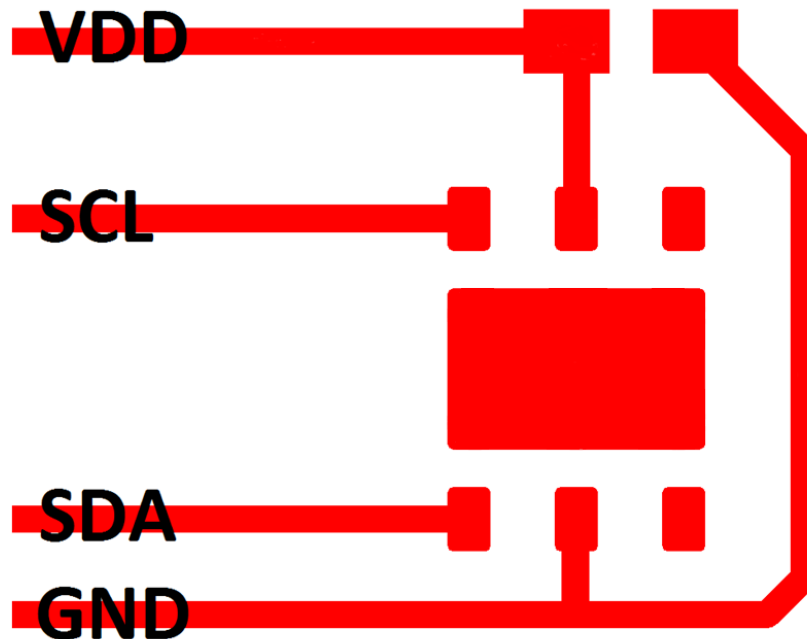


图 24. PCB 建议

5.3.1 布局图

要下载板层图，请参见 [TIDA-00972](#) 中的设计文件。

5.4 Gerber 文件

要下载 Gerber 文件，请参见 [TIDA-00972](#) 中的设计文件。

5.5 装配图

要下载装配图，请参见 [TIDA-00972](#) 中的设计文件。

6 软件文件

要下载软件文件，请参见 [TIDA-00972](#) 中的设计文件。

7 相关文档

1. 德州仪器 (TI), [运算放大器电路中的噪声分析](#), 应用报告 (SLVA043)
2. 德州仪器 (TI), [HDC1080 带温度传感器的低功耗高精度数字湿度传感器](#), HDC1080 产品说明书 (SNAS672)

7.1 商标

All trademarks are the property of their respective owners.

8 证书

图 25 显示了参考传感器的校准证书和精度。

VAISALA
1 (1)
Certificate report no. H33-15350035

CALIBRATION CERTIFICATE

Instrument Humidity and Temperature Probe HMP76
Order code
Serial number L3520061
Manufacturer Vaisala Oyj, Finland
Calibration date 26th August 2015

The above instrument was calibrated by comparing the readings of the instrument to working standards of the manufacturer. The reference humidity was calculated from dewpoint temperature and temperature readings with the exception of the dried condition that was measured as relative humidity. Dewpoint temperature was measured with a 373 LHX dewpoint meter. Temperature and relative humidity were measured with two factory working standards. At the time of shipment, the instrument described above met its operating specifications.

The 373 LHX dewpoint meter has been calibrated at Centre for metrology and accreditation (MIKES) by using a MIKES working standard traceable to National Institute of Standards and Technology (NIST). The temperature readings of the factory working standards have been calibrated at an ISO/IEC 17025 accredited calibration laboratory (FINAS), Vaisala Measurement Standards Laboratory (MSL) by using MSL working standards traceable to NIST. The relative humidity readings of the factory working standards have been calibrated at the Vaisala factory by using a 373 LHX dewpoint meter.

Humidity calibration results

Reference humidity	Reference temperature	Observed humidity	Observed probe temperature	Humidity difference	Permissible difference
%RH	°C	%RH	°C	%RH	%RH
+ 0.2	+ 22.06	+ 0.1	+ 22.07	- 0.1	±1.0
+ 12.5	+ 22.08	+ 13.1	+ 22.08	+ 0.6	± 1.0
+ 32.8	+ 22.08	+ 33.6	+ 22.08	+ 0.8	± 1.0
+ 53.5	+ 22.09	+ 54.2	+ 22.09	+ 0.7	± 1.0
+ 74.1	+ 22.11	+ 74.2	+ 22.11	+ 0.1	± 1.0
+ 93.4	+ 22.13	+ 93.4	+ 22.13	0.0	± 1.7


Temperature calibration results

Reference temperature	Observed probe temperature	Temperature difference	Permissible difference
°C	°C	°C	°C
+ 22.11	+ 22.11	0.00	± 0.10

Equipment used in calibration

Type	Serial number	Calibration date	Certificate number
MBW 373LHX	10-0310	2015-02-10	M-15H005
PTU303 / T	H0730002	2014-10-01	K008-X01689
HMT337 / T	E0840007	2014-10-01	K008-X01686
PTU303 / RH	H0730002	2015-07-21	H33-15301001
HMT337 / RH	E0840007	2015-07-21	H33-15301002

Uncertainties (95 % confidence level, k=2)
 Humidity ± 0.6%RH @ 0...40%RH, ± 1.0%RH @ 40...97%RH
 Temperature ± 0.10 °C.
 Ambient conditions / Humidity 39 ± 5%RH, Temperature 22 ± 1 °C, Pressure 1008 ± 1 hPa.



 Technician

This report shall not be reproduced except in full, without the written approval of Vaisala. Doc212778-F

Vaisala Oyj | PO Box 26, FI-00421 Helsinki, Finland
 Phone +358 9 894 91 | Fax +358 9 8949 2227
 Email first.name.last.name@vaisala.com | www.vaisala.com
 Domicile Vantaa, Finland | VAT FI01244162 | Business ID 0124416-2

图 25. 参考传感器的校准证书

修订历史记录

注：之前版本的页码可能与当前版本有所不同。

Changes from Original (September 2016) to A Revision	Page
• 已更改 从 .pdf 更改为 .xml 格式	1
• 已更改 标题从支持低成本 2m 有线通信的精准湿度传感解决方案更改为支持 2m 有线通信的 $\pm 2\%$ 精准湿度传感参考设计	1
• 已添加 所有方框图、表格和标题的版权和商标声明	1
• 已删除 物理原理图、BOM 和板层图，然后替换为 TI.com 上可用的最新材料的链接	21

有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。您就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法律授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等产权包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默示的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无复发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>) 的标准条款。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2017 德州仪器半导体技术（上海）有限公司