

# 基于 STM32 的多路温度采集系统设计

李杉<sup>1</sup>, 庾先国<sup>1,2</sup>, 张贵宇<sup>1,2</sup>, 陈林<sup>1</sup>

(1. 四川理工学院自动化与信息工程学院, 四川 自贡 643000; 2. 人工智能四川省重点实验室, 四川 自贡 643000)

**摘要:**设计了一种基于 STM32 的多路温度采集系统, 阐述了系统的实现方法及设计方案。系统以 STM32F103C8T6 作为核心控制器, 以四线制 PT100 铂电阻作为温度传感器, 由控制器控制多路模拟开关地址信号实现多路温度传感器选取。为提高系统测温准确性和稳定性, 采用三电阻自校正法提高 PT100 电阻值计算精度, 数字隔离电路隔离控制系统与现场信号, 增强系统抗干扰能力, 并对恒流源电路和信号调理电路进行了分析设计。在系统软件上, 采用 PT100 分度函数分段线性拟合, 以简化电阻—温度换算过程, 提升软件执行效率。实验测试表明, 在 0~100℃ 测温范围内, 系统测温精度为  $\pm 0.1$ ℃, 测温分辨率为 0.01℃, 能够满足 22 路温度数据采集的需要。

**关键词:**STM32; 多路温度采集; 自校正; 数字隔离; 线性拟合

**中图分类号:**TP274

**文献标志码:**A

## 引言

温度用于表征物体的冷热程度<sup>[1]</sup>, 在日常生活、工业生产和科学研究中是一个非常普遍又极为重要的物理参数, 许多领域如电力、化工、石油、热处理和食品加工等都涉及到对温度信息的采集<sup>[2-3]</sup>。随着工业 4.0、中国制造 2025 等战略的推进, 各大生产企业对传统生产模式实施信息化、智能化改革, 并不断扩大自动化生产规模, 在该形势下使得生产中需要采集的温度点数量增多, 温度采集环境电磁干扰复杂性增大<sup>[4]</sup>, 由此对温度采集系统的精度、集成度和可靠性等指标提出了更高要求。鉴于以上要求, 本文选取 STM32 微控制器为控制核

心, PT100 铂电阻为温度传感器, 利用多路模拟开关实现多个传感器选取, 数字隔离电路隔离控制系统与现场信号, 设计出一款适用于工业应用的高精度、低成本、抗干扰能力强的多路温度采集系统。

## 1 系统组成及测温原理

### 1.1 系统组成

如图 1 所示, 多路温度采集系统由四线制 PT100 温度传感器、标准电阻 ( $R_1$  和  $R_2$ )、恒流源电路、多路模拟开关、信号调理电路、AD 转换电路、RS485 电路、数字隔离电路以及 STM32 微控制器电路组成。在拓扑结构上, 系统划分为现场侧和控制侧。

收稿日期:2018-03-05

基金项目:四川省科技计划重点研发项目(17ZDYF3058);四川理工学院研究生创新基金项目(Y2017035)

作者简介:李杉(1993-),四川渠县人,硕士生,主要从事白酒自动化方面的研究,(E-mail)729216289@qq.com

通讯作者:庾先国(1965-),湖南澧县人,教授,博士,主要从事智能机器人与仪器仪表技术方面的研究,(E-mail)tuoxianguo@suse.edu.cn

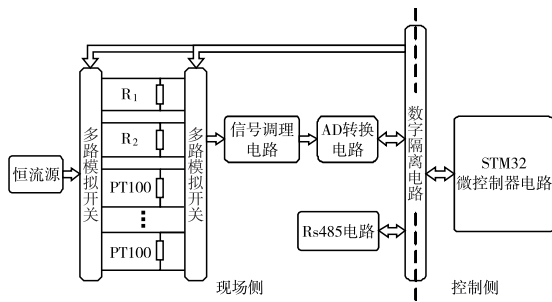


图1 多路温度采集系统整体结构

## 1.2 测温原理

温度采集系统根据 PT100 铂电阻阻值随温度变化而变化这一特性,采用恒流源将 PT100 电阻值转变为电压值,模拟电压经信号调理电路和 AD 转换电路转换为数字量后发送至 STM32 微控制器,再由 STM32 微控制器将采集到的电压值换算为温度值,并采用 RS485 通讯方式将温度数据发送至上位机。系统通过控制多路模拟开关选通待测 PT100,实现对多个测温点的温度采集。

在温度采集过程中,减小 PT100 电阻值计算误差是实现高精度温度采集的关键,因此本系统采用三电阻自校正法<sup>[5-6]</sup>提高 PT100 电阻值计算精度。三电阻自校正法通过采集标准电阻  $R_1$ 、 $R_2$  和 PT100 铂电阻所在通道的三个电压值即可求得待测 PT100 电阻值,其计算过程避免了对恒流源、放大增益以及 AD 参考电压等存在误差的参数的直接计算,结果只受标准电阻  $R_1$  与  $R_2$  精度影响。标准电阻  $R_1$  与  $R_2$  通过选取高精度、低温漂的精密电阻,以实现 PT100 电阻值计算精度的提高。

## 2 系统硬件电路设计

### 2.1 恒流源电路

PT100 是电阻类器件,其激励电流应不大于  $1 \text{ mA}$ <sup>[7-8]</sup>。为此采用 TI 公司的集成差动运放芯片 INA132 与运放芯片 OPA333 构成输出为  $1 \text{ mA}$  的恒流源电路,其中 INA132 构成同相求和和运放电路,OPA333 构成电压跟随器,电路如图 2 所示。

$U_{ref}$  由低噪声、高精度基准电压源 ADR4525 提供  $2.5 \text{ V}$  电压,  $R_5$  选取阻值为  $2.5 \text{ k}\Omega$  的金属膜电阻。根据理想运放虚短、虚断原理可得到:

$$\begin{cases} U_d = U_b \\ U_c = (U_{ref} + U_d)/2 \\ U_a = 2U_c = U_{ref} + U_d \end{cases} \quad (1)$$

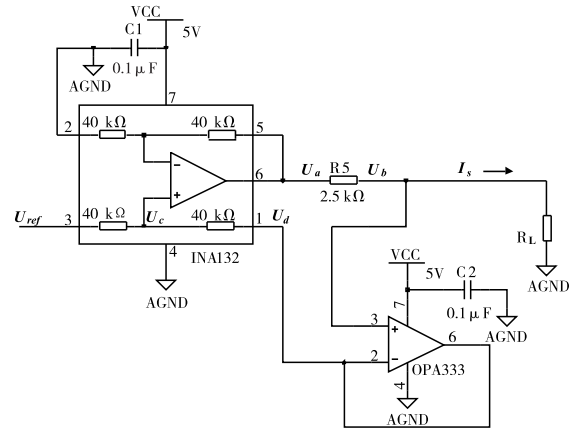


图2 恒流源电路

由此可推算出:

$$I_s = \frac{U_a - U_b}{R_5} = \frac{U_{ref}}{R_5} = 1 \text{ mA}$$

### 2.2 多路模拟开关

多路模拟开关选取 8 路差分模拟开关芯片 ADG507,其具有低漏电流以及低导通电阻。本系统以 2 片 ADG507 芯片为一组实现待测通道电阻选取,其中 1 片 ADG507 选通恒流源至待测电阻,另外 1 片选通待测电压至信号调理电路,两片 ADG507 的通道地址引脚和使能引脚分别连接在一起,由 STM32 微控制器同时控制。多路模拟开关实现了信号调理电路和 AD 转换电路的复用,使得多通道具有一致性,同时极大降低了硬件设计成本。

### 2.3 信号调理电路

信号调理电路由滤波电路和仪表放大电路组成,滤波电路采用差分低通滤波器,可有效滤除工业环境中的工频干扰及其他高频干扰;仪表放大电路由 AD620 仪表放大器构成,其放大增益通过一个外部增益电阻  $R_c$  进行设置,实现将滤波后的电压放大至 AD 转换器量程内,信号调理电路如图 3 所示。

由于 PT100 电压呈直流特性且变化缓慢,同时系统通道切换频率低,因此将差分低通滤波器带宽设计在  $50 \text{ Hz}$  以下。对于差分低通滤波器,  $R_3$  和  $R_4$  典型值为  $2 \text{ k}\Omega$  或  $10 \text{ k}\Omega$ ,  $C_3$  电容值决定滤波器差分带宽,其取值在不使输入信号衰减的情况下要尽可能小,  $C_1$ 、 $C_2$  电容值决定共模带宽,为获得较好的交流共模抑制性能,  $C_1$ 、 $C_2$  的值应为  $C_3$  电容值的 10% 或更小<sup>[9]</sup>。本系统取  $R_2 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = C_2 = 0.47 \text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_3 = 4.7 \text{ }\mu\text{F}$  得到:

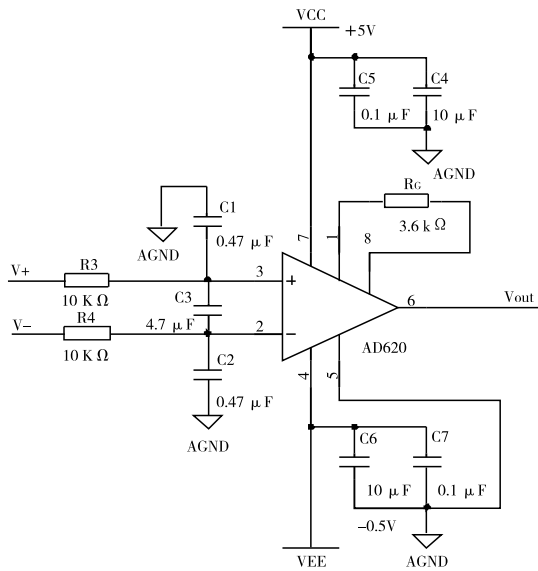


图 3 信号调理电路

$$FilterFreq_{CM} = \frac{1}{2\pi RC_C} \approx 33.86 \text{ Hz}$$

$$FilterFreq_{DIFF} = \frac{1}{2\pi R(2C_D + C_C)} \approx 1.61 \text{ Hz}$$

因此设计出的滤波器能有效滤除频率大于 33.86 Hz 的共模干扰和频率大于 1.61 Hz 的差模干扰。

### 2.4 数字隔离电路

工业生产现场常存在不同形式的电磁干扰,干扰信号会以空间辐射和线路串扰等方式耦合到系统中,影响微控制器正常工作,降低系统稳定性和可靠性。因此,本系统采用 ADI 公司的磁耦数字隔离芯片进行数字隔离,相比普通光电隔离器件,不需要外部驱动器件或分立元件,具有性能高、功耗低、体积小等优势<sup>[10-11]</sup>,将其设置在 AD 转换电路和 RS485 电路与 STM32 之间,实现控制系统与现场隔离的目的,提高系统抗干扰能力。

## 3 系统软件设计

### 3.1 PT100 分度函数分段线性拟合

0 °C ~ 650 °C 范围内,PT100 电阻值与温度关系可用如下分度函数表示<sup>[12-13]</sup>:

$$R_t = R_0(1 + AT + BT^2) \quad (2)$$

其中,  $R_0 = 100 \Omega$  (0 °C 时 PT100 电阻值),  $A = 3.9083 \times 10^{-3}$ ,  $B = -5.775 \times 10^{-7}$ ,  $R_t$  为 PT100 电阻值,  $T$  为 PT100 温度值。

由式(2)可知,PT100 的分度函数呈非线性且函数

关系复杂,STM32 直接处理该函数不仅编程麻烦且计算费时。这里对式(2)进行分段线性拟合处理<sup>[14-16]</sup>,得到 0 ~ 50 °C 和 50 °C ~ 100 °C 的  $T - R_t$  一次线性表达式:

$$\begin{cases} T = (R_t - 100.0000)/0.387943, (0 \leq T \leq 50) \\ T = (R_t - 100.2887)/0.382168, (50 < T \leq 100) \end{cases} \quad (3)$$

$R_t$  在 0 °C ~ 50 °C 所对应的值为 100 Ω ~ 119.3971 Ω, 50 °C ~ 100 °C 所对应的值为 119.6962 Ω ~ 138.5055 Ω。通过在程序中判断  $R_t$  所在区间,选择式(3)中所对应的  $T - R_t$  函数完成温度值计算。

### 3.2 软件工作流程

系统工作时,首先采用三电阻自校正法求取待测 PT100 电阻值  $R_t$ ,之后选择相应  $R_t - T$  转换公式完成温度值计算,最后将采集到的温度数据发送至上位机,软件工作流程如图 4 所示。

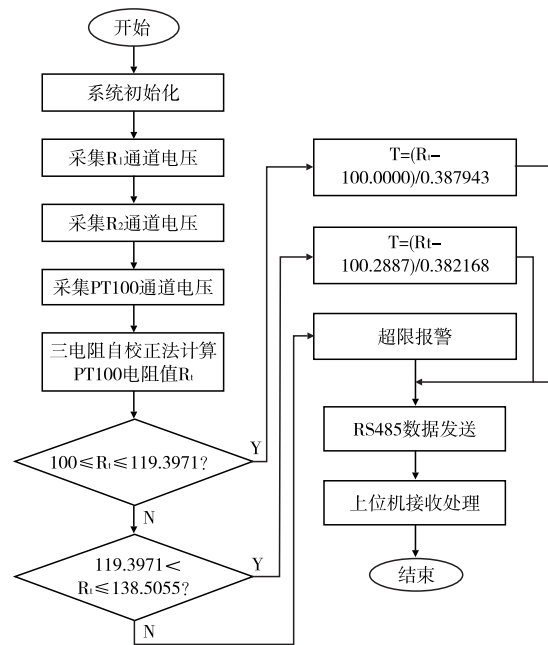


图 4 软件工作流程图

## 4 实验测试

电路板实物如图 5 所示。

本文设计的温度采集系统能够实现 22 路温度数据采集。由于采用多路模拟开关实现对信号调理电路和 AD 转换电路的复用,因此各个测温通道转换具有一致性。为避免实验测试工作重复,实验任意选取 2 路通道 A 和 B 的 PT100 铂电阻进行精度验证。将两路 PT100 与二等标准水银温度计(精度 0.1)同时放入恒温箱内,

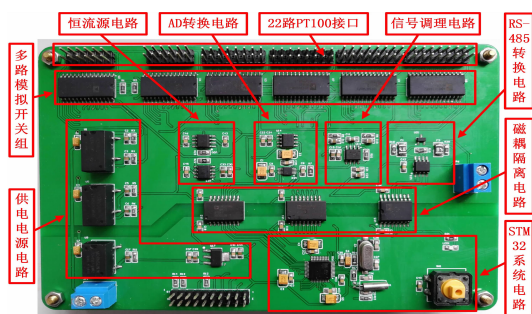


图5 电路板实物图

调节恒温箱温度,当标准水银温度计每变化 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,使用温度采集系统完成一次当前温度采集,两路PT100的实验测试部分数据见表1。

表1 实验测试数据 (单位: $^{\circ}\text{C}$ )

水银温度计	PT100(A)	偏差绝对值	PT100(B)	偏差绝对值
28.5	28.57	0.07	28.53	0.03
33.0	33.07	0.07	33.06	0.06
40.0	40.01	0.01	40.01	0.01
43.0	42.91	0.09	42.94	0.06
48.5	48.49	0.01	48.47	0.03
51.5	51.42	0.08	51.44	0.06
56.0	55.92	0.08	55.90	0.10
60.0	59.96	0.04	59.96	0.04
65.5	65.44	0.06	65.46	0.04
68.0	68.10	0.10	68.06	0.06
71.5	71.58	0.08	71.57	0.07
77.0	77.10	0.10	77.08	0.08
79.5	79.52	0.02	79.55	0.05
85.5	85.52	0.02	85.55	0.05
92.0	91.93	0.07	91.90	0.10

由表1可知,温度采集系统精度达 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,分辨率达 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 5 结束语

本文设计采用的三电阻自校正法和PT100分度函数分段线性拟合,提升了多路温度采集系统的测温精度和软件执行速度,采用数字隔离电路增强了系统在工业环境中的工作稳定性,具有测温精度高、采集通道数多、成本低、抗干扰能力强等优点。将该系统应用在工业生产过程温度采集中,可使生产管理透明化,保障生产质量,同时其也可作为实验设备对实验对象进行多点温度采集,具备良好的实用前景和推广价值。

## 参考文献:

- [1] 余德亮,魏威,蒋涌,等.高精度温度采集系统设计[J].气象科技,2015,43(3):440-443.
- [2] 付远明,孟现阳,吴江涛.多路温度同步测量系统开发与实现[J].西安交通大学学报,2017,51(3):62-67.
- [3] CAMPBELL L C. Temperature measurement in industry [J]. Students Quarterly Journal, 2010, 41(162): 201-206.
- [4] 刘树财.工业现场 PLC 控制系统抗干扰设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25(6): 128-130.
- [5] 许卓.基于 ARM 的多通道温度采集系统的研究[D].广州:华南理工大学,2011.
- [6] 苏振中,王东,陈俊全,等.基于 XTR105 的多通道温度测量系统[J].仪表技术与传感器,2012(8):59-62.
- [7] 唐军,罗德雄,杜秀君.基于 PT100 的温度测量系统设计[J].电子测试,2016(9):29-30.
- [8] 李尧.高精度恒温槽控制系统设计与实现[D].西安:西安工程大学,2015.
- [9] 文丰,鄢玲玲,李辉景,等.基于 FPGA 的高精度采集模块设计[J].仪表技术与传感器,2017(8):19-22.
- [10] 高泰.ADI 推出业界首款认证的本质安全数字隔离产品[J].计算机与网络,2017,43(4):78-78.
- [11] KAERIYAMA S, UCHIDA S, FURUMIYA M, et al. A 2.5 kV isolation 35 kV/us CMR 250 Mbps digital isolator in standard CMOS with a small transformer driving technique[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2012, 47(2): 435-443.
- [12] LIU L, ZHANG Y C, HUA S, et al. The design of high-precision temperature measurement system based on C8051F350 and PT100[J]. Applied Mechanics & Materials, 2013, 423-426: 2559-2562.
- [13] 王晓丹,孟令军,尹维汉,等.基于 ADS1148 的多路高精度测温装置[J].自动化与仪表,2014,29(12):66-68.
- [14] 李伟,李杰超,闫卫平.多通道高稳定性温度检测系统[J].仪表技术与传感器,2014(4):46-49.

- [15] 张邦成,步倩影,尹晓静,等.基于贝叶斯数据融合的轨道车辆 Pt100 温度检测系统设计[J].传感技术学报,2017,30(8):1287-1292.
- [16] 王安敏,孟海彦,李锋,等.基于 ADS1248 的铂电阻高精度测温装置[J].仪表技术与传感器,2017(9):52-54.

## Design of Multichannel Temperature Acquisition System Based on STM32

*LI Shan<sup>1</sup>, TUO Xianguo<sup>1,2</sup>, ZHANG Guiyu<sup>1,2</sup>, CHEN Lin<sup>1</sup>*

(1. School of Automation & Information Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China; 2. Artificial Intelligence Key Laboratory of Sichuan Province, Zigong 643000, China)

**Abstract:** A multichannel temperature acquisition system based on STM32 was introduced, and the implementation method and design scheme of the system were elaborated. The STM32F103C8T6 was used as the core controller and the four-wire PT100 platinum resistance was used as the temperature sensor in the system. The multiplex analog switch address signal was controlled by the controller to realize the selection of multiple temperature sensors. In order to improve the accuracy and stability of the temperature measurement system, the three-resistor self-calibration method was used to improve the accuracy of the PT100 resistance value, and the digital isolation circuit was used to isolate the control system from the on-site signals to enhance the system's anti-interference ability, and the constant current source circuit and the signal conditioning circuit were analyzed and designed in detail. In the system software, a piece-wise linear fitting of the PT100 index function was used to simplify the resistance-temperature conversion process and improve the software execution efficiency. The experimental test showed that within the range of 0 °C ~ 100 °C temperature measurement, the system temperature measurement accuracy was  $\pm 0.1$  °C, and the temperature resolution of was 0.01 °C, which can meet the demands of 22-channel temperature data acquisition.

**Key words:** STM32; multichannel temperature acquisition; self-calibration; digital isolation; linear fitting