

姓名：张耕嘉；学院及专业：人工智能学院工科试验班（信息科学与技术）；  
学号：2313725；组别：J组；座号：7；实验日期：3月22日，星期五上午

## 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：

主要用于测量中等阻值的电阻（ $10 \sim 10^5 \Omega$ ）。并且电桥不仅可以测量电阻，还可以测量许多与电阻有关的电学量和非电学量（把这类非电学量通过一定的手段转换为电学量进行测量），而且在自动控制技术中也得到了广泛的应用。

推导测量公式：

直流单臂电桥是由4个电阻 $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_0$ 、 $R_x$ 联成一个四边形回路，四个电阻称为电桥的四个臂，在这个四边形回路的一条对角线的端点间接入直流工作电源，另一条对角线的端点间接入电流计，这个支路一般称为桥，适当的调节 $R$ 值，可使 $CD$ 两点间的电势相同，电流计中无电流流过，这时电桥达到了平衡，在电桥平衡时有：

$$R_a I_a = R_b I_b$$

$$R_x I_x = R_0 I_0$$

且

$$I_a = I_x, I_b = I_0$$

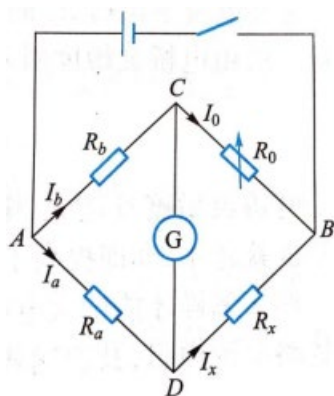
则上式整理可得

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

令 $C = R_a / R_b$ （ $C$ 称为比例臂的倍率），则

$$R_x = C R_0$$

画出实验电路图：



比例臂倍率如何选取：

在测量时要恰当地选取倍率，使得调节的有效位数尽量多。由 $R_x = C R_0$ 可知， $R_0 = (1/C) R_x$ ，

要选取 C 得到合适的  $R_0$ ，使得在调节  $R_0$  时，电阻箱的所有旋钮都能用到，这样可以提高测量精度。

电桥灵敏度的概念及与哪些因素有关：

电桥灵敏度：

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

式中  $R_0$  是电桥平衡时的阻值， $\Delta R_0$  是在电桥平衡后  $R_0$  的微小改变量， $\Delta I$  是电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，对电桥平衡的判断越精细，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  $S$  由基尔霍夫定律推出：

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

式中  $K$ 、 $R_g$  分别为电流计的电流常量和内阻，由此式可见，适当提高电源电压  $E$ ，选择电流常量  $K$  和内阻  $R_g$  适当小的灵敏电流计，适当减小桥臂电阻  $(R_a + R_b + R_0 + R_x)$ ，尽量把桥臂配置成均压状态（四臂电压相等），使上式中的  $(2 + \frac{R_b}{R_0} + \frac{R_x}{R_a})$  值最小，这些对提高电桥灵敏度均有作用，但需根据具体情况灵活运用，这是因为有时倍率的选择使电桥平衡的调节精度最佳时，却不能使桥的灵敏度  $S$  最大，如发现这种矛盾应兼顾考虑。

什么是换臂法：

当选取倍率  $C=1$  时，若电桥平衡时比较臂为  $R_0'$ ，将  $R_a$ 、 $R_b$ （或  $R_x$ 、 $R_0$ ）交换位置后，若电桥再次平衡比较臂为  $R_0''$ ，待测电阻为  $R_x$  则为：

$$R_x = \sqrt{R_0' \cdot R_0''} \approx \frac{1}{2}(R_0' + R_0'')$$

由于式子中的  $C$  被消掉，关于  $C$  的误差也就被消除了。

## 二、数据处理

1、测量未知电阻  $R_1$  的阻值及灵敏度：

选取  $R_a = 100\Omega$   $R_b = 100\Omega$  比例臂的倍率  $C=1$

电桥状态	$R_0$	$R_1$	$\Delta R_0$	$\Delta I$	$S_1$
换臂前	1183.8 $\Omega$	1183.8 $\Omega$	1 $\Omega$	8.8nA	10417.4nA
换臂后	1183.2 $\Omega$	1183.2 $\Omega$	1 $\Omega$	8.7nA	10293.8nA

换臂前数据计算 $R_1$ 阻值:

$$\text{灵敏度: } S = \frac{\Delta I}{\Delta R_0/R_0} = \frac{8.8}{1/1183.8} = 10417.4\text{nA}, \rho_c = 0.1\%, \rho_0 = 0.1\%$$

$$\text{不确定度: } \rho_x = \sqrt{\rho_c^2 + \rho_0^2 + \left(\frac{0.1}{S}\right)^2} = 0.001414$$

$$\text{绝对误差: } \Delta R_x = \rho_x \cdot R_{x\text{测}} = 1.674\Omega$$

$$\text{最终结果: } R_1 = (1183.8 \pm 1.7)\Omega$$

利用换臂前后两次的数据计算 $R_1$ 阻值:

$$\text{灵敏度: } S = \frac{\Delta I}{\Delta R_0/R_0} = \frac{8.7}{1/1183.2} = 10293.8\text{nA}, \rho_0 = 0.1\%$$

$$\text{不确定度: } \rho_x = \sqrt{\rho_0^2 + \left(\frac{0.1}{S}\right)^2} = 0.001000$$

$$\text{绝对误差: } \Delta R_x = \rho_x \cdot R_{x\text{测}} = 1.19\Omega$$

$$\text{最终结果: } R_1 = (1185.20 \pm 1.19)\Omega$$

2、测量未知电阻 $R_2$ 的阻值及灵敏度:

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

电桥状态	$R_0$	$R_2$	$\Delta R_0$	$\Delta I$	$S_2$
数据记录	4980.6 $\Omega$	49.806 $\Omega$	1 $\Omega$	2.7nA	13447.62nA

$$\text{灵敏度: } S = \frac{\Delta I}{\Delta R_0/R_0} = \frac{2.7}{1/4980.6} = 13447.62\text{nA}, \rho_c = 0.2\%, \rho_0 = 0.1\%$$

$$\text{不确定度: } \rho_x = \sqrt{\rho_c^2 + \rho_0^2 + \left(\frac{0.1}{S}\right)^2} = 0.002236$$

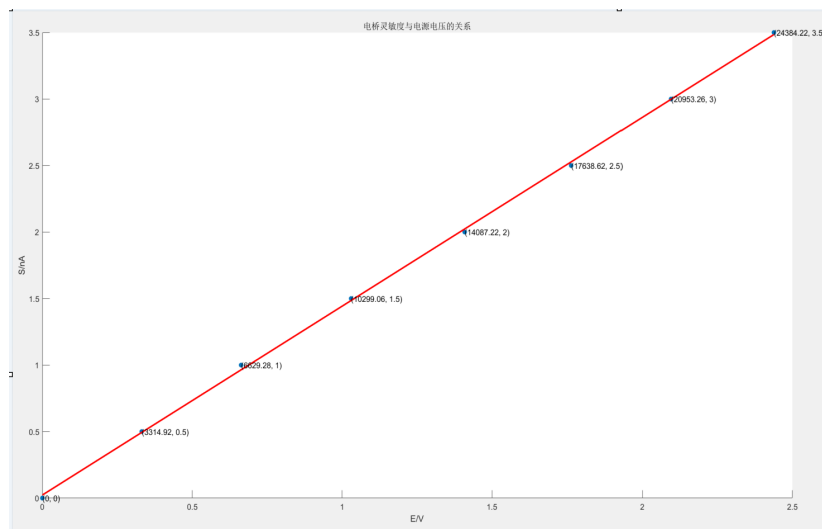
$$\text{绝对误差: } \Delta R_x = \rho_x \cdot R_{x\text{测}} = 0.111\Omega$$

$$\text{最终结果: } R_2 = (49.806 \pm 0.111)\Omega$$

3、观察电桥灵敏度与电源电压的关系。取 $R_a = R_b = 100\Omega$ ， $R_x = 1200\Omega$ ，改变电源电压 $E$ ，测量不同电压下电桥灵敏度，并做 $S \sim E$ 关系图。

电源电压 $E$	0.5V	1.0V	1.5V	2.0V	2.5V	3.0V	3.5V
$R_0/\Omega$	1183.9	1183.8	1183.8	1183.8	1183.8	1183.8	1183.7
$\Delta R_0/\Omega$	1	1	1	1	1	1	1
$\Delta I/\text{nA}$	2.8	5.6	8.7	11.9	14.9	17.7	20.6
$S/\text{nA}$	3314.92	6629.28	10299.06	14087.22	17638.62	20953.26	24384.22

S-E 图像如下：



可见 S 与 E 成正比关系。

### 三、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，可否用一支  $1000 \Omega$  的标准电阻与之并联起来测量？能否测准？

答：由于  $1000 \Omega$  和  $1000000 \Omega$  并联之后的阻值为  $999 \Omega$  左右，在电桥保证准确度的测量范围内，可以测量并联后的阻值，并据此计算出待测电阻阻值。可以测准。

2、根据实验中测  $R_1$  和  $R_2$  时的电路参量，由式（3-2-5）计算电桥灵敏度  $S_1$  和  $S_2$  并与测量值比较，看看是否一致。

答：由下式可计算电桥灵敏度

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

本次实验未说明电流计电流常量 K 和内阻  $R_g$ ，故无法计算；测量值在实验中已经得出；理论上计算得出的灵敏电桥灵敏度与测量值应相近。

3、用替代法测  $R_x$ ，即电桥平衡后若以电阻箱某值  $R_n$  替下  $R_x$  时桥仍平衡，则  $R_x = R_n$ 。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？

答：这种方法中  $R_x = R_n$ ，不要求  $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_0$  准确，但是电源要稳定。

### 四、分析总结

1、本实验通过测量电桥平衡后的电阻箱阻值来计算待测电阻阻值，避免了伏安法测电阻中的电压表、电流表内阻问题，测量中等阻值电阻准确率较高。

2、电桥的灵敏度与电源电压 E 成正比，为了提高电桥灵敏度可适当提高电源电压。

3、电源电压不太稳定；导线电阻不能完全忽略；检流计没有调好零点；检流计灵敏度不够高……这些都是造成实验误差的因素。