

实验七 非平衡电桥的应用

非平衡电桥往往和一些传感元件配合使用。某些传感元件受外界环境（压力、温度、光强等）变化引起其内阻的变化，通过非平衡电桥可将阻值转化为电流输出，从而达到观察、测量和控制环境变化的目的。

本实验所用到的传感元件有：铜电阻、热敏电阻、Pt 电阻和光敏电阻等，它们的阻值会随着温度或光强的变化而变化。

【实验目的】

1. 学习非平衡电桥的工作原理；
2. 学习和掌握非平衡电桥的应用；
3. 学习一些传感器的工作原理和不同的测量电路。

【实验原理】

1. 非平衡电桥的工作原理

如图 1 所示，在惠斯顿电桥中： E 为稳压电源， R_1 和 R_2 为固定电阻， R_p 为可变电阻， R_x 为电阻型传感器， U_{out} 为电桥输出电压。当 $U_{out} = 0$ 时，电桥处于平衡状态，此时有

$$R_1 R_p = R_2 R_x \quad (1)$$

当 $U_{out} \neq 0$ 时，电桥处于不平衡状态，则有

$$U_{out} = E \times \frac{R_1 R_p - R_2 R_x}{(R_x + R_p) \times (R_1 + R_2)} \quad (2)$$

在一定条件下，调整电桥达到平衡状态。由（1）式可见，此时电桥的平衡状态与电源无关；当外界条件改变时，传感器的阻值 R_x 会有相应的变化，这时电桥平衡被破坏，桥路两端的电压 U_{out} 也随之而变，由于桥路的输出电压 U_{out} 能反映出桥臂电阻的微小变化，因此通过测量输出电压即可以检测外界条件的变化。这种在非平衡条件下工作的电桥称为非平衡电桥，

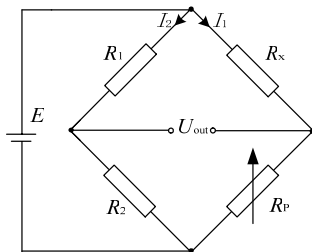


图 1 电桥的二线制接线电路

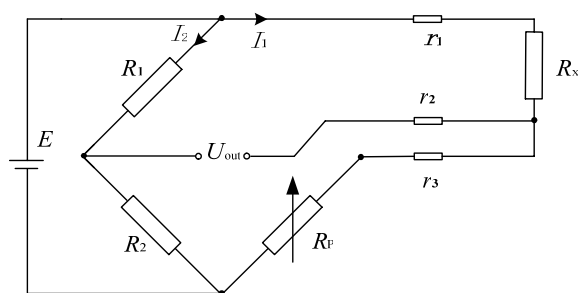


图 2 电桥的三线制接线电路

这样的测量方法为非电量电测法。

2. 测量电路介绍

如采用电阻式传感器作为被测对象，传感元件的引出线有以下几种方式：二线制、三线制和四线制。采用二线制接法（图 1），虽然导线电阻会给测量带来影响，但在测量精度要求不高、测量仪器与被测传感元件距离较近时，常采用二线制。但如果金属电阻本身的阻值很小，那末引线的电阻及其变化也就不能忽视，例如对于 Pt100 铂电阻，若导线电阻为 $1\ \Omega$ ，将会产生 $2.5\ ^\circ\text{C}$ 的测量误差。为了消除或减少引线电阻的影响，通常的办法是采用三线制接法加以处理，如图 2 所示。工业热电阻目前大多采用的都是三线制接法。

在三线制接线电路中，传感元件的一端与一根导线相接，另一端同时接两根导线。传感元件在与电桥配合时，与传感元件相接的三根导线粗细要相同，长度要相等，阻值要一致（图中 r_1, r_2, r_3 即为引线电阻）。其中一根引线（图中 r_1 ）与测量仪表连接，由于测量仪表的内阻很大，可认为流过 r_2 的电流接近于零。另两根引线分别与电桥的两个相邻臂相连，这样引线电阻对测量就不会造成影响。

为了高精度的测量，可将电阻测量仪设计成图 3 所示的四线制测量电路。图中 I 为恒流源， r_1, r_2, r_3, r_4 是引线电阻， R_x 为电阻型传感器， V 为电压表。因为电压表内阻很大，则

$$I_V \ll I_M, \text{ 且 } I_V \approx 0$$

因为 $U_M = U_x + I_V (r_2 + r_3)$ ，所以

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_M - I_V (r_2 + r_3)}{I_M - I_V} \approx \frac{U_M}{I_M} \quad (3)$$

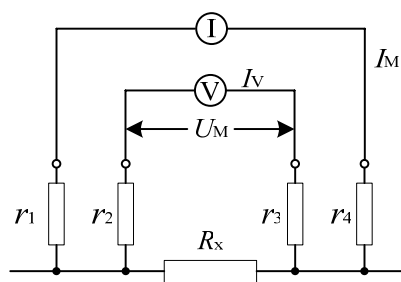


图 3 四线制电阻测量电路

由此可见，引线电阻将不引入测量误差。

【实验仪器】

实验接线板，控温仪，稳压源，恒流源，数字万用表，Zx21 型旋转式电阻箱，传感元件（铂电阻，铜电阻，热敏电阻和光敏电阻），保温瓶， $100\ \Omega/5\ \text{W}$ 可变电阻器和精密电阻等。

1. 控温仪： $0 \sim 200 \pm 1\ ^\circ\text{C}$ ，测量精度 $0.1\ ^\circ\text{C}$ 。
2. 恒流源：当负载电阻在一定范围内变化时，输出电流保持不变，电流稳定度为 1%。
3. 稳压源：电压变化范围为 $0 \sim 15\ \text{V}$ 。

4. 铂电阻：本实验选用 Pt100，它被广泛用来测量 $-200 \sim 850\ ^\circ\text{C}$ 范围的温度。它具有准确度高、灵敏度高、稳定性好等优点。在 $0 \sim 100\ ^\circ\text{C}$ 范围内近似有 $R_t = R_0(1 + At)$ ，其中 A 为正温度系数，约为 $3.85 \times 10^{-3}\ ^\circ\text{C}^{-1}$ ， R_0 为 $0\ ^\circ\text{C}$ 时铂电阻的阻值，允许通过的最大电流 $I_m < 2.5\ \text{mA}$ 。

5. 铜电阻： $-50 \sim 150\ ^\circ\text{C}$ 的范围内有 $R_t = R_0(1 + At + Bt^2 + Ct^3)$ ， R_0 为 $0\ ^\circ\text{C}$ 时铜电阻的阻值， $A = 4.28899 \times 10^{-3}\ ^\circ\text{C}^{-1}$ ， $B = -2.133 \times 10^{-7}\ ^\circ\text{C}^{-2}$ ， $C = 1.233 \times 10^{-9}\ ^\circ\text{C}^{-3}$ 。在 $0 \sim 100\ ^\circ\text{C}$ 范围内近似有 $R_t = R_0(1 + At)$ ，允许通过的最大电流 $I_m < 4\ \text{mA}$ 。

6. 热敏电阻：热敏电阻由半导体材料制成，用其可制成半导体温度计，主要用来测定 $-100\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 间的温度，有 $R_T = R_0 \exp[B(1/T - 1/T_0)]$ ，其中 R_T 和 R_0 分别为温度 T (K)和 T_0 (K)时的电阻值， B 为热敏电阻的材料常数。本实验选用MF51型热敏电阻， $B = 2700\sim 4100\text{ K}$ ， $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时， $R_T \approx 3.3\text{ k}\Omega$ 。允许通过的最大电流 $I_m < 0.4\text{ mA}$ 。

7. 光敏电阻：允许通过的最大电流 $I_m < 0.1\text{ mA}$ 。

【实验内容】

在了解实验室所给条件的基础上，利用非平衡电桥实现以下设计：

1. 制作一铜电阻温度计，测温范围 $0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，输出电压范围 $0\sim 50\text{ mV}$ ，要求最大误差小于 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2. 制作一热敏电阻温度计，测温范围 $0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，输出电压范围 $0\sim 100\text{ mV}$ 。

3. 设计制作一铂电阻 (Pt100) 数字温度计，测温范围 $0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，输出电压范围 $0\sim 50\text{ mV}$ 要求最大误差小于 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4. 取 $R_1 = R_2 = 1\text{ K}\Omega$ ，制作一铂电阻 (Pt100) 数字温度计，测温范围 $0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，输出电压范围 $0\sim 50\text{ mV}$ ，并确定最大误差。

5. 利用光敏电阻制作一光强计，光强范围 $10\sim 1500\text{ lux}$ ，输出电压范围 $0\sim 100\text{ mV}$ 。

【注意事项】

1. 每次实验接线后，要仔细检查线路。接线要牢固、整齐；

2. 水烧开时应注意避免烫伤；

3. 设计的参数应与所给元件的允许值相匹配。

【思考题】

1. 什么是平衡电桥？什么是非平衡电桥？

2. 对于铂电阻、铜电阻，在设计电路时，实验中哪些因素会引起输出电压与温度变化的非线性误差？请事先计算出可能引起的测量误差。你准备采取什么措施？

3. 请根据图 1 和图 2 从理论上分析，与二线制接线法相比，三线制接线法为何能减小测量误差？

4. 万用表内阻是否需要考虑？为什么？

5. 在设计电路时，你主要考虑的因素是什么，为什么？

6. 从实验结果分析，你认为实验结果达到了你所设计的要求了吗？

【参考文献】

[1] 薛文达，谢文和，张呈祥编。传感器应用技术。南京：东南大学出版社。

[2] 吕斯骅，段家柢主编。基础物理实验。北京：北京大学出版社，2002

[3] 黄贤武，郑筱霞编。传感器原理与应用。成都：电子科技大学出版社，1999