

电阻电桥传感放大器性能的改善

刘春明

(海渔系)

TN722

A

摘 要 在构成基本型电阻电桥传感放大器的基础上给出了三种改善其性能的方法。1) 补偿法。2) 补偿放大器改进综合法。3) 负反馈法。通过实验证明了理论分析和实际效果是一致的, 从而对电阻传感器在非电量检测中的广泛应用具有一定的实际意义。

关键词 电阻, 电桥, 传感器, 放大器, 线性度, 负反馈

中图分类号 TP206.1

在非电量的检测中, 常常用电阻传感器将一些非电物理量如压力、光、热、湿度、流量等转换为电阻量的变化, 然后再转换为电压进行测量。由于传感器的变化量常常是在一个参考状态的初始值基础上进行变化, 为了获取纯变化量, 利用电桥电路来抑制初始值是一种有效的方法。在电桥电路的输出较小时, 往往又需要用集成运算放大器与之配合, 这样就形成了应用广泛的电阻电桥传感放大器。

电阻电桥传感放大器的性能随着组成电路的形式不同而异, 为改善其性能和提高应用价值, 笔者进行了理论上的探讨和实际电路的实验, 得到了较好的效果。

1 原理分析与实验

电阻传感器以典型的 MF-51 系列中的 TL 型热敏电阻为例, 它是一种负温度系数的热敏电阻, 具有较好的稳定性和互换性。

1.1 基本型桥式传感放大器

图 1 为基本型桥式传感放大器电路。运算放大器 A_1 为电桥提供激励电压, 运算放大器 A_2 构成差动放大器以放大电桥输出的变化量。电阻传感器为 R_t , 其电阻值随温度的变化量, 即桥臂电阻的变化量 ΔR 与初始状态的参考值 R 之比为 $\delta = \Delta R/R$ 。

设运算放大器为理想放大器, 即开环增益和输入电阻均为无穷大。

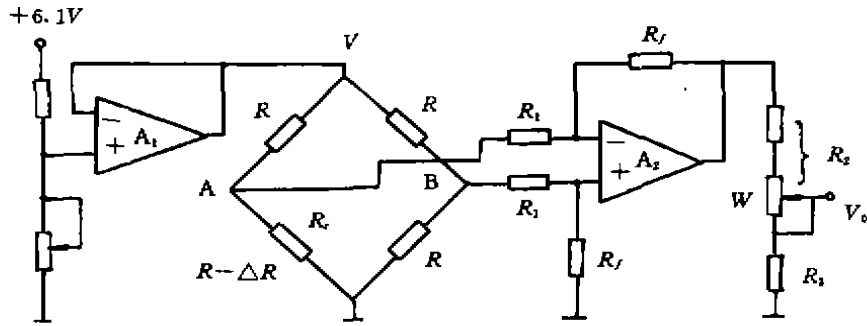


图 1 基本型桥式传感放大器电路

据图 1

$$\begin{cases} V_A = \frac{V(1-\delta)}{2-\delta} \\ V_B = \frac{V}{2} \\ A = \frac{R_f}{R_i} \end{cases}$$

可得 $V_0' = \left(\frac{V}{2} - \frac{V(1-\delta)}{2-\delta}\right) \cdot A = \frac{AV\delta}{4-2\delta}$

则 $V_0 = \frac{V_0'R_3}{R_2+R_3} = KV_0'$

为满足 A/D 转换器的需要，要求传感放大器输出电压的范围为 0~5 V。当运算放大器选用 LM747，电桥激励电压 $V = 1$ V，热敏电阻 R_t 的初始值 R 为 -10°C 时的阻值，即 $12.34 \text{ k}\Omega$ ， $R_1 = 27 \text{ k}\Omega$ ， $R_f = 500 \text{ k}\Omega$ ， $R_2 = 4.7 \text{ k}\Omega$ ， $R_3 = 12 \text{ k}\Omega$ ， $W = 4.7 \text{ k}\Omega$ ，在温度范围为 $-10^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 时，得到的实验数据见表 1 中的基本型一栏。由此得到输出电压 V_0 与温度 t 之间的变化曲线，如图 2 中的 I 所示。

由曲线 I 可见，其非线性比较大。曲线 I 和由两端点连接的直线之间的最大偏差 ΔL_{max} 约为 0.597，线性度为

$$\gamma_{L1} = \pm \frac{|\Delta L_{max}|}{V_{pk}} \times 100\% = 11.94\%$$

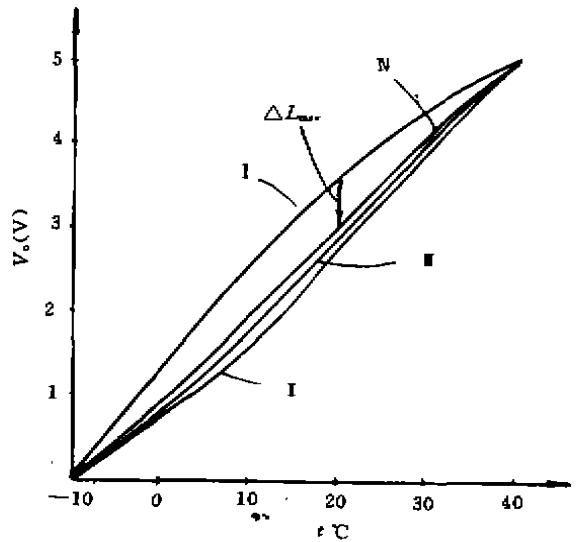


图 2 输出特性曲线

表 1 四种电路的实验数据

温度 (°C)	热敏电阻 R_t (k Ω)	基本型 V_o (V)	补偿型 V_o (V)	综合型 V_o (V)	负反馈型 V_o (V)
-10	12.340	0	0	0	0
-5	9.618	0.676	0.341	0.389	0.449
0	7.546	1.345	0.741	0.814	0.930
5	5.967	1.991	1.192	1.310	1.462
10	4.751	2.590	1.689	1.821	1.990
15	3.812	3.130	2.220	2.350	2.543
20	3.077	3.617	2.770	2.909	3.080
25	2.500	4.040	3.341	3.460	3.600
30	2.045	4.410	3.900	4.001	4.102
35	1.683	4.732	4.462	4.522	4.561
40	1.393	5.000	5.000	5.000	5.000

1.2 补偿法

TL 型热敏电阻的阻值与温度之间的关系曲线如图 3 (a) 所示, 为了减小其非线性, 采用“以正制畸”的补偿方法。将其与一电阻 r 相并联, 见图 3 (b), 其等效电阻为 R_p 。

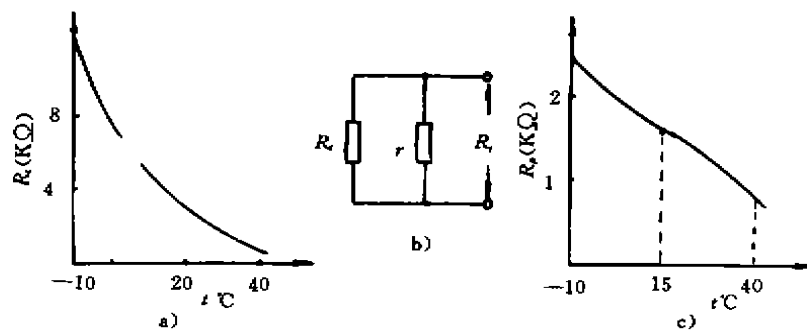


图 3 热敏电阻特性及其补偿法

为使等效后的电阻满足三点同线, 设 X, Y, Z 是温度为 T_A, T_B, T_C 对应的三点, 其等效电阻分别为 R_x, R_y, R_z , 而热敏电阻 R_t 对应该三点的阻值分别为 R_A, R_B, R_C 。根据二点直线方程公式, 由 X 和 Z 两点可得

$$R_p = \frac{(T - T_A)(R_z - R_x)}{T_C - T_A} + R_x$$

$$\text{当 } T_B - T_C = T_C - T_B$$

$$\text{再由 } R_x = \frac{rR_A}{r+R_A}, \quad R_y = \frac{rR_B}{r+R_B}, \quad R_z = \frac{rR_C}{r+R_C}$$

$$\text{得 } r = \frac{R_A R_B + R_B R_C - 2R_A R_C}{R_A + R_C - 2R_B}$$

由此可确定出并联电阻为 $r = 2.94 \text{ k}\Omega$ 。图 3 (c) 为补偿后的等效电阻 R_p 与温度 t 之间的关系曲线, 略呈 S 形。

热敏电阻经补偿后, 电桥的结构如图 4 所示。其中的电阻 R' 作为限流电阻, 以消除热敏电阻由自热现象而引起的误差。在 -10°C 时, 取 $R' = 2 \text{ k}\Omega$, 桥臂总的等效电阻为 $4.37 \text{ k}\Omega$, 以此值作为桥臂电阻的初始值 R 。

等效后, 桥臂的 δ 值随之减小, 当此电桥替换图 1 中的电桥时, 将电阻 R_1 减小为 $6.78 \text{ k}\Omega$ 以增大放大器的放大倍数, 保证 $0 \sim 5 \text{ V}$ 的输出电压。表 1 中列出了补偿后的实验数据, 图 2 中的曲线 I 为输出特性曲线, 线性度为

$$r_{L2} = \frac{1.689 - 2}{5} \times 100\% = -6.2\%$$

可见, 线性度较 γ_{L1} 将近减小了一半。

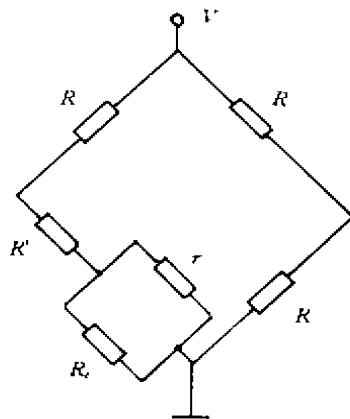


图 4 补偿后的电桥电路

1.3 补偿加放大器改进综合法

综合法的电路结构如图 5 所示, 热敏电阻所在桥臂的电阻 $R = R' + R_p$, 其随温度变化的关系仍由 $R - \Delta R$ 或 $R(1 - \delta)$ 的形式来表示, 根据反相放大器性能和克希荷夫电流定律可得节点 A 和 B 的电流方程式, 即:

$$\begin{cases} \frac{V_o'}{R_f} + \frac{V}{R} + \frac{V_{o1}}{R(1-\delta)} = 0 \\ \frac{V_{o1}}{R} + \frac{V}{R} = 0 \end{cases}$$

$$\text{于是 } V_o' = \frac{VR_f\delta}{R(1-\delta)}$$

$$\text{则 } V_o = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot \frac{VR_f\delta}{R(1-\delta)} = K \cdot \frac{VR_f\delta}{R(1-\delta)}$$

和图 1 电路 V_o 的结果相比较, 在 $\delta < 1$ 的情况下, 该电路的 V_o 和 δ 更接近线性关系。为和基本型桥式放大器相比较, 取 $R = 12.34 \text{ k}\Omega$, $R' = 9.87 \text{ k}\Omega$, $R_f = 500 \text{ k}\Omega$, 实验结果列于表 1 中, 其输出特性曲线见图 2 中的 III, 线性度 $\gamma_{L3} = -3.6\%$, 较 γ_{L1} 约减小了三分之一。

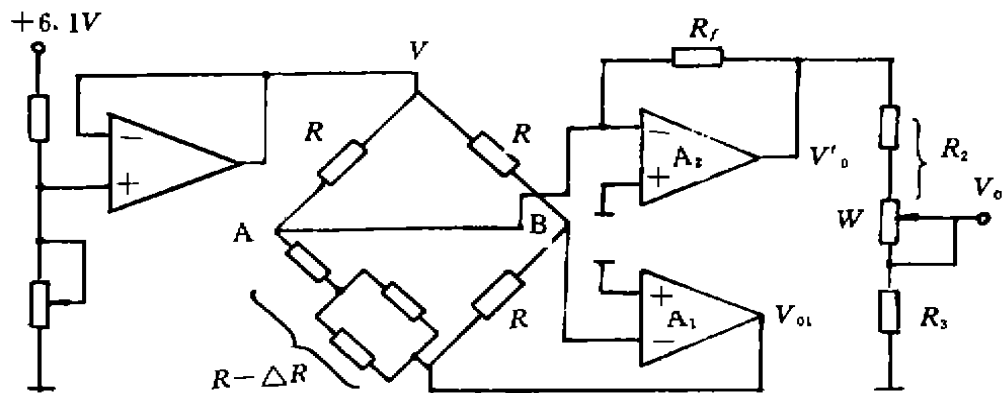


图 5 综合法电路

1.4 负反馈法

图 6 为含有负反馈桥式传感放大器的电路。电桥电路的激励电压 V 不再是独立的固定电压，其变化量受到输出电压 V_o 的控制，其大小随 V_o 的增加而有所减小。

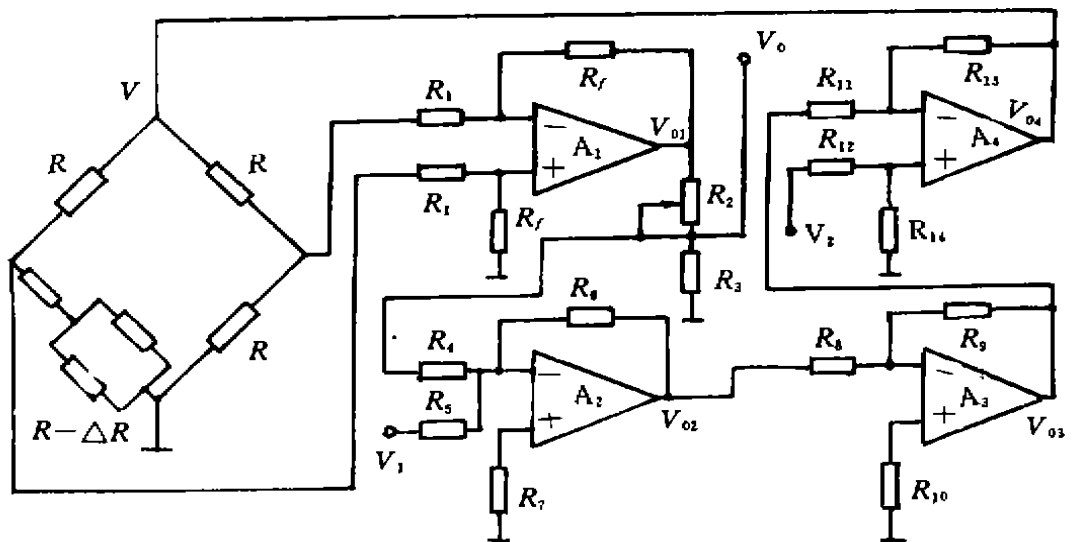


图 6 负反馈法电路

电路中的运放 A_2 是一个反相求和电路, 对输出电压 V_o 的变化范围进行压缩。运放 A_3 为反相器, 用以控制负反馈的大小, 运放 A_4 为差动放大, 得到含有负反馈的电桥激励电压。

由

$$\begin{cases} V_{01} = \frac{AV\delta}{4 - 2\delta} \\ V_o = \frac{V_{01}R_3}{R_2 + R_3} = kV_{01} \\ V_{02} = -R_6\left(\frac{V_o}{R_4} + \frac{V_1}{R_5}\right) \\ V_{03} = -\frac{R_2}{R_8}V_{02} \\ V_{04} = \frac{R_{13}}{R_{11}}(V_2 - V_{03}) = V \end{cases}$$

取 $R_4 = R_5 = R_6 = 3R_7$, $R_{11} = R_{12} = R_{13} = R_{14}$

得 $V_o = (V_2 - \frac{R_9}{R_8}V_1) \frac{kA\delta R_9}{4R_8 + (kAR_9 - 2R_8)\delta}$

若取 $kAR_9 = 2R_8$

则 $V_o = \frac{1}{4}Ak\delta(V_2 - \frac{R_9}{R_8}V_1)$

于是 V_o 与 δ 呈线性关系。当 $R_1 = 4.68 \text{ k}\Omega$, $R_f = 582 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 82 \text{ k}\Omega$, $R_9 = 500 \text{ k}\Omega$, $R_8 = 47 \text{ k}\Omega$, $R_{11} = 27 \text{ k}\Omega$, $V_1 = 6.1 \text{ V}$, $V_2 = 4.1 \text{ V}$, 电桥的结构参数和图 5 中的电桥相同时, 实验结果见表 1, 输出特性曲线见图 2 中的 IV, 由此得到的线性度 $\gamma_{L4} = -1.4\%$, 约为 γ_{L1} 的九分之一。

2 结束语

经理论分析和实验结果, 可以得出下面的结论:

- 1) 三种方法均能改善电阻电桥传感放大器的性能, 因此, 可以分别满足对性能的不同要求。
- 2) 三种方法中以负反馈法为最佳, 此法除了能很好的改善线性度, 还因负反馈的加入, 增加了电路的稳定性和抗干扰能力。
- 3) 采用综合法具有电路比较简单而性能又比较好的特点, 当选用其它类型电阻传感器且非线性不太大时, 有较高的实用价值。

参 考 文 献

- 1 吴道梯. 非电量电测技术. 西安: 西安交通大学出版社, 1990
- 2 郑国良. 传感器非线性处理方法. 传感器技术期刊, 1991 (1)
- 3 Harry L. Trietley: Transducers in mechanical and electronic design, 1986