

电桥应变传感器信号线性的修正方法

刘光达

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

王红宣

(长春开关厂 长春130051)

摘要 通过对工程测试中电桥应变传感器输出信号线性化问题的研究,提出了一种利用模—数转换器比例特性来完成线性修正的方法。文中给出了有关理论推导和具体实现电路。

关键词 传感器 模—数转换器 线性化 电桥

1 引言

在工程测试试验中,各种非电物理量通过传感器转换成电信号。其中,输出模拟信号的传感器,如应变式力、扭矩传感器和测温、湿传感器等,对其非线性特性进行修正的结果,影响着系统的测量精度,是整个测量工作的一个重要内容。目前,工程应变测量中仍然普遍使用半桥或全桥式传感电路,因此有关信号线性化处理的问题依然存在。

作者结合自己的实践,提出了一种采用模—数转换器对模拟传感器信号进行线性化处理的方法。它具有电路元件少,抗干扰能力强,调整简单方便的优点,可以广泛用于同类非线性信号的线性化处理。

2 基本原理

根据定义,一个模拟信号 $V(x)$ (x 是输入物理变量)的非线性 α ,表示它的实际工作曲线与理想直线相应值的最大偏差,除以其满量程输出值所得到的百分比。

我们知道,经设计和制造合格的传感器,其输出信号应具有两条重要的,且一般能达到的特性,即单值性和单向凹特性(单调凹向上和单调凹向下)。如应变式力传感器,热敏、湿敏传感器等都具有这一特点。

模—数转换器的最大特点就是它的比例特性。一片 A/D 转换器有下面的关系:

$$\text{输出读数 } D = \frac{\text{模拟输入电压 } V(x)}{\text{模拟参考电压 } V_R} \times \lambda$$

其中, λ 是当 $V(x) = V_R$ 时的输出读数。写成数学表达式为

$$D = N(x)/N_R \quad (1)$$

我们以呈现二次非线性特性的信号为例加以说明。设

$$V(x) = (ax + 1)x, 0 \leq x \leq x_m \quad (2)$$

如图1所示, 这里 a 是二次项系数。根据定义, $V(x)$ 的非线性 α 为

$$\alpha = [2V(x_m/2) - V(x_m)]/2V(x_m) \quad (3)$$

对凹向上信号 ($a > 0$), α 为负; 凹向下信号 ($a < 0$), α 为正。

从式(2)和图1可以看出, 信号 $V(x)$ 与输入变量 x 是非线性关系, 其最大非线性偏差发生在输入变量 x 区间的中点(这不难导出)。那么, 我们想到, 如果保持信号在输入变量区间起始点处偏差为零不变, 而设法在输入变量区间中点 $x_m/2$ 处使信号偏差也为零的话, 则可以大大减小其非线性。实践证明, 这一想法是正确的。

要说明的是, 修正后的输出信号, 不再是 $V(x)$, 而是数字校正电路(A/D 转换器等)的输出。

3 具体实现电路

具体方法是, 利用 A/D 转换器的比例特性, 把模拟输入电压与一个因子“ β ”的乘积加到其参考电压输入端, 则 A/D 转换器的输出变为

$$D = \frac{N(x)}{V_R + \beta V(x)} \quad (4)$$

利用上述原理, 在式(4)中设法找到一个 β_0 , 使当 $\beta = \beta_0$ 时, 在输入变量 x 的区间中点 $x_m/2$ 处, A/D 转换器数字量输出值等于输入变量 x 在该点的数值, 即实现偏差为零。

参照图1, 有

$$D(x_m) = 2D(x_m/2) \quad (5)$$

将式(4)代入上式, 得

$$\beta_0 = \frac{V(x_m) - 2V(x_m/2)}{V(x_m/2)} \cdot \frac{V_R}{V(x_m)} \quad (6)$$

以上原理的实现电路如下:

(1) 对于凹向上信号, 可以在输入电压 $V(x)$ 与参考电压 V_R 之间加上一个可调电位器, 如图2所示。

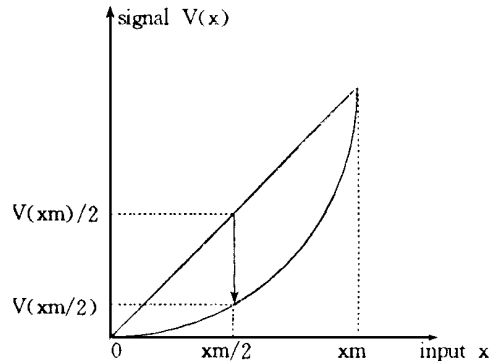


Fig 1 Linearity error of secondary signal

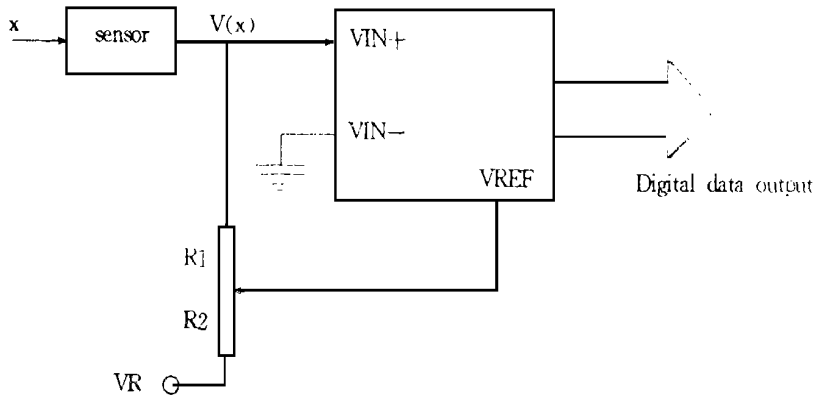


Fig 2 Block diagram of upwards concave signal revision

A/D 转换器的输出为

$$D = \lambda \cdot \frac{1 + R_1/R_2}{V_R + R_1/R_2 \cdot V(x)} \cdot V(x) \quad (7)$$

即

$$D = \lambda \cdot \frac{1 + \beta_0}{V_R + \beta_0 V(x)} \cdot V(x) \quad (8)$$

其中, $\beta_0 = R_1/R_2$ 。

从式(8)可以看出, 如果 A/D 转换器的最大输入电压等于 V_R , 则满刻度校正不受非线性修正网络的影响。这样, 可以通过调整电位器来改变 β 值, 而不影响满刻度校正。

在实际应用这一方法时, 系统调零后, 首先进行满刻度校正(把输入变量调到最大值, 调整 V_R , 使数字量输出达到满刻度读数), 然后进行非线性修正(把输入量调到中间值, 调整电位器, 即改变 β , 使数字量输出为50% 满刻度读数)。

(2) 对于凹向下信号, 修正电路如图3所示。

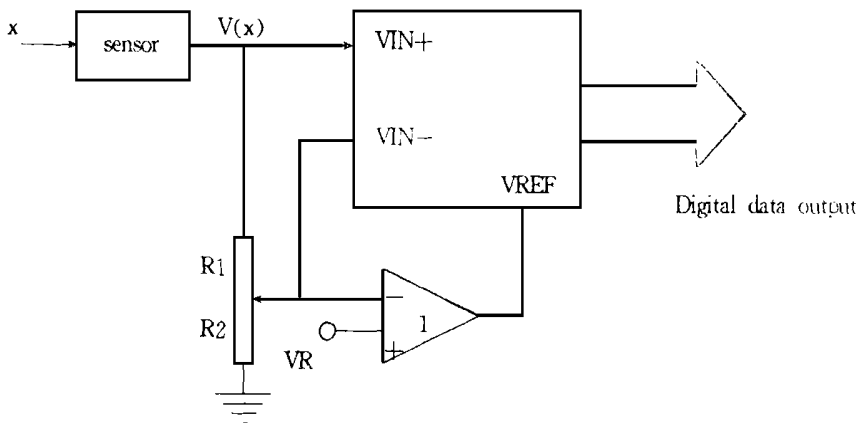


Fig 3 Block diagram of downwards concave signal revision

从图3看出

$$V_{REF} = V_R - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V(x) \quad (9)$$

A/D 转换器输出为

$$D = \lambda \cdot \frac{1 - R_1/(R_1 + R_2)}{V_R - R_1/(R_1 + R_2) \cdot V(x)} \cdot V(x) \quad (10)$$

即

$$D = \lambda \cdot \frac{1 + \beta_0}{V_R + \beta_0 V(x)} \cdot V(x) \quad (11)$$

式中, $\beta_0 = -R_1/(R_1 + R_2)$ 。

同样, 满刻度校正不受电位器变化的影响。该电路的调整步骤与上面电路的基本相同, 在此不再赘述。

4 应用举例

下面讨论用此法对工程应变测试中, 使用最普遍的四臂电桥输出非线性特性进行修正的应用。如图4所示, 电桥输出为

$$U_0 = [R/(4R + 2\Delta R)] \cdot E \quad (12)$$

式中, ΔR 是与应变对应的电阻变化量。

由式(12)可见, U_0 和 ΔR 之间的关系为非线性的, 且为一凹向下曲线。其斜率在 $\Delta R = 0$ 处最大, 随 ΔR 增大其斜率越来越小, 非线性也就越来越严重。

实际工程测试中, 当用大变形应变片对橡皮、木材、混凝土的形变进行测量时, 其 $\Delta R/R$ 有时高达 15% 以上。如仍采用线性刻度的应变仪, 势必造成较大误差, 所以应该进行非线性校正。

为讨论方便, 我们把电桥输出表示为

$$V(x) = ax/(1 + bx) \quad (13)$$

其中, x 为桥臂电阻变化量, a, b 是与电桥参数有关的常量。

将式(13)代入式(4), 得

$$D = \lambda [ax/(1 + bx)] / [V_R + \beta ax/(1 + bx)]$$

即

$$D = \lambda \cdot \frac{ax}{V_R + (bV_R + \beta a)x} \quad (14)$$

当 $\beta = \beta_0$ 时, 使 $bV_R + \beta_0 a = 0$, 得

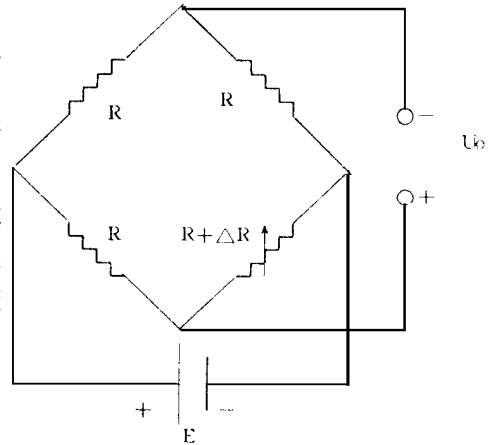


Fig. 4 Typical bridge circuit

$$\beta_0 = -\frac{b}{a}V_R \quad (15)$$

此时 A/D 转换器输出为

$$D = (\lambda a/V_R) \cdot x \quad (16)$$

由式(16)可见, 输入和输出为线性关系。

综上所述, 采用 A/D 转换器对电桥输出信号进行线性修正, 可以使输入信号 x 情况下的数字量输出信号实现线性化。

5 结 束 语

以上我们讨论了用 A/D 转换器对来自传感器的模拟信号的修正方法。实践证明, 对二次非线性特性, 可以把最大偏差减小到原来的 1/10 以下。当非线性阶数增加, 或者信号的数学模型不易建立时, 为了提高测量精度, 应当考虑使用计算机对传感器信号进行线性修正的方法。

参 考 文 献

- 1 刘光达 模拟信号的线性化处理 自动化与仪表, 1990, (2): 38~ 42
- 2 严仲豪 非电量测量 北京: 机械工业出版社, 1982

Bridge Elastic Signal Linearization by Way of A/D Convertor

LU Guang-Da

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

WANG Hong-Xuan

(Changchun Switch Plant, Changchun 130051)

Abstract

Through research on linearizing bridge elastic output of sensor signal, the authors proposed a method of linearization by way of the proportion property of A/D convertor, including theoretical content and concrete circuits

Key words: Sensor, A/D convertor, Linearization, Bridge

刘光达 男, 生于1964年。1990年于吉林工业大学获硕士学位。现为我所在职博士生。参加研制 JZ1-400型激光照排机, 1997年获科学院科技进步二等奖。现从事电子印刷及激光成像设备的电控研究工作。