

## 实验十四 直流电桥测量电阻

实验人：钟易轩

指导教师：张晓东

组号：九组七号

学号：2000012706

实验时间：2021 年 11 月 26 日 实验地点：物理楼南楼 233

### 【实验目的】

- (1) 学习直流电桥的基本原理；
- (2) 误差分析.

### 【仪器用具】

ZX96 型电阻器 3 个，直流指针式检流计，待测电阻 3 个，直流电源，开关，导线.

### 【数据处理】

#### 1. 测 $R_x$ 及电桥灵敏度 $S$

首先用万用表测量直流电源的电压，调节到  $E = 3.98V$ ，再观察检流计的各项参数，得到分度值为  $1.3 \times 10^{-6}$ (安/格)，内阻  $R_g = 44\Omega$ . 则有检流计的灵敏度为  $S_i = \frac{1}{1.3 \times 10^{-6}} \approx 7.7 \times 10^5$ (格/安). 测量数据如表 1 所示.

表 1:  $R_x$  与  $S$  测量表

$R_{xi}$	$R_1/R_2$	$R_0/\Omega$	$R'_0/\Omega$	$\Delta n/\text{格}$	$R_x/\Omega$	$\Delta R_x/\Omega$	$S/\text{格}$	$\sigma_{R_{xi}}/\Omega$
$R_{x1}$	500 $\Omega$ /500 $\Omega$	47.18	47.2	左 0.7	47.18	0.1	$1.7 \times 10^3$	0.06
			47.1	右 3.0				
$R_{x2}$	50 $\Omega$ /500 $\Omega$	2991.5	2971.5	5.0	299.15	20.0	$7.5 \times 10^2$	0.31
	500 $\Omega$ /500 $\Omega$	298.8	298.0	4.0	298.8	0.8	$1.5 \times 10^3$	0.16
	500 $\Omega$ /500 $\Omega$	298.8	298.0	4.2	298.8	0.8	$1.6 \times 10^3$	
$R_{x3}$	500 $\Omega$ /500 $\Omega$	4210.0	4270.0	4.0	4210.0	60.0	$2.8 \times 10^2$	6.2

由于平衡电桥测量电阻的误差有两大来源，一是桥臂电阻带来的误差，二是电桥灵敏度带来的误差. 因此经过合成，得到  $R_x$  的不确定度表达式如下

$$\sigma_{R_x} = \sqrt{(\delta R_x)^2 + \left(\frac{R_0}{R_2}\right)^2 \sigma_{R_1}^2 + \left(\frac{R_0 R_1}{R_2^2}\right)^2 \sigma_{R_2}^2 + \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \sigma_{R_0}^2} \quad (14.1)$$

$$\text{其中 } \delta R_x = \frac{0.2\Delta R_x}{\Delta n} = \frac{0.2R_1 \cdot \Delta R_0}{\Delta n \cdot R_2}.$$

由于  $R_1$ 、 $R_2$  与  $R_0$  都是由 ZX96 型电阻器测量一次得到的值, 因此其不确定度主要由电阻器的允差决定. 表 2 是 ZX96 型电阻器各量程的允差.

表 2: ZX96 型直流电阻器允差

挡位 ( $\Omega$ )	$\times 10k\Omega$	$\times 1k\Omega$	$\times 100\Omega$	$\times 10\Omega$	$\times 1\Omega$	$\times 0.1\Omega$
允差 $e$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 2\%$

利用表 2 数据与公式 (14.1) 计算  $R_{x1}$  的不确定度.

$$\begin{aligned}\sigma_{R_1} &= \frac{1}{\sqrt{3}}(500 \times 0.1\%) = 0.29(\Omega) \\ \sigma_{R_2} &= \frac{1}{\sqrt{3}}(500 \times 0.1\%) = 0.29(\Omega) \\ \sigma_{R_0} &= \frac{1}{\sqrt{3}}(40 \times 0.1\% + 7 \times 0.5\% + 0.1 \times 2\%) = 0.045(\Omega) \\ \delta R_x &= \frac{0.2 \times 500 \times 0.08}{3.0 \times 500} = 5.3 \times 10^{-3} \\ \sigma_{R_{x1}} &= \sqrt{(5.3 \times 10^{-3})^2 + \left(\frac{47.18}{500}\right)^2 \times 0.29^2 + \left(\frac{47.18 \times 500}{500^2}\right)^2 \times 0.29^2 + (0.045)^2} = 0.06(\Omega)\end{aligned}$$

之后的  $R_{x2}$  和  $R_{x3}$  可用同样的步骤去计算. 但是在  $R_{x2}$  的测量数据中, 有两组数据是将  $R_1$  和  $R_2$  的位置调换之后进行测量的, 这里我们可以根据这两组数据用以下公式计算  $R_{x2}$  的不确定度.

$$\sigma_{R_{x2}} = \sqrt{k \cdot \delta R_x^2 + \frac{1}{4} \frac{R_{01}}{R_{02}} \sigma_{R_{02}}^2 + \frac{1}{4} \frac{R_{02}}{R_{01}} \sigma_{R_{01}}^2} \quad (14.2)$$

则得出交换桥臂法测出的  $R_{x2} = (298.8 \pm 0.2)\Omega$ .

## 2. 不同参量下的电桥灵敏度

改变测量条件, 观察其对电桥灵敏度的影响, 可得出表 3(未知电阻用  $R_{x2}$ ).

表 3: 不同参量下的电桥灵敏度

测量条件	$R_0/\Omega$	$R'_0/\Omega$	$\Delta n/\text{格}$	$R_x/\Omega$	$\Delta R_x/\Omega$	$S/\text{格}$
$E = 4.01V, \frac{R_1}{R_2} = \frac{500\Omega}{500\Omega}, R_h = 0\Omega$	298.8	299.8	5.0	298.8	1.0	$1.5 \times 10^3$
$E = 2.02V, \frac{R_1}{R_2} = \frac{500\Omega}{500\Omega}, R_h = 0\Omega$	298.8	300.8	5.0	298.8	2.0	$7.5 \times 10^2$
$E = 4.01V, \frac{R_1}{R_2} = \frac{500\Omega}{5000\Omega}, R_h = 0\Omega$	2988.0	2938.0	5.5	298.8	50.0	$3.3 \times 10^2$
$E = 4.01V, \frac{R_1}{R_2} = \frac{500\Omega}{500\Omega}, R_h = 2.988k\Omega$	298.8	292.8	4.0	298.8	6.0	$2.0 \times 10^2$

上表中的数据反映了电桥灵敏度的大小与电源电压等有关，因此正好符合了  $S$  的决定式。

$$S = \frac{S_i \cdot E}{R_1 + R_2 + R_0 + R_x + (R_g + R_h)(2 + \frac{R_1}{R_x} + \frac{R_0}{R_2})} \quad (14.3)$$

### 【思考题】

下列因素是否会加大测量误差？

(1) 电源电压大幅度下降；

答：会加大误差。由公式 14.3 得，当电源电压大幅度下降时，电桥灵敏度也会大幅度下降，又由于  $S$  与  $\delta R_x$  呈负相关，因此由公式 14.1 得， $\sigma_{R_x}$  增大。

(2) 电源电压稍有波动；

答：由于只是微小波动，因此误差也会在一定范围内进行波动，但是波动幅度小便可以忽略。

(3) 在测量较低电阻时，导线电阻不可忽略；

答：由于导线电阻不可忽略，则最后计算所得值中涵盖了导线电阻的值，因此会加大误差。

(4) 检流计零点没有调准；

答：会加大误差。

(5) 检流计灵敏度不够高。

答：当检流计灵敏度低时，由公式 14.3 得电桥灵敏度降低，由 (1) 的分析可知， $\sigma_{R_x}$  会增加。

### 【分析与讨论】

1. 在电阻不确定度中具有影响的是这些物理量： $\frac{R_1}{R_2}, S, R_x, \frac{R_0}{R_2}, \frac{R_0 R_1}{R_2^2}, \sigma_{R_1}, \sigma_{R_2}, \sigma_{R_0}$ 。

对于  $\sigma_{R_1}, \sigma_{R_2}$  和  $\sigma_{R_0}$  来说，由于它们的大小与电阻箱的允差有关，因此可以选择较小允差的电阻箱，以此来减小这三个电阻的不确定度；对于各电阻的大小，尽量保持  $\frac{R_1}{R_2}$  的值为 1；对于  $S$  的大小，可通过公式 14.3 的各参量进行调节，使  $S$  的值变大，比如选择灵敏度更高的检流计以及将电压变大。

2. 对于表 1 中的数据，以  $R_{x1}$  为例，其测量所得的灵敏度  $S = 1.7 \times 10^3$ ，若将各参量代入公式 14.3 可得  $S = 1.85 \times 10^3 > 1.7 \times 10^3$ ，在计算了多组数据后发现，测量所得的灵敏度皆小于公式所得的灵敏度，原因应该是导线电阻与接触电阻使得公式 14.3 中的分母增大，导致其值变小。

**【收获与感想】**

在使用直流电桥测量电阻时，一开始没把  $R_h$  调至零，导致检流计偏转极其微弱，以后在进行实验之前应该在脑袋里面将步骤想好，尽量做到细节完满；听完老师讲解误差分析之后，自己对误差分析的理解又加深了一点。