

实验目的

1. 掌握惠斯登电桥测量中值电阻的原理和特点； 2. 学会利用自给惠斯登电桥测量未知电阻，并掌握计算测量结果的不确定度； 3. 学会用箱式单臂电桥测量中值电阻； 4. 了解电桥灵敏度对测量结果的影响，以及常用减小测量误差的办法。

实验仪器名称 [型号、主要参数]

干电池、直流指针式检流计、ZX21型电阻箱、滑线变阻器、QJ23型箱式电桥、开关、导线等。

实验原理和操作步骤 [基本物理思想、设计原理、主要公式及其意义、电路图或光路图等；操作步骤]

一、实验原理

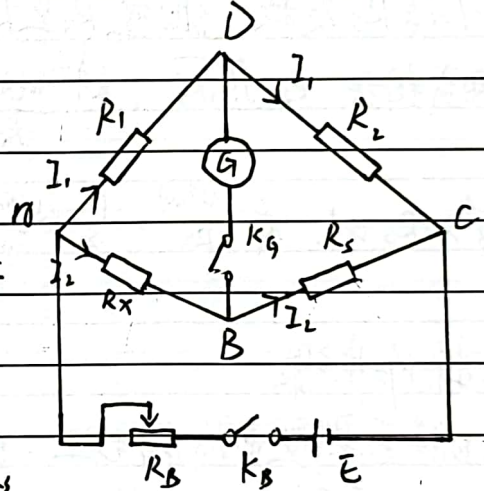
1. 惠斯登电桥的原理及结构

1.1 测量原理

调节 R_1, R_2, R_s ，使 B、D 间串联的检流计 G 上的电流为 0，即 $I_G = 0$ ，此时电桥处于平衡状态。有

$U_{AD} = U_{DB}$ ，由欧姆定律得：

$$I_1 R_1 = I_2 R_x, \quad I_1 R_2 = I_2 R_s \quad \therefore R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s$$



1.2 电桥灵敏度

检流计灵敏度有限，当电桥平衡时，检流计仍有电流通过，只是 I_G 过小无法测出。电桥平衡是相对的。设电桥在 $\frac{R_1}{R_2}$ 时平衡，则有 $R_x = R_s$ 。若将 R_s 改变一小量 ΔR_s ，电桥应失去平衡，但 ΔI_G 小到检测不出来，则认为电桥依然平衡，因而 $R_x = R_s + \Delta R_s$ ， ΔR_s 是由于检流计灵敏度不够带来的测量误差 ΔR_x 。电桥灵敏度 $S = \frac{\Delta I_G}{\Delta R_x / R_x} \left(\frac{\Delta R_x}{R_x} \text{ 即 } \frac{\Delta R_s}{R_s} \right)$

电桥平衡时， $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s$ ，平衡点附近 $\Delta R_x \approx \frac{R_1}{R_2} \Delta R_s$

$$\therefore \frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta R_s}{R_s}, \quad \Delta R_s \text{ 不可取太大}$$

$$S = \frac{\Delta I_G}{\Delta R_x / R_x} = S_1 \cdot S_2 \quad (S_1 \text{ 为检流计电流灵敏度, } S_2 \text{ 为电桥线路灵敏度})$$

由基尔霍夫定律 (不考虑电源内阻) 可得：
$$I_G = \frac{(R_2 R_x - R_1 R_s) E}{\Delta + R_2 (R_1 + R_2) (R_x + R_s)}$$

考虑右平衡点附近 $R_2 R_x - R_1 R_3 \approx 0$ 可得:

$$S_i = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3 + R_x + R_g [2 + (\frac{R_1}{R_2} + \frac{R_3}{R_x})]}$$

∴ 整个电桥灵敏度 $S = \frac{S_i E}{R_1 + R_2 + R_3 + R_x + R_g [2 + (\frac{R_1}{R_2} + \frac{R_3}{R_x})]}$

2. 交换法测电阻.

当电桥平衡时由 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3$ 可得其不确定度为:

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

把 R_x 与 R_3 交换, 调整 R_3 至 R_3' 使电桥重新平衡 (R_1, R_2 不变), 有 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3'$

上两式相乘, $R_x = \sqrt{R_3 R_3'}$, 则 $\frac{u(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{u(R_3)}{R_3}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{u(R_3')}{R_3'}\right)^2}$

当 $R_3' \approx R_3$ 时, 有 $\frac{u(R_x)}{R_x} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{u(R_3)}{R_3}$

二. 操作步骤

1. 自搭惠斯登电桥测电阻: 自搭惠斯登电桥并用其分别测两未知电阻 R_{x1} 和 R_{x2} . 要求: 合理选择 R_1, R_2 , 使 R_{x1}, R_{x2} 测量结果有四位有效数字.

2. 交换法测电阻: 在上述基础上, 交换 R_3 和 R_x 的位置, 分别测量待测电阻.

3. QJ23 型箱式电桥测量未知电阻

要求选择合适的比率臂倍数, 使被测电阻有四位有效数字.

高欣璐

实验数据处理与讨论 [实验数据计算、不确定度公式推导与计算、结果表示与讨论等]

1. 自搭惠斯登电桥测量两个电阻.

R_x	$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$R_3(\Omega)$	待测电阻阻值:
$\approx 30\Omega$	100.0	700.0	2085	$R_{x1} = \frac{R_1}{R_2} R_3 = 29.79\Omega$
$\approx 1.5 \sim 2k\Omega$	750.0	150.0	395.8	$R_{x2} = \frac{R_1}{R_2} R_3 = 1979\Omega$

电阻箱的仪器误差: $\frac{\Delta R}{R} = (0.1 + 0.2 \frac{b}{R})\%$, m 取 6.由一次测量, 则 $u(R_x) = u(x) = \Delta_{\text{仪}}$.

$$\textcircled{1} R_x \approx 30\Omega: \frac{u(R_1)}{R_1} = \frac{\Delta R}{R} = (0.1 + 0.2 \times \frac{b}{R_1})\% = 0.112\%$$

$$\frac{u(R_2)}{R_2} = \frac{\Delta R}{R} = (0.1 + 0.2 \times \frac{b}{R_2})\% = 0.102\%$$

$$\frac{u(R_3)}{R_3} = \frac{\Delta R}{R} = (0.1 + 0.2 \times \frac{b}{R_3})\% = 0.106\%$$

$$\text{则 } \frac{u(R_x)}{R_x} = \sqrt{(\frac{u(R_1)}{R_1})^2 + (\frac{u(R_2)}{R_2})^2 + (\frac{u(R_3)}{R_3})^2} = 0.18\%$$

$$\text{则 } u(R_x) = R_{x1} \times 0.18\% \approx 0.05\Omega$$

$$\text{即 } \begin{cases} R_x \pm u(R_x) = (29.79 \pm 0.05)\Omega \\ \frac{u(R_x)}{R_x} \times 100\% = 0.18\% \end{cases}$$

$$\textcircled{2} R \approx 1.5 \sim 2k\Omega: \frac{u(R_1)}{R_1} = \frac{\Delta R}{R} = (0.1 + 0.2 \times \frac{b}{R_1})\% = 0.102\%$$

$$\frac{u(R_2)}{R_2} = \frac{\Delta R}{R} = (0.1 + 0.2 \times \frac{b}{R_2})\% = 0.108\%$$

$$\frac{u(R_3)}{R_3} = \frac{\Delta R}{R} = (0.1 + 0.2 \times \frac{b}{R_3})\% = 0.103\%$$

$$\text{则 } \frac{u(R_x)}{R_x} = \sqrt{(\frac{u(R_1)}{R_1})^2 + (\frac{u(R_2)}{R_2})^2 + (\frac{u(R_3)}{R_3})^2} = 0.18\%$$

$$\text{则 } u(R_x) = R_{x2} \times 0.18\% \approx 4\Omega$$

$$\text{即 } \begin{cases} R_x \pm u(R_x) = (1979 \pm 4)\Omega \\ \frac{u(R_x)}{R_x} \times 100\% = 0.18\% \end{cases}$$

2. 交换法测电阻.

R_x	$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$R_3(\Omega)$	$R_3'(\Omega)$
$\approx 680\Omega$	500.0	400.0	539.7	843.6

$$2) R_x = \sqrt{R_3 \cdot R_3'} = \sqrt{539.7 \times 843.6} = 674.8\Omega$$

$$\text{其中: } \frac{u(R_3)}{R_3} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{R_3})\% = 0.102\%$$

$$\frac{u(R_3')}{R_3'} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{R_3'})\% = 0.101\%$$

$$\text{即 } \frac{u(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{u(R_3)}{R_3}\right)^2 + \left(\frac{u(R_3')}{R_3'}\right)^2} = 0.07\%$$

$$2) u(R_x) = R_x \cdot 0.07\% \approx 0.5\Omega$$

$$\text{即 } R_x \pm u(R_x) = (674.8 \pm 0.5)\Omega$$

$$\frac{u(R_x)}{R_x} \times 100\% = 0.07\%$$

3. 比较和讨论.

利用交换法测量结果的不确定度相比自搭惠斯登电桥测量法的不确定度, 下降)一半以上.

回答问题与实验总结

一. 思考题

1. R_1, R_2 在交换前后不可以改变; 应为等臂交换, 防止 R_1, R_2 偏去以减少误差。

若交换, 会使电阻箱误差发生变化

2. “电计”键为接通检流计, 观察指针偏转, 判断是否达到平衡状态

“短路”键用于使指针在摆动时较快回到平衡位置。

锁扣露出红点时才能调零和测量。

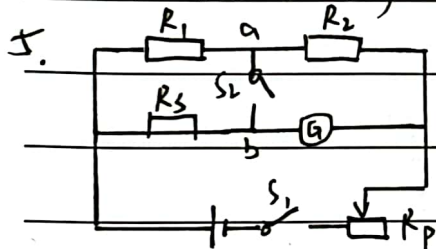
使用后应露出白点。

3. 刚开始起保护电路的作用; 当调电阻接近实际阻值时, 滑线变阻器调为零。

起到提高检流计灵敏度的作用。

4. 1) 会: 导致检流计偏幅不明显; 2) 不会: 无论电压多, 检流计两端等势。

3) 会: 无法准确判断是否平衡; 4) 会: 电流极小时, 检流计无法显示。



R_1 接 0.1, 0.9 Ω 接线柱。

R_2 接 0.9, 9.9 Ω 接线柱。

R_3 接 9.9, 99.999.9 Ω 接线柱。

若中间无电流, 则闭合 S_2 , 微安表示数不发生变化, 此时: $R_g = \frac{R_2}{R_1} R_3$

二. 实验总结

深刻体会到了电桥的应用, 实际操作提高了动手能力。

任课教师指导意见

实验 3.3 惠斯登电桥测量中值电阻

姓名 张景阳 合作者 _____ 班级 202211320 教师 高欣璐 实验时间 3.27 实验组号 8

一、预习要点

1. 惠斯登电桥的测量原理和特点;
2. 交换法减小测量误差的基本原理; 交换法测量时, R_1, R_2 的阻值是否可以改变;
3. 哪些参量影响电桥的灵敏度? 如何测量电桥灵敏度?
4. 从减小测量误差的角度出发, 说明如何选择桥臂电阻;

二、实验注意事项

1. 检流计不能在短路情况下调零。使用时露出红点。使用后露出白点。

三、实验内容

1. 自搭惠斯登电桥测量数据表中指定的两个电阻 R_x 。采用三个电阻箱作为桥臂电阻, 要求测量结果 R_x 有 4 位有效数字;
2. 利用交换法测量数据表中指定的电阻; 要求测量结果 R_x 有 4 位有效数字;

四、数据表格

1. 自搭惠斯登电桥测量两个电阻

R_x	$R_1 (\Omega)$	$R_2 (\Omega)$	$R_s (\Omega)$
$\approx 30\Omega$	100.0	700.0	208.5 208.5
$\approx 1.5 \sim 2k\Omega$	750.0 750.0	750.0 150.0	395.8

2. 交换法测电阻

R_x	$R_1 (\Omega)$	$R_2 (\Omega)$	$R_s (\Omega)$	$R_s' (\Omega)$
$\approx 680\Omega$	500.0	400.0	539.7	843.6 843.6

3. 设计实验, 测量自搭单臂电桥的灵敏度。(选作)

教师签字 高欣璐