



任务 3.5 数字量传感器采集系统

【任务描述】

采用温湿度传感模块和 ZigBee 模块组成一个数字量传感器采集系统,实现温湿度数据的采集和无线传输,并在 PC 串口上显示。

【任务环境】

硬件: NEWLab 平台 1 套、ZigBee 节点板 1 块、温湿度传感模块 1 个、CC2530 仿真器 1 组、PC 1 台,信号线若干。

软件: Windows 7/10, IAR 集成开发环境, 串口调试助手。

【必备知识点】

1. 数字量传感器技术;
2. 温度传感器工作原理;
3. 湿度传感器工作原理。

3.5.1 数字量传感器技术

数字量传感器是指将传统的模拟量传感器经过加装或改造 A/D 转换模块,使之输出信号为数字量(或数字编码)的传感器,主要包括放大器、A/D 转换器、微处理器(CPU)、存储器、通信接口、温度测试电路等。在微处理器应用变得越来越普遍的今天,全自动或半自动(通过人工指令进行高层次操作,自动处理低层次操作)系统可以包含更多智能化功能,能从环境中获得并处理更多不同的参数,尤其是 MEMS(微电机系统)技术,可使数字量传感器的体积非常小且能耗与成本也很低。以纳米碳管或其他纳米材料制成的纳米传感器同样具有巨大的潜力。

发展到今天,数字量传感器与传统的模拟量传感器相比,具有如下几个特点。

- (1) 先进的 A/D 转换技术和智能滤波算法,在满量程的情况下仍可保证输出的稳定。
- (2) 可行的数据存储技术,保证模块参数不会丢失。
- (3) 良好的电磁兼容性能。
- (4) 采用数字化误差补偿技术和高度集成化电子元件,实现线性度、阈值、温度漂移、蠕变等性能参数的综合补偿,消除了人为因素对补偿的影响,大大提高了综合精度和可靠性。
- (5) 输出一致性误差可以控制在 0.02%以内甚至更低,特性参数可完全相同,因而具有良好的互换性。
- (6) 采用 A/D 转换电路、数字化信号传输和数字滤波技术,抗干扰能力强,信号传输距离远,提高了稳定性。
- (7) 能自动采集数据并可预处理、存储和记忆,具有唯一标记,便于故障诊断。
- (8) 采用标准的数字通信接口,可直接连入计算机,也可与标准工业控制总线连接,方便灵活。
- (9) 数字量传感器是将 A/D、EPROM、DIE(还未封装的传感器芯片,属于裸片,大小介于 cell 和 chip 之间),封装在一块 PCB、金属块或陶瓷板上进行集成,通过各种温度、压力点的校准,计算出 DIE 的线性度,再利用 A/D 去补偿的方法加工而成的。



3.5.2 温度传感器工作原理

热电传感技术是利用转换元件电参数随温度变化的特征,对温度和与温度有关的参数进行检测的技术。利用热电传感技术制成的传感器称为温度传感器。其中,将温度变化转化为电阻变化的称为热电阻传感器,其中金属热电阻传感器简称为金属热电阻或热电阻,半导体热电阻传感器简称为热敏电阻;将温度变化转换为热电势变化的称为热电偶传感器。本书只介绍热敏电阻。

热敏电阻是一种阻值随温度变化的半导体。它的温度系数很大,比温差电偶和线绕电阻测温元件的灵敏度高几十倍,适用于测量微小的温度变化。热敏电阻体积小、热容量小、响应速度快,能在空隙和狭缝中测量。它的阻值高,测量结果受引线的影响小,可用于远距离测量。它的过载能力强,成本低。但热敏电阻的阻值与温度为非线性关系,所以它只能在较窄的范围内用于精确测量。热敏电阻在一些对精度要求不高的测量和控制装置中得到了广泛应用。

1. 热敏电阻的结构形式

用热敏电阻制成的探头有珠状、棒杆状、片状和薄膜等形式,封装外壳多为用玻璃、镍和不锈钢管等做成的套管结构,如图 3-36 所示为热敏电阻的结构图,如图 3-37 所示为热敏电阻的实物图。

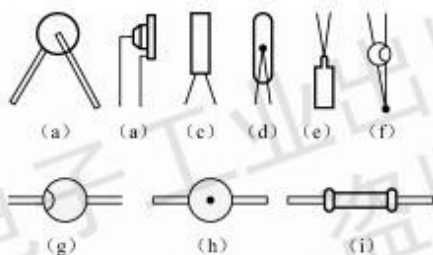


图 3-36 热敏电阻的结构图

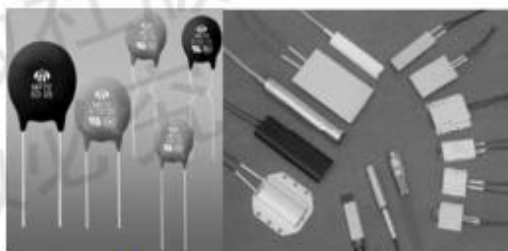


图 3-37 热敏电阻的实物图

2. 热敏电阻的温度特性

热敏电阻的温度特性是指半导体材料的阻值随温度变化而变化的特性。热敏电阻按温度特性分为三类。

- (1) 负温度系数 (NTC) 热敏电阻;
- (2) 正温度系数 (PTC) 热敏电阻;
- (3) 临界负温度系数 (CTR) 热敏电阻。

热敏电阻的温度特性曲线如图 3-38 所示。分析热敏电阻的温度特性曲线图可以得出下列结论。

(1) 热敏电阻的温度系数值远远大于金属热电阻,所以其灵敏度很高。

(2) 热敏电阻温度曲线非线性现象十分严重,所以其测量温度范围远小于金属热电阻。

(1) 正温度系数 (PTC) 热敏电阻

PTC 是 Positive Temperature Coefficient 的缩写,意思是正的温度系数,泛指正温度系数很大的半导体材料或元器件。PTC 热敏电阻是一种典型的具有温度敏感性

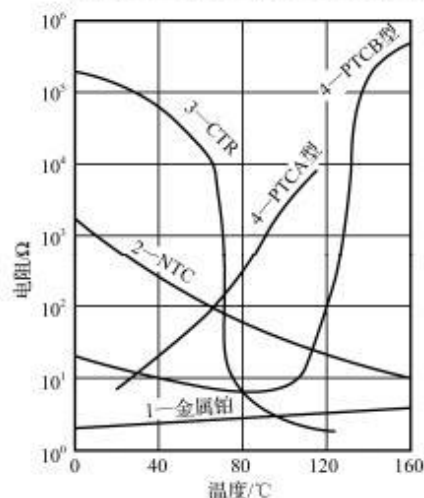


图 3-38 热敏电阻的温度特性曲线



的半导体电阻,超过一定的温度(居里温度)时,它的阻值随着温度的升高呈阶跃性增高。该材料是以 BaTiO_3 或 PbTiO_3 为主要成分的烧结体,其中掺入微量的 Nb、Ta、Bi、Sb、La 等氧化物进行原子价控制而使之半导体化,常将这种半导体化的 BaTiO_3 等材料简称为半导体(体)瓷。同时还可添加增大其正温度系数的 Mn、Fe、Cu、Cr 的氧化物和起其他作用的添加物,采用一般陶瓷工艺成形、高温烧结而使钛酸钡等及其固溶体半导体化,从而得到正特性的热敏电阻材料。其温度系数及居里温度随成分及烧结条件(尤其是冷却温度)不同而不同。

PTC 热敏电阻除用作加热元件,还能起到“开关”的作用(如图 3-38 中线 4 所示,PTCB 型热敏电阻的阻值随着温度的升高初始没有什么变化,在温度达到 100°C 左右时突然快速增大),兼有敏感元件、加热器和开关三种功能,又称为“热敏开关”。电流通过元件后引起温度升高,即发热体的温度上升,当超过居里温度后,阻值增加,从而限制电流的增加,于是电流的下降又导致元件温度降低,阻值的减小又使电路电流增加,元件温度升高,周而复始,因此具有使温度保持在特定范围的功能,起到开关作用。利用这种阻温特性做成加热源,作为加热元件应用的有暖风器、烘衣柜、空调等,其还可对电器起到过热保护作用。

(2) 负温度系数(NTC)热敏电阻

NTC (Negative Temperature Coefficient),意思是负的温度系数,泛指负温度系数很大的半导体材料或元器件。NTC 热敏电阻是一种典型的具有温度敏感性的半导体电阻,它的阻值随着温度的升高呈线性减小(如图 3-38 线 2 所示)。NTC 热敏电阻是以锰、钴、镍和铜等的金属氧化物为主要材料,采用陶瓷工艺制造而成的。这些金属氧化物材料都具有半导体性质,在导电方式上完全类似于锗、硅等半导体材料。温度低时,这些金属氧化物材料的载流子(电子和空穴)数目少,所以其阻值较高;随着温度的升高,载流子数目增加,阻值降低。

NTC 热敏电阻特性:NTC 热敏电阻的阻值随温度升高而迅速减小。

(3) 临界负温度系数(CTR)热敏电阻

CTR 热敏电阻具有负电阻突变特性(如图 3-38 线 3 所示),在某一温度下,其阻值随温度的升高急剧减小,具有很大的负温度系数。其构成材料是钒、钼、锆、磷等元素的氧化物的混合烧结体,是半玻璃状的半导体,也称 CTR 热敏电阻为玻璃态热敏电阻,骤变温度随所添加氧化物的不同而不同。CTR 能够用作控温报警等。

3. 本实验所用温度/光照传感模块组成

本实验所用温度/光照传感模块组成如图 3-39 所示。

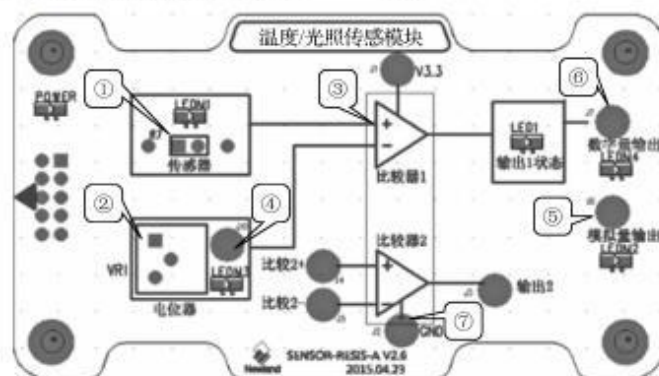


图 3-39 温度/光照传感模块组成



说明:

- ①: 温度和光照传感器。
- ②: 基准电压调节电位器。
- ③: 比较器电路。
- ④: 基准电压测试接口 J10, 测试温度感应的阈值电压, 即比较器 1 负端 (3 脚) 电压。
- ⑤: 模拟量输出接口 J6, 测试热敏电阻两端的电压, 即比较器 1 正端 (2 脚) 电压。
- ⑥: 数字量输出接口 J7, 测试比较器 1 输出电压。
- ⑦: 接地 GND 接口 J2。

3.5.3 湿度传感器工作原理

1. 湿度传感器概述

湿度传感器, 即能够感受外界湿度变化, 并通过元器件材料的物理或化学性质变化, 将湿度转化成有用信号的元器件。湿度检测较其他物理量的检测显得更加困难, 首先, 空气中水蒸气含量很少; 其次, 液态水会使一些高分子材料和电解质材料溶解, 一部分水分子电离后与溶入水中的空气中的杂质结合成酸或碱, 使湿敏材料受到不同程度的腐蚀和老化, 从而丧失其原有的性质; 第三, 湿度信息的传递必须靠水对湿敏元器件的直接接触来完成, 因此湿敏元器件只能直接暴露于待测环境中, 不能密封。通常, 对湿敏元器件有下列要求: 在各种气体环境下稳定性好、响应时间短、寿命长、有互换性、耐污染和受温度影响小等。微型化、集成化及廉价是湿敏元器件的发展方向。

湿度是表示空气中水蒸气含量的物理量, 常用绝对湿度、相对湿度、露点等表示。所谓绝对湿度就是单位体积空气内所含水蒸气的质量, 也就是指空气中水蒸气的密度, 一般用一立方米空气中所含水蒸气的克数表示, 即 $h_a = m_v / v$, 单位为 g/m^3 。式中, m_v 为待测空气中水蒸气的质量, v 为待测空气的总体积。相对湿度是指空气中实际所含水蒸气的分压 (p_w) 和同温度下饱和水蒸气的分压 (p_n) 的百分比, 即 $h_r = (p_w / p_n) \times 100\% RH$ 。通常, 用 %RH 表示相对湿度。当温度和压力变化时, 因饱和水蒸气变化, 空气中的水蒸气分压即使相同, 其相对湿度也会发生变化。日常生活中所说的空气湿度, 实际上就是指相对湿度。温度越高的空气, 含水蒸气越多。若将空气冷却, 即使其中所含水蒸气质量不变, 相对湿度将逐渐增加, 到某一个温度时, 相对湿度达 100%, 呈饱和状态, 再冷却时, 水蒸气的一部分凝聚生成露, 把这个温度称为露点温度。即空气在气压不变时, 为了使其所含水蒸气达到饱和状态所必须冷却到的温度称为露点温度。气温和露点温度的差越小, 空气越接近饱和。

湿度的测量方式有几种, 即采用伸缩式湿度计、干湿球湿度计、露点计和阻抗式湿度计等进行测量。伸缩式湿度计利用了毛发、纤维素等物质随湿度变化而伸缩的性质, 以前多用于自动记录仪、空调的自动控制等, 目前用于家庭设备的是把纤维素与厚度约为 50 μm 的金属箔黏合在一起, 卷成螺旋状的传感器, 不需要进行温度补偿, 但不能转换为电信号。阻抗式湿度计是根据湿敏电阻的阻抗值变化而求得湿度的一种湿度计, 由于能简单地转换为电信号而被广泛采用。

2. 湿度传感器的分类

湿敏元件是最简单的湿度传感器。湿敏元件主要分为湿敏电阻、湿敏电容两大类。

湿敏电阻的特点是在其基片上覆盖了一层用感湿材料制成的膜, 当空气中的水蒸气吸附在感湿膜上时, 其电阻率和电阻值都发生变化, 利用这一特性即可测量湿度。湿敏电阻的种



类很多,如金属氧化物湿敏电阻、硅湿敏电阻、陶瓷湿敏电阻等。湿敏电阻的优点是灵敏度高,缺点是线性度和产品的互换性差。

湿敏电容一般是用高分子薄膜电容制成的,常用的高分子材料有聚苯乙烯、聚酰亚胺、醋酸纤维素等。当环境湿度发生改变时,湿敏电容的介电常数发生变化,使其电容量也发生变化,其电容量变化量与相对湿度成正比。湿敏电容的主要优点是灵敏度高、产品互换性好、响应速度快、湿度的滞后量小、便于制造、容易实现小型化和集成化,其精度一般比湿敏电阻要低一些。

电子式湿敏传感器的准确度可达 $(2\sim3)\%$ RH,比干湿球湿度计的测量精度高。湿敏元件的线性度及抗污染性差,在检测环境湿度时,湿敏元件要长期暴露在待测环境中,很容易被污染而影响其测量精度及长期稳定性。这方面没有用干湿球湿度计的测湿方法好。下面对各种湿度传感器进行简单的介绍。

(1) 氯化锂湿度传感器

① 电阻式氯化锂湿度传感器。

第一个基于电阻-湿度特性原理的电阻式氯化锂湿度传感器是美国标准局的 F.W.Dunmore 研制出来的。这种传感器具有较高的精度,同时结构简单、成本低,适用于常温常湿的测控。

电阻式氯化锂湿度传感器的测量范围与湿敏层的氯化锂浓度及其他成分有关。单个元件的有效感湿范围一般在 20% RH 以内。例如 0.05% 的浓度对应的感湿范围为 $(80\sim100)\%$ RH, 0.2% 的浓度对应的感湿范围是 $(60\sim80)\%$ RH。由此可见,要测量较宽的湿度范围时,必须把不同浓度的元件组合在一起使用。可用于全量程测量的湿度传感器组合的元件一般为 5 个,采用元件组合法的氯化锂湿度传感器测量范围通常为 $(15\sim100)\%$ RH,国外有些产品称其测量范围可达 $(2\sim100)\%$ RH。

② 露点式氯化锂湿度传感器。

露点式氯化锂湿度传感器是由美国的 Forboro 公司首先研制出来的,其后许多国家做了大量的研究工作。这种湿度传感器和上述电阻式氯化锂湿度传感器形式相似,但工作原理完全不同。简而言之,它是利用氯化锂饱和水溶液的饱和水汽压随温度变化而工作的。

(2) 碳湿敏元件

碳湿敏元件是美国的 E.K.Carver 和 C.W.Breasefield 于 1942 年首先提出来的,与常用的毛发、肠衣和氯化锂等探空元件相比,碳湿敏元件具有响应速度快、重复性好、无冲蚀效应和滞后环窄等优点。我国气象部门于 20 世纪 70 年代初开展碳湿敏元件的研制,并取得了积极的成果,其测量不确定度不超过 $\pm 5\%$ RH,时间常数在正温时为 $2\sim 3\text{s}$,滞差一般在 7% 左右,比阻稳定性亦较好。

(3) 氧化铝湿度传感器

氧化铝湿度传感器的突出优点是体积可以非常小(如用于探空仪的湿敏元件仅 $90\mu\text{m}$ 厚、质量为 12mg),灵敏度高(测量下限达 -110°C 露点温度),响应速度快(响应时间一般为 $0.3\sim 3\text{s}$),测量信号直接以电参量的形式输出,大大简化了数据处理程序。另外,它还适用于测量液体中的水分。如上特点正是工业和气象中的某些测量领域所需要的,因此它被认为是进行高空大气探测可供选择的几种合乎要求的传感器之一。近年来,这种传感器在工业中的低霜点测量领域开始崭露头角。

(4) 陶瓷湿度传感器

在湿度测量领域,对于在低湿和高湿、低温和高温条件下的测量,目前为止仍然是一个薄弱环节,而其中又以高温条件下的湿度测量技术最为落后。一方面,通风干湿球湿度计几乎是在这个温度条件下唯一可以使用的产品,而该产品在实际使用中亦存在种种问题,无法



令人满意。另一方面，随着科学技术的进步，要求在高温下测量湿度的场合越来越多，如水泥生产、金属冶炼和食品加工等许多涉及工艺条件和质量控制的工业过程都需要进行湿度测量与控制。因此，自 20 世纪 60 年代起，许多国家开始研制适用于在高温条件下进行测量的湿度传感器。考虑到传感器的使用条件，人们很自然地把探索方向着眼于既具有吸水性又能耐高温的某些无机物上。实践已经证明，陶瓷元件不仅具有湿敏特性，而且可以作为感温元件和气敏元件，这些特性使它极有可能成为一种有发展前途的多功能传感器。

以上是应用较多的几种传感器，另外还有其他根据不同原理研制的湿度传感器，这里就不一一介绍了。

3. 本实验所用温湿度传感模块组成

本实验所用的温湿度传感模块，主控器件采用瑞士 Sensirion 公司的 SHT10 单片数字温湿度集成 IC。该集成 IC 中包括一个电容式聚合体测湿组件和一个能隙式测温组件，并与一个 14 位的 A/D 转换器及串行接口电路在同一芯片上实现无缝连接，如图 3-40 所示。

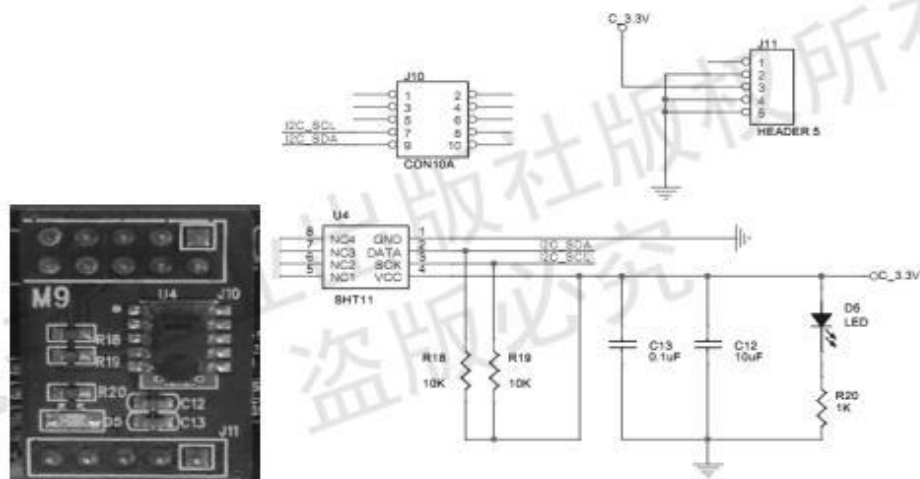


图 3-40 本实验所用的温湿度传感模块外形及电路连线图

3.5.4 任务实训步骤

第 1 步，新建工程、配置工程相关设置。

具体操作参照任务 3.2。

第 2 步，编写程序。

编写主程序，或将技术服务网站上相应的源代码添加进工程。下面将 sensor.c 和 collect.c 两个文件中的关键代码分别分析如下。

(1) sensor.c 中的 main() 函数

```

/*****main*****/
1. void main(void)
2. { uint16 sensor_val,sensor_tem;
3. uint16 len = 0;
4. halBoardInit(); //模块相关资源的初始化
5. ConfigRf_Init(); //无线收、发模块参数的配置初始化
6. halLedSet(1);
7. halLedSet(2);

```