

Multi-Channel Precision Temperature Measurement System Based on ARM

CHEN Shaojia^{1,2}, YANG Lei², ZHOU Xianda³

1. Dongguan University of technology, Dongguan, China

2. Physics Engineering School, Zhengzhou University, Zhengzhou, China

3. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou, China

Abstract: This paper introduces the working principle and hardware design of The Neutrino Experiment temperature measurement device. It contains one ARM system and two microcontroller systems. The former is responsible for sending the current temperature data to the remote monitoring terminal via web, The latter is responsible for temperature measurement and processing. They exchange data by using serial communication. The test results showed that this instrument is stable and reliable. Its precision achieved the project request.

Keywords: temperature measurement; ARM; isolation

基于 ARM 的多通道温度精密测量系统

杨雷¹, 陈少佳², 周显达³

1. 东莞理工学院电子工程学院, 东莞, 中国, 523808

2. 郑州大学物理工程学院, 郑州, 中国, 450001

3. 华南理工大学电力学院, 广州, 中国, 510641

摘要: 介绍了中微子实验温度测量装置的工作原理和硬件实现。该测量装置由一个 ARM 系统和两个单片机系统组成, 单片机系统实现前端温度的测量和处理, ARM 系统实现将当前的温度值通过网络上传给远程的监控终端, 单片机系统和 ARM 系统之间采用串行通信方式。长期实验运行表明, 该装置运行稳定可靠, 精度高, 满足了中微子实验温度测量的要求。

关键词: 温度测量, ARM, 隔离

1 引言

中微子实验需要设计可靠的监测系统, 能够长期稳定地监测各种环境变量: 如温度、湿度、电子学工作电压、电流、氮气密度、水池的精确水位等, 以实现探测器性能的长期稳定, 达到高精度测量的要求。对于温度, 通过对传感器的比较, 采用了精度高、稳定性、回差和重复性误差都很小的 PT100 铂电阻传感器, 测量中通过施加恒定的电流将电阻值变为电压进行测量, 进而折算出温度值。中微子实验对温度的测量有如下要求:

- 1) 测量点数: 每个试验站 12 个点;
- 2) 测温范围: 0~50℃;
- 3) 分辨力: ±0.1℃;
- 4) 准确度: ±0.2℃;

由于中微子探测器分布范围广、工作站多, 而且要求测量系统的数据能够实时的传送至远程监控

终端, 这就要求各个测量装置在稳定可靠的同时,

具有网络互联功能。基于 ARM 的嵌入式测量装置, 既可以实现微型化、高可靠性, 同时可以运行嵌入式操作系统、与网络互联方便。

2 正文

2.1 总体系统方案

总体系统架构如下图 1 所示。

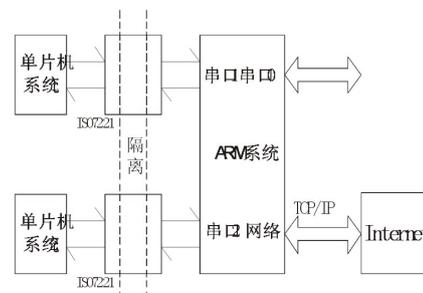


Figure 1. System architecture

图 1. 系统总体架构

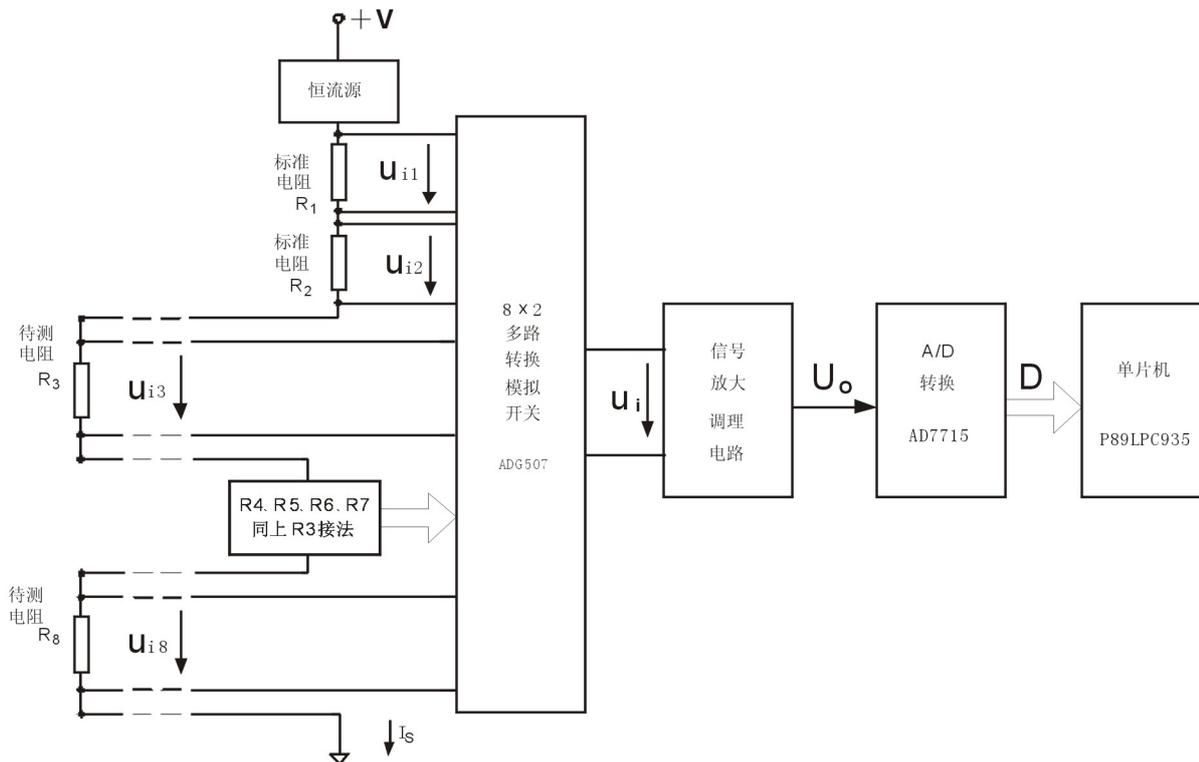


Figure 2. The resistance measurement circuit based on the four-wire connection and self-tuning

2. 基于四线制接法和自校正设计的电阻测量电路

由于每个试验站有 12 个温度待测点,为了保证测量装置工作高效、稳定、可靠,每个测量装置采用两个单片机系统和一个 ARM 系统的组合工作方式。单片机系统实现前端温度的测量和处理,这两个单片机系统软件和硬件是完全一致的,每个单片机系统监测 6 个点的温度,ARM 系统实现将当前的温度值通过网络上传给远程的监控终端,由于这两个单片机系统和 ARM 系统在一个机箱内,通信距离小于 1m,因此他们之间的通信采用简单的串行通信方式。

2.2 单片机系统

2.2.1 测量原理

中微子实验每个试验站温度待测点与温度测量装置最大距离为 60m,这样 PT100 引线电阻及引线长度的离散性远远超过了给定准确度的要求,同时测量电路工作环境温度也在不断变化,测量电路漂移的影响尤为突出。要达到上述测量指标,必须采取合适的测量方法和算法。在此系统中,采用了一种基于“四线制电阻信号传输和自校正电阻测量法”的测量方法,有效克服了引线和漂移的影响,取得了较好的测量效果。

基于四线制接法和自校正设计的电阻测量电路如图 2 所示

如图中, RN 即 Pt100 为待测电阻, R1, R2 采用精度为±0.01%、温度系数为±2ppm 的标准电阻,即使工作环境温度有±30℃ 的变化,相应阻值变化也仅有

0.006%,可忽略不计而视其为已知的常数。恒流源同时向串联的电阻供电,各个电阻上的信号电压通过模拟开关的切换,分时送给同一个放大调理电路,信号处理后输送至 A/D 转换器及微控制器。设 A/D 的三个结果为 D0N、D01、D02,则有:

$$D_{02} = K_2 \times R_2 + D_{2f}$$

$$D_{01} = K_1 \times R_1 + D_{1f}$$

$$D_{0N} = K_N \times R_N + D_{Nf}$$

K1、K2、KN 分别为从电阻加载电流源变为电压信号、经调理电路至 A/D 转换结果中的比例系数;D1f、D2f、DNf 分别为经调理电路至 A/D 转换结果中的零点(包括漂移部分)。因为整个处理过程为线性处理,所以 A/D 转换结果与电阻可以用上述表达式。由于三个电阻经模拟开关后的后续电路是同一个电路,而后续点电路的参数及电流源的大小在短时间(秒级)内是不变的,即: K1=K2=KN; D1f=D2f=DNf; 由测得的三组 A/D 值 D01、D02、D0N 可解出:

$$R_N = \frac{D_{0N} - D_{01}}{D_{02} - D_{01}}(R_2 - R_1) + R_1$$

显然, RN 只取决于测量结果的相对值,漂移对测量的影响被抵消了。可见,此方法对整个电路的漂移都具有实时的自校正功能。与其它具有温度补偿功

能的测量方案[1,5]相比,它不需要测量测量仪器的环境温度,也无须进行复杂的软件计算,且电路简单、调试方便,因而更具实用性。

上述电路中采用了“四线制”接法克服了长引线电阻带来的误差。信号传递通道中的模拟开关,因为其后续部分为输入阻抗非常大的仪表放大器,因而开关上几乎没有电流只传递电压信号,其导通电阻本身及其不均匀性的影响都可忽略。

对 PT100 温度传感器来说,当 $0^{\circ}\text{C} \leq t \leq 50^{\circ}\text{C}$ 时,用端基线形拟合法求得线形方程为:

$$R = 0.39392t + 100$$

运用此公式,即可得待测点的温度。

2.2.2 测量电路

在图 2 中,除了 R_1 (100Ω)、 R_2 (120Ω) 采用精度为 $\pm 0.01\%$ 、温度系数为 $\pm 2\text{ppm}$ 的精密电阻外,其他模拟电路中均选取常规元器件; 8×2 模拟开关选用 ADG507; A/D 转换器选用 16 位 AD 转换器 AD7715,其非线性误差最大为 0.0015% ; 单片机选用 P89LPC935。每一个待测热电阻的计算公式为:

$$R_N = \frac{D_{0N} - D_{01}}{D_{02} - D_{01}} \times 20 + 100$$

求得热电阻值后,可由下面的关系式得出待测点温度:

$$R = 0.39392t + 100$$

2.3 ARM 系统

2.3.1 通信电路

ARM 系统主要实现两个功能:其一就是实时的保持和两个单片机系统的数据传输;其二就是实时的将温度值上传给远程的监控终端。ARM 控制器选用三星公司的 S3C2410。S3C2410 是三星公司推出的 16/32 位 RISC 处理器,ARM9 内核,S3C2410 在片上集成了丰富的组件,这样从而大大减少了整个系统的成本,省去了为系统配置额外器件的开销。S3C2410 有三个串口:串口 0、1、2。串口 0 预留下来用做 Linux 控制台,串口 1 和 2 分别和两个单片机系统进行通信。

为了防止系统之间噪声的串扰,同时为了防止破坏性电压对不同系统之间的损害,单片机系统和 ARM 系统之间必须要进行隔离。传统的常用隔离方法是采用光耦进行隔离。光耦分为线性光耦和高速光耦。线性光耦传输速度慢,因此不适合用来作总线隔离;高速光耦传输速度快,但是高速光耦的 CTR 一般都比较低,一般都得需要 10mA 以上的电流才能保证系统工作稳定可靠,对 S3C2410 来说,它的每个 I/O 的驱动

电流能力最大也不超过 12mA ,因此如果 S3C2410 的 I/O 口直接驱动光耦,从长期的角度考虑,这样是不安全的,若在光耦芯片和 ARM 芯片之间加驱动器无疑会增加电路的复杂性,同时增加 PCB 的布板面积。

TI 公司推出的 ISO7221 是一种基于电容隔离技术的数字隔离器,仅需几十微安的电流,即可保证电路稳定可靠工作;它的最高传输速率可以达到 150M ;每片 ISO7221 有两个通道、双向的 Tx/Rx。因此它非常适合用来作串口通信隔离。采用 ISO7221 来隔离单片机系统和 ARM 系统,可以保证系统工作稳定可靠,又由于它采用的是电容隔离技术,具有较高的抗电磁干扰能力。

2.3.2 网络通信电路

以太网是由 Xerox 公司开发的一种基带局域网碰撞检测 (CSMA/CD) 机制,使用同轴电缆作为传输介质,数据传输速率可以达到 10Mb/s ;使用双绞线作为传输介质,数据传输速率可以达到 100Mb/s 或 1000Mb/s 。现在普遍遵从 IEEE802.3 规范。本项目采用网络芯片 CS8900A 实现与以太网的通信。CS8900A 是由美国 CIRRUS LOGIC 公司生产的以太网控制器,由于其性能优良、功耗低及价格低廉,使其在市场上 10Mb/s 嵌入式网络应用中占有相当的比例。CS8900A 的主要性能有:符合 IEEE802.3 标准;全双工,收发可同时达到 10Mb/s 的速率;内置 SRAM,用于收发缓冲,降低了对主处理器的速度请求;支持 16 位数据总线,4 个中断申请线和 3 个 DMA 请求线;100 脚的 LQFP 封装,缩小了 PCB 的尺寸。

3. 结论

单片机系统完成前端温度采集和数据处理,ARM 系统将温度数据上传给网络,单片机系统和 ARM 系统采用串行通信方式。这种组合系统设计方式,即减轻了各个系统的运行负担,又使系统运行高效、稳定、可靠。采用了“四线制电阻信号传输和自校正电阻测量法”的测量方法,有效的克服了引线 and 漂移的影响,取得了较好的测量效果。系统长期运行表明,整个系统满足分辨力为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、准确度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 的设计要求。系统工作稳定可靠,满足了中微子实验的温度测量要求。

References (参考文献)

- [1] Lu Yang, Han Jianghong, Wei Zhen. Temperature Compensation Approach of Pt Resistance Temperature Measurement System[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument. 2000 Vol.21 No.3, P255-257.
陆阳,韩江洪,魏臻,等.铂电阻测温系统温度补偿方法[J].仪器仪表学报,2000,21(3):255-257.

- [2] Yang Lei, Zhang Jiangqi. Electronic Measurement and Sensor Technology[M]. Beijing: Peking University Press, 2008: P288-291.
杨雷, 张建奇, 等. 电子测量与传感技术[M]. 北京: 北京大学出版社, 2008: 288-291.
- [3] Liu Shaoqiang, Zhang Jing, Zhuang Zheming. The High Precise Temperature Measurement With 3-Wire Platinum Resistor[J]. Process Automation Instrumentation. 2002.No.11, P745-747.
刘少强, 张靖, 庄哲民. 三线制铂电阻高精度测温方法[J]. 自动化仪表, 2002, (11): 21-24.
- [4] Cao Yuqiang, Jia Lei. Reducing Compensation Approach for Temperature Drift in Temperature Measurement[J]. Acta Metrologica Sinica, 2003 No.01, P32-35.
曹玉强, 贾磊. 测温系统温度漂移的还原补偿法[J]. 计量学报, 2003, (01): 32-35.
- [5] Meng Li. Design of Embedded Remote Temperature Monitoring System Based on Advanced RISC Machine Electronics. Electric. 2003 Vol.1 No.06, P-13.
孟力. 基于 ARM 处理器的嵌入式远程温度监控系统设计. 电工电气. 2009, 1(06): 1-3.
- [6] Liu Sen, Mu Chundi; Zhao Mingguo. Humanoid robot controller based on ARM embedded system. Journal of Tsinghua University (Science and Technology). 2008, Vol.9 P482-485.
刘森, 慕春棣, 赵明国. 基于 ARM 嵌入式系统的拟人机器人控制器的设计. 清华大学学报(自然科学版). 2008, 9(04): 482-485.