



小型数字湿度传感器 IC 延长电池寿命 并降低设计复杂度

传统的湿度测量采用大尺寸分立电路，或者耗电量达 4-20mA 的笨重湿度传感模块，然而伴随着“物联网”的兴起，传统技术已无法满足更小、更轻以及更低功耗的设计需求。

小型数字湿度传感器单芯片为满足众多应用需求而提供更合适的解决方案，这些应用包括便携式气象站、雾化器、用于货物和资产运输的数据记录仪、智能电话/功能型电话配件以及远程环境感应节点等。

为了更好的理解使用数字湿度传感器带来的益处，我们将讨论以下主题：

- 传统相对湿度 (RH) 分立传感器与数字相对湿度单芯片传感器对比。
- Silicon Labs Si7005 数字相对湿度传感器在 RH 和温度测量时平均功耗的计算。
- 为便携式湿度传感器系统选择最佳电池。

背景

湿度是对空气或其他气体中水分含量的测量。有几种方法用来表示湿度量度：

- 绝对湿度（用 gm^{-3} 表示）。
- 绝对水汽压（衡量空气中实际水分含量的测量，用 kPa 表示）。
- 饱和水汽压（在给定温度下，空气中含有的水蒸气所产生的最大压力）。

如果水分含量超过饱和水汽压，会产生冷凝，并且水分含量被降低到饱和水汽压。露点（当气体冷却时，冷凝液或雾气开始形成时的温度）也用来衡量空气中绝对水分含量。

可以通过很多技术来测量相对湿度，从弹簧支撑结构的简单机械指示杆到复杂且昂贵的分析仪器，例如冷镜面光学湿度计。一般来说，无论是相对湿度、露点、绝对湿度或等效的湿球温度，测量湿度都不是一件容易的事情。

来自英国国家物理实验室（National Physical Laboratory）的研究表明，实际测量湿度是十分困难的，因为不确定的环境因素，最小的测量误差为 $\pm 3\%$ 。由于 RH 极依赖于温度，因此我们要知道空气的精确温度，以便确定相对湿度。仅 0.2°C 的温度变化就会导致 1% 的 RH 误差。

分立式电阻和电容相对湿度传感器已使用数年，其填补了机械和光学 RH 感应之间的测量空白。他们与分立式温度传感器组合使用，例如热敏电阻和电阻温度检测器（RTD），共同测量 RH 和露点。

电阻式传感器使用高分子聚合物薄膜，其依据吸收水分量而改变导电特性。

电容式相对湿度传感器利用电容器基板之间的高分子聚合物电介质，并通过检测由渗透到高分子聚合物电介质层的水气所引起的电介质常数（ Er ）和电容的变化来测量 RH。当 RH 从 0 变化到 100% 时，电介质常数 Er 通常从 3.0 变化到 4.0。图 1 显示了典型的分立器件传感器原理图。

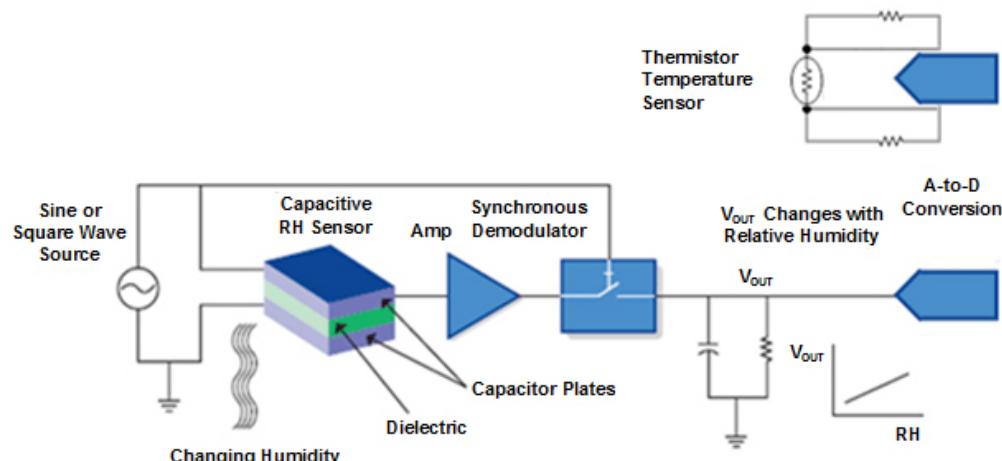


图 1. 典型的分立器件组成的相对湿度和温度传感器

分立式方案比机械式系统方案体积更小、更容易校准，但是他们需要很多辅助器件来实现线性化、校准和转换 RH 值。这种方法需要额外的电路板空间、更高的功率，并且在给客户发货之前每个器件单元都需要经过生产线校准，耗费人力；而且，分立式传感器不适合大批量的回流焊接；此外，分立式传感器在温度范围和使用周期中还存在精度差、变化率高、显著的滞后作用和严重的感应漂移等问题。以上因素都增加了生产测试和校准的复杂度，而且意味着在最终应用的产品生命周期中需要周期性的校准。

数字相对湿度单芯片传感器

新兴的传感解决方案把相对湿度和温度传感器直接集成到单芯片 CMOS IC 中，并具有数字 I²C 接口。因为两个传感器在同一晶圆上位置靠近，所以在相同温度下 RH 读数总是比分立式方案的读数更精确。

单芯片传感器解决方案的一个典型例子是 Silicon Labs Si7005 数字相对湿度和温度传感器。Si7005 传感器通过晶圆表面上的高分子聚合物薄膜测量湿度，通过片上二极管的带隙电路测量温度。唯一所需的片外器件是一对旁路电容。每一个 Si7005 相对湿度传感器都经过工厂校准，因此无需客户校准。该传感器采用工业标准的 4mm x 4mm QFN 封装，并具有小型开口用于裸露水气感应高分子聚合物薄膜。另外还可以选购具有薄型保护盖的版本。保护传感器在安装周期以及整个终端产品寿命周期中，避免由助焊剂、粉尘、化学物质及其他污染物所带来的侵害，同时也增加了回流焊接过程中的保护。表 1 汇总单芯片解决方案（例如 Si7005 湿度传感器）与分立式解决方案的特性对比，展示出单芯片解决方案的优势。

通过以下方式获得电容到 RH 的转换和对 RF 精度的微调：

- 所有器件均在两个 RH 测试点进行电容校准。
- 计算 RH 时实施片上增益和补偿校准。

做进一步的非线性化和温度补偿可以达到通常±3% 的 RH 精度。非线性和温度系数由 Silicon Labs 提供，独立于器件和生产批号。

表 1. 单芯片传感器相对于传统分立式设计的好处

单芯片传感器 IC 核心特性	好处
比分立式、混合式或多芯片模组 (MCM) 集成度更高	<ul style="list-style-type: none"> 片外器件数量极少，大大降低设计复杂度 更小的封装面积、高度和重量 加快上市时间
标准 CMOS 工艺和 QFN 封装	<ul style="list-style-type: none"> 工业标准的 CMOS 工艺提供更高产量和稳定性 低高度的 QFN 封装支持自动贴装，可进行批量焊接和制造
IC 工厂校准，各个系数存储于片上存储器	<ul style="list-style-type: none"> 更短的客户生产/测试时间，更低的解决方案成本 生产线和现场可直接更换/替代
可选的疏水性保护盖	<ul style="list-style-type: none"> 在安装前、中、后保护裸露的传感器 回流焊接后无需任何材料或人工成本安装保护盖或安装/取下保护带

与传统的分立式、混合式和 MCM 解决方案相比，Si7005 硬件、软件和固件的优化提供了以下好处：

高集成度 - 测量出的湿度和温度值由片上信号调节电路和模数转换器 (ADC) 转换成数字格式。为了输出电压或频率，无需片外信号调节或数字转换器。物料清单 (BOM) 仅包括两个旁路电容器，而传统分立式传感器可能需要几十个器件，以实现相同功能。与分立式传感器、模块或混合式/MCM 相比，Si7005 湿度传感器具有更小的封装面积和更轻的重量，所以可获得更低的整体解决方案成本、更少的设计负担、更小的体积和重量、更高的可靠性和更快的上市时间。

即插即用的易用性 - 数字输出和工厂校准免除 Si7005 相对湿度传感器的校准过程，所以每个传感器都可以相互替换。在从一个器件单元切换到另一个器件单元时，无需任何软件/固件改变或校准；主机处理最后的线性和温度补偿，该算法使用固定值，不因芯片的变换而改变；在生产线上无需花费时间或人力来调整每个器件单元，由此返工和现场维护更加方便。

保护盖 - 可选的工厂安装的保护盖, 如图 2 所示, 使 Si7005 非常牢固和易用。这种薄型疏水性/疏油性薄膜可保护传感器在板级安装前、中和后, 避免液体/冷凝液和粉尘带来的侵害, 而测量的灵敏度也不会受到保护盖的影响。

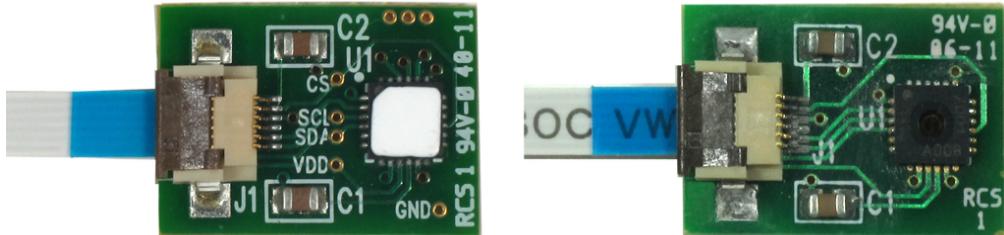


图 2. 具有和不具有保护盖的 Si7005

从 MCU 端口引脚为 Si7005 湿度传感器供电以获得低功耗

Si7005 相对湿度传感器可以动态的从单片机 (MCU) 端口引脚获得每次转换所需的电能。由于 Si7005 传感器仅仅需要 $240\text{-}320\mu\text{A}$, 因此大多数MCU端口引脚都可以提供此电流。由于 Si7005 湿度传感器在两次转换之间可关掉电源, 因此无需CS引脚, 能够永久拉低, 如图 3 所示。

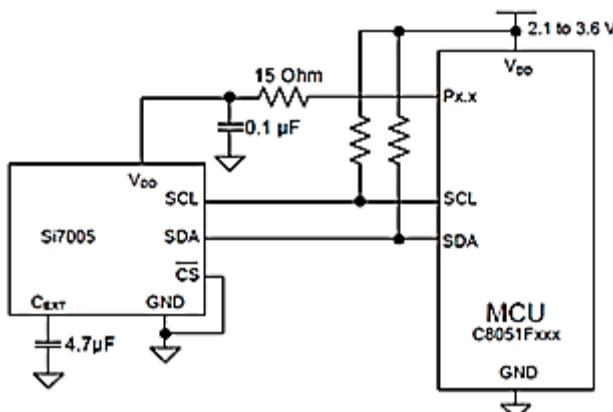


图 3. Si7005 低功耗操作配置, 电源来自 MCU 端口引脚

如何从单片机端口引脚为传感器供电:

- 连接 Si7005 传感器的 Vdd/Vs 引脚到主单片机上用于开关电源的 GPIO。
- 使用 MCU / 主机的 Vdd 为 I2C 上拉电阻供电。
- 器件上电后, 允许有 28ms 为 Cext 充电 (假设 MCU IOH 0.3mA)。
- 读取 RH 和温度 (通常每次需要 35ms 转换时间)。
- Vs 降到 0V。

- 采用线性和温度校正系数，以获得校准的 RH 和温度值。
- Si7005 相对湿度传感器具有片内加热器，可增加 I_{dd} 到大约 30mA。除非单片机端口引脚可提供 30mA 电流，否则不要在此配置中启动加热器。如果启动加热器，功耗增大到 $3.3V \times 30mA = 0.1W$ ，晶圆和传感器温度将在片外环境温度之上增加 5°C-8°C（假设分别为 4 层和 1 层 PCB 使用热阻（Theta-J-A）50°C/W 和 80°C/W）。

Si7005 供电需要 $V_{dd} = 3.3V$ ，此为 Si7005 数据手册中 I_{dd} 的典型值：

- 上电过程中，功耗典型值为 $300\mu A$ ， $4.7\mu F$ C_{ext} 充电到 $1.8V$ 需要 $28ms$ （或 $14ms$ ，如果 $IOH=0.6mA$ ）。
- RH 测量（35ms） I_{dd} 典型值为 $240\mu A$ 。
- 温度测量（35ms） I_{dd} 典型值为 $320\mu A$ 。
- 掉电过程 - 电容放电需要约 $15ms$ 。器件将处于掉电状态一直到下一次转换。
- 器件自热 $<0.1^\circ C$ 。

上述温度和湿度转换中消耗的总能量，在下列典型条件下为：

- $0.3mA \times 28mS \times 3.3V = 27.7\mu J$.. 上电过程。
- $0.24mA \times 35mS \times 3.3V = 27.7\mu J$.. RH 测量。
- $0.32mA \times 35mS \times 3.3V = 37\mu J$.. 温度测量。
- $0.15mA \times 10mS \times 3.3V = 5\mu J$.. 读取结果之前，花更多时间确保测量完成，总计 $96\mu J$ 。

如果温度和湿度转换每分钟执行 1 次、2 次或 4 次， $96\mu J$ 能耗等于下列平均电流：

- $96\mu J / (3.3V \times 15) = 2\mu A$ 平均电流，每分钟 4 次转换。
- $96\mu J / (3.3V \times 30) = 1\mu A$ 平均电流，每分钟 2 次转换。
- $96\mu J / (3.3V \times 60) = 0.5\mu A$ 平均电流，每分钟 1 次转换。

功耗敏感型便携式系统的电池选择

选择合适的电池是便携式湿度检测系统设计的重要考虑因素。电池的特性因电池内部的化学物质、漏电流和温度而变化。电池主要分为两大类：

- 不可充电的原电池 - 通常比可充电电池成本更低、能量密度更高。
- 可充电的蓄电池 - 由于活性材料的耗散、电解质的损失以及内部腐蚀，此类电池不能无限次数的重复充电，并且在使用前必须进行充电。

附录 1 列出主要的电池特性，附录 2 详细说明一般的电池类型。

当每分钟操作 2 次转换时，Si7005 相对湿度传感器在每年操作中将消耗 8.76 毫安时 (mAh)，这仅仅是通常电池电量的一小部分。根据选择的电池类型不同，需要应用下列额外的设计原则。

Si7005 Vdd 的范围是 2.1V-3.6V。为获得更好的转换精度，Vdd 应不低于 2.3V。当使用 AA 电池时，推荐使用两节电池串联。如果放电限制到 1.15V，3000mAh 的 AA 碱性电池的电量将减少到 2000mAh，这仍然相当充足。

虽然容量有限，纽扣电池依旧是 Si7005 湿度和温度传感器电源的很好选择，因为电池电压符合传感器操作范围。对于 230mAh 容量的纽扣电池来说，当 GPIO 在转换之间关闭传感器供电时，Si7005 电量消耗仅为电池容量的一小部分。

就原生锂电池和蓄电池来说，新电池电压对于 Si7005 传感器来说太高了，需要串联电压调节器。

总结

低功耗便携式湿度传感器的市场需求在不断增加，新兴的用于“物联网”的便携式和移动系统也起到极大的推动作用。数字湿度单芯片传感器 IC，例如 Silicon Labs Si7005 器件，是这种系统的理想选择。Si7005 是小型高性能的相对湿度和温度传感器，最大限度的减少片外元件数量和 BOM 成本。片上校准、数字 I²C 主机接口、可选的保护盖，以及具有成本效益的评估板和开发套件使开发人员可以快速方便的实现特性丰富的便携式湿度传感器系统，并且系统的产品运行时间和电池寿命至少达 5-10 年。对于没有空间限制的应用来说，AA 电池是很好的选择，而在电池尺寸受限的应用中，纽扣电池更佳，并且可提供多年服务。

附录 1. 电池关键特性詳解

电压 - 电池电压的典型值、最小值和最大值很重要。例如 1.5V 碱性电池放电范围是 1.5-0.9V。

放电电流 - 在产品生命周期中，平均放电电流决定操作器件需要提供多大容量的电池。重要的是知道放电电流的最大值，以确保电池能为间歇性负载提供电流。

电池寿命 - 电池的寿命取决于放电电流。一般电池寿命是在指定放电电流下的最大电池寿命，其低于最大放电电流。

尺寸和重量 - 电池的化学物质和应用所需的功耗极大影响所选的电池大小和重量。通常，相同能量下更小更轻的电池比更大更重的电池成本更高。

保质期 - 在客户收到产品之前，应考虑电池保质期。某些电池比其他电池的保质期更长。有时保质期被指定为自放电电流，应该从电池寿命中去除。

温度 - 电池化学成分决定工作温度范围。然而，即使指明电池可以在极端的温度下操作，电池性能和寿命也可能会受到影响。低温可能影响性能，同时高温会显著降低电池寿命。

原电池或蓄电池 - 可充电电池或蓄电池可以多次使用，但通常比较昂贵，而且通常需要充电器。

充电 - 不适当的充电是充电电池早期失效的主要原因。更好的充电器所花费的成本往往超过增加的性能和减少替换次数而节省的成本。

循环寿命 - 充电电池只能使用一定次数。

成本 - 技术上理想的电池可能成本高昂。例如，一次性锂电池的成本可能是碱性电池的 30 倍以上。此外，还要加上电池连接器、加工，以及为保护和/或充电电路的额外电路所需的成本。

附录 2. 常用电池类型

电池类型	碱性电池 (例如 2 x AA 电池)	纽扣电池 (例如 CR2032)	原生锂电池 (例如½AA 3.6V 锂亚硫酸氯化物)	蓄电池 (例如松下 CGA103450)
电压	额定值 1.5V 95%的放电量在 1.5V-0.9V 之间	额定值 3V 95%的放电量在 3.3V-2.5V 之间	额定值 3.6V 95%的放电量在 3.7V-3.5V 之间	额定值 3.6V 95%的放电量在 4.2V-3.2V 之间
最大放电电流	典型值为 1000mA	典型值为 3mA	典型值为 50mA	典型值为 200mA
电池寿命	典型值为 3000mAh	典型值为 230mAh	典型值为 1200mAh	典型值为 1800mAh
尺寸和重量	大体积和重量的方案	最小体积和重量的方案	较小体积和重量的方案	较大体积和重量的方案
保质期	大约 5 年	大约 10 年	大约 10 年	大约 1 年
温度	典型值为-20°C-55°C	典型值为-20°C-55°C	典型值为-55°C-85°C	典型值为-20°C-60°C
成本	极低成本的方案	较低成本的方案	高成本的方案	极高成本的方案

#

Silicon Labs致力于投资研究与开发，以帮助我们的客户采用创新的低功耗、小尺寸、模拟密集型混合信号解决方案开发差异化的市场产品。Silicon Labs广泛的专利组合证明我们具有独特的发展方式和世界一流工程团队。专利查询：www.silabs.com/patent-notice。

© 2012 Silicon Laboratories Inc.、ClockBuilder、DSPLL、Ember、EZMac、EZRadio、EZRadioPRO、EZLink、ISOmodem、Precision32、ProSLIC、QuickSense、Silicon Laboratories和Silicon Labs 标志是Silicon Laboratories Inc.的商标或注册商标。ARM和Cortex-M3是ARM 控股公司的商标或注册商标。ZigBee是ZigBee Alliance, Inc.的注册商标。所有其它产品名称可能各自属于相应公司的商标。