

基于铂电阻和热电偶的测温系统^①

李 菲¹, 简献忠¹, 何玲玲²

¹(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

²(益科博能源科技(上海)有限公司, 上海 201203)

摘 要: 介绍了一种基于铂电阻和热电偶的测温系统, 详细分析了其测量原理及测量误差。该系统采用 AD7792 作为采集芯片, 能够通过利用多种铂电阻和多种热电偶实现对温度测量, 并将测量结果实时显示在 OLED 上。实验结果表明该系统的测量精度高、通用性强、重复性好、操作方便。

关键词: 铂电阻; 热电偶; 测温; 有机发光二极管

Temperature Measurement System Based on Pt Resistance and Thermocouple

LI Fei¹, JIAN Xian-Zhong¹, HE Ling-Ling²

¹(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

²(E-cube Energy Technology (Shanghai), Ltd, Shanghai 201203, China)

Abstract: This paper introduced a temperature measurement system based on Pt Resistance and thermocouple, a detailed analysis of the measurement principle and measurement error. The system uses AD7792 chip as the acquisition, be able to use a variety of Pt Resistance and thermocouple temperature measurements to achieve, and measure the results of real-time display on the OLED. Experimental results show that the system is high accuracy, versatility, reproducibility and easy operation.

Keywords: Pt Resistance; thermocouple; temperature measurement; OLED

在工业生产过程中, 为了有效地进行生产操作、发现安全隐患、避免安全事故等的发生, 需要对有关参数如温度、压力、流量等进行自动检测。温度是度量物体冷热程度的物理量, 在电厂的锅炉炉温控制和管路控制中温度是必须要监测的参数之一。

铂电阻温度传感器, 因其测量精度高、复现性好、稳定性强等特点被广泛使用, 但铂电阻的阻值和温度之间的非线性特性给最后的温度测量带来了一定的误差, 难以达到较高的指标要求; 热电偶的检测灵敏度低, 但其使用范围宽。热电偶及铂热电阻的检测是一项辛苦的工作。不但检测时间长, 人员劳动强度大, 而且原始数据量大, 运算处理较繁杂, 容易出错。检测工作的效率低。因此迫切需要一种自动化程度高, 节省时间, 精度高的检测系统来解决这一问题。本文设计的基于铂电阻和热电偶的测温系统由信号采

集和显示两部分构成, 通过调节拨码开关能够实现对铂电阻 PT100、PT1000 以及 K 型热电偶和 J 型热电偶的温度测量, 将测量的温度值实时显示在 OLED 上, 便于测试人员观察。利用该系统对 PT100 和 K 型热电偶的温度进行测量, 得到了理想的实验结果。

1 系统硬件结构及工作原理

该测温系统的硬件部分主要由 AD7792 采集电路、数字隔离电路、LM3S2608 单片机、OLED 显示电路、AD5422 信号传输电路、拨码开关、按键和指示灯等组成, 硬件结构如图 1 所示。

AD7792 负责采集铂电阻和热电偶的数据, LM3S2608 控制采样频率、响应按钮和拨码开关的命令、将采集的数据转换成对应的测量温度、控制 OLED 的显示、传输 4~20mA 信号等。

① 基金项目: 科技部国家科技支撑计划(2010BAK69B22)

收稿时间: 2011-06-22; 收到修改稿时间: 2011-07-29

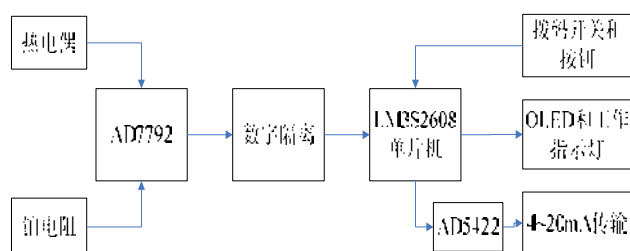


图 1 测温系统硬件结构图

AD7792 具有两个高精度的可编程恒流激励源，内置有可编程的仪表放大器，可以对不同的输入信号选择相对应的放大倍数，实现信号的匹配。它内置 16 位 ADC，采用 SPI 串行接口，容易实现光耦隔离，简化了电路。此芯片具有低电源、低噪声的特点，有三路差分模拟输入，可以满足设计要求^[1]。

AD7792 测温的原理如图 2 所示，通道 1 使用两线制测量热电偶的温度，通道 2 使用三线制测量铂电阻的温度。

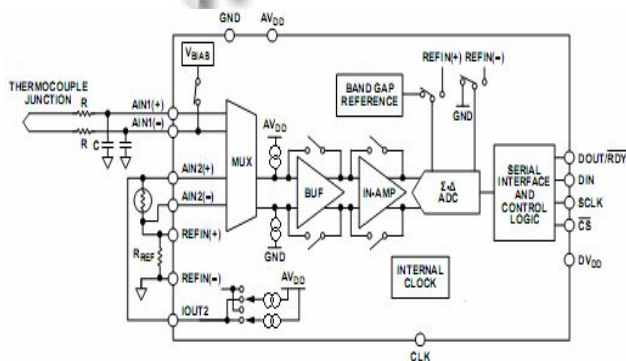


图 2 AD7792 的测温原理图

1.1 三线制铂电阻温度的测量

铂电阻温度的测量原理如图 3 所示。图中 J1 连接待测的铂电阻；I1 和 I2 为两个匹配的恒流源； R_{L1} 、 R_{L2} 、 R_{L3} 为三线制测量导线的电阻，它们理论上相等； R_{ref} 为精密参考电阻，在系统中使用以提供外部参考电压。 R_{L3} 和 R_{ref} 共同组成公共对地端。其中，AIN2+ 和 AIN2- 为铂电阻差分测量的两端，激励源 I1 给 AIN2+ 路提供电源，电流经铂电阻 R_{RTD} ，测量导线 R_{L3} ，参考电阻 R_{ref} 到地组成一个测量回路；激励源 I2 给 AIN2- 路提供电源，电流经测量导线 R_{L2} ，参考电阻 R_{ref} 到地组成一个测量回路。在两个激励源匹配且三条测量导线理论相等的情况下，AIN2+ 和 AIN2- 之间的差值即为铂电阻的测量值。这样理论上就消除了导线电阻对

测量的影响。

测量 AIN2+ 和 AIN2- 之间的信号，测量值通过 AD7792 内部的放大器放大后经过 ADC 得到数字信号，再通过 SPI 接口传送给单片机。

对于 16 位 ADC 来说，其分辨率为 $1/65536$ ，故其最小分辨电压为：

$$N_0 = V_{ref}/65536 \quad (1)$$

设 ADC 的测量值为 N ，测量得到的参考电压为 V_{ref} ，则 $V_{ref} = (I1 + I2) * R_{ref}$ ，结合式 (1) 可以得出：

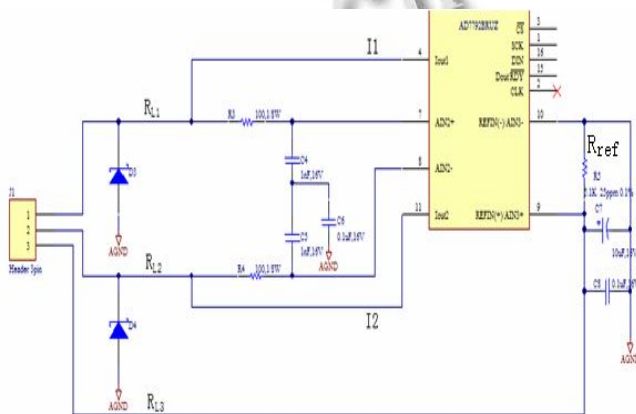


图 3 铂电阻测温原理图

$$I_1 + I_2 = N_0 * 65536 / R_{ref} \quad (2)$$

设放大器的放大倍数为 k ，则：

$$\frac{k * V_R}{V_{ref}} = \frac{N}{65536} \quad (3)$$

铂电阻两端电压为：

$$V_R = I1 * R_{RTD} \quad (4)$$

理论上， $I1=I2$ ，结合式 (2)、(3)、(4) 可得出铂电阻的计算公式：

$$R_{RTD} = \frac{2 * N * R_{ref}}{65536 * k} \quad (5)$$

即铂电阻与参考电阻成正比，这就方便了测量结果的计算。根据测量的电阻值，对照铂电阻电阻值与温度值的对应关系表就能计算出铂电阻测试点的温度。

1.2 两线制热电偶温度的测量

将两种不同材料(但符合一定要求)的导体或半导体的任意一端焊接在一起就构成了热电偶。组成热电偶的导体或半导体称为热电极，被焊接的一端插入测温场所，称为工作端，另一端称冷端。当两端温度不

同时就会有热电势产生,它是测量温度的感温元件,将温度信号转换为电信号再由仪表显示出来。

热电偶的测温原理就是利用了热电效应。任意两种材质不同的金属导体或半导体首尾连接成闭合回路,只要两接点的温度不同,就会产生热电势,形成热电流,这就是热电效应^[2]。

热电偶产生的热电势与热电偶的材质及冷热两接点的温度有关,是两接点温度之差。将热电偶的冷端放在室温空气中,工作端放入测温场所,用 AD7792 测出热电偶的热电势。

利用 AD7792 测量热电势的原理图如图 4。J2 为热电偶接入端,利用 AD7792 内部电压源作为参考,采用双极性方式测量热电偶的热电势。

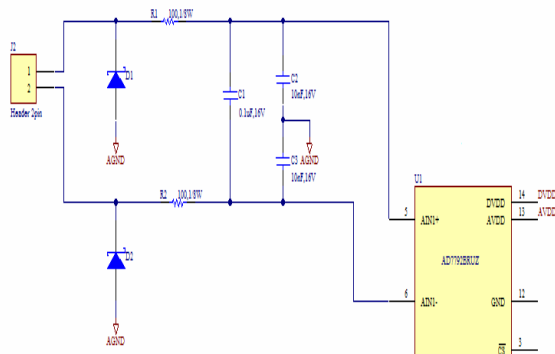


图 4 热电偶测温原理图

设 ADC 的测量值为 N , 热电偶的热电势为 V , 放大器的放大倍数为 k , 则

$$N = 32768 \cdot [(V \cdot k / V_{REF}) + 1] \quad (6)$$

由于使用 AD7792 内部参考电压源, 为 1.17V, 代入式(2-6), 可得出热电势 V 。根据热电偶的电势与温度对应关系表计算出相应的温度即为热电偶的工作端与冷端的温度之差。同时利用铂电阻测量室温, 即热电偶冷端温度, 就可以得出热电偶的工作端温度。

1.2 OLED 的显示

为了便于观察测量点温度, 了解测温方法(铂电阻测量还是热电偶测量以及铂电阻和热电偶的型号), 系统中使用了 128*96 的 OLED。这是一款全彩的 OLED, 内部驱动芯片是 SSD1339。其原理图如图 5。

SCLK、SDIN 和 CS 连接到单片机 LM3S2608 的 SSI0 接口, 通过 SPI 的方式来驱动液晶, 提高液晶显示和刷新的速度。

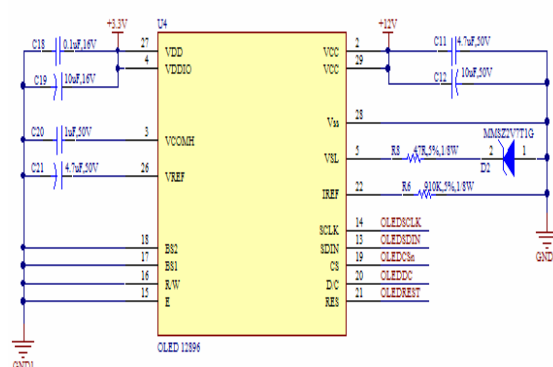


图 5 OLED 显示电路

2 系统硬件结构及工作过程

2.1 系统硬件结构

如图 6 所示, 系统共有四个按钮, 分别实现零点校准、满量程校准、报警温度加减设置(长按为加, 短按为减)、复位的功能。这些功能都由 LM3S2608 来实现。

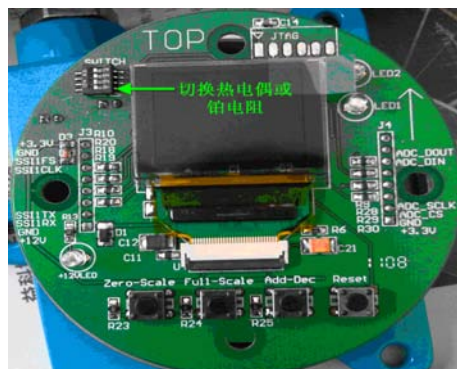


图 6 测温仪表

通过调节拨码开关可以实现对不同铂电阻和热电偶的温度的测量, 拨码开关的设置与测温方式的对应关系如表 1:

表 1 拨码开关的设置与测温方式的对应关系

拨码设置	测温方式
0000	测量 PT100 的温度
0001	测量 PT1000 的温度
0010	测量 K 型热电偶的温度, 利用 PT100 测热电偶的冷端温度
0011	测量 J 型热电偶的温度, 利用 PT1000 测热电偶的冷端温度
0100	测量 K 型热电偶的温度, 利用 PT100 测热电偶的冷端温度
0101	测量 J 型热电偶的温度, 利用 PT1000 测热电偶的冷端温度

2.2 系统工作过程

利用该系统进行温度测量，首先要根据测量的铂电阻或热电偶的类型来设置拨码开关的位置(见表1)，然后将铂电阻和热电偶分别连接到 AD7792 的通道 2 和通道 1，如果只测铂电阻的温度，则通道 1 可以不连。硬件连接好后，给系统上电（工作电压 24V），系统即可开始工作。

OLED 左上角用红色字体显示设置的报警温度，当测量温度超过该设置温度时，红色的报警指示灯闪烁。该温度值可通过 OLED 下方的按键来设置，设置完成，该数据存入 LM3S2608 的 FLASH；OLED 中间黑色字体显示的是测量点的温度；最下方则显示测温的类型。

3 测试结果与分析

表 1 中的六种测温方式都已通过实验验证，挑选其中一种（0010 测量 K 型热电偶的温度，利用 PT100 测热电偶的冷端温度）的实验结果进行分析。

3.1 两线制热电偶温度的测量

将拨码开关拨到 0010 的位置，将 K 型热电偶和 PT100 分别连接到 AD7792 的通道 1 和通道 2。K 型热电偶一端放在干体炉中，另一端裸露在空气中，PT100 悬置于空气中。给测温系统上电。

调节干体炉（具体为 isotech jupiter 650s 型干体校验炉）的炉膛温度从 50℃ 开始，每隔 50℃ 递增到 250℃ 后，再每隔 50℃ 递减到 50℃，每次等炉膛温度达到设置值并稳定后，读取测温系统的 OLED 上显示的测量温度值。测试数据如表 2：

表 2 0010 方式时的测量数据表

干体炉温度（℃）	实测温度（℃）
50	49.52
100	99.56
150	149.5
200	199.52
250	249.54
200	199.57
150	149.52
100	99.6
50	49.5

分析表 2 的数据，可以看出我们测温的结果比干体炉中标准铂电阻的测温结果低 0.4~0.5℃，这是由多方面的原因引起的，稍后会做详细的分析，但是该系统的重复性很好。

3.2 误差分析

在这个测温系统中，测量的温度产生误差的主要原因有以下几种：

1) 精密电阻不精确引入的误差

设 $R_{ref} = R + \Delta R$ ，则误差为：
$$\Delta R_{RTD} = (2 * N * \Delta R) / (65536 - k)$$

当环境温度为 0℃，采用 PT100（此时电阻值为 100Ω），采用精密电阻值为 5.11kΩ，精度为 0.1%时，精密电阻引入的绝对误差为 100*0.1%=0.1Ω。

2) 两个恒流源不匹配引入的误差

当输出电压为 0 时，，则误差为：

当条件同（1）时，恒流源不匹配引入的绝对误差为：Ω。

3) PT100 本身的误差

理论上，PT100 的阻值为 100Ω 时，它所处的环境温度 为 0℃。实际上，不同厂家不同批次甚至是同一批次生产出来的 PT100 都有或多或少的差异，当温度为 0℃ 时，其阻值不一定为 100Ω。

4) 干体炉本身误差

如果只考虑精密电阻和恒流源造成的误差，当环境温度为 0℃ 时，采用 PT100 引入的绝对误差为 0.35Ω，对应的温度误差为 0.9℃。我们设计的系统的误差只有 0.4~0.5℃，相对误差低于 1%，这说明该系统的测量精度是相当高的。如果使用前将 PT100 进行校准将会进一步减小系统的误差。

4 结论

本测量系统可实时采集铂电阻和热电偶信号，能够实现多种铂电阻和多种热电偶的温度测量，并将测量结果与测量类型显示在 OLED 上，也可通过 4~20mA 进行远程传输。实验证明该系统的测量精度高、重复性好、通用性强，具有一定的实用价值。

参考文献

1 叶林,邢科新,李辉,张杰,张洪.一种多通道温度采集系统的研制.现代电子技术,2006,(9):91-93.
2 张明春,肖燕红.热电偶测温原理及应用.攀枝花科技与信息,2009,34(3):58-62.
3 松井邦彦.传感器实用电路设计与制作.北京:科学出版社,2005.
4 杨永竹.铂电阻高精度非线性校正及其在智能仪表中的实

(下转第 247 页)

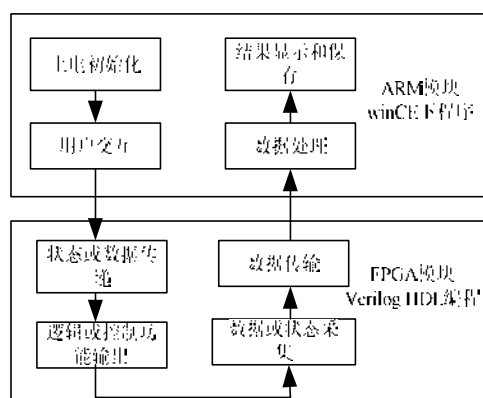


图 4 系统软件设计框图

实践中利用该系统完成了高速数据采集系统的设计。系统人机交互界面如图 5 所示。

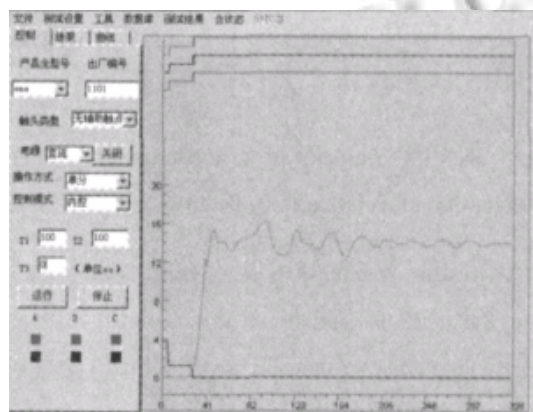


图 5 实际采集系统工作界面

2 结语

采用 ARM 与 FPCA 相结合的主从设计模式，发挥了 ARM 稳定性好，对硬件接口控制能力强的优势，又体现了 FPCA 在系统逻辑控制及高精度数据采集方

而的特性。采用 Windows CE 及 EVC 环境下 MFC 开发的测试软件界面更为友好、数据管理更为方便。通过研究解决了 Windows CE 操作系统下利用 EVC 编程应用程序时物理地址读写编程的困难，研究 Windows CE 系统下的软件设计在 ARM+FPGA 系统中的应用，对便携式、智能化、实时性仪器仪表深入开发有指导性意义。

参考文献

- 1 田家林,陈利学,寇向辉.基于 ARM 与 FPCA 的嵌入式数控系统设计.机床与液压,2003,(6):322-325.
- 2 朱晓鹏,肖铁军,赵惠.ARM+FPGA 的实时数据采集系统设计.计算机工程与设计,2009,30:3088-3090.
- 3 刘尧猛,马永军,丁忠林.基于 ARM9 和 FPGA 的嵌入式数字示波器.计算机应用与软件,2010,3:84-86.
- 4 Kayankit W, Suntiromhuth W. Hardware/software co-design for line detection algorithm on FPGA. 6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology. ECTI-CON 2009, 2009: 604-606.
- 5 杨林楠,李红刚,张丽莲,等.基于 FPGA 的高速多路数据采集系统的设计.计算机工程,2007,(4):246-248.
- 6 张冬泉,谭南林,王需梅,等.Windows CE 实用开发技术.北京:电子工业出版社,2006.
- 7 张新房,吕跃刚,徐太平,等.使用 Platform Builder 配置 Windows CE 操作系统.单片机与嵌入式系统,2002,(10):8-10.
- 8 温育峰,孙书鹰,毕博.Windows CE 下 I/O 操作方法研究.科学技术与工程,2008,9(17):5039-5041.
- 9 Chen HB. A Method for Calibrating the Ground-based Triple-channel Microwave Radiometer. In Micro. Radiomet. Remote Sens. Earth's Sur.f Atmosphere (Eds: Pampaloni P, Paloscia S.). VSP 2000: 365-369.
- 10 Pihlflyckt J. Controland Measurement System for Multi-channel Microwave Radiometer. Russia: Helsinki University of Technology. [2007-02-12]. http://lib.tkk.fi/Dip-1/2007/urn0_07760.pdf

(上接第 259 页)

- 现.仪表技术与传感器,2000,(8):44-46.
- 5 李书泽,张武高,张荣荣,等.高精度铂电阻测温电路优化设计.工业仪表与自动化装置,2005(1):26-28.
- 6 张志勇,辛长宇,朱玉龙,等.Pt100 温度传感器非线性的补偿方法与电路实现.电子器件,2007,30(6):2189-2191.
- 7 计量测试技术编写组.计量测试技术手册.北京:中国计量出版社,1997.
- 8 戴义保,陈多磊.高精密度温度测量的研究与实现.自动化仪表,2003,24(3):24-27.