



数字式温湿度传感器 SHT15 及其应用

黑龙江八一农垦大学 李敏 孟臣

摘要

SHT15是基于CMOSens™技术的单片全校准数字式温湿度传感器。该传感器具有高精度、高集成度、小体积、全互换、反应迅速、低功耗等特点。其工业标准 I²C 总线便于和嵌入式系统接口。文中详细阐述传感器的性能特点、接口时序与命令,并给出该传感器应用于嵌入式系统的接口电路与应用程序。

关键词 CMOSens I²C 总线 数字式温湿度传感器 嵌入式系统

引言

温湿度的测量在仓储管理、生产制造、气象观测、科学研究及日常生活中被广泛应用;但是湿度的测量却较麻烦,需设计信号调理电路并经过复杂的校准标定过程,且测量精度也往往难以得到保证。其原因是由于湿敏元件在非线性、稳定性、可靠性、互换性等方面很难均衡,这就给嵌入式系统中的温湿度测控应用造成诸多不便。而瑞士 Sensirion 公司推出的新一代基于 CMOSens 技术的 SHT15 温湿度传感器,则巧妙地将 CMOS 芯片技术与传感器技术结合起来。

首先,具有不同保护下的“微型结构”检测电极系统与聚合物覆盖层组成了传感器芯片的电容,除保持电容式湿敏器件的原有特性外,还可抵御来自外界的影响而对传感器进行保护。即使将传感器浸入到液体中也不会对传感器造成损害,同时还将温度传感器与湿度传感器结合在一起构成了一个单一的个体。这就可使测量精度提高并且可以精确得出露点值,而不会产生由于温度与湿度传感器之间随温度梯度变化而引起的误差。

其次,将传感器元件、信号放大器、模/数转换器、校准数据存储器和 I²C 总线等外围调理电路,全部与温湿度传感器集成在了一个只有几 mm² 的芯片上,因此,其优势是显而易见的。由于传感器与信号放大器合为一体,不仅使信号强度增加、抗干扰性能增强,且长期稳定性也得到了保证;集成在一起的模/数转换器,可降低系统的噪声干扰。尤为重要的一是每一只传感器芯片内装载的针对该芯片传感器的校准数据,保证了每一只湿度传感器输出的一致性,使得湿度传感器可以 100% 地互换;同时还具有反应迅速(4s at 1/e)、高精度(±2%)、低功耗的特点。

传感器可以直接通过 I²C 总线与任何种类微处理器、微控制器系统接口,从而减少了传感器接口开发时间及降低了硬件成本。此点对嵌入式系统具有重要意义。

1 性能特点

SHT15 传感器是一款由多个传感器模块组成的单片全校准数字输出相对湿度和温度的传感器。它采用了特有的工业级 CMOS 技术,保证了极高的可靠性和卓越的长期稳定性。整个芯片包括校准的相对温度和湿度传感器,它们与 1 个 14 位的 A/D 转换器相连;此外还有 1 个 I²C 总线串行接口电路,每一个传感器都是在极为精确的湿度室中进行校准。校准系数预先存在 OTP 内存中。在测量校准的全过程都要用到这些系数。SHT15 传感器的特点如下:

- 全校准数字输出, 相对湿度、湿度传感器;
- 温度值分辨率为 14 位, 湿度值分辨率为 12 位, 可编程降至 12 位和 8 位;
- 具有露点计算输出功能;
- 无需外围元件;
- 小体积 (7mm × 5mm × 3mm), 可表面贴装;
- 卓越的长期稳定性;
- 自动断电功能;
- 工业标准 I²C 总线;
- 可靠的 CRC 传输校验。

SHT15 数字式温湿度传感器的性能指标见表 1。

SHT15 可通过 I²C 总线直接输出数字量湿度值,其相对湿度数字输出特性曲线如图 1 所示。

SHT15 封装形式为 SMD(LCC)贴片封装。引脚 GND 为接地端; DATA 为双向串行数据线; SCK 为串行时钟输入; VDD 为 0.4~5.5V 电源端。

表1 SHT15 传感器性能指示

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
供电电压	-	2.4	5.0	5.5	V
供电电流	测量	-	550	-	μA
	平均	2	28	-	μA
	睡眠	-	0.3	1	μA
湿度					
分辨率	-	0.5	0.03	0.03	%RH
		8	12	12	bit
重复性	-	-	±0.1	-	%RH
精确度	0~90%RH	±2%RH			-
非线性	10~90%RH	-	±3	-	%RH
范围	-	0	-	100	%RH
反应时间	1/e(63%)	-	4	-	s
滞后时间	-	-	±1	-	%RH
稳定性	典型	-	<1	-	%RH
温度					
分辨率	-	0.04	0.01	0.01	bit
		0.07	0.02	0.02	
		12	14	14	
重复性	-	-	±0.1	-	
		-	±0.2	-	
精确度	-	±0.4(5~40)			
取值范围	-	-40	-	123.8	
		-40	-	254.9	
反应时间	-	5	-	30	s

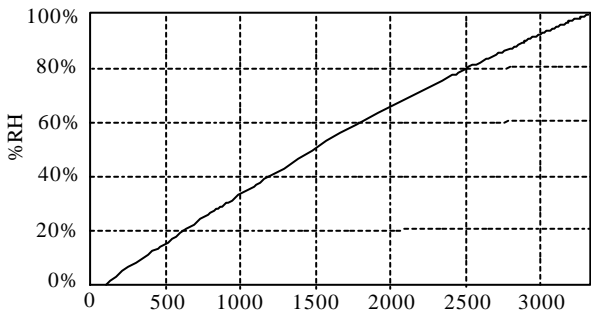


图1 SHT15 相对湿度数字输出特性曲线

2 工作原理

2.1 内部结构框图

SHT15 数字式温湿度传感器的内部结构框图如图 2 所示。

2.2 标度变换

为了将 SHT15 输出的数字量转换成实际物理量，需进行标度变换。

(1) 湿度变换

由图 1 数字输出特性曲线可以看出，SHT15 的输出特性呈一定的非线性。为了补偿湿度传感器的非线性以获取准确数据，可按如下公式修正湿度值：

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2$$

式中 SO_{RH} 为传感器相对湿度测量值，系数取值为

$$12 \text{ 位 } SO_{RH} : c_1 = -4, c_2 = 0.0405, c_3 = -2.8 \times 10^{-6}$$

$$8 \text{ 位 } SO_{RH} : c_1 = -4, c_2 = 0.648, c_3 = -7.2 \times 10^{-4}$$

上述公式对嵌入式系统而言计算量较大。为了避免复杂的计算工作量，可根据系统要求的测量精度分别采用以下小计算量修正算法。

线性。当系统对湿度测量精度要求不高时，可采用以下线性计算公式：

$$RH_{simple} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH0}$$

这里 $c_1 = 0.5; c_2 = 0.5$ 。

2* 线性。当系统对湿度测量精度要求较高时，可采用以下 2* 线性计算公式，即用最小的计算复杂性来提高精确度：

$$RH_{real} = (a \cdot SO + b) / 256$$

这里的 SO 表示 8 位湿度传感器输出的湿度值，当 $0 \leq SO < 107$ 时， $a = 143, b = 512$ ，当 $108 \leq SO < 255$ 时， $a = 143, b = 512$ 。

(2) 温度补偿

上述湿度计算公式是按环境温度为 25 时进行计算的，而实际的测量温度则在一定范围内变化。所以，应考虑湿度传感器的温度系数，按如下公式对环境温度进行补偿。

$$RH_{true} = (T - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

当 SO_{RH} 为 12 位时， $t_1 = 0.01, t_2 = 0.00008$ ；当 SO_{RH} 为 8 位时， $t_2 = 0.00128$ 。

(3) 温度变换

由设计决定的 SHT15 温度传感器的线性非常好，故可用下列公式将温度数字输出转换成实际温度值：

$$\text{温度} = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

当电源电压为 5V、温度传感器的分辨率为 14 位时， $d_1 = -40, d_2 = 0.01$ ，当温度传感器的分辨率为 12 位时， $d_1 = -40, d_2 = 0.04$ 。

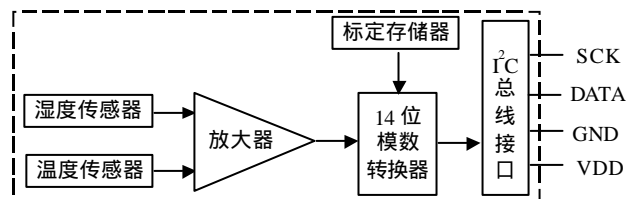


图2 SHT15 数字式温湿度传感器内部结构框图



(4) 露点值计算

空气的露点值可根据相对湿度和温度值,由下面的公式计算。

$$\text{LogEW} = (0.66077 + 7.5 * T / (237.3 + T)) + (\log 10 (\text{RH}) - 2)$$

$$\text{Dp} = ((0.66077 - \text{LogEW}) * 237.3) / (\text{LogEW} - 8.16077)$$

3 命令与接口时序

SHT15 传感器共有 5 条用户命令,具体命令格式见表 2。

表2 SHT 15 传感器命令

命令	编码	说明
测量温度	00011	温度测量
测量湿度	00101	湿度测量
读寄存器状态	00111	“读”状态寄存器
写寄存器状态	00110	“写”状态寄存器
软启动	11110	重启芯片,清除状态记录器的错误记录,11ms 后进入下一个命令

下面介绍一下具体的命令顺序及命令时序。

(1) 传输开始

初始化传输时,应发出“传输开始”命令。命令包括 SCK 为高时,DATA 由高电平变为低电平,并在下一个 SCK 为高时将 DATA 升高。

后一个命令顺序包含三个地址位(目前只支持“000”)和 5 个命令位,通过 DATA 脚的 ack 位处于低电平表示 SHT15 正确收到命令。

(2) 连接复位顺序

如果与 SHT15 传感器的通信中断,下列信号顺序会使串口复位:

当使 DATA 线处于高电平时,触发 SCK 9 次以上(含 9 次),并随后发一个前述的“传输开始”命令。

(3) 温湿度测量时序

当发出了温(湿)度测量命令后,控制器就要等到测量完成。使用 8/12/14 位的分辨率测量,分别需要大约 11/55/210ms。为表明测量完成,SHT15 会使数据线为低,此时控制器必须重新启动 SCK,然后传送两字节测量数据与 1 字节 CRC 校验和。控制器必须通过使 DATA 为低来确认每一字节,所有的量中从右算 MSB 列于第一位。通信在确认 CRC 数据位后停止。如果没有用 CRC-8 校验和,则控制器就会在测量数据 LSB 后,保



图3 测量温湿度命令时序

持 ACK 为高来停止通信。SHT15 在测量和通讯完成之后会自动返回睡眠模式。需要注意的是,为使 SHT15 温升低于 0.1,此时工作频率不能大于 15% (如:12 位精确度时,每秒最多进行 3 次测量)。

测量温度和测量湿度命令所对应的时序如图 3 所示。

4 状态寄存器

SHT15 传感器中有一些高级的功能是通过状态寄存器来实现的。寄存器各位类型及说明见表 3。

表3 状态寄存器类型及说明

位	类型	说明	缺省	
7		保留	0	
6	读	工作极限(低电压检查)	X	
5		保留	0	
4		保留	0	
3		只用于试验,不可以使用	0	
2	读/写	加热	0	关
1	读/写	不从 OTP 重下载	0	重下载
0	读/写	“1”=8 位相对湿度,12 位温度分辨率。“0”=12 位相对湿度,14 位温度分辨率	0	12 位相对湿度,14 位温度

下面对寄存器相关位功能说明如下。

(1) 加热

使芯片中的加热开关接通,传感器温度大约增加 5,这会使得能耗增加至 8mA (在 5V 条件下)。加热用途如下:

通过对启动加热器前后的温、湿度进行比较,可以正确地区别传感器的功能;

在相对湿度较高的环境下,传感器可通过加热来避免冷凝。

(2) 低电压检测

SHT15 的工作极限功能可以检测 VDD 电压是否低于 2.45V,准确度为 ± 0.1V。

(3) 下载校准系数

为了节省能量并提高速度,OTP 在每次测量前都要重新下载校准系数。每一次测量都会节省 8.2ms。

(4) 测量分辨率设定

可以将测量分辨率 14 位(温度)、12 位(湿度)分

别减少到 12 位和 8 位。主要应用于高速或低功耗场合。

5 温湿度测量应用

SHT15 数字式温湿度传感器可广泛应用于如下领域。

加热通风和空调技术：智能楼宇控制。

仓储管理：粮食、烟草、纸张、药材、食品等储藏管理。

测量和控制技术：精密光学、电子、化工、机械加工的湿度控制。

自动化与过程控制：工业、农业生产制造。

便携式电子产品和电池供电的控制器。

下面给出 SHT15 传感器在嵌入式系统中的具体应用方法，包括硬件连接及软件编程。

这里以 AT89C52 单片机为例给出 SHT15 与单片机的接口电路，如图 4 所示。

由于 AT89C52 不具备 I²C 总线接口，故使用单片机通用 I/O 口线来虚拟 I²C 总线。利用 P1.0 来虚拟数据线 DATA，利用 P1.1 口线来虚拟时钟线；并在 DATA 端接入 1 只 4.7k 的上拉电阻，在 VDD 及 GND 端接入 1 只 0.1 μF 的去耦电容。

本刊网络补充版 (<http://www.dpj.com.cn>) 给出了与上述硬件电路配套的 C51 应用程序。

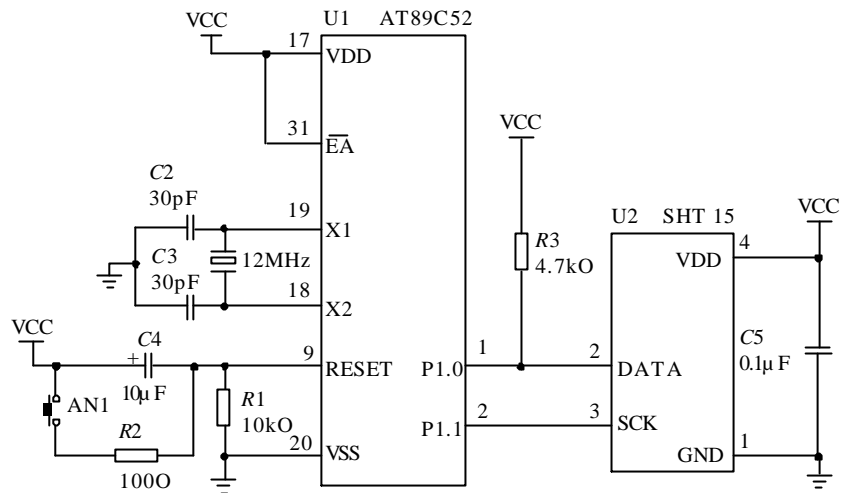


图4 SHT15 与单片机的接口电路

结 语

SHT15 数字式温湿度传感器将温传感器、湿度传感器、信号调理、模/数转换器、标定参数及 I²C 总线接口全部集成到传感器内部。一方面提高了传感器性能，另一方面又降低了成本、减少了体积；同时也便于和微控制器接口，因而该传感器是嵌入式系统温湿度测试的理想选择。

参考文献

- 何立民. I²C 总线应用设计. 北京：北京航空航天大学出版社，1995
- [HTTP://www.sensirion.com/en/pdf/Datasheet_SHT1x_SHT7x.pdf](http://www.sensirion.com/en/pdf/Datasheet_SHT1x_SHT7x.pdf)

(收稿日期：2003-05-06)