

34#

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青

成绩

9.2

实验日期: 2014.11.11 学号 3013204264 同组实验者

实验题目: 自组惠斯通电桥测电阻

一. 实验目的

1. 掌握惠斯通电桥测量中值电阻的原理和特点;
2. 学会自搭惠斯通电桥测量未知电阻, 并掌握计算测量结果的不确定度;
3. 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。

二. 实验仪器

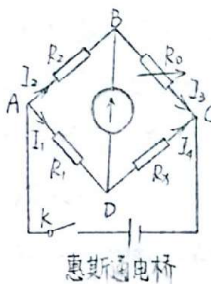
ZX36型电阻箱2个, ZX21型电阻箱1个, AC5/2型检流计1个, 1.5V干电池2个, 滑线变阻器1个, 开关, 导线等。

三. 实验原理

1. 电桥原理

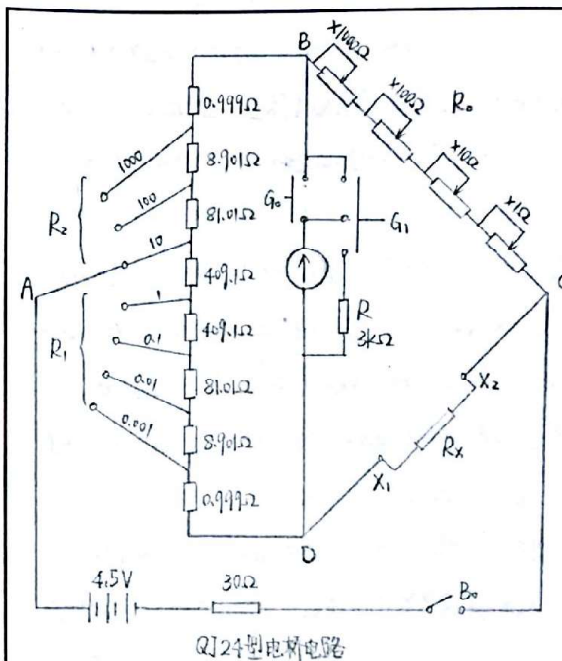
基本电路如图所示。图中, 被测电阻 R_x 和3个已知电阻 R_1, R_2, R_3 构成电桥的4个臂, 接有检流计的对角线BD即所谓的“桥”。当调节 R_1, R_2, R_3 使检流计指零时, 说明B、D两点的电位相等, 此时称电桥达到平衡。平衡时通过检流计的电流 $I_g = 0$, 于是 $I_1 = I_4, I_2 = I_3, I_1 R_1 = I_2 R_2, I_3 R_3 = I_4 R_x$, 导出 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3$ 。此即惠斯通电桥的工作原理公式。式中 $\frac{R_1}{R_2}$ 称为比平衡臂倍率, R_3 称为比较臂, R_x 称为被测臂。通常, R_1, R_2, R_3 是由阻值准确而稳定的电阻箱组成, 只要检流计足够灵敏, 测量结果的准确度就会很高。

2. 电桥的构造和使用



天津大学物理实验报告

附页 1



便携式惠斯通电桥把电阻箱、检流计、电池、开关以及全部线路组装在一只箱里, 以便于使用。QJ24型箱式电桥是一种较常用的便携式电桥, 等级指数0.1, 保证准确等级的测量范围为20~99999Ω。

图中, A为比率臂倍率旋钮, 8个精密电阻分为 R_1 和 R_2 两部分, 旋转A时, R_1, R_2 可以同时改变, 但 $R_1 + R_2$ 不变(一般 $R_1 + R_2 = 10k\Omega$), 设计时使 R_1 等于1000。

100, 10, 1, 0.1, 0.01, 0.001共7挡倍率。 R_3 是一个4位旋钮式电阻箱, 是电桥的“比较臂”, 4挡分别指示 $\times 1000\Omega, \times 100\Omega, \times 10\Omega, \times 1\Omega$ 的电阻值。当电桥平衡时, 4个挡位示值之和即为 R_3 , 这时待测电阻 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3 = CR_3$, 式中C为比率臂倍率。

QJ型电桥面板中, 左上角为倍率旋钮, 其下方为检流计(上附调零旋钮), 检流计下方按键 B_0 用于启闭电源, 按键 G_1 (粗), G_2 (细)分别用来在粗调和细调时接通检流计。面板右方的4个旋钮用以调节 R_3 , 其下方的接线柱 X_1, X_2 用于接待测电阻。测量电阻的程序如下:

- (1) 粗估 R_x 的阻值范围(用多用表测量或看其标称值);
- (2) 调整检流计的零点, 后接入待测电阻;
- (3) 按 R_x 的粗估值选择倍率和 R_3 值。选择倍率的原则是要使比较臂的4个旋钮都用上, 以便测量结果获得4位有效数字。

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2014.11.11 学号 3013204264 同组实验者

实验题目:

自组惠斯通电桥测电阻

(4) 先按下电源按钮 B, 再按下 G1 (粗), 改变 R 值, 进行粗调平衡, 然后按下 G2 (细) 进行细调。观察是否平衡时, 按键 G1 (G2) 要采取“跃接法”, 直到关闭 G 时检流计指针不再颤动调节平衡即告完成。

(5) 测量结束后, 应先断开 G, 后断开 B。

3. 电桥的准确度等级、灵敏阈及测量不确定度

(1) 便携式电桥的基本误差限。电桥的准确度等级分为 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 八个级别。根据国家标准 GB3949-83 规定对于等级指数为 0 的电桥, 在规定的使用条件下, 其基本误差限 $\Delta = \frac{0.1}{100} (R_0 + \frac{R_N}{10})$, 相对误差 $E_r = \frac{0.1}{100} (1 + \frac{R_N}{R_0})$, 式中: C 为比较臂倍率; R_0 为比较臂的示值; R_N 为基准值, 是为规定电桥的准确度提供有效量程的一个单值, R_N 即为与 R_0 最大示值接近的 10 的整数幂。对于 QJ24 型电桥, R_0 的最大值为 9999 Ω , 所标应取 $R_N = 10000 \Omega = 10^4 \Omega$, 在物理实验中人们不考虑偏离规定使用条件所引起的附加误差, 而简化地取基本误差限作为电桥测量结果的高概率 B 类不确定度分量的估计值。

(2) 电桥灵敏度对测量结果的影响。电桥平衡后, 将 R_0 改变 ΔR_0 , 检流计指针偏转 Δd , 如果个别的 ΔR_0 能引起这么大的 Δd 偏转, 电桥的灵敏度就高, 电桥的平衡就能判断得更精确, 所以电桥的灵敏度定义为 $S = \frac{\Delta d}{\Delta R_0} = R_1 (\frac{\Delta d}{\Delta R_1}) (\frac{\Delta R_1}{\Delta R_0}) = R_1 S_1 (\frac{\Delta R_1}{\Delta R_0})$, 式中: S_1 是检流计的电流灵敏度。

在电桥平衡时, 应用基尔霍夫定律, 可以推出电桥的灵敏度为 $S = \frac{S_1 E}{10 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_1 R_4 + R_2 R_3 + R_2 R_4 + R_3 R_4}$

天津大学物理实验报告

附 页 2

式中: R_0 为检流计的内阻, E 为电源的电压。

适当提高电源电压 E , 选择灵敏度高, 内阻低的检流计, 适当减小桥臂电阻 ($R_1 + R_2 + R_3 + R_4$), 尽量把桥臂配置成均匀状态 (四臂电压相等), 使 $(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_3}{R_4})$ 值最小, 对提高电桥灵敏度都有作用。

电桥灵敏度的限制会对测量结果产生多大影响呢? 设检流计偏向平衡 0.2 div 之内, 无法分辨, 由此可定义偏向平衡位置 0.2 格所对应的 R_0 的改变量 δR_0 为电桥的灵敏阈。如果把 R_0 调偏 ΔR_0 时, 检流计偏转 Δd 格, 则偏向平衡 0.2 div 对应的 R_0 的调偏量 $\delta R_0 = \frac{0.2}{\Delta d} \Delta R_0$, 是可近似认为 $\Delta R_0 = C \delta R_0$ (C 为所选用的倍率), 所以电桥灵敏阈所决定的误差限

$$\Delta_s = \delta R_0 = C \frac{0.2}{\Delta d} \Delta R_0$$

一般来说, 产品电桥的基本误差限 Δ 已包含了 Δ_s 的影响, 使用时不必专门考虑。但如果电桥使用日久未经校准, 使用前应先测量其灵敏阈, 若 $\Delta_s > \frac{1}{3} \Delta$, 则应将 Δ_s 与 Δ 方和根合成作为测量不确定度 B 类分量的估计值。

四. 实验步骤

1. 设计利用电阻箱自组惠斯通电桥的电路图并连接实验线路。
2. 选择不同倍率进行测量 (倍率 $C = \frac{R_0}{R_N}$ 分别为 $\frac{10000}{10000}$; $\frac{10000}{1000}$; $\frac{10000}{100}$; $\frac{10000}{10}$) 并记录实验数据。
3. 测量不同电源电压 (3V, 1.5V) 下 R_0 的值, 并记录实验数据。
4. 通过数据说明不同选择对测量结果的影响, 总结正确的选择方法。
5. 给出的一组数据的不确定度分析。
6. 使用便携式电桥测 R_0 , R_N 及其中并联电阻, 记录实验数据。
7. 整理实验仪器。

五. 数据处理

电源电压对测量结果的影响:

天津大学物理实验报告

天津大学物理实验报告

附 页 3

信息 学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2014.11.11 学号 3013204264 同组实验者

实验题目: 自组惠斯通电桥测电阻.

E (V)	R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)	R ₀ (Ω)	R ₀ ' (Ω)	ΔR ₀ (Ω)	Δd (div)	S (div)	ΔS (Ω)	Δx (Ω)	Δ (Ω)	R _x (Ω)	Er (%)
1.5	100	100	509.3	510.5	1.2	2	848.8	0.12	0.90	0.91	509.3	0.18
3.0	100	100	509.4	509.9	0.5	2	2037.6	0.05	0.90	0.90	509.4	0.18

不同的R₁, R₂和R₁/R₂的测量结果

R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)	R ₀ (Ω)	R ₀ ' (Ω)	ΔR ₀ (Ω)	Δd (div)	S (div)	ΔS (Ω)	Δx (Ω)	Δ (Ω)	Er (Δ/R ₀)	R _x (Ω)
1000	1000	509.2	511.9	2.7	2	377.2	0.27	0.91	0.95	0.19%	509.2
100	100	509.3	510.5	1.2	2	848.8	0.12	0.90	0.91	0.18%	509.3
100	1000	509.4	5144.3	53.9	2	188.9	0.54	0.88	1.03	0.20%	509.0
10	1000	509.9	55520.9	5021.0	2	20.1	5.02	2.14	5.46	1.08%	505.0

便携式电桥测量结果

粗估值 (V)	倍率 C	R ₀ (Ω)	R _x (Ω)	Δ (Ω)	Er (%)
R _{x1}	510	0.1	509.6	0.610	0.12
R _{x2}	22	0.01	2267	22.7	0.28
R _{x4}	530	0.1	5321	53.21	0.18
R _{0并}	21	0.01	2175	21.8	0.29

具本不确定度分析 (E=3.0V, R₁=100Ω, R₂≥100Ω):

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_0 = \frac{100}{100} \times 509.4 = 509.4 \Omega$$

$$\Delta S = C \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0} \cdot R_0 = 1 \times \frac{0.5}{509.4} \times 0.5 = 0.05 \Omega$$

$$\Delta R_0 = 0.1\% \times 509.4 + 0.05 \times 0.5 = 0.5394 \approx 0.54 \Omega$$

$$500 \times 0.1\% + 9 \times 0.5\% + 0.4 \times 1 + 6 \times 0.05$$

$$S = \frac{\Delta d}{\Delta R_0} R_0 = \frac{2}{0.5} \times 509.4 = 2037.6 \text{ div}$$

$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = 0.1\% \times 100 + 4 \times 0.05 = 0.12 \approx 0.1 \Omega$$

$$\Delta_1 = \Delta_2 = R_x \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} = 509.4 \times \frac{0.1}{100} = 0.5094 \approx 0.51 \Omega$$

$$\Delta_3 = R_x \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0} = 509.4 \times \frac{0.54}{509.4} = 0.54 \Omega$$

$$\Delta x = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2} = 0.90 \Omega$$

$$U_0 = \Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = 0.90 \Omega$$

$$U_r = \frac{\Delta}{R_x} = \frac{0.90}{509.4} \approx 1.77 \times 10^{-3} \approx 0.18\%$$

测量结果可表示为 $R_x = (509.4 \pm 0.9) \Omega$ ($P \approx 0.95$)

六. 实验结论

1. 电源电压对测量结果的影响:

电源电压增大一倍, 灵敏度S也几乎提高一倍, 灵敏度所决定的误差限大约减小一半.

总的测量误差限变化甚微, 系统误差小.

2. 不同的R₁, R₂和R₁/R₂值的测量结果

① 组成电桥的电阻越小, 越对称, 灵敏度S越大, Δ_s越小.

② 灵敏度决定的误差限Δ_s与线路电阻决定的误差限Δ_x相比要小得多, 电桥的允许基本误差主要取决于线路电阻结构.

③ 第四组数据中, 由桥的灵敏度急剧下降, 测量的相对误差限显著变大, 说明当R_x≈500Ω时选择倍率R₁/R₂=0.01是不合理的.

3. 便携式电桥测量结果

① Δ_s << Δ_x 时, Δ_s对测量不确定度U的贡献很小, 可以忽略不计;

② 所测电阻越大, 测量准确度越高, 其相对测量不确定度U_r越接近电桥等级指数所对应的相对基本误差限.

原始实验数据记录 作业 纸

3013204264

院系 信息 班级 通四 姓名 何青 第 页

自组惠斯通电桥测电阻.

电源电压对测量结果的影响.

E (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_0 (Ω)	ΔR_0 (Ω)	Δd (div)	S (div)	ΔS (Ω)	ΔX (Ω)	Δ (Ω)	R_x (Ω)	E_r (%)	R_0' (Ω)
1.5	100	100	509.3		2							510.5
3.0	100	100	509.4		2							509.9

给具体计算

不同的 R_1 , R_2 和 R_1/R_2 的测量结果

(1.5V)

R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_0 (Ω)	ΔR_0 (Ω)	Δd (div)	S (div)	ΔS (Ω)	ΔX (Ω)	Δ (Ω)	E_r (Δ/R_0)	R_x (Ω)	R_0' (Ω)
1000	1000	509.2		2							511.9
100	100	509.3		2							510.5
100	1000	509.4		2							5144.3
10	1000	50999.9		2							55520.9

便携式电桥测量结果

粗估值 (V)	倍率C	R_0 (Ω)	R_x (Ω)	Δ (Ω)	E_r (%)
R_{x1} 510	0.1	509.6			
R_{x2} 22	0.01	2267			
R_{x4} 530	0.1	5321			
R_{x4} 21	0.01	2175			

P7

2014. 11. 11.