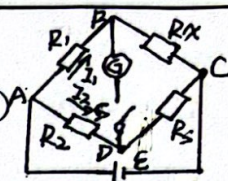


【实验目的】

- ① 掌握惠斯登电桥工作原理及特点，学会自组电桥测量未知电阻。
- ② 掌握正确使用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量电阻的方法。
- ③ 学习如何对测量结果进行误差分析。



【实验原理】（电学、光学画出原理图）

① 惠斯登电桥测量电阻的原理

电桥由桥臂（待测电阻 R_x 和三个已知电阻 R_1, R_2, R_3 ）、桥路（检流计 G 和开关 S ）和工作电源 E 组成。当通过检流计 G 的电流 I_g 等于零时， B, D 两点电位相同，电桥达到平衡，此时流过电阻 R_1 和 R_x 的电流同为 I_1 ，流过电阻 R_2 和 R_3 的电流同为 I_2 ，即：

$$\begin{cases} U_{AB} = I_1 R_1 = U_{AD} = I_2 R_2 \\ U_{BC} = I_1 R_x = U_{BD} = I_2 R_3 \end{cases}$$

因此有 $\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_3}$ ，即 $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3$ (1)，该式称为电桥的平衡条件。 $\frac{R_1}{R_2}$ 为电桥比率臂， R_3 为电桥比较臂。若 R_1, R_2 已知，只要调节 R_3 使检流计 G 无电流通过并记下 R_3 数值便可求得 R_x 值。

② 交换法减小自组电桥系统误差

若电桥的灵敏度足够高，则系统误差主要由 R_1, R_2, R_3 自身的误差来决定，此时相对不确定度为

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_3}{R_3}\right)^2}$$

其中 $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3$ 分别为 R_1, R_2, R_3 的不确定度。为了尽量减小系统误差，可在电桥调节平衡后，将 R_x 和 R_3 位置互换，设 R_3 变为 R_3' 对电桥重新达到平衡，这时有 $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3'$ (2)。由 (1)(2) 两式联立可得 $R_x = \sqrt{R_3 R_3'}$ ，这样就消除了 R_1, R_2 自身的误差对测量误差的影响。

③ 电桥灵敏度

定义电桥灵敏度 $S = \frac{\Delta d}{\Delta R_3}$ ，其中 ΔR_3 为 R_3 的变量， Δd 是检流计 G 的分格格数

④ R_x 的相对不确定度

(1) R_3 的不确定度 $U_{R_3} = \pm (0.001 R_3 + 0.002 m)$ ， m 是电阻箱的转盘数

(2) 电桥灵敏度引入的不确定度 $U_S = \frac{0.2 R_3}{S}$

$$\therefore E = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_3}{R_3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2} = \sqrt{\left(0.001 + \frac{0.002 m}{R_3}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{S}\right)^2}$$



【数据处理与结果】

① 自组电桥测未知电阻 ($\frac{R_1}{R_2} = 1$)(1) 交换前 $R_S = 221.4\Omega$, 交换后 $R_S = 221.2\Omega$

$$\text{因此 } \bar{R}_X = \sqrt{R_3 \cdot R_5} = 221.3\Omega$$

(2) 电桥灵敏度

将 R_S 调节 $\Delta R_S = 0.2\Omega$ (原来为 221.4Ω)检流计偏转 $\Delta d = 27$ 格

$$\text{因此电桥灵敏度 } S = \frac{\Delta d}{\Delta R_S} = 3.0 \times 10^4$$

(3) 待测电阻总相对不确定度 ($m=6$)

$$E = \frac{\Delta R_X}{R_X} = \sqrt{(0.001 + \frac{0.002m}{R_S})^2 + (\frac{0.2}{S})^2} = 0.11\%$$

(4) 测量结果

$$R_X \text{ 的不确定度 } \Delta R_X = \bar{R}_X \cdot E = 0.2\Omega$$

因此 R_X 的测量结果 $R_X = (221.3 \pm 0.2)\Omega$

② 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量未知电阻

待测电阻	R_{n1}	R_{n2}	R_{n3}	R_{n4}	R_{n5}	R_{n6}	R_{n7}	R_{n8}
阻值/ Ω	682.7	682.6	678.7	676.5	681.0	678.4	673.7	676.6

$$\bar{R}_n = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_{ni} = 678.9\Omega$$

$$\text{标准偏差 } S = \sqrt{\frac{1}{8-1} \sum_{i=1}^8 (R_{ni} - \bar{R}_n)^2} = 3.4\Omega$$

$$\text{离散度} = \frac{S}{\bar{R}_n} \times 100\% = 0.5\%$$



【误差分析】

- ① 注意到“自组电桥测未知电阻”实验中的检流计很难准确调零,且有时按下“电计”按钮再松开后原本已调零的检流计又发生小的偏转。这会给 R_s 的测量结果引入误差。
- ② “自组电桥测未知电阻”实验中电阻箱 R_s 的最小分度值为 0.1Ω ,但是在测量中, $R_s=R_0$ 时检流计左偏, $R_s=R_0+0.1\Omega$ 时检流计右偏,均未确切达到零偏。这表示 R_s 电阻箱的精度限制了测量结果的精确性。
- ③ 在“用DJ-23型盒式惠斯登电桥测量未知电阻”实验中,由于检流计(盒中内置)精度较低,调节电阻 $\pm 3 \times 0.1\Omega$ 很难确定哪个阻值时检流计恰好零偏。这会引入一定误差。

【实验心得及思考题】

① 实验心得

本次实验有了上次非平衡电桥实验的经验后,我更深入地了解了惠斯登电桥的工作原理及其应用。利用其测量未知电阻,由于实验器材精度不够高的原因确实有误差存在,整个过程总体来说也是非常顺利的!也感谢老师及时纠正读数问题!

② 思考题

- (1) 为什么用惠斯登电桥测电阻比伏安法测量的准确度高?用电桥法测电阻产生误差的主要因素是什么?
伏安法测电阻是根据 $R=\frac{U}{I}$,但由于电流表与电压表的内阻会引起较大误差,而电桥法不会引入检流计内阻带来的误差;其误差仅来自 R_1, R_2, R_s 的误差,而我们又可以通过交换法消除 R_1, R_2 带来的误差,因此准确度较高。
- (2) 为提高电桥测量灵敏度,应采取哪些措施?为什么?
1) 更改电桥比率臂是,如 $R_2=1$ 则只有3位有效数字,而 $R_2=0.1$ 则有4位有效数字
2) 选用灵敏度更高的检流计
3) 选用最小分度值更小的电阻箱
- (3) 用电桥测电阻时若线路接通后检流计指针总是往一个方向偏转或总不偏转,试分析是什么原因?
1) 总是往一个方向偏转:可能是档位/电桥比率臂设置不合理,导致偏差过大;或电路连接有误出现短路/断路
2) 总不偏转:可能是电路连接有误,如出现断路/检流计被短路;也可能是电源未接通/仪器故障。
- (4) 惠斯登电桥比率选取的原则是什么?为什么要这样选取?
应保证使得电阻箱不超过其标称值的前提下尽可能多使用其他位数,从而提高结果的有效位数。
如(2)中所选,应当使用比率臂为10的整数倍,这样更方便。
- (5) 如何使用自组电桥测量电表内阻(注意电表所能允许通过的最大电流)?根据电桥平衡的特点,可否将桥路中的检流计去掉,换成行时电表判为电桥的平衡?
原理图与本实验相似(即将 R_x 替换为电表),但在首先根据被测电表量程估算,由于 $I_A=I_1=\frac{E}{R_1+R_A}$,应选取适当的 E 与 R_1 以防电流超量程。
可以去掉检流计,只要接通前电表读数不变也可说明B、D等势,电桥平衡了,但由于电表精度不高,误差可能较大。



【数据记录及草表】

① 自组电桥测未知电阻 ($\frac{R_x}{R_s} = 1$)

(1) 交换前 $R_s = 221.4 \Omega$

交换后 $R_s' = 221.2 \Omega$

(2) 电桥灵敏度 $\Delta R_s = 0.2 \Omega$ $R_s = 221.4 \Omega$

$\Delta d = 5.4$ 格 改: 27 格

② 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量未知电阻

待测电阻	R_{n1}	R_{n2}	R_{n3}	R_{n4}	R_{n5}	R_{n6}	R_{n7}	R_{n8}
阻值/ Ω	683.7	682.6	678.7	676.5	681.0	678.4	673.7	676.6

教师签字: 邓欣雨

