

电磁学实验报告

姓名：张一萌 学院：网络空间安全学院 学号：2313636 组别：L 座号：3

实验日期：4月2日星期二上午 成绩：_____ 教师签字：_____

实验题目：直流单臂电桥

一、实验原理

直流单臂电桥适用范围：主要是用来测量中等阻值电阻（ $10 \sim 10^5 \Omega$ ）的

推导测量公式：

适当地调节 R_0 值，可使 C、D 两点电势相同，电流计中无电流流过，这时称电桥达到了平衡。

电桥平衡时有

$$R_a I_a = R_b I_b$$

$$R_x I_x = R_0 I_0$$

且

$$I_a = I_x, \quad I_b = I_0$$

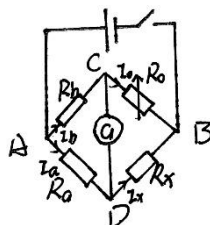
则上式整理可得

$$R_x = \frac{R_a}{R_b} R_0$$

令 $C = \frac{R_a}{R_b}$ ，则

$$R_x = C R_0$$

实验电路图：如图所示



比例臂倍率如何适当选取：

电桥由非平衡态达到平衡态的过程中，需要调节比较臂电阻 R_0 。显然， R_0 调节位数越多，对电桥的平衡调节得越精细，由此给测量带来的误差就越小。

由此，在测量时，比例臂倍率选取到使 R_0 调节的有效位数尽量多。

电桥灵敏度的概念及相关因素：

电桥的平衡在实验上是通过电流计的示数来判断的。当通过电流计的电流小于其分辨率 δ 时，我们不能判断电桥是否偏离平衡，仍认为电桥处于平衡态，从而给测量带来误差。对此，我们引入电桥灵敏度的概念，定义为

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta R_x / R_x} \text{ 或 } S = \frac{\Delta I}{\Delta R_0 / R_0}$$

可以证明，这两种形式的表达式是相等的。式中 R_0 是电桥平衡时的阻值， ΔR_0 是电桥平衡后 R_0 的微小改变量， ΔI 是桥偏离平衡而引起电流计的示数改变量。

故由电桥灵敏度引入待测量 R_x 的相对误差为

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta I}{S}$$

可见电桥灵敏度 S 越大电桥越灵敏，对电桥平衡判断的越精细，由灵敏度引入的误差也就越小，亦即提高了测量精度。

电桥灵敏度由基尔霍夫定律推出。若忽略电源内阻，其表达式为

$$S = \frac{E}{K[(R_a + R_b + R_0 + R_x) + (2 + \frac{R_b}{R_0} + \frac{R_x}{R_a})R_g]}$$

式中 K 、 R_g 分别为电流计的电流常量和内阻。

换臂法：

当选取倍率 $C=1$ 进行测量时，可以采用换臂法完全消除倍率 C 的误差。

$$R_x = \sqrt{R'_0 \times R''_0} \approx \frac{1}{2}(R'_0 + R''_0)$$

其中， R'_0 是换臂前电桥平衡时的比较臂阻值， R''_0 是换臂后电桥平衡时的比较臂阻值。

式中没有涉及倍率 C ，那么倍率 C 的误差也就消除了。

二、数据处理

1. 测量未知电阻 R_1 （即 R_x 约 1200 Ω ）及灵敏度：

根据情况，选取 $R_a = 100\Omega, R_b = 100\Omega$ ，比例臂的倍率 $C=1$

电桥状态	R_0	$R_1 = C \times R_0$	ΔR_0	ΔI	$S_1 = \frac{\Delta I}{\Delta R_0 / R_0}$
换臂前	1186.1 Ω	1186.1 Ω	2.0 Ω	16.1nA	$S_1 = \frac{\Delta I}{\Delta R_0 / R_0}$ $= \frac{16.1nA}{2.0\Omega / 1186.1\Omega}$ $= 9549nA$
换臂后	1186.0 Ω	1186.0 Ω	3.0 Ω	24.4nA	$S'_1 = \frac{\Delta I}{\Delta R_0 / R_0}$ $= \frac{24.4nA}{3.0\Omega / 1186.0\Omega}$ $= 9646nA$

利用换臂前数据计算 $R_x(\rho_0 = 0.1\%, \rho_c = 0.1\%)$

$$\rho_x = \sqrt{\rho_0^2 + \rho_c^2 + \left(\frac{0.1}{S_1}\right)^2} = \sqrt{(0.1\%)^2 + (0.1\%)^2 + \left(\frac{0.1}{9549}\right)^2} = 0.0014$$

$$\Delta R_x = \rho_x \times R_{x\text{测}} = 0.0014 \times 1186.1\Omega = 1.7\Omega$$

$$R_x = R_{x\text{测}} \pm \Delta R_x = 1186.1 \pm 1.7\Omega$$

利用换臂前后两次的数据计算 $R_x(\rho_0 = 0.1\%)$

$$S = \frac{S_1 + S'_1}{2} = \frac{9549 + 9646}{2} = 9597.5nA$$

$$\rho_x = \sqrt{\rho_0^2 + \left(\frac{0.1}{S}\right)^2} = \sqrt{(0.1\%)^2 + \left(\frac{0.1}{9597.5}\right)^2} = 0.0010$$

$$R_{x\text{测}} = \sqrt{R'_0 \times R''_0} \approx \frac{1}{2}(R'_0 + R''_0) = \frac{1}{2}(1186.1\Omega + 1186.0\Omega) = 1186.05\Omega$$

$$\Delta R_x = \rho_x \times R_{x\text{测}} = 0.0010 \times 1186.05\Omega = 1.2\Omega$$

$$R_x = R_{x\text{测}} \pm \Delta R_x = 1186.0 \pm 1.2\Omega$$

2. 测量未知电阻 R_2 （即 R_x 约 50 Ω ）及灵敏度：

根据情况，选取 $R_a = 10\Omega, R_b = 1000\Omega$ ，比例臂的倍率 $C=0.01$

电桥状态	R_0	$R_2 = C \times R_0$	ΔR_0	ΔI	$S_1 = \frac{\Delta I}{\Delta R_0 / R_0}$
数据记录	4970.8 Ω	49.708 Ω	20.0 Ω	20.4nA	$S_1 = \frac{\Delta I}{\Delta R_0 / R_0}$ $= \frac{20.4nA}{20.0\Omega / 4970.8\Omega}$ $= 5070nA$

利用数据计算 $R_x(\rho_0 = 0.1\%, \rho_c = 0.2\%)$

$$\rho_x = \sqrt{\rho_0^2 + \rho_c^2 + \left(\frac{0.1}{S_1}\right)^2} = \sqrt{(0.1\%)^2 + (0.2\%)^2 + \left(\frac{0.1}{5070}\right)^2} = 0.0022$$

$$\Delta R_x = \rho_x \times R_{x\text{测}} = 0.0022 \times 49.708\Omega = 0.11\Omega$$

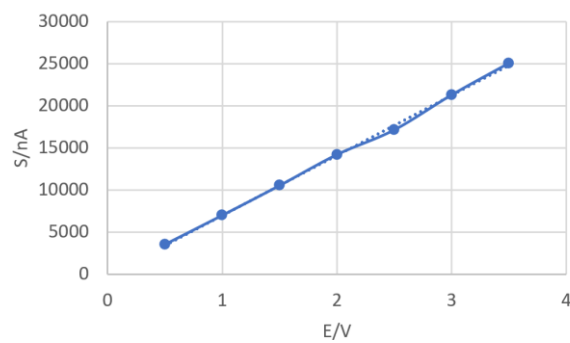
$$R_x = R_{x\text{测}} \pm \Delta R_x = 49.71 \pm 0.11\Omega$$

3. 观察电桥灵敏度与电源电压之间的关系。 $R_a = 100\Omega, R_b = 100\Omega, R_x = 1200\Omega$

改变电源电压 E ，测量不同电压下电桥灵敏度。

电源电压	0.5V	1.0V	1.5V	2.0V	2.5V	3.0V	3.5V
R_0	1186.2 Ω	1186.1 Ω	1186.1 Ω	1186.1 Ω	1186.0 Ω	1186.0 Ω	1186.0 Ω
ΔR_0	7.0 Ω	8.0 Ω	6.0 Ω	3.0 Ω	3.0 Ω	3.0 Ω	2.0 Ω
ΔI	21.1nA	47.4nA	53.4nA	36.0nA	43.4nA	53.9nA	42.3nA
S	$S = \frac{\Delta I}{\Delta R_0/R_0}$ $= \frac{21.1nA}{7.0\Omega/1186.2\Omega}$ $= 3576nA$	$S = \frac{\Delta I}{\Delta R_0/R_0}$ $= \frac{47.4nA}{8.0\Omega/1186.1\Omega}$ $= 7028nA$	$S = \frac{\Delta I}{\Delta R_0/R_0}$ $= \frac{53.4nA}{6.0\Omega/1186.1\Omega}$ $= 10560nA$	$S = \frac{\Delta I}{\Delta R_0/R_0}$ $= \frac{36.0nA}{3.0\Omega/1186.1\Omega}$ $= 14230nA$	$S = \frac{\Delta I}{\Delta R_0/R_0}$ $= \frac{43.4nA}{3.0\Omega/1186.0\Omega}$ $= 17160nA$	$S = \frac{\Delta I}{\Delta R_0/R_0}$ $= \frac{53.9nA}{3.0\Omega/1186.0\Omega}$ $= 21310nA$	$S = \frac{\Delta I}{\Delta R_0/R_0}$ $= \frac{42.3nA}{2.0\Omega/1186.0\Omega}$ $= 25080nA$

S-E关系图像



三、 实验分析讨论及思考题

1. 若电桥保证准确度的测量范围为 $20 \sim 99999 \Omega$ ，要测一个 $1 \times 10^6 \Omega$ 左右的电阻，可否用一只 1000Ω 的标准电阻与之并联起来测量？能否测准？

可以用 $R=1000 \Omega$ 的标准电阻与之并联起来测量。

并联起来的总电阻 $R_{\#} = \frac{R \times R_x}{R + R_x} \approx 999 \Omega$

而 $R_{\#}$ 的大概阻值在电桥保证准确度的测量范围内，所以可以测准 $R_{\#}$ 。

再通过 $\frac{1}{R_{\#}} = \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R}$ ，导出 $R_x = \frac{R \times R_{\#}}{R - R_{\#}}$ ，求出 R_x 。

2. 用替代法测 R_x ，即电桥平衡后若以电阻箱某值 R_0 替下 R_x 时桥仍平衡，则 $R_x = R_0$ 。注意替代时需断开电源。这种测法要

求 R_a 、 R_b 、 R_0 准确吗？要求电源稳定吗？

这种测法不要求 R_a 、 R_b 、 R_0 准确。

不要求电源稳定。

电桥平衡时，

$$R_a I_a = R_b I_b$$

$$R_x I_x = R_0 I_0$$

$$I_a = I_x, I_b = I_0$$

则上式整理可得

$$R_x = \frac{R_a}{R_b} R_0$$

替代后，电桥仍平衡

$$R_a I_a = R_b I_b$$

$$R_n I_x = R_0 I_0$$

$$I_a = I_x, I_b = I_0$$

则上式整理可得

$$R_n = \frac{R_a}{R_b} R_0$$

则

$$R_x = R_n$$

从以上可知，不必知道 R_a 、 R_b 、 R_0 的准确值，就可测得 R_x 。

而电源电动势不影响以上等式的成立，故不必要求电源稳定。