

一种简易的高精度测温系统研制

陈慧明 杨灿军 陈 鹰

(浙江大学流体传动及控制国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 分析了常用热电偶测温系统的一般结构, 即通常包括滤波、放大、冷端补偿和信号线性化处理几个模块, 因此电路结构复杂、开发成本高且易受干扰。针对这一缺点, 开发了基于 K 型热电偶专用信号处理集成芯片 MAX6675 的测温系统, 并详细分析了系统的特点及其实现手段。该系统通过设计专门的硬件电路, 消除了温度集成芯片中放大器的零漂、温漂和时漂对系统精度的影响, 同时通过软件手段, 降低了 MAX6675 的测温误差, 使系统测温精度远高于 MAX6675 的工厂校准温度, 达到在室温下 $\pm 0.25^\circ\text{C}$ 的精度等级, 因此创建了结构简单、高精度、低功耗的温度采集系统。

关键词: MAX6675 高精度 温度测量 热电偶

Study on a Facilitated High Precision Temperature Measurement System

Chen Huiming Yang Canjun Chen Ying

(The State Key Laboratory for Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University Hangzhou 310027)

Abstract: The paper analyzes usual structure of temperature measurement system with thermocouple, which usually includes filter, magnifying apparatus, cold-junction compensation and signal linear calculation. So the structure are complex and high cost. Therefore, we have designed a temperature measurement system based on chip MAX6675, a converter which can perform cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. In this paper, we analyze the system's characteristics and the way to realization in detail. This system eliminate the influence of the amplifier's zero drift, output voltage drift and long term stability. By designing software, we improve the system's precision, up to degree of $\pm 0.25^\circ\text{C}$, highly exceed the MAX6675's factory calibration precision. All of these make it be a simple structure, high precision and low power temperature measurement system.

Keywords: MAX6675, high precision, temperature measurement, thermocouple.

1 引言

工业生产过程中常需要对温度进行长期连续的测量。热电偶传感器由于结构简单、价格便宜、测量范围广, 因此常被广泛使用。使用热电偶作为温度传感元件时, 通常需要设计冷端补偿电路, 并进行信号的非线性处理, 这些无疑增加了系统的结构复杂性和设计成本。在某些应用场合, 要求测温系统能够尽可能的简单、可靠, 此时常用的热电偶信号处理方法, 即/ 传感器- 滤波器- 放大器- 冷端补偿- 信号非线性处理- APD 转换器模式常常由于结构过于复杂而不满足要求。本文研究的温度采集系统使用了高精密度的集成芯片 MAX6675, 体积小且不需要其他任

何的外围电路,大大减少了电路中的元器件和 I/O 连线,从而简化了系统结构。为提高系统的测温精度,我们设计了专门的硬件结构来消除元器件的零漂、温漂和时漂影响,并使用温度标定等软件手段,进一步提高了测温精度。

2 系统描述

本文研究的温度采集系统结构框图如图 1 所示。温度传感元件采用热电偶传感器。多个热电偶传感器分别探测不同环境的温度,每个热电偶单独连接一个 MAX6675 芯片,P 口通过译码器译码处理后,控制热电偶的

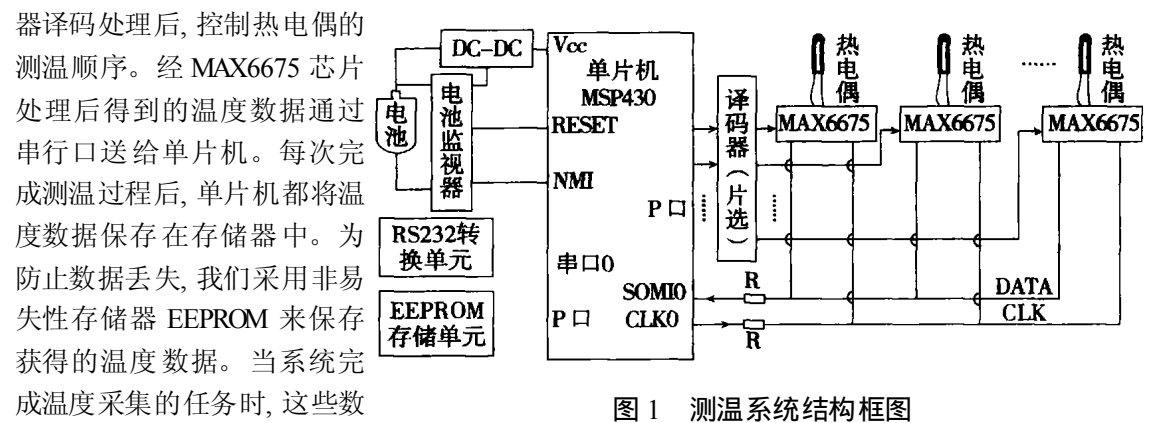


图 1 测温系统结构框图

据通过 RS232 接口转移到 PC 机中,以便进行进一步的分析和研究。系统采用电池供电,通过 DC - DC 转换器件为单片机提供一个稳定的供电电压。同时使用了电池监视器,当电池电量不足时,系统能自动报警并保存相关的状态数据。

3 系统特点

本文研究的温度采集系统有几个突出的特点:(1)结构简单,(2)精度高,(3)功耗低。因此当 K 型热电偶作为温度传感元件时,使用本文设计的系统来测量温度,可在满足高精度要求的前提下,大大减小系统尺寸,简化电路结构,降低开发周期和系统成本。

3.1 结构简单

测量温度时,当采用热电偶作为传感元件时,传统测温系统的电路结构通常比较复杂。这是由热电偶的特性决定的。热电偶的输出信号不高,即便是灵敏度较高的 K 型热电偶,其信号量仅为大约 $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$,这么微弱的信号需要经滤波和放大处理。又由于在工业现场,测温系统所处的环境温度通常并不恒定,为了能够准确测温,我们需设计冷端补偿电路来消除由于热电偶冷端温度变化带来的影响。除此之外,由于(热电势)温度0的关系并非是非线性的,通常还需对信号进行线性化处理。这些环节的任何一环,都需要选择元器件、设计电路并进行调试,在一定程度上增加了系统的复杂性并使电路板尺寸增大。本系统采用美国美信公司(MAXIM)的 K 型热电偶输出信号专用处理芯片 MAX6675 来实现(热电势)温度0的转换。这是一款高精密度的集成器件,体积小

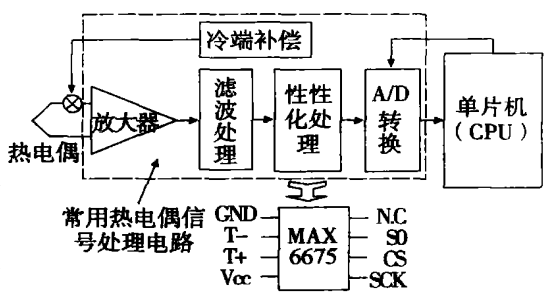


图 2 常用热电偶测温电路结构

(面积为 20mm^2), 却集成了放大器、滤波器、电平比较器, 并自动实现冷端补偿, 能将 K 型热电偶输出的热电势直接转换为代表温度数值的 12 位数据, 分辨率为 0.125e 。温度数据通过它的同步通信 (SPI) 接口输给微控制器。图 2 形象地描述了 MAX6675 所集成的功能, 虚线框内为常用热电偶信号处理过程所需要单独设计的模块, 在本测温系统中, 我们用一片 MAX6675 来代替这些模块。集成芯片的质量有厂家严格把关, 因此本系统不仅简化了系统结构, 而且减少了出错环节, 增强了系统稳定性。

3.1.2 精度高

尽管使用 MAX6675 能大大的简化系统结构, 但是, 像其他的高精密度温度集成器件一样, 该芯片的工厂校准精度不高。当其供电电压 V_{cc} 为 5V 时, 在 $0\text{e} \sim 700\text{e}$ 范围内的测温精度为 $\pm 2.125\text{e}$, 在 $700\text{e} \sim 1000\text{e}$ 范围的测温精度为 $\pm 4.175\text{e}$ 。这一精度虽然足以满足许多应用场合的要求, 但是有些科研或工业应用中需要更高的精度要求。为此我们采用如下手段来提高系统的测温精度, 使系统在 $0 \sim 100\text{e}$ 范围内达到 $\pm 0.125\text{e}$ 的高精度。

3.1.2.1 设计了特殊的电路结构

MAX6675 是通过内置的两个集成放大器对热电偶输出的微弱热电势进行放大来实现 (热电势) 温度到数字的转换的。由于放大器无一例外的存在着零漂、温漂以及时漂, 这些漂移量相对于热电偶输出的微弱热电势来说, 是不可忽略的。即使是一些低失调电压的运放, 其输入失调电压也将近 $100\mu\text{V}$, 失调电压温漂大约为 $10\mu\text{V}/\text{e}$, 而 K 型热电偶本身的输出电平只有大约 $41\mu\text{V}/\text{e}$ 。因此必须想办法消除 MAX6675 中放大器的漂移特性, 特别是当系统所处的环境温度变化较大时。消除漂移的电路简图如图 3 所示 (MAX6675 的信号接入端即为放大器的两个引脚, 因此用图中虚线部分简单表示该芯片)。其工作步骤为:

(1) CPU 控制模拟开关, 让 1 闭合, 2 断开, 将此时 MAX6675 输出的温度数据放在寄存器 R1 中。

(2) 控制模拟开关让 1 断开, 2 闭合, 将此时 MAX6675 输出的温度数据放在寄存器 R2 中。

此时, 由于输入信号为零, 因此 R2 中的数据是由 MAX6675 内置放大器输出的失调电压引起的, 此电压为由放大器本身的零漂、温漂以及时漂引起的失调电压总和。由于这些漂移因素都是一个缓慢的过程, 而模拟开关的切换是非常快的, 因此, 只要我们将寄存器 R1 中的值减去 R2 中的值, 得到的便是消除了由 MAX6675 中放大器引起的零漂、温漂以及时漂干扰后的精确数据。

3.1.2.2 重新标定温度数据

我们知道, 即使是同一分度号的热电偶, 其 (热电势) 温度到数字关系的偏差也是比较大的, 为了在大范围内获得较高的测温精度, 我们对测温范围内的输出数据进行重新标定。温度定标设备有可控温度的恒温槽和一级铂电阻温度计, 其中恒温槽的控制精度能达到 0.11e , 一级铂电阻温度计的测量精度为 0.101e 。定标时把本系统的热电偶传感器和一级铂电阻温度计一起放入恒温水槽内, 调节恒温槽的温度, 以 0.125e 为步长, 记录本测温系统输出的温度值和一级铂电阻温度计输出的温度值 (认为是标准的温度值), 形成一张离散的系统输出值和标准值之间的分度表。其关系可表示为:

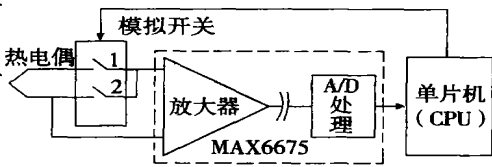


图 3 消除电压漂移的电路结构

$$T_i = F(t_i) \tag{1}$$

式中, T_i 为一级铂电阻温度计输出的温度值
 t_i 为本测温系统的输出值
 t_i 和 T_i 为一一对应关系, 即知道了 t_i , 我们便知道了与之对应的真是温度 T_i 。因此, 当以后测温系统测量温度时, 我们便能根据它的测量温度 t_i 得出真实的温度 T_i 。因为数据量较少, 我们采用顺序比较法来获得温度 T_i , 即将测量温度 t_i 与以 $0e$ 为起始点, $0.125e$ 为步长的每一个温度值进行逐一比较。获得温度 T_i 的程序流程如图 4 所示。

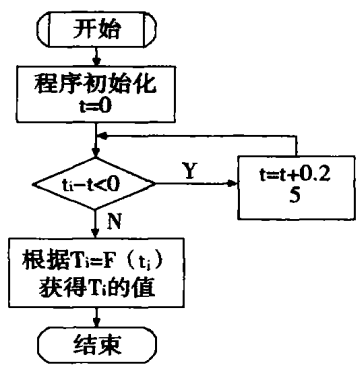


图 4 温度测量程序流程图

3.1.3 功耗低
温度采集系统通常需要对某个环境的温度进行长期连续的测量, 并将这些数据放在存贮器中, 以备将来分析研究。由于一般温度采集系统都采用电池供电的方式, 因此迫切要求系统具有低功耗的特性。本系统采用美国德州仪器公司(TI)的 MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机, 当单片机工作在休眠模式时, 其功耗只有大约 6 个 μW , 是常用的 80C51 单片机的 IP4000。通常测温系统工作在采集温度状态下的时间占的比例很少, 即系统可以长期工作在休眠模式下。因此, 当系统不需要采集温度时, 我们可以断开 MAX6675 的供电电源, 并通过软件设置使系统处于休眠状态下, 这样系统的整体功耗极低, 只有几十个 μW 。即使使用几节普通的干电池也能实现长期供电。

4 结 语

为验证系统的精度, 我们采用与前面所述的温度标定类似的方法, 将系统的热电偶传感器和一级铂电阻温度计一起放入恒温水槽内, 获得系统的测量温度和一级铂电阻温度计的测量数据, 并进行比较, 从而获得系统的误差曲线。此误差曲线示于图 5。从图中可以看出系统的测量误差均在 $\pm 0.125e$ 以内。因此利用本文研究的测温方法来测量温度, 能实现满足在结构简单和超低功耗的前提下, 实现高精度的要求。同时, 由于 T 型热电偶跟 K 型热电偶在低温区有非常相似的温度特性, 因此, 当采用 T 型热电偶作为温度传感器时, 也可采用本系统来测量温度。

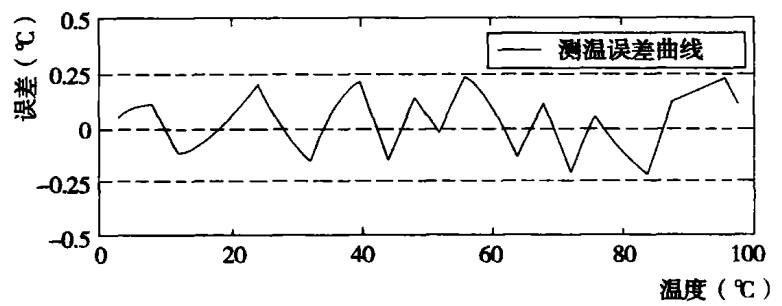


图 5 系统测量误差

参 考 文 献

[1] 赵继文等. 传感器与应用电路设计[M], 北京: 科学出版社, 2002 年 9 月。
[2] 杨宝清. 现代传感器技术基础[M], 北京: 中国铁道出版社, 2001 年 6 月。
[3] 梁新荣. 高精度多路温度检测系统的研制[J], 仪表技术与传感器, 2001, 第 6 期: 16- 17, 27。
[4] 吴明钰, 李建国. 高精度 CTD 剖面仪温度传感器[J], 海洋技术, 2001, 20(1), 143- 146。

进行加速度计标度因数温度特性补偿是完全可行的。能够分析设计适应不同标度因数温度特性的温补网络,特别是对于非线性特性有很好的补偿效果,所有参数可直接由 CAD 仿真得到,不需进行多次温度试验。

表2 温度场加速度计标度因数温度特性试验结果

产品编号	补偿前标度因数温度特性(ppm)	仿真补偿结果(ppm)	温度场试验结果(ppm)
Z03	50	10	12
Z14	60	5	9
Z41	55	5	6
Z59	70	10	16

5 结 论

使用计算机辅助仿真分析,能够设计制作加速度计标度因数温度特性的温补网络,对不同的标度因数温度特性具有很好的适应性,解决了需要进行大量温度试验进行标度因数温度补偿的问题,采用仿真分析补偿后的加速度计标度因数温度特性指标达到 5~ 20ppmPe。使得加速度计具有使用方便、适应性强和易于批生产等特点。

参 考 文 献

[1] 黄忠霖编著,控制系统 MATLAB 计算与仿真,北京,国防工业出版社,2001.
[2] 贾新章等,电子电路 CAD 技术,西安,西安电子科技大学出版社,2002.
[3] 苏中等,数字线加速度传感器的研究,电子测量与仪器学报,1998,第 12 卷(1):38- 41.



作 者 简 介

苏中: 男,1962 年出生,博士。北京信息工程学院副教授,主要研究方向为信号获取与处理、姿态控制、过程控制、惯性器件与系统及 PC- Based 控制。

(上接 32 页)



作 者 简 介

陈慧明: 1979 年出生,现为浙江大学硕士生。研究领域包括: 深海环境下载传感器的集成与封装、微弱信号检测及处理技术。