

# 几种简单的传感器非线性校正技术

蔡 兵

(襄樊学院物理学系, 湖北 襄樊 441053)

**摘要** 针对传感器非线性问题,介绍了几种传感器非线性软硬件校正方法——线性插值法、改变电源电压法等. 这些方法可满足绝大多数传感器的线性化需要,具有简单、实用等特点.

**关键词** 传感器;非线性校正;插值法

**中图分类号** TM401 **文献标识码** A **文章编号** 1009-0010(2004)01-0059-03

在测控系统中,传感器的非线性特性严重影响着测控精度. 如何消除传感器的非线性对测控精度的影响一直是必须解决的问题. 本文从应用的角度,并结合实例,总结、归纳了传感器的软硬件校正技术.

## 1 传感器非线性特性产生的原因

### 1.1 传感器自身产生的非线性特性

许多传感器因自身的传感机理因素而导致检测参数与传感器输出信号是非线性关系. 典型例子如铂电阻温度传感器的阻值  $R_t$  与温度  $t$  的关系,可用

$$R_t = R_0(1 + at + bt^2) \quad (1)$$

表示<sup>[1]</sup>. 式(1)中,  $R_t, R_0$  分别为  $t$  °C 和 0 °C 时铂电阻值,  $a = 3.9684 \times 10^{-3}/\text{°C}$ ,  $b = -5.847 \times 10^{-7}/\text{°C}$ . 从式(1)中可看出,传感器自身产生了非线性特性.

### 1.2 传感器转换电路产生的非线性特性

在实际应用中,传感器后面常要接转换电路,而转换电路会产生非线性特性,如常用的四臂平衡电桥(如图1). 图1中,  $R_1$  为温度传感器,且在基准温度下阻值为  $R_1, R_2, R_3$  和  $R_4$  为精密电阻.

$a$  点电位与  $b$  点电位分别为

$$V_a = VR_4/(R_3 + R_4), V_b = VR_2/(R_1 + \Delta R + R_2)$$

其中,  $V$  为稳压电源输出电压,  $\Delta R$  为温度传感器  $R_1$  的变化值. 在基准温度下,电桥平衡时,有  $R_1R_4 = R_2R_3$ . 当温度变化,  $R_1$  也发生  $\Delta R$  的阻值变化时,电桥失去平衡,则电桥输出为

$$V_0 = V_a - V_b = \frac{\Delta R \times R_4 \times V}{(R_1 + \Delta R + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (2)$$

从式(2)可看出  $V_0$  与  $\Delta R$  是非线性关系,转换电路产生了非线性特性.

## 2 传感器线性化方法

从上述分析可知,要消除传感器的非线性特性,首先是在传感器自身的输入输出函数上消除,其次在后

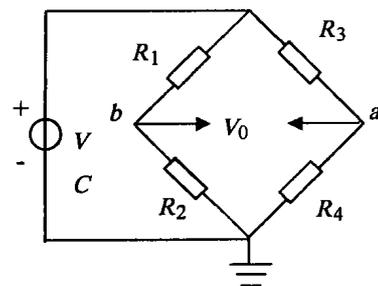


图1 四臂平衡电桥电路

收稿日期:2004-03-02

基金项目:湖北省教育厅科技创新项目(2003J001)

作者简介:蔡兵(1964—),男,大学本科,副教授,现主要从事电工学和计算机测控技术方面的教研工作.

续电路上消除。

## 2.1 传感器自身非线性的线性化方法

由于传感器自身的非线性特性表现在它的输入输出函数上,如果通过变换函数,使函数成为一个线性函数,则传感器自身的非线性就得到消除.如电容传感器两极的位移与电容之间的关系是非线性关系<sup>[2]</sup>

$$C = \frac{\epsilon s}{d_0 - \Delta d},$$

如果采用容抗  $X_c = \frac{1}{\omega C}$  作为传感器的输出,则  $X_c$  与被测量位移  $\Delta d$  就成了线性关系:

$$X_c = \frac{d_0 - \Delta d}{\omega \epsilon s} \quad (3)$$

从式(3)可以看出,输出电压与被测量位移  $\Delta d$  成线性关系,这种方法在理论上完全消除了非线性误差,简单有效.另外,文献[3]已介绍了如何采用  $X_c$  作为输出量的方法,限于篇幅,此处不再赘述.

## 2.2 转换电路非线性的线性化方法

采用上述方法可以使传感器的非线性得到线性化,但有些传感器的输入输出函数较复杂,不能转化成线性关系,这时就应该采用其他方法来线性化.这些方法一般分为硬件校正方法和软件校正方法.

**2.2.1 硬件校正方法** 消除传感器非线性的硬件方法很多<sup>[4-7]</sup>,这里介绍一种简单实用的改变电源电压的线性化方法<sup>[8]</sup>,如图2.

稳压管  $W_z$  提供的参考电压为  $V_w$ ,  $V$  为电桥  $C$  点的电压.根据电路理论有  $V_- = V_+$ ,  $V_- = V_w$ ,  $V_+ = V_w$ ,  $V_o = V_+ = V_w$ , 则

$$V = V_w(R_1 + R_2 + \Delta R_1)/R_2 \quad (4)$$

电桥  $b$  点电位  $V_b$  为

$$V_b = VR_4/(R_3 + R_4)$$

当电桥平衡时,  $R_1R_4 = R_2R_3$ , 则可得电桥的输出电压  $V_o$  为

$$V_o = V_a - V_b = -V_w(\Delta R_1/R_1)/[(1 + R_3/R_4)R_2/R_1]$$

若使  $R_3 = R_4$ , 则

$$V_o = -V_w\Delta R_1/(2R_2) \quad (5)$$

从式(5)可看出,电桥输出的  $V_o$  与  $\Delta R_1$  变成了线性关系,消除了不平衡电桥的非线性误差.此方法电路结构简单,工程中易于实现.

**2.2.2 软件校正方法** 硬件校正电路的不足在于影响电路的因数太多,实际调整时其零点、满度和线性三者相互影响,调整有时较烦琐,故常采用软件方法如查表法<sup>[9]</sup>和神经网络法<sup>[10]</sup>.由于上述方法较复杂,下文介绍两种简单的方法——算法<sup>[11]</sup>和线性插值法<sup>[12]</sup>.

算法就是在软件中编制一段数学表达式的计算程序的方法.当输出信号与传感器的参数之间有确定的数学表达式时,就可以采用算法进行非线性补偿.当被测参数经过采样、滤波后直接进入计算程序进行计算,计算后的数字即为经过线性化处理的输出参数.如在温度小于  $450^\circ\text{C}$  时,NTC 型热敏电阻的电阻——温度特性可表示为<sup>[13]</sup>

$$R = R_0 e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})} \quad (6)$$

把式(6)的反函数关系存入系统中的处理器后,当测得一个输出信号  $R$  时,经过计算就可以得到所需要的温度值  $T$ .

其实,在工程中有时传感器没有确定的数学表达式,但被测参数和输出电压常常是一组测定的数据,这时若采用算法进行线性化处理,则可应用曲线拟合的方法如最小二乘法<sup>[13]</sup>得出误差最小的近似表达式,将其运算规则存入系统的微处理器中,当每测到一个传感器的输出量,就可以通过计算机的计算得到相应的输入值.

线性插值法就是用线段近似代替区间的实际曲线,通过近似公式计算出输入量.图3是某温度传感器  $x$ — $y$  特性曲线.图3中把输入量分成几个均匀的区域,这样每个区域的端点  $x_k$  都对应一个输出  $y_k$ ,实际的检

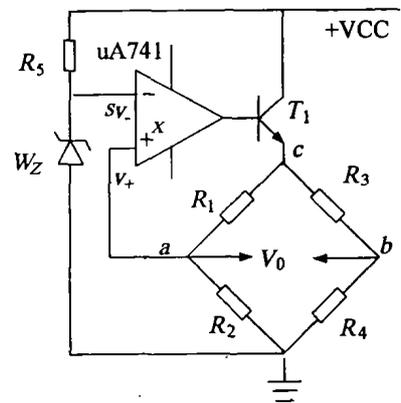


图2 硬件校正电路

测值一定会落在某个区间 $(x_k, x_{k+1})$ 或已知的点上. 把这些 $(x_k, y_k)$ 值编制成表格存储起来, 在线运行时一旦测出传感器的输出量, 计算机就可通过预先编制好的程序计算出相应的输入量.

图3中, 假设 $y_i < y < y_j$ , 则相对应的 $x$ 为

$$x = x_i + \frac{y - y_i}{y_j - y_i} \times (x_j - x_i) \quad (7)$$

从式(7)可知, 查得 $(x_i, y_i)$ 和 $(x_j, y_j)$ 代入(7), 就得到 $x$ . 此线性插值法的优点是划分的段数越多, 精度和准确度就越高, 工程中一般取28~36段.

### 3 结语

以上介绍了几种软硬件校正方法, 尽管传感器的种类较多, 特性各异, 但上述方法可满足绝大多数传感器的线性化需要. 在实际应用中采用哪种方法应视具体情况而定. 总的原则是在满足系统的精度情况下, 硬件电路应尽量简单可靠. 在满足系统实时性要求下, 尽量采用软件校正方法.

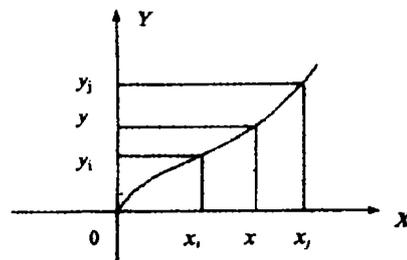


图3 线性插值法示意图

### 参考文献

- [1] 胡风忠. 铂电阻温度传感器的非线性特征及线性化方法[J]. 仪表技术, 2000, (1): 14~15.
- [2] 张家细, 董秀莲. 非线性传感器的校正方法[J]. 计量技术, 2000, 18(6): 27~29.
- [3] 孙传友, 孙晓斌. 感测技术基础[M]. 电子工业出版社, 2003.
- [4] 陈金岭, 张秀丽. 温度传感器信号线性化的几种方法[J]. 成都气象学院学报, 1994, 28: 6~14.
- [5] 单成祥, 牛彦文, 王兴英, 张剑. 热敏电阻传感器线性化的应用[J]. 传感技术学报, 1994, 2: 18~20.
- [6] 姜波. 温度传感器非线性补偿电路[J]. 仪表技术与传感器, 1996, (2): 35~38.
- [7] 王彩君, 黄智进, 吴兴惠. 传感器线性化电路[J]. 传感器技术, 1997, 16(5): 48~51.
- [8] 俞阿龙, 吴达华. 热电偶传感器的一种非线性特性补偿方法[J]. 计量技术, 2001, (8): 21~23.
- [9] 陈正, 喻红. 热电偶测量的线性化处理模块[J]. 计量技术, 1999, (12): 23~25.
- [10] 朱庆保. 最佳拟合与神经网络相结合实现传感器特性线性化[J]. 控制理论与应用, 2003, 20(1): 66~69.
- [11] 袁有臣. 传感器输出特性的线性化回归程序设计[J]. 传感器技术, 2000, (3): 34~35.
- [12] 张翠莲, 杨家强, 邓善熙. 铂电阻温度线性传感器的非线性特性及其线性化校正方法[J]. 仪器仪表, 2002, (2): 43~45.
- [13] 刘君华. 智能传感器系统[M]. 西安电子科技大学出版社, 2000.

## SOME SIMPLE NONLINEAR COMPENSATION TECHNIQUE OF SENSOR

Cai Bing

(Department of Physics, Xiangfan University, HuBei XiangFan 441053)

**Abstract** To solve the non-linear problem of sensors, some software and hardware ways of nonlinear compensation of sensor are introduced in detail, such as interpolatory method, power voltage method, and so on. The methods are simple and useful.

**Key words** sensor; nonlinear compensation; interpolatory method