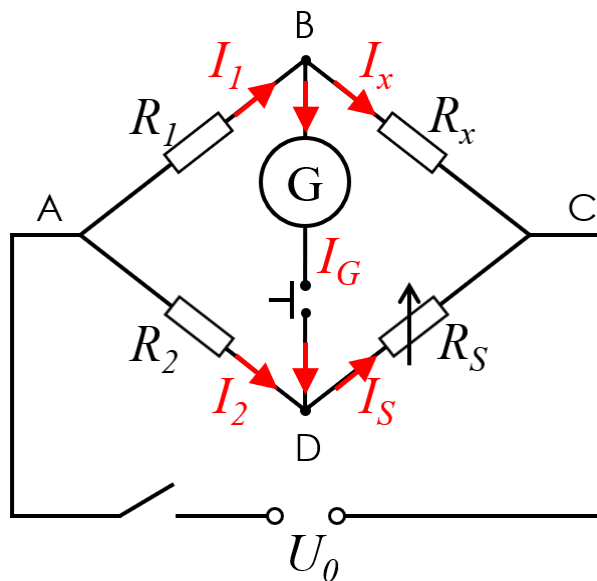


一、预习报告 (10分)

1. 实验综述 (5分)

(1) 惠更斯电桥测量电阻的原理



如上图, R_1 , R_2 , R_x , R_S 组成“桥臂”, 检流计 G 组成“桥路”。当通过 G 的电流 $I_G = 0$ 时, B 、 D 两点电位相等, 电桥达到平衡, 此时有 $I_x = I_1$, $I_S = I_2$

由 $U_{AB} = U_{AD}$, 有 $I_1 R_1 = I_2 R_2$

由 $U_{BC} = U_{DC}$, 有 $I_x R_x = I_S R_S$

两式相除, 得

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_S}$$

即

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_S$$

上式即为电桥的平衡条件

(2) 直接测量与交换法

直接测量法需测量 R_1 , R_2 和 R_S 的值, 再通过 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_S$ 计算

相对不确定度为

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

在第一次测量的基础上, 我们可以交换 R_x 和 R_S 的位置, 调整 R_S 至 R'_S 使得电桥再次平衡

交换前, $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_S$; 交换后, $R_x = \frac{R_2}{R_1} R'_S$

两式相乘可得

$$R_x = \sqrt{R_S R'_S}$$

相对不确定度为

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\Delta R_S}{R_S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R'_S}{R'_S}\right)^2} \approx \frac{\Delta R_S}{R_S}$$

实验采用0.1级十进位转盘电阻箱，其仪器允差引入的不确定度为

$$\frac{\Delta R_S}{R_S} = \pm(a + b \frac{m}{R_S})\% = \pm(0.001 + 0.002 \frac{m}{R_S})$$

相比直接测量法，交换法消除了 R_1 ， R_2 带来的误差

(3) 电桥灵敏度

当 I_G 较小时，检流计没有发生偏转，我们仍会认为电桥平衡，此时待测电阻 $R_x = \frac{R_1}{R_2}(R_S + \Delta R_S)$ ，此时会由于电桥不够灵敏引入误差 ($\frac{R_1}{R_2} \Delta R_S$)

为了定量确定电桥灵敏度，定义它为

$$S = \frac{\Delta d}{\Delta R_S / R_S}$$

其中， ΔR_S 为电阻箱 R_S 改变量， Δd 为检流计偏转格数

由于人眼察觉的界限约为0.2小格，可求得：

$$S = \frac{0.2}{\Delta R_S / R_S} \rightarrow \frac{\Delta R_S}{R_S} = \frac{0.2}{S}$$

(4) 计算 R_x 不确定度

仪器允差引入不确定度 $\frac{\Delta R_S}{R_S} = \pm(0.001 + 0.002 \frac{m}{R_S})$

电桥灵敏度引入不确定度 $\frac{\Delta R_S}{R_S} = \frac{0.2}{S}$

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

$$\Delta R_x = E * \bar{R}_x$$

$$R_x = \bar{R}_x \pm \Delta R_x$$

2. 实验重点 (3分)

(1) 自组电桥测未知电阻

- 利用检流计、电阻箱 (R_1 ， R_2 ：四旋钮； R_S ：六旋钮)、待测电阻及电源等组装电桥
- 选取适当比率臂，利用交换法测量待测电阻，确保测量结果有4位有效数字
- 测算自组电桥的灵敏度

(2) 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测电阻离散度

- 打开盒式惠斯登电桥开关，选择工作电压，将指针调零
- 依次测量待测电阻盘上的8个等值电阻，选取适当的倍臂，确保有效数字达4位
- 计算这批电阻的离散值

3. 实验难点 (2分)

- (1) 掌握惠斯登电桥的原理和特点，使用自组电桥测量未知电阻
- (2) 使用盒式惠斯登电桥测量电阻
- (3) 对测量结果进行误差分析

二、原始数据 (20分)

| 次数 | R_1/Ω | R_2/Ω | R_S/Ω | $\Delta d/\text{格}$ | R'_S/Ω | $\Delta d'/\text{格}$ |
|----|--------------|--------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| 1 | 500 | 500 | $\frac{222.2}{694.8}$ | 19 | $\frac{222.1}{694.8}$ | 19 |
| 2 | 800 | 800 | $\frac{222.2}{694.8}$ | 10 | $\frac{222.1}{694.8}$ | 13 |
| 3 | 1000 | 1000 | $\frac{222.2}{694.8}$ | 12 | $\frac{222.2}{694.8}$ | 11 |
| 4 | 1500 | 1500 | $\frac{222.2}{694.7}$ | 9 | $\frac{222.2}{694.8}$ | 9 |
| 5 | 2000 | 2000 | $\frac{222.2}{694.7}$ | 5 | $\frac{222.1}{694.8}$ | 6 |
| 6 | 3000 | 3000 | $\frac{222.2}{694.7}$ | 4 | $\frac{222.2}{694.8}$ | 5 |

$\Rightarrow \bar{R}_S = 694.8\Omega$ $\bar{R}'_S = 694.9\Omega$
 $\bar{R}_x = \sqrt{\bar{R}_S \cdot \bar{R}'_S} = 694.8\Omega$
选取 Δd 最大 - 组数据, $R'_S = 694.8\Omega$ $\Delta d = 5$ 格 $\Delta R_S = 0.1\Omega$
电桥灵敏度 $S = \frac{\Delta d}{\Delta R_S / R_S} = 3.5 \times 10^4$ 格
 $E = \frac{\Delta R_x}{\bar{R}_x} = \sqrt{(\frac{0.001}{694.8})^2 + (\frac{0.2}{3.5})^2}$, $m = 6$
 $\Delta R_x = E \cdot \bar{R}_x =$

1 2 3 4 5 6 7 8
694.5 682.8 686.8 682.3 686.8 677.4
679.6 680.8

222.1

郑朋颖

三、结果与分析 (60分)

1. 数据处理与结果 (30分)

- (1) 自组电桥测未知电阻

| 次数 | R_1/Ω | R_2/Ω | R_S/Ω | $\Delta d/\text{格}$ | R'_S/Ω | $\Delta d'/\text{格}$ |
|----|--------------|--------------|--------------|---------------------|---------------|----------------------|
| 1 | 500 | 500 | 222.2 | 19 | 222.1 | 19 |
| 2 | 800 | 800 | 222.2 | 10 | 222.2 | 13 |
| 3 | 1000 | 1000 | 222.2 | 12 | 222.2 | 11 |
| 4 | 1500 | 1500 | 222.2 | 9 | 222.2 | 9 |
| 5 | 2000 | 2000 | 222.2 | 5 | 222.1 | 6 |
| 6 | 3000 | 3000 | 222.2 | 4 | 222.2 | 5 |

待测电阻阻值:

$$\bar{R}_S = 222.2\Omega, \bar{R}'_S = 222.2\Omega$$

$$\bar{R}_x = \sqrt{\bar{R}_S \bar{R}'_S} = 222.2\Omega$$

电桥灵敏度:

选取 $R_S = 222.2\Omega$, $\Delta d = 19$ 格, $\Delta R_S = 0.1\Omega$

$$S = \frac{\Delta d}{\Delta R_S / R_S} = 4.2 \times 10^4 \text{格}$$

不确定度:

$$E = \frac{\Delta R_x}{\bar{R}_x} = \sqrt{(0.001 + \frac{0.002m}{\bar{R}_S})^2 + (\frac{0.2}{S})^2} = 0.10\%$$

$$\Delta R_x = E \cdot \bar{R}_x = 0.22\Omega$$

故 R_x 的最终测量结果:

$$R_x = (222.20 \pm 0.22)\Omega$$

(2) 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测电阻离散度

| 待测电阻 R_i | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 | R_5 | R_6 | R_7 | R_8 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 测得电阻/ Ω | 694.5 | 682.8 | 686.8 | 679.6 | 682.3 | 680.8 | 686.8 | 677.4 |

$$\text{均值: } \bar{R} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i = 683.9\Omega$$

$$\text{标准偏差: } S = \sqrt{\frac{1}{8-1} \sum_{i=1}^8 (R_i - \bar{R})^2} = 5.4\Omega$$

$$\text{离散度} = \frac{S}{\bar{R}_n} \times 100\% = 0.8\%$$

↓分析离散度来源

— |

2. 误差分析 (20分)

1. 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幅偏转。这会影 响 R_S 的测量结果。
2. 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 电阻箱的精度限值了测量结果的精确性。
3. 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测电阻时, 由于盒中内置的检流计精度较低, 调节 $\pm 3 \times 0.1\Omega$ 都很难观察到偏转, 因此很难确定哪个阻值时确切零偏。这会引入一定误差。

3. 实验探讨 (10分)

本次实验通过自组电桥和盒式电桥分别测量了未知电阻。操作中, 通过调节电阻箱使检流计指零达到电桥平衡, 从而计算阻值。误差分析表明, 电桥灵敏度等因素会引入较大误差。实验加深了对电桥原理和误差来源的理解。

四、思考题 (10分)

1. 为什么用惠斯登电桥测量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原因是什么?
 - 伏安法测电阻是根据 $R = \frac{U}{I}$, 但由于电压表和电流表的内阻, 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, 同时, 又可用交换法消除 R_1 、 R_2 带来的误差, 因此准确度高。
2. 为了提高电桥测量灵敏度, 应采取那些措施? 为什么?
 - 首先, 可以更改电桥比率臂 $\frac{R_1}{R_2}$, 例如用最大阻值为 9999Ω 的电阻箱来测几百欧的电阻, 如果 $\frac{R_1}{R_2} = 1$ 则只有3位有效数字, 而如果 $\frac{R_1}{R_2} = 0.1$ 则有4位有效数字。
 - 其次, 可以选用灵敏度更高的检流计和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?
 - 总是往一个方向偏转: 可能是挡位或电桥比率臂不合理, 导致偏转过大, 或电路连接有误, 出现短路或断路。
 - 总不偏转: 可能是电路连接有误, 如出现断路或检流计被短路; 也可能是电源未接通或仪器故障。
4. 惠斯登电桥比率臂选取的原则是什么? 为什么要这样选取?
 - 保证电阻箱在不超过最大阻值的前提下尽可能多地使用其位数, 从而提高结果的有效位数。也应使比率臂为 10 的整数次幂, 这样可以避免复杂计算导致的舍入。
5. 如何使用自组电桥测量电表内阻? 根据电桥平衡的特点, 可否将桥路中的检流计去掉, 换成用电表判别电桥的平衡?
 - 可以将待测电阻换成待测电表, 原理与前实验相同, 但应根据所测电表量程进行估算, 选取合适的电源电压和电阻值, 以防电表超出量程。
 - 如果去掉检流计, 仅通过电表示数也可判断电桥平衡。只要接通开关S前后, 电表的示数未发生改变, 说明B、D等势, 电桥平衡。但相应的, 由于电表精度不高, 因此误差可能较大。