

DOI: 10.3976/j.issn.1002-4026.2012.02.015

# 高精度温度测量电路设计

刘孟德<sup>1,2</sup>, 贺海靖<sup>2</sup>, 杜立彬<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 山东省科学院海洋仪器仪表研究所, 山东 青岛 266001)

**摘要:**针对海洋环境监测中广泛应用的铂电阻和热敏电阻温度传感器,设计了一种以恒流源激励的温度测量电路,解决了因传感器自加热和恒流源波动产生的测量误差。经现场测试,温度测量的精度、一致性都达到设计要求,满足海洋环境监测的实际应用需要。

**关键词:**铂电阻;热敏电阻;AD7793

中图分类号:TP216 文献标识码:A 文章编号:1002-4026(2012)02-0072-04

## Design of a high-precision temperature measurement circuit

LIU Meng-de<sup>1,2</sup>, HE Hai-jing<sup>2</sup>, DU Li-bin<sup>2</sup>

(1. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Institute of Oceanographic Instrumentation, Shandong Academy of Sciences, Qingdao 266001, China)

**Abstract:** We design a high-precision temperature measurement circuit excited by a constant current source with RTD and thermistor commonly employed in ocean environment detection. We also reduce the measurement error caused by current variation and self-heating. Scene test shows that the circuit satisfies the requirement of ocean environment detection.

**Key words:** RTD; NTC thermistor; AD7793

在海洋环境监测中,铂电阻和热敏电阻以其重复性好、测量精度高等特性,得到了广泛的应用,两者都是阻值随温度而改变的电阻。铂电阻采用铂金属线在陶瓷骨架上绕制而成,热敏电阻由正/负温度系数的固态半导体材料制成。热敏电阻的阻值较大,灵敏度高,易于制作,但温度的传输函数为指数特性,温度系数变化很大,限制了温度测量的范围。铂电阻性能稳定,在整个测量范围内的温度传输函数都具有良好的线性,但相对热敏电阻而言,其温度系数较低。本文设计了一种以恒流源激励的温度测量电路,解决了因电阻自加热和恒流源波动产生的测量误差,实现了较高的测量精度。

### 1 测量原理

在铂电阻和热敏电阻测温电路中,由于其阻值是对温度变化的直接反映,所以对温度的测量其实就是对其电阻值的测量。

收稿日期:2011-11-23

作者简介:刘孟德(1964-),男,博士,研究员,研究方向为精密仪器。

惠斯通电桥是传统的微小电阻变化测量方法,如图 1 所示,由三个固定电阻和一个变化电阻组成单元变化电桥,所有电阻标准值相等,只有作为传感器的电阻  $R$  可以变化,记为  $\Delta R$ ,电桥输出电压为  $V_o$ ,其中

$$V_o = \frac{V_B}{4} \left[ \frac{\Delta R}{R + \Delta R} \right] \quad (1)$$

由公式(1)可以看出,电桥输出与  $\Delta R$  的变化呈非线性。例如,  $R = 100 \Omega$ ,  $V_B = 10 \text{ V}$ , 当  $\Delta R = 0.1 \Omega$  时,电桥输出  $V_o = 2.49875 \text{ mV}$ , 如果以其作为电桥满量程输出,则线性度误差为 0.05%。

当  $\Delta R = 1 \Omega$  时,电桥输出  $V_o = 24.8756 \text{ mV}$ 。如果以其作为电桥满量程输出,则线性度误差为 0.5%。

通常,铂电阻的温度系数为  $0.385\% / ^\circ\text{C}$ <sup>[1]</sup>,海水温度的测量范围为  $-5 \sim 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ,根据以上方法,可以计算出最大线性度误差约为 8.7%。在精密测温电路中,必须对测温电路进行重新标定校准。此外,电桥测温电路需要采用三个高精度电阻,导线引入的阻值误差也需要通过归零调整或定标去除,在实际应用中,产生了诸多不便。

恒流源激励是另一种可行的精密阻值测量方法,在电阻上通过恒定电流,测量电阻两端电压,即可测得电阻阻值。但这种方法需要精密恒流源激励,且电流的波动会直接导致测量误差的产生。此外,为减小因电阻自发热而产生的温度测量误差,激励电流必须很小,又限制了这种方法的测量精度。

在本文设计的高精度温度测量电路中,选用 AD 公司生产的 AD7793 芯片作为恒流激励源和 AD 转换,测量铂电阻和热敏电阻的阻值,避免电桥法引入的线性度误差,同时也简化了测量电路。

## 2 AD7793 简介

AD7793 是适合高精度测量应用的低功耗、低噪声的模拟/数字转换芯片,内置一个低噪声 24 位  $\Sigma$ - $\Delta$  型模拟数字转换器,其中含有 3 个差分模拟输入,还集成了片内低噪声仪表放大器,因而可直接输入小信号。当增益设置为 64、更新速率为 4.17 Hz 时,均方根(RMS)噪声为 40 nV。采用 2.7 ~ 5.25 V 电源供电,典型功耗为  $400 \mu\text{A}$ <sup>[2]</sup>。

芯片内置一个精密低噪声、低漂移内部带隙基准电压源,也可采用外部差分基准电压。其它片内特性包括可编程激励电流源、熔断电流控制和偏置电压产生器。利用偏置电压产生器可将某一通道的共模电压设置为  $\text{AVDD}/2$ 。

AD7792 可以采用内部或外部时钟工作,输出数据速率可通过软件编程设置,可在 4.17 ~ 470 Hz 的范围内变化。

## 3 测量电路设计

如图 2 所示,  $\text{lout}1/2$  是片内恒流源输出端,  $\text{In}1/2$  是模拟电压输入端,  $V_{\text{ref}}$  是外部参考电压输入端,  $\overline{\text{CS}}$ 、 $\text{SCLK}$ 、 $\text{Din}$ 、 $\text{Dout}$  是与 MCU 的通讯端口<sup>[3]</sup>,用于读取转换数据和写入配置参数。AD7793 的恒流源输出有  $10 \mu\text{A}$ 、 $210 \mu\text{A}$ 、 $1 \text{ mA}$  三种电流,可以通过内部寄存器设置。

采用恒流源激励测量电阻,其最大误差来源于恒流源波动。传统设计中,恒流源与 AD 参考电压不同步,

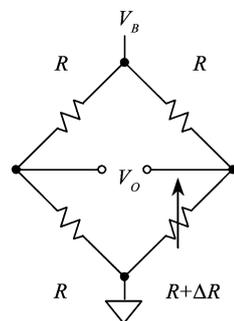


图 1 恒定电压驱动电桥  
Fig. 1 Constant voltage excited Wheatstone bridge

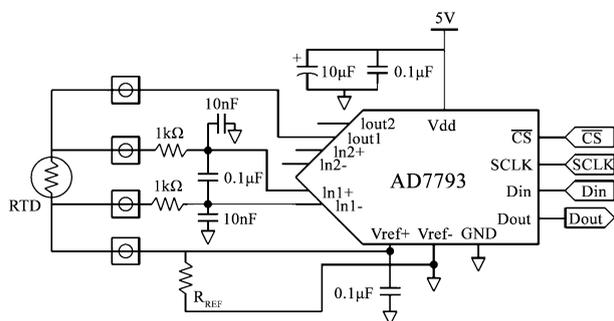


图 2 温度测量电路原理图

Fig. 2 Schematic diagram of RTD temperature measurement system

恒流源的波动直接体现在测量误差中。在本文设计的温度测量电路中,激励恒流源通过一个精密电阻  $R_{REF}$  产生参考电压,经 AD7793 的  $V_{ref}$  采样后,作为其参考电压。由于 RTD 上的压降与 AD 参考电压同步变化,因此,恒流源的任何变化都不会影响电路测量精度。

在实际应用中,电流流过铂电阻和热敏电阻会导致其自身发热,产生测量误差。因此,必须选择合适的激励电流,仔细设计信号调理电路,确保自发热误差小于电路测量精度,热敏电阻的耗散系数就是表示使其温度升高  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  所消耗的功率。GB/T 6663.1-2007<sup>[4]</sup> 中给出了 NTC 热敏电阻耗散系数的计算公式

$$\delta = \frac{U_{TH} \times I_{TH}}{T_b - T_a} \quad (2)$$

式中,  $\delta$  为 NTC 的耗散系数;  $U_{TH}$  为 NTC 的端电压;  $I_{TH}$  为流过 NTC 的电流;  $T_b$  为自热稳定温度;  $T_a$  为室内温度。

本文设计的温度测量电路中采用的 NTC 型热敏电阻 ( $2\ 252\ \Omega, 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 耗散系数为  $1\text{ mW}/^{\circ}\text{C}$ 。如果采用  $210\ \mu\text{A}$  恒流源激励,热敏电阻最大阻值按照  $10\ \text{k}\Omega$  (约  $-5.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 计算,则自加热造成的温升

$$T_b - T_a = \frac{U_{TH} \times I_{TH}}{\delta} = \frac{210 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^3 \times 210 \times 10^{-6}}{1 \times 10^{-3}} = 0.441\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

严重影响系统测量精度。如果采用  $10\ \mu\text{A}$  恒流源激励,则自加热造成的温升

$$T_b - T_a = \frac{U_{TH} \times I_{TH}}{\delta} = \frac{10 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6}}{1 \times 10^{-3}} = 0.001\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

该温升远远小于系统测量精度 ( $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),可以满足设计要求。

对于铂电阻而言,由于其温度系数较低及  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  时阻值较小 ( $100\ \Omega$  或  $1000\ \Omega$ ),所以对激励电流的要求远远小于热敏电阻。本文对不锈钢保护管封装的 Pt100 型铂电阻进行自加热测试数据显示,当激励电流为  $1\ \text{mA}$  时,自加热造成的温升只有  $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,激励电流为  $5\ \text{mA}$  时,自加热造成的温升为  $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。采用本文设计的温度测量电路,自加热造成的温升可忽略不计。

#### 4 高精度温度测量电路测试

利用高精度恒温箱对温度测量电路进行了性能试验。首先对热敏电阻进行标定 ( $0\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),然后,以温度梯度  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  进行试验。为检验测量电路的重复性,共完成 3 个测量周期。部分试验结果如表 1 所示。

试验结果可以看出,测量误差小于  $\pm 0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,测量数据的标准偏差为  $0.026\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,测量电路具有较好的重复性,性能稳定,测量精度达到系统设计指标要求 ( $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。

#### 5 结语

本文设计的温度测量系统采用 AD7793 作为恒流激励源和 AD 转换,测量电路既可用于热敏电阻也可用于铂电阻,有很好的适用性。经实际应用检验,该系统测量精度高、重复性好、集成度高。

表 1 温度测量电路试验数据

Table 1 Test results of the temperature measurement circuit

实际温度/ $^{\circ}\text{C}$	测量电阻/ $\Omega$	测量温度/ $^{\circ}\text{C}$	测量误差/ $^{\circ}\text{C}$
5.50	5583	5.47	-0.03
7.50	5060	7.49	-0.01
9.50	4588	9.51	0.01
11.50	4179	11.47	-0.03
13.50	3795	13.5	0
15.50	3452	15.53	0.03
17.50	3150	17.51	0.01
19.50	2881	19.48	-0.02
21.50	2630	21.5	0

## 参考文献:

- [1] JUNG W, 张乐锋, 张鼎, 等. 运算放大器应用技术手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [2] ANALOG DEVICES. A7792/AD7793[DB/OL]. [2011-10-20]. <http://wenku.baidu.com/view/f997e562ddccda38376bafb2.html>.
- [3] 沈建华, 杨艳琴, 翟晓曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机实践与系统设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] GB/T 6663.1-2007, 直热式负温度系数热敏电阻器[S].
- [5] 井彦明, 王景青, 申秀花, 等. 一种适合海洋环境温度测量的新方法[J]. 海洋技术, 2008(2): 18-24.
- [6] 黄劲松, 田开坤. MSP430 单片机的热敏电阻温度测量[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2009(4): 61-63.
- [7] 倪秀辉, 张琳琳, 任国兴. 基于 MSP430 的热敏电阻高精度测温设计[J]. 仪表技术与传感器, 2009(3): 100-101.

---

(上接第 71 页)

- [3] GLOZMAN O, HOFFMAN A. Adhesion improvement of diamond films on steel substrates using chromium nitride interlayers[J]. Diamond and Related Materials. 1997, 6(5-7): 796-801.
- [4] LIFSHITZ Y. Diamond-like carbon-present status [J]. Diamond and Related Materials, 1999, 8(8-9): 1659-1676.
- [5] ROBERTSON J. Diamond-like amorphous carbon [J]. Materials Science and Engineering: R: Reports, 2002, 37(4-6): 129-281.
- [6] 郭军霞, 陈秋龙, 蔡钧, 等. DLC 多层膜对 1Cr18Ni9Ti 钢微动磨损性能的影响[J]. 机械工程材料. 2002, 26(8): 11-14.
- [7] 陈灵. 多种基材表面沉积类金刚石膜的结构与性能的比较研究[D]. 广州: 华南理工大学. 2002.
- [8] KLEINSORGE B, LLIE A, CHHOWALLA M, et al. Electrical and optical properties of boronated tetrahedrally bonded amorphous carbon(ta-C:B)[J]. Diamond and Related Materials, 1998, 7(2-5): 472-476.
- [9] ERDEMIR A, DONNET C. Tribology of diamond-like carbon films: recent progress and future prospects [J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2006, 39(18): 311-327.
- [10] PANDEY M, BHATACHARYYA D. Diamond-like carbon coatings: AFM and ellipsometric studies [J]. Surface and Coatings Technology, 2004, 182(1): 24-34.