实验名称：直流单臂电桥

学生姓名：宋奕纬　　学号：2212000　　学院：网络空间安全学院
A 组 19 号　　2024 年 4 月 26 日

一、实验器材

1、直流稳压电源
2、直流数显微电流计：FB308 型
3、比例臂电阻：4 个，阻值分别为 100Ω、100Ω、10Ω、1000Ω
4、电阻箱
5、待测电阻（分别约为 1200Ω与 50Ω）
6、导线

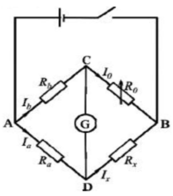
二、实验目的

1、掌握电桥测量电阻的原理和方法；
2、了解电桥的测量精确度所依赖的条件；
3、学会使用箱式电桥。

三、实验原理

1、电阻的测量

本实验所用的是直流单臂电桥(又称惠斯通电桥),主要是用来测量中等阻值(10~102Ω)电阻的;测量低阻(10-5~10Ω)用直流双臂电桥(又称开尔文电桥);测量高阻(106~1012Ω)则用专门的高阻电桥或冲击法等。
直流单臂电桥的原理电路如图所示：



它是由四个电阻联成一个四边形回路,这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，在电桥平衡时有：

$$R_a I_a = R_b I_b$$

$$R_x I_x = R_0 I_0$$

则上式整理可得:

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

为了计算方便,通常把$\frac{R_a}{R_b}$的比值选成 10n(n=0,±1,±2,…),令 $C = \frac{R_a}{R_b}$,则$R_x = CR_0$。可见电桥平衡时,由已知的R_a、R_b(或 C)及R_0值便可算出R_x。人们常把R_a、R_b称为比例臂,C 为比例臂的倍率,R_0称为比较臂,R_x称为待测臂。

2、**精度提高**

（1）**倍率 C 的选取与测量精度:**

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。为此在测量时要恰当地选取倍率C,以使R_0调节的有效位数尽量多。

（2）**电桥灵敏度与测量精度:**

变阻器的用途是控制电路中的电压和电流，使其达到某一指定的数值，或使其在一定范围内连续变化。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 $S = \frac{\Delta I}{\Delta R_x/R_x}$ 或 $S = \frac{\Delta I}{\Delta R_0/R_0}$

其中R_0是电桥平衡时的阻值ΔR_0是在电桥平衡后R_0的微小改变量，ΔI 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 也可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。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、尽量把桥臂配置成均压状态(即四臂电压相等),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 C 的选择使电桥平衡的调节精细度最佳时，却不

能使桥的灵敏度 S 最大，如发生这种矛盾应兼顾考虑。

（3）**测量方法消除误差（换臂法）**：
采取一定的测量方法，可以消除某些误差，提高测量精度。
例如在自组单桥测电阻R_x中，当选取倍率 C=1 进行测量时，可方便地采用换臂法完全消除倍率 C 的误差。
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R_x则为$R_x = \sqrt{R_0^{'}R_0^{''}} \approx \frac{R_0^{'}+R_0^{''}}{2}$
此时倍率 C 被消除，C 造成的误差也被消除。

四、操作步骤及实验数据记录、计算

1、测量未知电阻$\mathbf{R_1}$（即$\mathbf{R_x}$，约 1200Ω）及该实验灵敏度：

根据情况，选取R_a=100Ω，R_b=100Ω，比例臂的倍率 C=1，电源电压 E=0.5～3.5V。

电桥状态	R_0/Ω	R_x/Ω	ΔR_0/Ω	ΔI/nA	S_1/nA
换臂前	1182.2	1182.2	5	47.5	11206.2
换臂后	1181.9	1181.9	5	47.3	11160.908

利用换臂前的数据计算:

$$R_x = 1182.2\Omega$$

$$\rho_x = \sqrt{\rho_0^2+\rho_c^2+(\frac{0.1}{S})^2} = \sqrt{(0.1\%)^2+(0.1\%)^2+(\frac{0.1}{11206.2})^2} = 0.0014$$

$$\overline{R_x} = R_x \pm \rho_x R_x = 1182.2 \pm 1.7\Omega$$

利用换臂后的数据计算:

$$R_x = \sqrt{1182.2 \times 1181.9}\Omega = 1182.04\Omega$$

$$\rho_x = \sqrt{\rho_0^2+(\frac{0.1}{S})^2} = \sqrt{(0.1\%)^2+(\frac{0.1}{11160.908})^2} = 0.0010$$

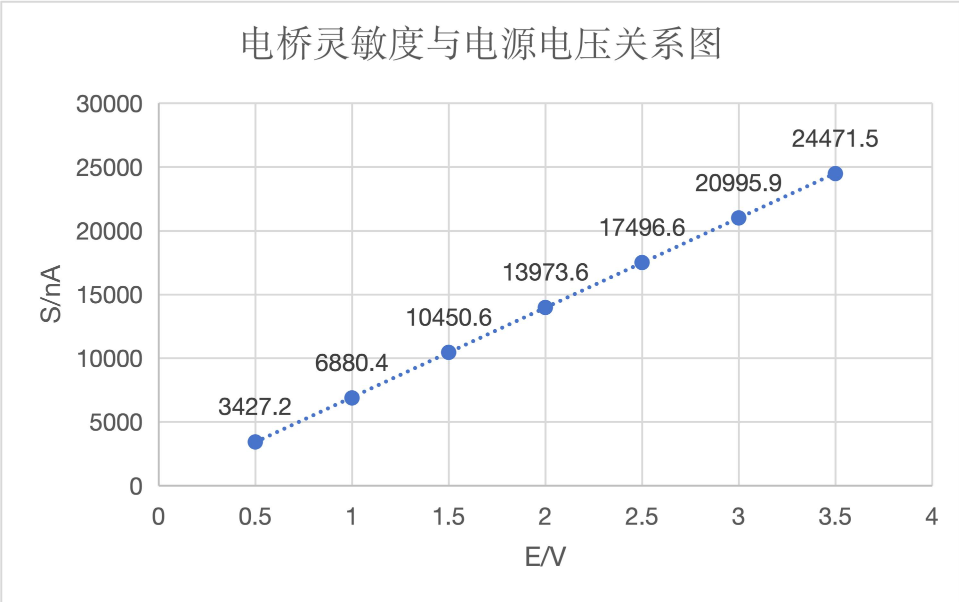
$$\overline{R_x} = R_x \pm \rho_x R_x = 1182.0 \pm 1.2\Omega$$

2、观察电桥灵敏度与电源电压的关系：

取R_a=R_b=100Ω和R_x，改变电源电压 E，测量不同电压下的电桥灵敏度，并做 S-E 关系图。

E/V	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50
R_0/Ω	1181.8	1182.1	1182.2	1182.2	1182.2	1182.2	1182.2
ΔR_0/Ω	5	5	5	5	5	5	5
ΔI/nA	14.5	29.1	44.2	59.1	74.0	88.8	103.5
S/nA	3427.2	6880.4	10450.6	13973.6	17496.6	20995.9	24471.5

根据表中数据作图：



3、测量未知电阻R_2（即R_x，约 50Ω）及灵敏度：

根据情况，选取R_a=10Ω，R_b=1000Ω，比例臂的倍率 C=0.01，电源电压 E=0.50V。

电桥状态	R_0/Ω	R_x/Ω	ΔR_0/Ω	ΔI/nA	S_2/nA
数据记录	4945.5	49.455	5	6.4	6330.24

$$R_x = 49.455\Omega$$

$$\rho_x = \sqrt{\rho_0^2 + \rho_c^2 + (\frac{0.1}{S})^2} = \sqrt{(0.2\%)^2 + (0.1\%)^2 + (\frac{0.1}{6330.24})^2} = 0.0022$$

$$\overline{R_x} = R_x \pm \rho_x R_x = 49.46 \pm 0.11\Omega$$

五、实验反思与总结

1、在进行测量前要对微电流计进行调零，具体操作为接好后按下电阻的按钮，调节其示数为 0。

2、电阻箱要从大档位到小档位进行调节，可以预先调到待测电阻预估值的附近。
3、实验过程中可能出现调节最小档位后仍无法完全平衡的情况（0.1Ω档位大一格为正值，小一格为负值），可以选择微电流计示数较小的阻值进行计算。

六、考察题与思考题

考察题:

1、在用电桥测量电阻时恰当选取倍率 C 的目的何在？在实验中怎样判断 C 选取得是否恰当？
在电桥测量电阻时，选取倍率 C 的目的是确保测量结果在仪器的最佳测量范围内，以提高测量的准确性和精度。选择倍率 C 要根据待测电阻的预估范围，以及所用电桥的灵敏度和量程来确定。
判断方法:
可以根据R_0有效位进行判断，有效位越多越恰当；
如果测量结果接近或者直接等于量程的上限或下限，则需要调整倍率 C，以确保测量结果在仪器的合适范围内；
如果测量结果波动较大或者难以稳定在一个数值上，可能是倍率选取不当导致的，此时需要调整倍率并重新进行测量。
2、影响R_x测量精确度的因素有哪些?
倍率 C 的选取，电源电压，微电流计的精度，电阻箱的精度，测量方法（可以用换臂法消除 C 带来的误差）
根据 $S=\frac{E}{K[(R_a+R_b+R_0+R_x)+(2+\frac{R_b}{R_0}+\frac{R_x}{R_a})R_g]}$，可以看出与电源电压 E、电流计的电流常量与内阻、桥臂电阻之和、桥臂电阻比例（最好是均压）等因素有关。
3、电源电压不太稳定是否影响测量的精确度？电源电压太低为什么影响测量精确度?
有一定影响，由 $S=\frac{E}{K[(R_a+R_b+R_0+R_x)+(2+\frac{R_b}{R_0}+\frac{R_x}{R_a})R_g]}$，电压不稳定会导致灵敏度忽高忽低，对测量造成一定影响。
电源电压太低时，由上式知道灵敏度较低，精确度下降；也可以理解为电源电压太低使回路的电流减小，电表波动不大，更容易小于其分辨率，影响灵敏度，导致精确度下降，误差增大。
4、若桥臂回路有导线不通，电流计示数大或小？若电流计支路或电源支路不通，电流计示数大或小？若 C 和R_0预置不当，电流计示数大或小?
有导线不通时，电流计示数大，电流会通过电流计走向最低阻抗的路径，而不通过未通的回路，导致电流计读数增大。
电流计支路不通或电源支路不通，电流计示数小，流会通过电流计走向最低阻抗的路径，如果支路不通，则电流计的读数会减小。
C 和R_0预置不当，示数（绝对值）偏大。

思考题

1、若电桥保证准确度的测量范围为 20～99 999 Ω,要测一个 1×10^6 Ω 左右的电阻,可否用一只 1000 Ω的标准电阻与之并联起来测量?能否测准?

并联后的电阻大概是$\frac{1000\times1000000}{1000+1000000}\approx999\,\Omega$，在测量范围内，可以测量。

可以根据测出的电阻值根据并联规律计算出待测电阻，可以测准

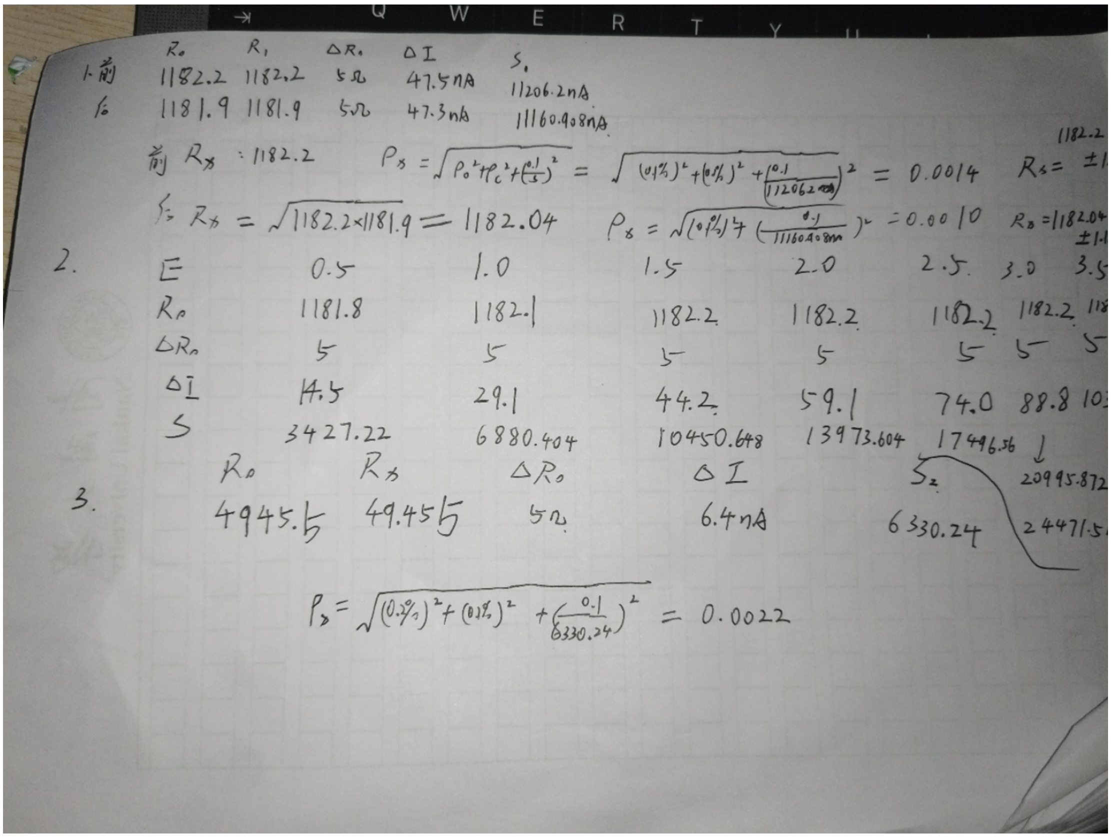
2、根据实验中测R_1和R_2时的电路参量，由式 $S=\frac{E}{K[(R_a+R_b+R_0+R_x)+(2+\frac{R_b}{R_0}+\frac{R_x}{R_a})R_g]}$计算电桥灵敏度并与测量值比较，看是否一致。

（不知道电流常量 K 与直流数显微电流计的内阻无法计算结果，但根据数量级估算，基本一致）

3、替代法测$\mathbf{R_x}$,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?

不要求其余电阻准确与电源稳定，但最好做到电源稳定。

七、原始数据与助教签字



	R_0	R_1	ΔR_0	ΔI	S_1
1.前	1182.2	1182.2	5Ω	47.5nA	11206.2nA
后	1181.9	1181.9	5Ω	47.3nA	11160.908nA

前 $R_x = 1182.2$　$P_x=\sqrt{P_0^2+P_c^2+(\frac{0.1}{S})^2}=\sqrt{(0.1\%)^2+(0.1\%)^2+(\frac{0.1}{11206.2nA})^2}=0.0014$　$R_x=1182.2\pm1.$

后 $R_x=\sqrt{1182.2\times1181.9}=1182.04$　$P_x=\sqrt{(0.1\%)^2+(\frac{0.1}{11160.408nA})^2}=0.0010$　$R_x=1182.04\pm1.$

2.

E	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
R_0	1181.8	1182.1	1182.2	1182.2	1182.2	1182.2	118
ΔR_0	5	5	5	5	5	5	5
ΔI	14.5	29.1	44.2	59.1	74.0	88.8	10
S	3427.22	6880.404	10450.648	13973.604	17446.56	20995.872	24471.5

3.

R_0	R_x	ΔR_0	ΔI	S_2
4945.5	49.455	5Ω	6.4nA	6330.24

$P_x=\sqrt{(0.2\%)^2+(0.1\%)^2+(\frac{0.1}{6330.24})^2}=0.0022$