

一种利用 Pt100 的高精度测温方法

孙卫兵, 魏同宇, 胡明, 任子晖

中国矿业大学信息与电气工程学院, 江苏徐州 (221008)

E-mail: swb729@126.com

摘要: 本文介绍了铂热电阻Pt100的特性和采用Pt100测量温度的一般原理, 重点论述了提高Pt100测量精度的3种方法: 1.导线电阻补偿; 2.数字滤波减少随机误差; 3.插值算法校正传感器的非线性。本方案充分利用了单片机的数据处理能力, 实现-200-650℃范围内温度的高精度测量。

关键词: Pt100, 高精度, 温度测量, 单片机

中图分类号: TP212.9

1. 引言

在工业生产过程中, 温度一直都是一个很重要的物理参数, 温度的检测和控制直接和安全生产、产品质量、生产效率、节约能源等重大技术经济指标相联系, 因此在国民经济的各个领域中都受到了人们的普遍重视。温度检测类仪表作为温度测量工具, 也因此得到广泛应用。

由于传统的温度测量仪器响应慢、精度低、可靠性差、效率低下, 已经不能适应高速发展的现代化工业。随着传感器技术和电子测量技术的迅猛发展, 以单片机为主的嵌入式系统已广泛应用于工业现场, 新型的电子测温仪器不仅操作简单, 而且精度比传统仪器有很大提高。目前在工业生产现场使用最广泛的温度传感器主要有热电偶和热电阻, 例如铂热电阻Pt100就是使用最广泛的传感器之一。

2. Pt100 的特性

铂电阻是用很细的铂丝($\Phi 0.03 \sim 0.07\text{mm}$)绕在云母支架上制成, 是国际公认的高精度测温标准传感器。因为铂电阻在氧化性介质中, 甚至高温下其物理、化学性质都非常稳定, 因此它具有精度高、稳定性好、性能可靠的特点。因此铂电阻在中温(-200~650℃)范围内得到广泛应用。目前市场上已有用金属铂制作成的标准测温热电阻, 如Pt100、Pt500、Pt1000等。它的电阻—温度关系的线性度非常好, 如图1所示是其电阻—温度关系曲线, 在-200~650℃温度范围内线性度已经非常接近直线。

铂电阻阻值与温度的关系可以近似用下式表示^[1]:

在 0~650℃ 范围内:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

在 -190~0℃ 范围内:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^3)$$

式中 A、B、C 为常数,

$$A = 3.96847 \times 10^{-3};$$

$$B = -5.847 \times 10^{-7};$$

$$C = -4.22 \times 10^{-12};$$

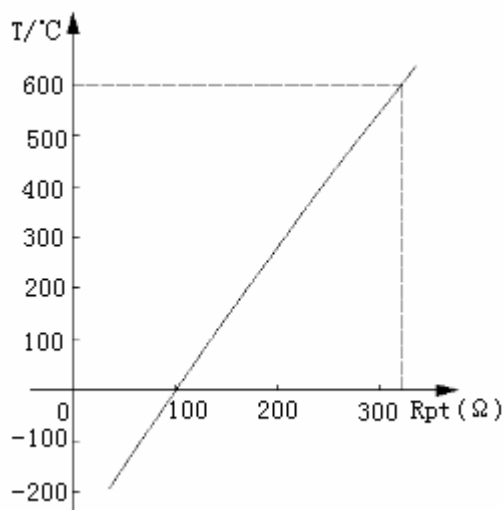


图1 Pt100 的电阻—温度关系曲线

R_t 为温度为 t 时的电阻值； R_0 为温度为 0°C 时的电阻值，以 Pt100 为例，这种型号的铂热电阻， R_0 就等于 100Ω ，即环境温度等于 0 度的时候，Pt100 的阻值就是 100Ω 。当温度变化的时候，Pt100 的电阻也随之变化，通过以上电阻-温度表达式便可以计算出相对应的温度。在实际应用中，一般使用单片机来进行温度的计算，由于该表达式比较复杂，用单片机处理这样的计算过程，将会占用大量的资源，程序的编写上也相当复杂，所以一般采用先查表，再插值的方法换算出温度。

3. Pt100 测温原理

Pt100 是电阻式温度传感器，测温的本质其实是测量传感器的电阻，通常是将电阻的变化转换成电压或电流等模拟信号，再将模拟信号转换成数字信号，再由处理器换算出相应温度。采用 Pt100 测量温度一般有两种方案^[2]：

1. 设计一个恒流源通过 Pt100 热电阻，通过检测 Pt100 上电压的变化来换算出温度；

2. 采用惠斯顿电桥^[3]，电桥的四个电阻中三个是恒定的，另一个用 Pt100 热电阻，当 Pt100 电阻值变化时，测试端产生一个电势差，由此电势差换算出温度。

两种方案的区别只在于信号获取电路的不同，其原理上基本一致，如图 2 所示。

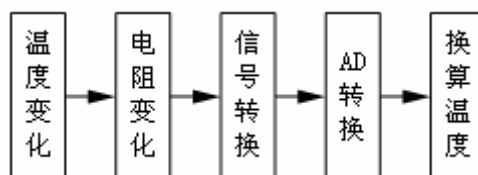


图2 Pt100 测温原理

如图 3 所示，是以华邦的 78E51 单片机为处理器，采用恒流源为信号获取电路的测温方案，恒流源通过 Pt100 热电阻，温度变化引起 Pt100 电阻值的变化，从而引起电压的变化，放大后经 AD 采用后，送由单片机处理，换算出相应温度。为了达到高精度、宽量程的测温要求，选用的是 AD 转换芯片是 12 位串行 AD 芯片 MAX1270。

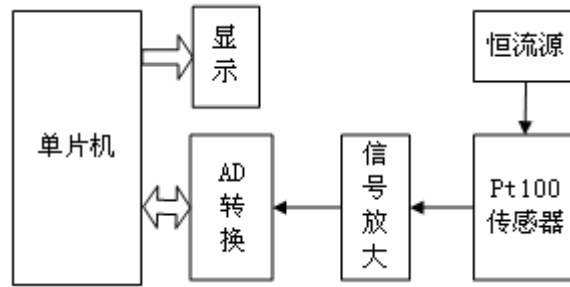


图 3 采用恒流源的 Pt100 测温方案

4. 提高 Pt100 测温精度的方案

4.1 通过改善 Pt100 接线方式对误差进行补偿

铂热电阻的使用，一般有三种接法，分别是二线制接法、三线制接法和四线制接法,如图 4 所示，不同的接法适应于不同的精度要求。

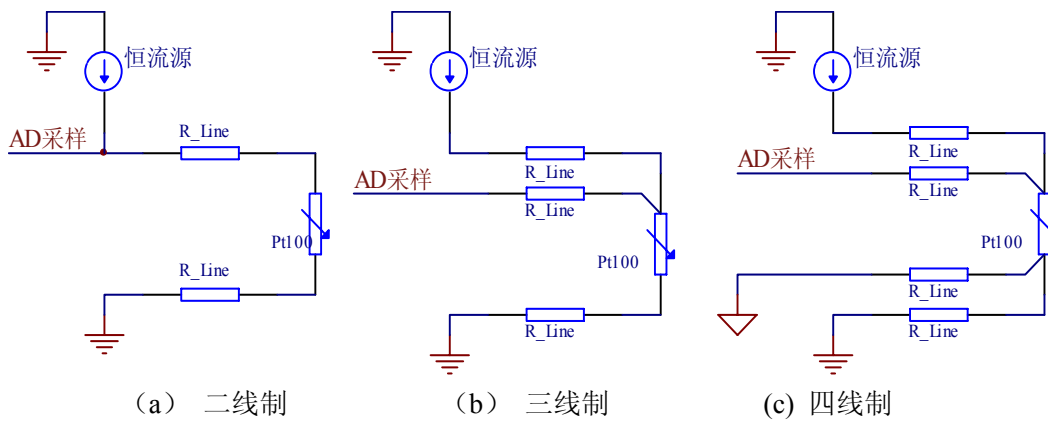


图 4 Pt100 三种接线方式

1.二线制接法：如图 4(a)所示，这种接法不考虑 Pt100 电缆的导线电阻，将 A/D 采样端与电流源的正极输出端接在一起，这种接法由于没有考虑测温电缆的电阻，因此只能适用于测温距离较近场合。

2.三线制接法：如图 4(b)所示,这种接法增加了用于 A/D 采样的补偿线，三线制接法消除了连接导线电阻引起的测量误差，这种接法适用于中等测温距离的场合。

3.四线制接法：如图 4(c)所示，这种接法不仅增加了 A/D 采样补偿线，还加了一条 A/D 对地的补偿线，这样可以进一步的减小测量误差，可以用于测温距离较远的场合。如果只从精度上考虑，采用四线制接法效果最好。

4.2 通过对采样信号进行滤波减小随机误差

由于外界干扰或某些不可预知的因素，模拟量在受到干扰后，经 A/D 转换后的结果偏离了真实值，可能会出现一些随机的误差，如果只采样一次，无法确定结果是否可信。必须通过多次采样得到一个 A/D 转换的数据序列，通过软件算法处理后才能得到一个可信度较高的结果。这种方法就是数字滤波。

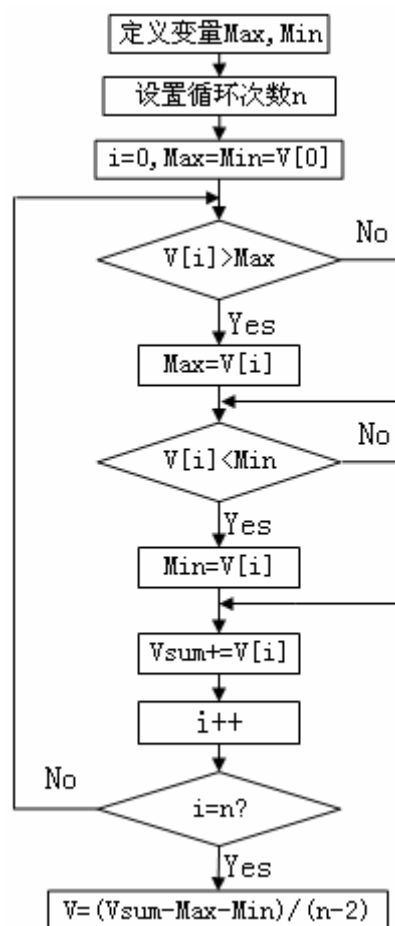


图5 去极值平均滤波程序流程图

滤波器是一种能使有用频率信号通过而同时抑制（或大为衰减）无用频率信号电子装置，可分为模拟滤波器和数字滤波器。模拟滤波器是采用 R、L、C 等无源器件组成的滤波电路或由运放和 R、C 组成的有源滤波器。而数字滤波器是采用软件算法实现滤波的。数字滤波的前提是对同一数据进行多次采样，在单片机系统中一般有以下几种方法：

1. 中值滤波：一般采样 5、7 次，排序后取中间值。
2. 算术平均滤波：一般采样 8 次，求平均值。
3. 去极值平均滤波：去掉最大最小值后求平均值一般采样 10、12 次。
4. 加权平均滤波：各加权系数之和为 1。
5. 滑动平均滤波：本次采样值和前 n 次采样值求平均。

数据滤波方法选用要视现场环境和被测对象而定，在本系统中采用的是去极值均值滤波，算术平均滤波不能将明显的脉冲干扰或粗大误差消除，只能将其影响削弱。因明显干扰或粗大误差使采样值远离其实际值，可以比较容易地将其剔除，不参与平均值计算，从而使平均滤波的输出值更接近真实值。

以去极值平均滤波为例，程序流程图如图 5 所示。算法原理如下：对于温度信号对应的电压采样值，连续采样 n 次，将其累加求和，同时找出其中最大值和最小值，再从累加和中减去最大值和最小值，按 n-2 个采样值求平均，即有效采样值。

4.3 通过插值算法校正 Pt100 的非线性度

由 Pt100 的特性可知, 虽然 Pt100 的线性度比较好, 但是由于其温度—电阻函数关系并非线性, 用单片机运算则占用资源和时间都比较多。通常采用查表和线性插值算法^[4]进行标度变换的方法计算出温度, 不仅运算快、占用单片机内部资源少, 而且可以一定程度上对 Pt100 进行线性化校正, 从而达到非常精确的测温效果。

要查表首先要在单片机的 ROM 区建立一个电阻—温度分度表, 在检测值的范围内均匀选择若干个标定点, 标定的点数越多则表格越大, 对系统的描述也越精确。Pt100 的铂电阻温度分度表, 可以向 Pt100 的厂商索要, 考虑到单片机的程序存储空间资源和实际的测量精度要求, 并不需要每隔一摄氏度就取一个标定点, 根据精度要求选择适当的温度间隔。例如^[5]在 -200~650℃ 范围内每隔 5℃ 标定一个 Pt100 的电阻值, 即共 171 个标定点, 分别记作 R[i], 对应的温度记作 T[i], i 取 0~170。

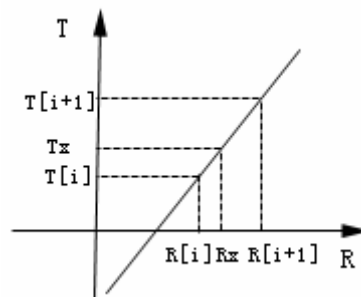


图 5 插值算法示意图

如图 5 所示, 采用线性插值算法进行标度变换时, 将检测值 R_x 通过顺序查表, 与标定点 $R[i]$ 比较, 确定区间 $R[i] < R_x < R[i+1]$, 然后进行线性插值算法求得温度值 T_x :

$$T_x = T[i] + \frac{R_x - R[i]}{R[i+1] - R[i]} (T[i+1] - T[i])$$

因为是每隔 5℃ 标定一个电阻值, 所以 $T[i+1] - T[i] = 5$, 即:

$$T_x = T[i] + 5 \cdot \frac{R_x - R[i]}{R[i+1] - R[i]}$$

[举例]: 现经 A/D 采样和滤波得 Pt100 的电阻值为 $R_x = 112.68\Omega$, 求此时实测对象的温度 T_x 。

解: 已知查 $R_x = 112.68\Omega$,

表得 $R[46] < R_x < R[47]$,

$R[46] = 111.67\Omega$, $R[47] = 113.61\Omega$,

$T[46] = 30^\circ\text{C}$,

代入式 2 得:

$$T_x = T[46] + 5 \cdot \frac{R_x - R[46]}{R[47] - R[46]} = 30 + 5 \cdot \frac{112.68 - 111.67}{113.61 - 111.67} = 32.60 \quad (^\circ\text{C})$$

答: 此时实测对象的温度 T_x 为 32.60°C 。

5. 结论

本方案充分利用单片机的数据处理及实时检测能力, 采用 Pt100 标准热电阻温度传感器

的四线制接法,对导线电阻进行补偿,通过单片机对信号进行数字滤波,使用插值算法对传感器进行非线性校正处理,使得此测温方案具有精度高、量程宽、稳定性好、性能可靠等特点。

参考文献

- [1] 龚一光,杨家仕.一种实用的铂热电阻温度巡检仪[J].成都气象学院学报,2000年02期
- [2] 卫永琴、刘春晖.温度巡检仪调理电路的设计[J].计量技术,2006年第5期
- [3] 沈怀祥,王艳红.温度巡检中的高精度测量[J].节能技术.2004年1月,第22卷,总第123期
- [4] 张翠莲 杨家强 邓善熙.铂电阻温度传感器的非线性特性及其线性化校正方法[J].测控自动化,2004年6月,第20卷,第6期
- [5] MAXIM 半导体公司应用笔记. Positive Analog Feedback Compensates PT100 Transducer[OL]. http://www.maxim-ic.com.cn/appnotes.cfm?an_pk=3450. 2005年10月

A Method of High-precision Temperature Measurement with Pt100

Sun Weibing, Wei Tongyu, Hu Ming, Ren Zihui

School of Information Electrical Engineering, CUMT, Xuzhou, Jiangsu (221008)

Abstract

This paper introduced the characteristic of thermistor Pt100 and the principle of measuring temperature with Pt100. It emphasized three kinds of enhancing the precision of temperature measurement with Pt100: 1. compensation for wire resistance; 2. digital filter for reducing the random error; 3. interpolation arithmetic for compensating nonlinearity of temperature transducer. It makes full use of the capability on processing real-time data of MCU, and realized accurate measurement of temperature within range of -200-650°C.

Keywords: Pt100, high precision, temperature measure, MCU

作者简介:

孙卫兵, 1983年出生, 男(汉), 安徽铜陵人, 中国矿业大学信电学院, 电路与系统专业, 在读硕士研究生, 研究方向: 嵌入式系统设计;

任子晖, 1962年出生, 男(汉), 天津人, 教授, 博导。主要从事检测技术与自动化装置的研究;

魏同宇, 1982年出生, 男(汉), 山东潍坊人, 中国矿业大学信电学院, 检测与自动化装置专业硕士研究生;

胡明, 1982年出生, 男(汉), 江苏徐州人, 中国矿业大学信电学院电路与系统专业在读硕士研究生。