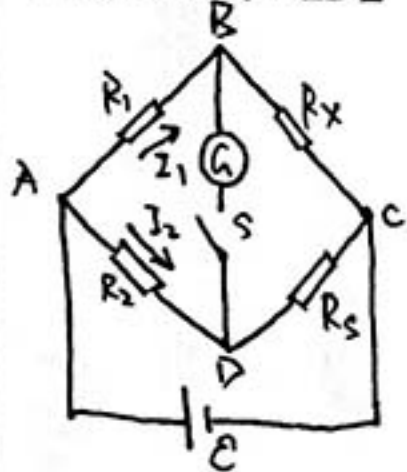


【实验目的】

1. 掌握惠斯登电桥工作原理及其特点, 学会用惠斯登电桥测量未知电阻
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)



惠斯登电桥原理图如右所示, 当通过检流计 G 的电流 I_g 等于零时, B, D 两点电位相同, 此时流过电阻 R_1 和 R_x 的电流同为 I_1 , 流过 R_2 和 R_3 的电流同为 I_2 , 可得 $\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_3}$, 即: $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3$ 其中 $\frac{R_1}{R_2}$ 为电桥比率臂, R_3 为电桥比较臂。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. 交换法减小惠斯登电桥系统误差。

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。为减小系统误差, 可在电桥平衡调节后, 将 R_x 和 R_3 位置互换, 设 R_3 变为 R_3' 时电桥重新达到平衡, 有: $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3'$ 相乘得 $R_x = \sqrt{R_3 \cdot R_3'}$, 因此 R_x 的相对不确定度为 $\frac{\Delta R_x}{R_x} \approx \frac{\Delta R_3}{R_3}$ 。实验中 R_3 常用十进位转盘直流电阻箱, 其仪器允差为: $\Delta R_3 = \pm(a + b \frac{m}{R_3})\%$ 。其中 R_3 是电阻箱的读数, a 是电阻箱的精度等级, b 是与精确度有关的系数, m 为所使用电阻箱的总转数。一般常用的 0.1 级十进位转盘电阻箱 $a=0.1, b=0.2$, 因此有:

$$\Delta R_3 = \pm(0.001 R_3 + 0.002 m)$$

3. 电桥灵敏度

$S = \frac{\Delta d}{\Delta R_x / R_x} = \frac{\Delta d}{\Delta R_3 / R_3}$ 即为电桥灵敏度, 其中 ΔR_3 为电阻箱 R_3 的改变量, Δd 为待测电阻的相对改变量引起的检流计 G 中的偏转格数。在实验中由于电桥灵敏度而引入的不确定度 ΔS 可用下述方法估测: 当电桥达到平衡时, 微小改变 R_3 使检流计指针偏离零点 0.1 小格, 这时可求得 $\Delta S = \frac{0.1 R_3}{S}$ 。因此最终待测电阻 R_x 的相对不确定计算公式为:

$$E = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_3}{R_3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2} = \sqrt{\left(0.001 + \frac{0.002 m}{R_3}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{S}\right)^2}$$

【实验内容】（重点说明）

1. 由检流计测未知电阻
 - (1) 利用检流计、电阻箱、待测电阻及电源等组装电桥，其中 R_1 、 R_2 选用四旋钮电阻箱， R_3 选用六旋钮电阻箱
 - (2) 选取适当的电平衡，使测量结果的有效数字最大化
 - (3) 按下检流计“电计”按钮，测量待测电阻 R_x ，并测出该状态下电桥的灵敏度，并用交换法进行系统误差分析，估算出测量误差 ΔR_x ，写出测量结果表达式
2. 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量未知电阻
 - (1) 打开盒式惠斯登电桥开关并调零，把 B 接上 4.5V 直流稳压电源，“C”和“外接”短接，然后将待测电阻接入 R_x 接线端
 - (2) 根据待测电阻盘上 8 个待测电阻 R_{n1} 、 R_{n2} 、...、 R_{n8} 的数值，选取适当的电平衡，确保测量结果有四位有效数字
 - (3) 先按 B 键，后按 C 键以接通电路，调节 R_3 的 4 个旋钮，使电桥达到平衡，此时 R_3 的 4 个旋钮所示数值乘以电平衡读数即为待测电阻阻值
 - (4) 测量 8 个待测电阻，写出结果表达式，并确定这批电阻的离散程度

【实验器材及注意事项】

实验器材：QJ-23 型盒式惠斯登电桥、检流计、电阻箱

- 注意事项：
1. 检流计上的“电计”与“短路”按钮都具有锁定功能，测量时要确保“短路”按钮未锁定，否则检流计不会偏转
 2. 使用盒式惠斯登电桥，在电桥未平衡时，C 键只能瞬间按下，待指针一偏转应立即放开 C 键
 3. 实验结束，关闭检流计和盒式惠斯登电桥

【数据处理与结果】

(1) 用惠斯通电桥测量未知电阻 (档位 $1 \times 10^{-6} \Omega$, R_1, R_2 均 $\neq 1000 \Omega$)

交换前: $R_S = 225.5 \Omega$, $R_S' = 303.0 \Omega$, $\Delta R_S = 77.5 \Omega$, $\Delta d = 7$

$$\therefore S_1 = \frac{\Delta d}{\Delta R_S / R_S} = 20.4$$

交换后: $R_S^* = 223.0 \Omega$, $R_S^{*'} = 302.0 \Omega$, $\Delta R_S^* = R_S^{*'} - R_S^* = 79.0 \Omega$
 $\Delta d = 7$

$$\therefore S_2 = \frac{\Delta d}{\Delta R_S^* / R_S^*} = 19.8$$

$$\therefore \bar{R}_S = \sqrt{R_S \cdot R_S'} = \sqrt{225.5 \times 223.0} \Omega = 224.2 \Omega, S = \sqrt{S_1 S_2} = 20.1$$

$$\Delta R_x = \bar{R}_S \cdot \sqrt{\left(0.001 + \frac{0.02m}{\bar{R}_S}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{S}\right)^2} = 2.24 \Omega = 2.2 \Omega$$

$m=6$

$$\therefore R_x = (\bar{R}_S \pm \Delta R_x) \Omega = (224.2 \pm 2.2) \Omega$$

(2) 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量未知电阻 (倍率 0.1)

测得 $R_1 = 680.9 \Omega$

$R_2 = 683.0 \Omega$

$R_3 = 684.4 \Omega$

$R_4 = 680.3 \Omega$

$R_5 = 681.4 \Omega$

$R_6 = 685.0 \Omega$

$R_7 = 688.3 \Omega$

$R_8 = 680.4 \Omega$

$$\therefore \Delta R_x = u = \sqrt{u_{R_x}^2 + u_B^2} = 3.1 \Omega$$

$$V(SI) = \frac{\Delta R_x}{\bar{R}_x} \times 100\% = 0.4\%$$

$$\therefore R_x = 683(1 \pm 0.4\%) \Omega$$

$$\therefore \bar{R}_x = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = 683.0 \Omega$$

$$u_B = 0.2\% \times \bar{R}_x = 1.4 \Omega$$

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\bar{R}_x - R_i)^2} = 2.8 \Omega$$

【误差分析】

1. 实验仪器如电阻箱的发热可能给实验带来误差
2. 实验仪器本身存在仪器误差
3. 由于读数时对指针指示位置的判断会引起误差
4. 由于检流计灵敏度不高而引起误差

【实验心得及思考题】

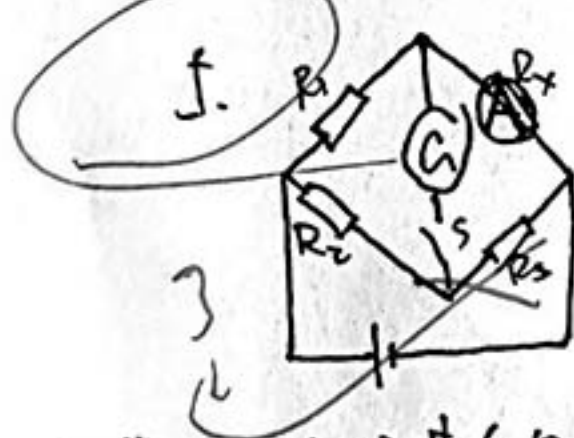
思考题：1. 伏安法测电阻主要由于电流表和电压表内阻而在误差，而惠斯登电桥可消除这一误差，电桥法的误差主要源自不等臂电阻。

2. 应选用灵敏度较高的检流计，适当增加电桥工作电压，尽量把桥臂配置成相等。

3. 总是偏向一边说明电阻总是太大或太小，可能是由于比较臂选择不恰当或电路中出现断路。

总不偏转可能是由于存在短路或断路。

4. 应尽量使电桥比较臂旋钮尽量多的使用，为了提高有效数字位数，提高精密度，当然也要与待测阻值相近。



如左图所示构建电路， R_x 即为电表的内阻，不可以，当电桥平衡时即经过检流计的电流为 0，仍测电表可能精度不够高。

心得：在组装自组电桥测未知阻值时一定要将电路核对，不然可能会产生损坏电路的情况。

【数据记录及草表】

1) 直流检流计: 1×10^{-6} 档, R_1, R_2 均为 1000Ω , R_x 理论值 220Ω

交换前: $R_s = 225.5 \Omega$, $S' = \frac{\Delta d}{\Delta R_s / R_s} = 20.36 = 20.4$
 $R_s' = 303.0 \Omega \Rightarrow$
 $\Delta R_s = 77.5 \Omega$
 $\Delta d = 7$

交换后: $R_s^* = 223.0 \Omega$, $\Delta R_s^* = R_s' - R_s = 77.0 \Omega \Rightarrow S^* = 19.75 = 19.8$
 $R_s^{1*} = 302.0 \Omega$, $\Delta d = 7$

$\bar{R}_x = \sqrt{R_s \cdot R_s^*} = 224.2 \Omega$, $S = \sqrt{S' \cdot S^*} = 20.1$

$\Delta R_x = \bar{R}_x \cdot \sqrt{\left(0.001 + \frac{0.002m}{\bar{R}_s}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{S}\right)^2}$
 $m = 6$

12) 倍率 0.1

$R_1 = 680.9 \Omega$

$R_2 = 683.0 \Omega$

$R_3 = 684.4 \Omega$

$R_4 = 680.3 \Omega$

$R_5 = 681.4 \Omega$

$R_6 = 685.0 \Omega$

$R_7 = 688.3 \Omega$

$R_8 = 680.4 \Omega$

$\bar{R}_x = 687.0 \Omega$

$U_B = 0.2\% \cdot \bar{R}_x = 1.366 \Omega$