

北京邮电大学

物理实验报告

实验名称: 惠斯登电桥测中值电阻

学 院: 信息与通信工程学院

班 级: 2018211128

姓 名: 吴辉强

学 号: 2018213487

任课教师: 王鑫老师

实验日期: 2019.11.1

成 绩: 90

北京邮电大学 物理实验中心 印制

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. 学会利用自搭惠斯登电桥测量未知电阻, 并掌握计算结果的不确定度
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(也叫单臂电桥), 其原理如图所示, R_1, R_2, R_5 为可调标准电阻,

R_1, R_2 为比率臂, R_5 为比较臂, R_x 为待测电阻, G 为检流计, E 为电源电动势, 调节 R_1, R_2, R_5 使得检流计上电流为 0, 即 $I_G = 0$, 此时电桥处于平衡状态, 有 $U_{AD} = U_{AB}$.

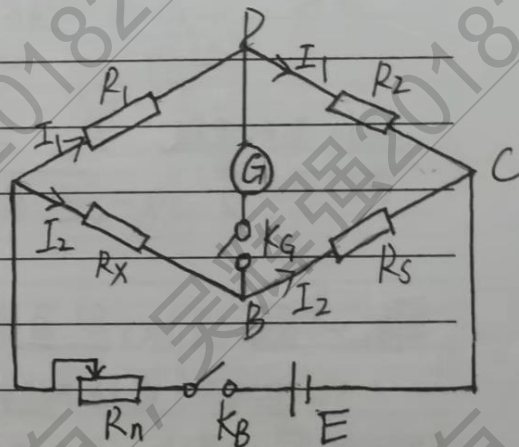
由欧姆定律: $I_1 R_1 = I_2 R_x$, $I_1 R_2 = I_2 R_5$

$$\Rightarrow R_x = \frac{R_1}{R_2} R_5. \quad (1)$$

2. 电桥的灵敏度 (S)

$S = \frac{\Delta n}{\frac{\Delta R_x}{R_x}}$, ② 即电桥灵敏度 S 是桥臂电阻的相对变化 $\frac{\Delta R_x}{R_x}$ (实际上是 $\frac{\Delta R_5}{R_5}$, 因 R_x 是不能变的) 与检流计相应的偏转格数 Δn 的比值。电桥灵敏度反映电桥对电阻相对变化的分辨率能力。如果电桥灵敏度高, 则对于待测电阻的微小变化, 检流计将有明显的偏转。

③ 式亦可写为: $S = \frac{\Delta n}{\frac{\Delta I_G}{I_G} \cdot \frac{\Delta R_x}{R_x}} = S_i \cdot S_L$, ③ S_i 表示检流计的电流灵敏度, S_L 表示电桥的线路灵敏度。



整个电桥的灵敏度为

$$S = S_i E$$

④

$$R_1 + R_2 + R_5 + R_x + R_g \left[2 + \left(\frac{R_1}{R_2} + \frac{R_5}{R_x} \right) \right]$$

由④式有如下结论:

① 电桥的灵敏度与检流计的灵敏度 S_i 成正比;

② 电源电动势越高, 电桥灵敏度就越高(但应注意功率, 避免损坏);

③ 检流计内阻 R_g 越小, 电桥灵敏度越高;

④ 桥臂电阻 (R_1 、 R_2 、 R_5 、 R_x) 越大, 电桥灵敏度越低。

3. 交换法测电阻。

由 $R_x = \frac{R_2}{R_1} R_5$ 得不确定度:

$$\frac{u(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{u(R_1)}{R_1} \right)^2 + \left(\frac{u(R_2)}{R_2} \right)^2 + \left(\frac{u(R_5)}{R_5} \right)^2} \quad ⑤$$

将 R_5 与 R_x 交换: $R_x = \frac{R_2}{R_1} R_5'$ ⑥

由⑤、⑥式得: $R_x = \sqrt{R_5 \cdot R_5'}$, $\frac{u(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \frac{u(R_5)}{R_5} \right)^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{u(R_5')}{R_5'} \right)^2}$ 减少了误差

实验步骤 (QJ23 型直流单臂电桥使用):

1. 根据待测电阻的粗略值(标称值或用万用表测出的数值), 选定合适的比例臂的数值, 使电桥平衡时, 比较臂 R_s 的四个旋钮都能用上(测出四位有效数字)

2. 将比较臂旋钮旋到 R_x 的粗略值上

3. 测量时先按“B”后按“G”, 调 R_s 使检流计指针不动, 则 $R_x = R_s \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right)$

4. 松开“B”、“G”按钮。

二. 实验步骤: 1. 自搭惠斯登电桥测量未知电阻 R_{x1} 、 R_{x2} (结果保留4位有效数字)

2. 交换 R_s 和 R_x 的位置, 分别测两待测电阻的阻值(交换法)

3. 利用 QJ23 型直流单臂电桥测未知阻值, 并计算电桥灵敏度。

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。

② 箱式惠斯登电桥的按键 B 和 G 只能点按, 不要锁住。

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	$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$R_s(\Omega)$
$\approx 30\Omega$	200.0	2000.0	298.2
$\approx 1.5\text{k}\Omega$	2000.0	200.0	199.0

电阻箱的仪器误差 $\left\{ \frac{\Delta R}{R} = (0.1 + 0.2 \frac{m}{R})\% \right. \quad (m=6)$

$$\Delta R = U(R)$$

仅进行一次测量, $U(x) = U_B(x) = \Delta x$

i) $R_x \approx 30\Omega$: $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_s = \frac{200.0}{2000.0} \times 298.2 = 29.82\Omega$

$$\frac{U(R_1)}{R_1} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{200.0})\% = 0.106\%$$

$$\frac{U(R_2)}{R_2} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{2000.0})\% \approx 0.101\%$$

$$\frac{U(R_s)}{R_s} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{298.2})\% = 0.104\%$$

$$\Rightarrow \frac{U(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{U(R_1)}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{U(R_2)}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{U(R_s)}{R_s}\right)^2} = 0.18\%$$

R) $U(R_x) = R_x \cdot 0.18\% \approx 0.05\Omega$

$$\Rightarrow \left\{ R_x \pm U(R_x) = (29.82 \pm 0.05)\Omega \right.$$

$$\left. \frac{U(R_x)}{R_x} \times 100\% = 0.18\% \right.$$

ii) $R_x \approx 1.5\text{k}\Omega$: $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_s = \frac{2000.0}{200.0} \times 199.0 = 1990\Omega$

$$\frac{U(R_1)}{R_1} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{2000.0})\% = 0.1006\%$$

$$\frac{U(R_2)}{R_2} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{200.0})\% = 0.106\%$$

$$\frac{U(R_s)}{R_s} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{199.0})\% = 0.106\%$$

$$\Rightarrow \frac{U(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{U(R_1)}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{U(R_2)}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{U(R_s)}{R_s}\right)^2} = 0.18\%$$

R) $U(R_x) = R_x \cdot 0.18\% = 4\Omega$

$$\Rightarrow \left\{ R_x \pm U(R_x) = (1990 \pm 4)\Omega \right.$$

$$\left. \frac{U(R_x)}{R_x} \times 100\% = 0.18\% \right.$$

2. 交换法测电阻

未利用交换法: $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_s$, $\frac{U(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{U(R_1)}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{U(R_2)}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{U(R_s)}{R_s}\right)^2}$

利用交换法: $R_x = \sqrt{R_s \cdot R_s'}$, $\frac{U(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \frac{U(R_s)}{R_s}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{U(R_s')}{R_s'}\right)^2}$

$$\text{且 } \frac{\Delta R}{R} = (0.1 + 0.2 \frac{m}{R})\%$$

R_x	$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$R_S(\Omega)$	$R_S'(\Omega)$
$\approx 680\Omega$	400.0	200.0	337.7	1350.1

i) 未利用交换时法时:

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_S = \frac{400.0}{200.0} \times 337.7 = 675.4\Omega$$

$$\frac{u(R_1)}{R_1} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{400.0})\% = 0.103\%$$

$$\frac{u(R_2)}{R_2} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{200.0})\% = 0.106\%$$

$$\frac{u(R_S)}{R_S} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{337.7})\% = 0.1036\%$$

$$\Rightarrow \frac{u(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{u(R_1)}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{u(R_2)}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{u(R_S)}{R_S}\right)^2} = 0.18\%$$

$$\text{则 } u(R_x) = R_x \cdot 0.18\% = 1.2\Omega$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_x \pm u(R_x) = (675.4 \pm 1.2)\Omega \\ \frac{u(R_x)}{R_x} \times 100\% = 0.18\% \end{cases}$$

ii) 利用交换时法时:

$$R_x = \sqrt{R_S \cdot R_S'} = \sqrt{337.7 \times 1350.1} = 675.2\Omega$$

$$\frac{u(R_S)}{R_S} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{337.7})\% = 0.1036\%$$

$$\frac{u(R_S')}{R_S'} = (0.1 + 0.2 \times \frac{6}{1350.1})\% = 0.1009\%$$

$$\Rightarrow \frac{u(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \frac{u(R_S)}{R_S}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{u(R_S')}{R_S'}\right)^2} = 0.07\%$$

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

$$\Rightarrow \begin{cases} R_x \pm u(R_x) = (675.2 \pm 0.5)\Omega \\ \frac{u(R_x)}{R_x} \times 100\% = 0.07\% \end{cases}$$

相对不确定度比未利用交换法时的 0.18% 下降一半以上, 减少了误差。

3. 用 QJ23 型箱式惠斯登电桥测电阻, 并计算电桥灵敏度。

i) $R_x \approx 30\Omega$: $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_S = 0.101 \times 2982 = 29.82\Omega$.

$$S = \frac{\Delta n}{\Delta R_S} = \frac{2.0}{2982} = 2982 \text{ 格}$$

ii) $R_x \approx 1.5 \sim 2k\Omega$: $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_S = 1 \times 1988 = 1988\Omega$.

$$S = \frac{\Delta n}{\Delta R_S} = \frac{1.9}{1988} = 3777.2 \text{ 格}$$

有22数字!

回答问题与实验总结

1. 不可以改变。应为等臂交换,才能令 R_1 、 R_2 消去以减少误差。且由

$$\frac{\Delta R}{R} = (0.1 + 0.2 \frac{m}{L})\%, \text{电阻值改变会导致不确定度改变。}$$

2. “电计”键为接通检流计,观察指针偏转;“短路”键为在指针左右摆动幅度较大时,若想使之停下,可在其经过平衡位置时按下以使之停止。应露出红点才能测量调零,使用后置于白点露出以锁住指针

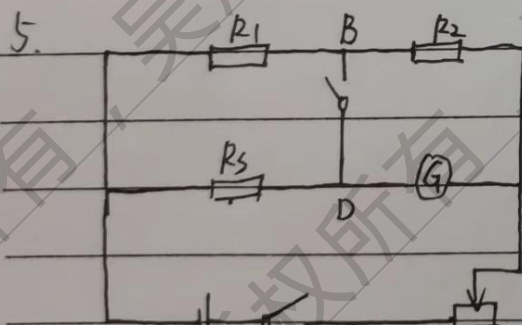
3. 刚开始滑线变阻器有较大阻值,可以使电阻调节过程中起到保护电路作用。当调电阻接近实际阻值时,滑线变阻器调为零,起到提高检流计灵敏度作用。

4. 1) 会. $(S = \frac{S_1 E}{R_1 + R_2 + R_3 + R_x + R_g [2 + (\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_x}{R_3})]})$

2) 不会 (平衡无论 E 为多少,检流计两端等势影响不大)

13) 会 (影响检流计灵敏度计算及电桥平衡)

14) 会 (影响电桥的调平衡)



R_1 接 0.1 Ω , 0.9 Ω 接线柱, R_2 接 0.9 Ω , 9.9 Ω 接线柱, R_3 接 9.9 Ω , 99.99 Ω 接线柱。

BD 间电流有无,可以从闭合 S 后 G 的示数

有无变化看出,若闭合 S , G 示数不变,则 $R_g = \frac{R_2}{R_1} R_3$ 。

总结:本次实验步骤较为简单,通过这次实验,我更深刻地体会电桥的原理及应用,提高了仪器调试能力,掌握了交换法这一物理思想方法以减少误差,也更熟练了不确定度的计算过程。

实验 3.3 惠斯登电桥测量中值电阻

姓名 吴辉强 合作者 丁伟航 班级 2018 教师 王金鑫 实验时间 2019.11.1 实验组号 16
211128

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;
5. 预习 QJ23 型直流单臂电桥的使用方法。

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。
2. 箱式惠斯登电桥的按键 B 和 G 只能点按, 不要锁住。

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;
3. 利用 QJ23 型直流单臂电桥测量数据表中指定的两个未知电阻, 并计算电桥灵敏度(选作)。

四、数据表格

1. 自搭惠斯登电桥测量两个电阻

R_x	$R_1 (\Omega)$	$R_2 (\Omega)$	$R_s (\Omega)$
$\approx 30\Omega$	200.0	2000.0	298.2
$\approx 1.5 \sim 2k\Omega$	2000.0	200.0	199.0

2. 交换法测电阻

R_x	$R_1 (\Omega)$	$R_2 (\Omega)$	$R_s (\Omega)$	$R'_s (\Omega)$
$\approx 680\Omega$	400.0	200.0	337.7	1350.1

3. 用 QJ23 型箱式惠斯登电桥测电阻, 并计算电桥灵敏度, Δn 小于 3.0 格。(选作)

R_x	R_1 / R_2	$R_s (\Omega)$	$\Delta R_s (\Omega)$	Δn
$\approx 30\Omega$	0.01	2985 2982	2	2.0
$\approx 1.5 \sim 2k\Omega$	1	1988	1	1.9

教师签字 _____

王金鑫

五、数据处理

1. 列表计算自搭惠斯登电桥所测未知电阻的阻值及其不确定度。
2. 列表计算利用交换法测量未知电阻的阻值，分别计算交换法测量结果的不确定度与未利用交换法测量结果的不确定度，然后进行比较和讨论。

3. 计算用 QJ23 型直流单臂电桥测量未知电阻的阻值，并利用公式 $S = \frac{\Delta n}{\Delta R_s / R_s}$ 计算该电桥的灵敏度（选作）。

4. 以上所有数据处理过程均应给出不确定度 $u(R_x)$ 的详细推导过程和计算过程，并将结果表示成 $R_x \pm u(R_x)$ 和 $\frac{u(R_x)}{R_x}$ 的形式。

六、思考题

1. 使用交换法测未知电阻时 R_1, R_2 的阻值在交换前后是否可以改变？为什么？例如交换前 $R_1 = R_2 = 100.0\Omega$ ，交换后 $R_1' = R_2' = 500.0\Omega$ 。
2. AC5/3 检流计的“电计”和“短路”键的作用是什么？调零键下方的锁扣在什么位置才可以进行调零和测量（说明是露出红点还是白点），使用后应置于什么位置（是露出红点还是白点）？
3. 说明测量电路中滑线变阻器的作用。
4. 下列因素是否会加大测量误差？
 - (1) 电源电压大幅下降；
 - (2) 电源电压稍有波动；
 - (3) 检流计零点没有调准；
 - (4) 检流计灵敏度不够高。
5. 用给出的仪器自组单臂电桥，并用其测量表头（微安表）内阻。要求：
 - (1) 画出线路图；
 - (2) 写出设计思想及表头内阻的计算公式。
 仪器：0.1 级电阻箱一个（其内部电路示意图见书第二章基本仪器介绍）：电阻箱有四个接线柱分别标有：0, 0.9 Ω , 9.9 Ω , 99999.9 Ω 。滑线变阻器一个：500 Ω ，允许 2A 电流。微安表一个：100 μA ，1.5 级，内阻约为 1000 Ω 。电源：3V 干电池。开关导线若干。

用更熟练。