

非平衡电桥

电桥是将电阻、电容、电感等电参数变化量转换成电压或直流的一种电路。电桥电路在检测技术中应用非常广泛。根据激励电源的性质不同,可把电桥分为直流电桥和交流电桥两种;根据桥臂阻抗性质的不同,可分为电阻电桥、电容电桥和电感电桥三种;根据电桥工作时是否平衡来区分,可分为平衡电桥和非平衡电桥两种。平衡电桥是把待测电阻与标准电阻进行比较,通过调节电桥平衡,从而测量电阻值,如单臂直流电桥(惠斯登电桥)、双臂直流电桥(开尔文电桥)。它们只能用于测量具有相对稳定状态的物理量,而在实际工程和科学实验中,很多物理量是连续变化的,只能采用非平衡电桥才能测量。将各种电阻型传感器接入电桥回路,根据电桥输出的不平衡电压,再进行运算处理,从而得到引起电阻变化的其他物理量,如温度、压力、形变等。

【实验原理】

非平衡电桥的测量原理如图 1 所示。在构成形式上与平衡电桥类似,但测量方法上有很大差别。平衡电桥是调节 R_3 使 $I_0=0$,而非平衡电桥则是使 R_1 、 R_2 、 R_3 保持不变, R_x 变化时则 U_0 变化。再根据 U_0 与 R_x 的函数关系,通过检测 U_0 的变化而测得 R_x 。由于可以检测连续变化的 U_0 ,所以可以检测连续变化的 R_x ,进而检测连续变化的非电量。

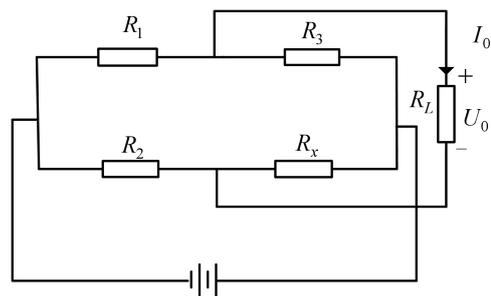


图 1 非平衡电桥工作原理图

习惯上,人们称负载 $R_L=\infty$ 的非平衡应用的电桥叫非平衡电桥。利用非平衡电桥测量变化的电阻,为了测量的准确性,在测量的起始点,电桥必须调制平衡,称为预调平衡,这时电桥输出为 0。此时

$$R_{x0} = \frac{R_2}{R_1} R_3 \quad (1)$$

这样可以使输出只与某一臂的电阻变化有关。

电桥在负载 $R_L \rightarrow \infty$ 的情况下,输出电压:

$$U_0 = \left(\frac{R_x}{R_2 + R_x} - \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) \cdot E \quad (2)$$

根据上式,可进一步分析输出电压与待测电阻值的关系。待测电阻阻值因外界因素(如温度)而发

生变化后，设 $R_x = R_{x0} + \Delta R$ ， ΔR 为电阻变化量。则输出电压变化为

$$\begin{aligned} U_0 &= \left(\frac{R_{x0} + \Delta R}{R_2 + R_{x0} + \Delta R} - \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) \cdot E \\ &= \frac{(R_{x0} + \Delta R)(R_1 + R_3) - R_3(R_2 + R_{x0} + \Delta R)}{(R_2 + R_{x0} + \Delta R)(R_1 + R_3)} E \\ &= \frac{R_1 R_{x0} - R_3 R_2 + R_1 \Delta R}{(R_2 + R_{x0} + \Delta R)(R_1 + R_3)} E \end{aligned} \quad (3)$$

将 (1) 代入上式有

$$U_0 = \frac{R_1 \Delta R}{(R_2 + R_{x0} + \Delta R)(R_1 + R_3)} E \quad (4)$$

如果待测电阻的 $\Delta R \ll R_{x0}$ 时，(4)式可简化为

$$U_0 = \frac{R_1 \Delta R}{(R_2 + R_{x0})(R_1 + R_3)} E \quad (5)$$

此时，输出电压与电阻阻值变化呈线性关系。

各种电桥的输出电压公式如下：

(1) 等臂电桥 ($R_1 = R_2 = R_3 = R_{x0} = R$)

$$U_0 = \frac{R \Delta R}{4R^2 + 2R \Delta R} E = \frac{E}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R}} \quad (6)$$

(2) 输出对称电桥 ($R_1 = R_3 = R$ ， $R_2 = R_{x0} = R'$ 且 $R \neq R'$)

$$U_0 = \frac{E}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R'} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R'}} \quad (7)$$

(3) 电源对称电桥 ($R_1 = R_2 = R'$ ， $R_3 = R_{x0} = R$ 且 $R \neq R'$)

$$U_0 = E \frac{R R'}{(R + R')^2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta R}{R + R'}} \quad (8)$$

通常定义 $S_U = \frac{U_0}{\Delta R}$ 为电桥的输出电压灵敏度，可以看出，等臂电桥和输出对称电桥的输出电压

比电源对称电桥高，因此灵敏度也高，但电源对称电桥的测量范围大，可以通过选 R 和 R' 来扩大测量范围， R 和 R' 差距愈大，测量范围也愈大。

【实验内容】

测定三种非平衡电桥（等臂电桥、输出对称电桥、电源对称电桥）的电压输出特性。

1.选择合适的电桥供电电源电压，调节 R_1 、 R_2 、 R_3 ， R_x 均为 300Ω ，使电桥平衡。但由于电阻箱存在着一定的误差，以及受接触电阻等因素的影响，此时电桥未必能平衡，为此需微调 R_1 或 R_3 使使检流计在正方向偏离最小。

2.测量等臂变化电桥电压输出特性。使 R_x 每次增大 2Ω ，测量 U_0 值，直到 R_x 增大到 10Ω 。

3.测量电源对称电桥电压输出特性。使 R_2 每次增大 2Ω ，而 R_x 相应地减小 2Ω ，测出电桥的相应输出电压 U_0 ，直至 R_2 、 R_x 的最大改变量增到 10Ω 。

4.测量输出对称电桥电压输出特性。使 R_x 每次增大 2Ω ，而 R_1 相应地减小 2Ω 。测出电桥的相应输出电压 U_0 ，直至每个电阻的最大改变量为 10Ω 。

【思考题】

1. 非平衡电桥与平衡电桥有何异同？
2. 举例说明非平衡电桥可以应用在哪些工程技术中？