

文章编号:1674-2869(2008)03-0107-03

铂电阻的非线性补偿方法分析

文小玲, 郑耀中

(武汉工程大学电气信息学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 对传统三线制测温电路及其改进电路进行了对比分析, 采用的改进电路能消除引线电阻对测温精度的影响。同时, 采用分段最小二乘法进行曲线拟合, 以减小铂电阻由于自身非线性带来的测量误差。

关键词: 铂电阻; 温度测量; 非线性; 分段最小二乘法

中图分类号: TP 212

文献标识码: A

0 引言

温度是在工业、农业、国防和科研等部门中应用最普遍的被测物理量。有资料表明, 温度传感器的数量在各种传感器中位居首位, 约占50%左右。因此, 温度测量在保证产品质量, 提高生产效率, 节约能源, 安全生产, 促进国民经济发展等诸多方面起到了至关重要的作用。在各种温度传感器中, 铂电阻以其高精度、高灵敏度在中、低温测量中占有重要的地位^[1]。为了减小铂电阻的接触电阻对温度测量精度的影响, 可采用三线制或四线制的连接方式, 即将热电阻接到电桥的一个桥臂上, 通过测量不平衡电桥的输出得到温度值^[2]。在这种方法中, 铂电阻的非线性和不平衡电桥的非线性会给测量带来误差。而且, 铂电阻作为温度传感器使用时, 必须把它放在测温现场, 从测温点到测量变换电路之间的布线长度少则几米, 多则几十米甚至上百米, 这样长的连接导线, 即使不计热噪电阻, 它自身的引线电阻也是相当可观的。如50~100 m长的连接导线, 引线电阻一般为4~10 Ω , 而

对常用的Pt100铂电阻来说, 温度的变化率约为0.391 $\Omega/^\circ\text{C}$, 与该变化率相比, 引线电阻对测量精度的影响也很大。本文对传统三线制测温电路及其改进的电路进行了对比分析, 并采用改进电路来降低非线性误差。

1 温度检测电路

1.1 常用电路

在大多数温度检测电路中, 采用恒流源或恒压源, 也有的提到用比例法, 其实质是采用恒流源或恒压源对温度传感器供电, 图1所示是一种采用Pt100三线制接法和恒流源供电的温度采样电路, 为了减小元件热效应的影响, 恒流源提供的电流应不大于2 mA。从图1可知: 当 $R_0 + R_{12} = R_2$ 时, 通过 R_0 和 R_2 的电流相等。

$$U_t = A \cdot I_{\text{scf}} \cdot \Delta R_t \quad (1)$$

式(1)中 A 为运放电压增益, I_{scf} 为恒流源输出电流, ΔR_t 为铂电阻Pt100相对于0 $^\circ\text{C}$ 时的电阻变化值。

图1中利用二极管对恒流源进行温度补偿, 使得LM334的温度系数接近于0。

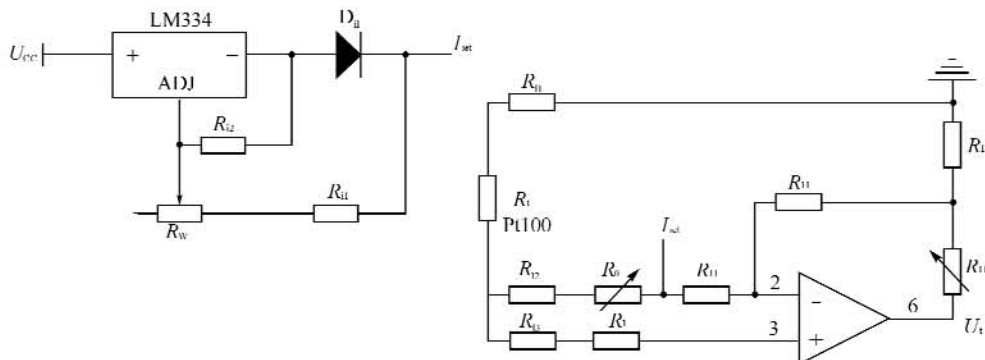


图1 普通三线制测温电路

Fig. 1 Ordinary temperature measurement circuit

收稿日期: 2008-03-03

基金项目: 湖北省教育厅科学研究计划项目(D200515002)

作者简介: 文小玲(1962-), 女, 湖南湘乡人, 副教授, 博士研究生, 研究方向: 自动控制技术。

1.2 改进电路

若采用图 1 所示电路,因引线存在电阻,而且引线的电阻温度系数较大,当环境温度发生变化

时,其阻值也随之发生变化,因而环境温度变化会造成较大的测量误差.要消除以上影响,可将电路改进为图 2 所示测温电路.

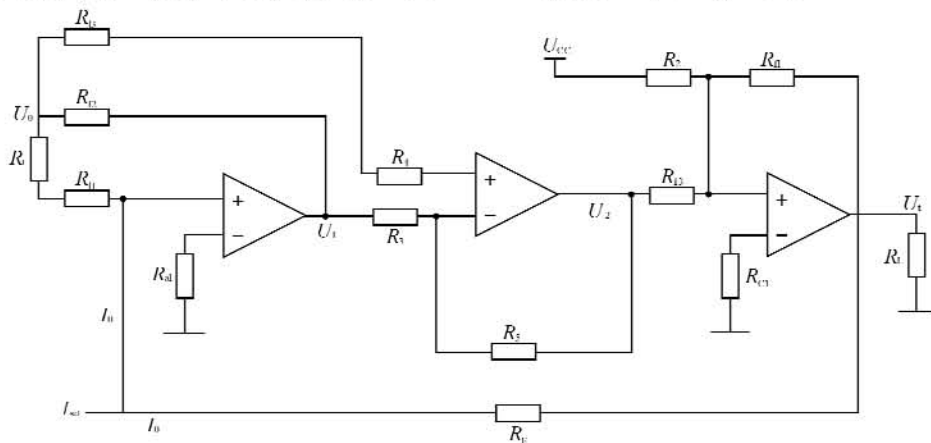


图 2 改进后的三线制测温电路

Fig. 2 Improved temperature measurement circuit

设 $R_5/R_6 = m, I_1 = U_1/R_F$

则有 $U_0 = -(I_0 \parallel I_1)(R_l \parallel R_{l1})$

$$U_1 = -(I_0 \parallel I_1)(R_l \parallel R_{l1} \parallel R_{l2})$$

$$U_2 = (1 \parallel m)U_0 - mU_1 =$$

$$-(I_0 \parallel I_1)(R_l \parallel R_{l1} - mR_{l2})$$

$$U_t = -R_{l1}/R_6 - U_{CC}R_{l1}/R_2$$

设 $K = R_{l1}/R_2$

整理后得 $U_t = \frac{I_0 K (R_l - R_0 + R_{l1} - mR_{l2})}{1 - K/R_F (R_l \parallel R_{l1} - mR_{l2})}$ (2)

若使得 $R_{l1} - mR_{l2} = 0$, 则有

$$U_t = \frac{I_0 K (R_l - R_0)}{1 - KR_l/R_F}$$
 (3)

因为引线材料长度都相同,所以有 $R_{l1} = R_{l2}$, 这样只需保证 $m=1$, 即 $R_5 = R_6$, 就可以消除引线电阻的影响.

2 数据采集与处理

铂热电阻(Pt100)的电阻值随温度变化的规律基本满足式(4).

$$R_t = A_0 + A_1 t + A_2 t^2 + A_3 t^3 \cdots + A_n t^n \quad (4)$$

温度测量电路将铂电阻的变化近似线性地转化为电压,再经过 Δ/D 转换为数字量进行采集.这样,对于每一个温度 T 都会对应于一个数字电压信号 D .然后寻求温度和该温度点所对应的经 A/D 转换后的电压信号之间的关系^[3].

这类问题就是由测得的点进行曲线拟合的问题,即通过测量数据求得一个函数,使之能作为式(4)的近似.拟合方法允许所求函数在数据点上的误差,但要达到某种误差指标最小化.常用的误差指标有两种:一种按照误差向量的 ∞ 范数定义,称为一致数据拟合;另一种按照误差向量的 2-范

数定义,称为最小二乘数据拟合,比较适合数据有误差而数据量大的情况.由式(4)可知,铂电阻的 $T-D$ 曲线是非线性的,因此在进行曲线拟合的时候,需要拟合曲线能反映测得的离散数据的变化趋势,即铂电阻的 $T-D$ 曲线变化趋势,尽量避免出现局部的波动,从而提高测温精度.

通过以上对热电阻的分析可知,采用多项式进行拟合是一种比较合理的方法.从某种意义上来说,拟合多项式的阶数可以任意选择.两点确定一条直线或一次多项式,三点确定一个平面或一个二次多项式,依次类推, $n-1$ 个数据点确定一个 n 次多项式.然而,有时高阶多项式给出的数值特征比较差,不便理论分析;另外,随着阶数的提高,拟合曲线将变得不够光滑,即会产生多项式拟合偏差,从工程角度上讲拟合曲线偏差由三方面产生.

(1) 实验数据的不均匀性.

(2) 数据的密度.显然增加数据的密度,增强对曲线的约束,拟合曲线在实验数据的区间偏差变小.

(3) 拟合曲线的适用区间.在实验数据的区间偏差一般较小,而在外推区间随着拟合阶次的提高,往往偏离预测.

这里采用数理统计中经常用到的最小二乘法来拟合多项式.最小二乘法的基本原理:利用一组实测数据 $(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, N$, 构造一个近似的函数 $y=f(x)$.由 $f(x)$ 可以计算非实测点的 y 值或确定实测点 (x, y) 之间的趋势.其函数要符合以下条件:

(1) 选择拟合曲线 $y=a_0+a_1x+a_2x^2+\dots+a_mx^m$, 待求参数 $k=m+1$ 个.

(2) 拟合曲线不一定通过所有的点 (x_i, y_i) ,

但它与实测点间的误差为最小^[4].符合以上二个条件的函数就能最好地拟合原数据组,如要评估其与实测点的接近程度,可用回归分析法计算.设拟合函数为

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_mx^m =$$

$$\sum_{i=0}^m a_i x^i \quad (m < N) \quad (5)$$

将点 (x_i, y_i) 代入 $f(x)$ 并计算与点 (x_i, y_i) 之间的偏差 S_i 可得 N 个方程:

$$\begin{aligned} y &= a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + \cdots + a_mx_1^m - y_1 = S_1 \\ y &= a_0 + a_1x_2 + a_2x_2^2 + \cdots + a_mx_2^m - y_2 = S_2 \\ &\dots \end{aligned} \quad (6)$$

$$y = a_0 + a_1x_N + a_2x_N^2 + \cdots + a_mx_N^m - y_N = S_N$$

改写成通式:

$$S_i = \sum_{j=0}^m a_j x_i^j - y_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (7)$$

取 S_i 平方和作为目标函数,并对 a 求偏导数可得误差最小值,从而可推得

$$\sum_{i=1}^N y_i x_i^k = \sum_{j=0}^m a_j \sum_{i=1}^N x_i^{k+j} \quad (8)$$

方程组有 $m+1$ 个方程,对应求解 $m+1$ 个未知数 a_j ,把解得的 a_j 代入式(4)就是所求的拟合曲线.

此外,需要注意的是,如果要求测量精度很高(如温度测量精度要求达到 0.01°C ,在 $0\sim 100^\circ\text{C}$ 的范围内得到拟合曲线),则实验数据的采集密度很大.如果直接对所有数据进行拟合,一方面需要进行大量的计算,另一方面会使得曲线在每一温度段精度下降.因此,可以通过采取每 10°C 用一个函数来进行分段拟合.以此来保证拟合曲线更加接近铂电阻的实际温度曲线.在进行曲线拟合时,可以采用MATLAB提供的多项式拟合函数:

$$p = \text{polyfit}(x, y, n) \quad (9)$$

式(9)中,两个输入参数 x, y 是矢量,表示已知的输入值和输出值; n 为拟合多项式的次数.曲线拟合出来以后,又用多项式测试函数 polyval 进行测试, polyval 的一般格式为

$$y = \text{polyval}(p, x) \quad (10)$$

式(10)中, p 为多项式, x 为矩阵或者向量.

polyval 函数分别把矩阵的每个元素代入多项式求值.为了直观地反映曲线函数,把相应的曲线和拟合曲线方程用MATLAB自带的函数 $\text{plot}(x, y)$ 把曲线呈现出来.这里取 $n=3$ 来对 $48\sim 58^\circ\text{C}$ 的曲线进行拟合,运行后可得到结果如图3所示.相应的误差分布如图4所示.

从而可以得到 T - D 拟合曲线表达式为

$$y = p_1 x^3 + p_2 x^2 + p_3 x + p_4 \quad (11)$$

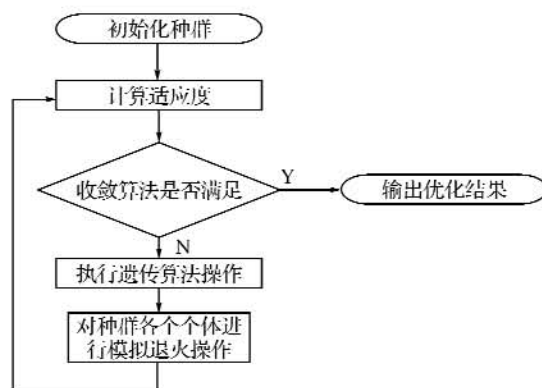


图3 电压温度拟合曲线

Fig. 3 The voltage-temperature fitting curve

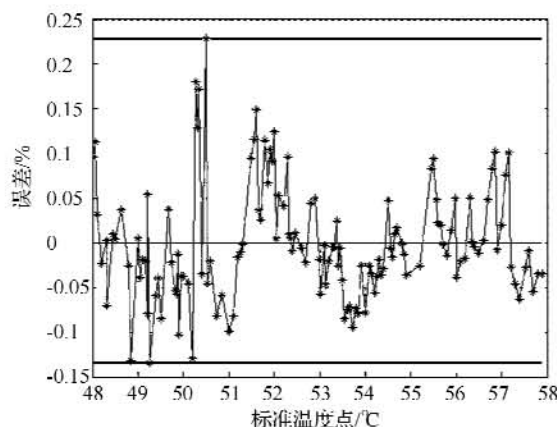


图4 误差分布曲线

Fig. 4 Residuals of curve fitting

式(11)中: $p_1 = 1.054\ 2e-011$

$$p_2 = -8.298\ 9e-007$$

$$p_3 = 0.023\ 824$$

$$p_4 = -189.577$$

3 结 语

通过采用改进的测温电路以及利用分段函数对 T - D 曲线进行拟合,可以在一定程度上降低由于铂电阻的非线性、不平衡电桥的非线性和引线电阻给测量带来的误差,具有一定的实用价值.

参考文献:

- [1] 张建波,韩 巍.浅谈温度测量的发展现状[J].计量与测试技术,2001,(2):14-15.
- [2] 单成祥.传感器的理论与设计基础及其应用[M].北京:国防工业出版社,1999:169-171.
- [3] 陈振林,孙中泉.高精度温度测量电路非线性补偿研究[J].计量技术 2006,(6):17-19.
- [4] 姜健飞,胡良剑.数值分析及其 MATLAB 实验[M].北京:科学出版社,2004:73-99.

(下转第 117 页)

it is quantitatively analyzed that reliability range of virgin static strength of flat ribbon-wound pressure vessels at pressure test and normal operation. The flat ribbon-wound pressure vessels testing coefficient and safety factor are researched in keeping a firm on side of minimal virgin reliability in different mode of working conditions. It was concluded that; based on fuzzy reliability analysis, the bursting safety factor is equal to or greater than 2.30 and the yield safety factor is equal to or greater than 1.45. The range of testing pressure coefficient is equal to or not less than 1.08 and not greater than 1.18 under barometrical pressure test, and it is equal to or not less than 1.08 and not greater than 1.33 when hydraulic pressure test.

Key words: flat ribbon-wound pressure vessels; pressure test; static strength; fuzzy reliability; testing pressure coefficient; safety factor

本文编辑:陈晓革



(上接第106页)

The application of DC-DC conversion in photovoltaic system maximum power point tracking

YANG Fan, PENG Hong-wei, HU WEI-bing

(School of Electrical and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper describes the method of maximum power point tracker with MCU C8051F020 controlling in photovoltaic system, especially introduces the techniques and principle of DC-DC conversion. Maximum power point tracker is implemented with a DC-DC conversion topology. The system is simple with good response speed. And the efficiency of system is approved apparently with the method.

Key words: DC-DC conversion; maximum power point tracking; photovoltaic system

本文编辑:陈晓革



(上接第109页)

The nonlinear compensation method analysis of the platinum resistor

WEN Xiao-ling, ZHENG Yao-zhong

(School of Electrical and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The traditional temperature measurement circuit and an improved circuit are analyzed in this paper, the improved circuit can be used to eliminate the influence of the wire resistance on the accuracy of temperature measurement. At the same time, the sub-least-squares method is used to fit the curve of voltage varying with temperature in order to reduce the measurement error caused by the nonlinearity of the platinum resistor temperature resistance curve.

Key words: platinum resistor; temperature measurement; nonlinearity; sub least squares method

本文编辑:陈晓革