

实验十五 非平衡电桥测量铂电阻的温度系数

实验人：钟易轩

指导教师：张晓东

组号：九组七号

学号：2000012706

实验时间：2021 年 11 月 26 日 实验地点：物理楼南楼 233

【实验目的】

- (1) 了解铂电阻传感器的温度特性；
- (2) 了解电阻的三线接法；
- (3) 测定铂电阻的温度系数。

【仪器用具】

ZX96 型电阻器，数字温度计，VC9806 型数字万用表，恒流源，电加热杯，冰水混合物，开关，导线。

表 1: ZX96 型直流电阻器允差

挡位 (Ω)	$\times 10k\Omega$	$\times 1k\Omega$	$\times 100\Omega$	$\times 10\Omega$	$\times 1\Omega$	$\times 0.1\Omega$
允差 e	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 2\%$

VC9806 型数字万用表的允差为：

20mA 档允差： $0.5\% \times \text{读数} + 0.004mA$ ；

200mV 档允差： $0.05\% \times \text{读数} + 0.03mV$ 。

【数据处理】

在非平衡电桥实验中，主要是测定 U_{out} 与 T 的关系，如 (15.1) 式。

$$U_{out} = \frac{I_0}{2} R_0 A_1 \Delta T \quad (15.1)$$

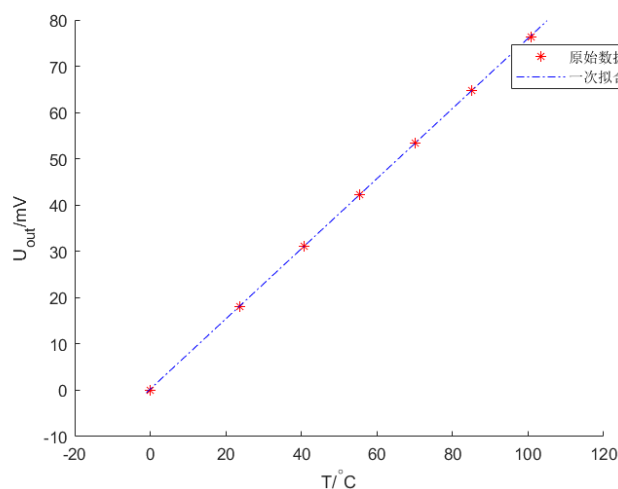
根据 (15.1) 式，测量不同温度时的 U_{out} ，得到表 2。

在 $T = -0.1^\circ\text{C}$ 时, 调整 R_p 的值, 当 $R_p = 100.0(\Omega) = R_0$ 时, $U_{out} = 0.05(\text{V})$. 同时也记录下此时的 $I_0 = 4.001\text{mA}$.

表 2: U_{out} 与 T 对应表

$T/^\circ\text{C}$	-0.1	23.6	40.6	55.3	70.1	85.1	100.7
U_{out}/mV	0.05	18.16	31.08	42.34	53.45	64.75	76.42

根据表 2 中数据, 画出线性回归图.

图 1: U_{out} 与 T 线性回归图

因此求得相关系数为 $r = 0.9999908$, 斜率为 $k = 0.7579(\text{mV}/^\circ\text{C})$, 温度系数 $A_1 = 3.79 \times 10^{-3}(^\circ\text{C})$. 再计算温度系数的不确定度, 公式为

$$\sigma_{A_1} = A_1 \left[\left(\frac{\sigma_k}{k} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{I_0}}{I_0} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_0}}{R_0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15.2)$$

再由 VC9806 数字万用表的允差以及 ZX96 型直流电阻器的允差可得:

$$\begin{aligned} \sigma_{I_0} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \times (0.5\% \times 4.001 + 0.004) \approx \frac{1}{\sqrt{3}} \times 0.024(\text{mA}) \\ \sigma_{R_0} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \times (100 \times 0.1\%) = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 0.1(\Omega) \end{aligned}$$

再计算 σ_k 的值, 由于 $\sigma_k = \sqrt{\sigma_{k_{fit}}^2 + \sigma_{k_U}^2 + \sigma_{k_T}^2}$, 其中由拟合造成的不确定度为

$$\sigma_{k_{fit}} = k \sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{7 - 2}} = 1.45 \times 10^{-3}(\text{mV}/^\circ\text{C})$$

现计算由横纵坐标 T 与 U_{out} 造成的不确定度.

首先最大电压的允差为 $e_U = 0.05\% \times 76.42 + 0.03 = 0.06821(mV)$, 温度的允差用分度值代替, 即 $e_T = 0.1^\circ C$. 则有

$$\sigma_{k_U} = \frac{e_U/\sqrt{3}}{\sqrt{\sum_{i=1}^7 (T_i - \bar{T})^2}} = 4.6 \times 10^{-4}(mV/^\circ C)$$

$$\sigma_{k_T} = \frac{ke_T/\sqrt{3}}{\sqrt{\sum_{i=1}^7 (T_i - \bar{T})^2}} = 5.1 \times 10^{-4}(mV/^\circ C)$$

最后带入以上数据, 算出 $\sigma_{A_1} = 1.56 \times 10^{-5}(/^\circ C)$, 则有 $A_1 = (3.79 \pm 0.02) \times 10^{-3}/^\circ C$.

【思考题】

- (1) 实验中有哪些因素会引起输出-输入非线性误差? 对测量的影响有多大? 本实验采取了什么措施, 用以改善非平衡电桥的线性?

答: 公式 (15.1) 是一个近似公式, 需要 $R_1 \gg R_T, R_2 \gg R_P$, 如果这个条件不满足那么非线性就会加强, 其次一些温度、磁场的改变以及导线的电阻干扰等都会影响线性. 因此本实验采取了 R_1 和 R_2 远大于 100Ω , 使用三线接法以及线性拟合等措施来改善非平衡电桥的线性.

- (2) 处理实验数据时, 如果发现 $U_{out} - T$ 拟合直线截距不为零, 是何原因? 这是否会影响测温精度?

答: 由于第一个数据 $T = -0.1^\circ C$ 时, $U_{out} > 0$, 那么在拟合中, 直线截距就不是零了. 但是应该不会影响测温精度.

【分析与讨论】

铂电阻的温度系数测量结果为 $A_1 = (3.79 \pm 0.02) \times 10^{-3}/^\circ C$, 而理论值为 $A_1 = 3.85 \times 10^{-3}/^\circ C$. 因此测量值是小于理论值的, 其原因是在温度升高时, 由于电阻的变化, 导致电桥两臂的电流不再相等, 从而导致测量值的减小.