



北京航空航天大学 实验报告

学号: 20213011
 班级: 200615
 姓名: 张悦
 同组者: _____
 日期: 2021.10.11
 评分: _____

实验名称: 电位差计及其应用

一. 实验重点:

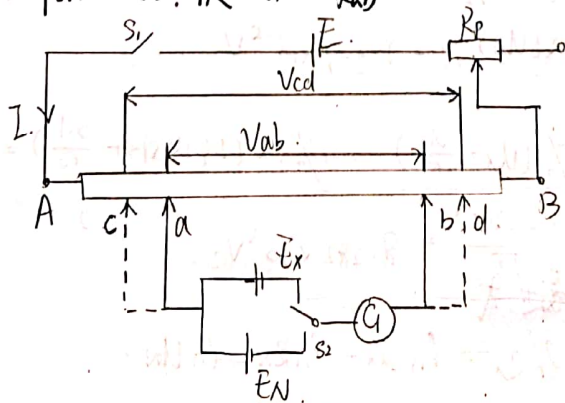
- ① 学习补偿原理和比较测量法.
- ② 牢固掌握基本电学仪器的使用方法进一步规范实验操作.
- ③ 培养电学实验的初步设计能力
- ④ 熟悉仪器误差限和不确定度的估算.

二. 实验原理.

1. 补偿原理.

测量电池的电动势 E_x 的最简单办法是把电压表接到电池的正负极上直接读数, 为了避免接入误差, 可以采用如图所示的“补偿”电路。如果 Cd 可调, $E > E_x$, 则总可以找到一 Cd 位置, 使 E_x 所在回路中无电流通过, 这时 $V_{cd} = E_x$, 上述原理称为补偿原理。回路 $E_x \rightarrow C \rightarrow d \rightarrow C \rightarrow E_x$ 称为补偿回路; $E \rightarrow S_1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow E$ 构成回路, 称为辅助回路。为了确认补偿回路中没有电流通过 (完全补偿), 应当在补偿回路中接入一个具有足够灵敏度的检流计 G , 这种用检流计来判断电流是否为零的方法称为零示法。

由补偿原理可知, 可通过测得 V_{cd} 来求得 E_x , 接下来的问题便是如何精确测得 V_{cd} 。在此采用比较测量法。如图, 把 E_x 接入 R_{AB} 的抽头, 当抽头滑至位置 cd 时 G 中无电流通过, 则 $E_x = IR_{cd}$, 其中 I 是流过 R_{AB} 的电流; 再把一电动势已知的标准电池 E_N 接入 R_{AB} 的抽头, 当抽头滑至位置 ab 时, G 再次为 0, 则 $E_N = IR_{ab}$, 得 $E_x = \frac{R_{cd}}{R_{ab}} E_N$ 。



由于 R_{AB} 是精密仪器, R_{cd}/R_{ab} 可以精确读出, E_N 是标准电池, 其电动势有高精度, 因此只要在测量过程中保持辅助电源 E 的稳定并且检流计 G 有足够高的灵敏度, E_x 就可有足够高的精度。

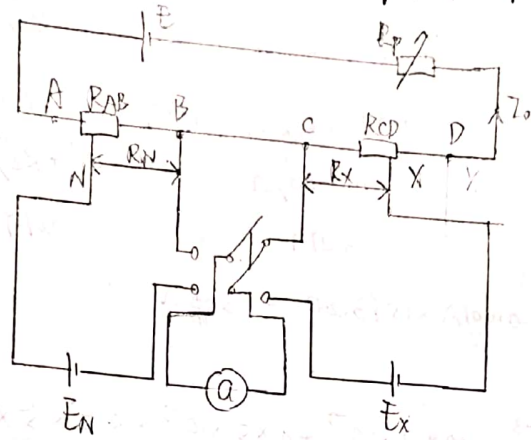


扫描全能王 创建

2. UJ25型电位差计.

UJ25型电位差计是一种高电势电位差计, 测量上限为1.9116V, 准确度为0.01级, 工作电源 $I_0 = 0.1\text{mA}$. 原理如图所示.

在UJ25中, 在辅助回路中接一个可调电阻 R_p . 按公式 $R_{ab} = E_N/I_0$, 预先设置好 R_{ab} 调节 R_p 但改变 R_{ab} 直至 $V_{ab} = E_N$, 再接入 E_x , 调节 R_{cd} 并保持工作电流不变.



三. 实验仪器.

ZX-21电阻箱(两个), 指针式检流计, 标准电池, 稳压电源, 待测干电池, 双刀双掷开关, UJ25型电位差计, 电子检流计, 待测电压表, 待测电流表.

四. 实验内容

1. 电阻电位差计.

- 设计并连接电阻电位差计的线路.
- 工作电流标准化, 测量干电池电动势.
- 测量电阻电位差计的灵敏度.

2. UJ25型箱式电位差计.

- 使用UJ25型电位差计测量固定电阻.
- 使用UJ25型电位差计测量电表内阻.
- 使用箱式电位差计测量干电池电动势.



五. 实验数据处理

实验一：自组电位差计。

1. 原始数据. $t = 23.2^\circ\text{C}$. $E_N = E_{20} - 3.99 \times 10^{-5} (23.2 - 20) - 0.94 \times 10^{-6} (23.2 - 20)^2 + 9 \times 10^{-9} (23.2 - 20)^3 = 1.01846 \text{ V} \approx 1.0185 \text{ V}$.

R_1/Ω	R_2/Ω	R_1'/Ω	R_2'/Ω	R_1''/Ω	R_2''/Ω
1018.5	2011.4	1563.2	1466.7	1549.2	1480.7
$R_1 + R_2/\Omega$		$R_1' + R_2'/\Omega$		$R_1'' + R_2''/\Omega$	
3029.9		3029.9		3029.9	

(偏转 10.0 格.)

$I = 1 \text{ mA}$.

得. $E_x = IR_1' = 0.001 \text{ A} \times 1563.2 \Omega = 1.5632 \text{ V}$.

2. 仪器不确定度

$$\Delta R_1 = (1000 \times 10^{-3} + 0 \times 10^{-3} + 10 \times 2 \times 10^{-3} + 8 \times 5 \times 10^{-3} + 0.5 \times 5 \times 10^{-2} + 0.02) \Omega = 1.105 \Omega$$

$$U(R_1) = \frac{\Delta R_1}{\sqrt{3}} = 0.638 \Omega$$

$$\Delta R_2 = (2000 \times 10^{-3} + 0 \times 10^{-3} + 10 \times 2 \times 10^{-3} + 1 \times 5 \times 10^{-3} + 0.4 \times 5 \times 10^{-2} + 0.02) \Omega = 2.065 \Omega$$

$$U(R_2) = \frac{\Delta R_2}{\sqrt{3}} = 1.192 \Omega$$

$$\Delta R_1' = (1000 \times 10^{-3} + 500 \times 10^{-3} + 60 \times 2 \times 10^{-3} + 3 \times 5 \times 10^{-3} + 0.2 \times 5 \times 10^{-2} + 0.02) \Omega = 1.665 \Omega$$

$$U(R_1') = 0.961 \Omega$$

$$\Delta R_2' = (1000 \times 10^{-3} + 400 \times 10^{-3} + 60 \times 2 \times 10^{-3} + 6 \times 5 \times 10^{-3} + 0.7 \times 5 \times 10^{-2} + 0.02) \Omega = 1.605 \Omega$$

$$U(R_2') = 0.927 \Omega$$

$$\text{灵敏度 } S = \frac{10.0 \text{ div}}{1.5632 - 1.5492} = 714.3 \text{ div/V}$$

$$\text{灵敏度误差. } \Delta S(E_x) = \frac{0.2}{S} = \frac{0.2}{714.3} = 2.80 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$U(E_x) = \frac{\Delta S(E_x)}{\sqrt{3}} = 0.000162 \text{ V}$$

3. 合成不确定度.

$$\frac{U(E_x)}{E_x} = \sqrt{\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_1 + R_2}\right]^2 U(R_1)^2 + \left[\frac{U(R_2)}{R_1 + R_2}\right]^2 + \left[\frac{1}{R_1'} - \frac{1}{R_1' + R_2'}\right]^2 U(R_1')^2 + \left[\frac{U(R_2')}{R_1' + R_2'}\right]^2}$$

$$= \frac{1}{R_1 R_2} \sqrt{\left(\frac{R_2}{R_1} U(R_1)\right)^2 + (U(R_2))^2 + \left(\frac{R_2'}{R_1'} U(R_1')\right)^2 + (U(R_2'))^2}$$

$$= \frac{1}{3029.9} \sqrt{\left(\frac{2011.4}{1018.5} \cdot 0.638\right)^2 + (1.192)^2 + \left(\frac{1466.7}{1563.2} \cdot 0.961\right)^2 + (0.927)^2}$$

$$= 7.14 \times 10^{-4}$$

$$U(E_x) = E_x \cdot \frac{U(E_x)}{E_x} = (1.5632 \times 7.14 \times 10^{-4}) \text{ V} = 0.0011 \text{ V}$$

最终表达式:

$$E_x \pm U(E_x) = (1.563 \pm 0.001) \text{ V}$$



扫描全能王 创建

实验二、箱式电位差计测干电池电动势。

1. 原始数据

$$E_x = 1.563640 \text{ V}$$

2. 不确定度。

$$\Delta E_x = 0.1\% \left(E_x + \frac{U_0}{10} \right) = 10^{-4} \left(1.563640 \times \frac{0.1}{10} \right) = 1.563640 \times 10^{-4} \text{ V}$$

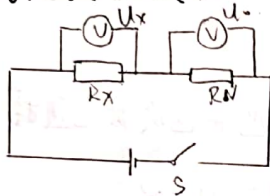
$$U(E_x) = \frac{\Delta E_x}{\sqrt{3}} = 9.0 \times 10^{-5}$$

$$\text{实际测量结果: } E_x + U(E_x) = (1.56364 \pm 0.00009) \text{ V}$$

$$3. \text{ 箱式电位差计相对误差: } \gamma = \frac{E_{x\text{测}} - E_{x\text{标}}}{E_{x\text{标}}} \times 100\% = 0.02\%$$

实验三：箱式电位差计测固定电阻。

1. 电路图及数据记录



R_x : 待测电阻. R_N : 标准电阻. 标准电阻值.

R_N/Ω	U_N/V	U_x/V
200	1.588432	1.424513

方案: 使用电源题2, 设为3V. 将中阻箱设为200 Ω , 与待测电阻串联. 待测电阻和电阻箱. 分别接入表头1和表头2. 利用串联电流相等, 算出 R_x .

2. 固定电阻阻值。

$$R_x = R_N \frac{U_x}{U_N} = 200 \cdot \frac{1.424513}{1.588432} = 179.360904 \Omega$$

3. 不确定度计算

R_N 不确定度:

$$\Delta R_N = 200 \times 10^{-3} + 0.1 \times 10^{-3} \times 2 + 0 + 0 + 0.02 = 0.220 \Omega$$

$$U(R_N) = \frac{\Delta R_N}{\sqrt{3}} = 0.127 \Omega$$

U_N 不确定度:

$$\Delta U_N = 0.1\% \left(U_N + \frac{U_0}{10} \right) = 0.01\% \left(1.588432 + \frac{0.1}{10} \right) = 1.598 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$U(U_N) = \frac{\Delta U_N}{\sqrt{3}} = 9.229 \times 10^{-5} \text{ V}$$

U_x 不确定度:

$$\Delta U_x = 0.1\% \left(U_x + \frac{U_0}{10} \right) = 0.01\% \times \left(1.424513 + \frac{0.1}{10} \right) = 1.435 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$U(U_x) = \frac{\Delta U_x}{\sqrt{3}} = 8.282 \times 10^{-5} \text{ V}$$

4. 合成不确定度及最终表达式

$$R_x = \frac{U_x}{U_N} R_N \quad \ln R_x = \ln U_x + \ln R_N - \ln U_N$$

$$\frac{U(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left[\frac{U(R_N)}{R_N} \right]^2 + \left[\frac{U(U_x)}{U_x} \right]^2 + \left[\frac{U(U_N)}{U_N} \right]^2} = \sqrt{\left(\frac{0.127}{200.0} \right)^2 + \left(\frac{8.282 \times 10^{-5}}{1.424513} \right)^2 + \left(\frac{9.229 \times 10^{-5}}{1.588432} \right)^2} = 6.403 \times 10^{-4}$$



实验报告

课程名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班级: 200615 学生姓名: 袁悦

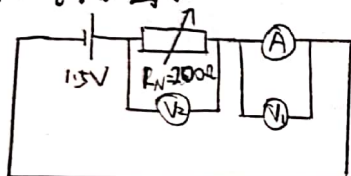
$$U(R_x) = R_x \cdot \frac{U(R_x)}{R_x} = 179.360904 \times 6.403 \times 10^{-6} \Omega = 0.11 \Omega.$$

5. 最终表达式:

$$R_x \pm U(R_x) = (179.4 \pm 0.1) \Omega.$$

实验四. 箱式电位差计测电表内阻.

1. 电路图及原理.



原理:

使用电源另一通道, 设置为 1.5V, 将电阻箱调至 200Ω.

与待测电表串联接入电路. 将待测电表和电阻箱两端

分别接入箱式电位差计的未知 1 和未知 2. 测出

U_X 和 U_N , 利用串联电路电流相等算出 R_x .

2. 原始数据

R_N / Ω	U_X / V	U_N / V
200.	0.039762	1.418152

3. 电表内阻

$$R_x = \frac{U_X}{U_N} R_N = \left(\frac{0.039762}{1.418152} \times 200 \right) \Omega = 5.60758 \Omega.$$

4. 不确定度计算.

$$\Delta R_N = 200 \times 10^{-3} + 0 + 0 + 0 + 0.02 = 0.220 \Omega.$$

$$U(R_N) = \frac{\Delta R_N}{R_N} = 0.1270 \Omega.$$

$$\Delta \text{仪}(U_X) = 0.01\% \left(U_X + \frac{U_0}{10} \right) = 0.01\% \left(0.039762 + \frac{0.1}{10} \right) = 4.98 \times 10^{-6} V$$

$$U(U_X) = \frac{\Delta \text{仪}(U_X)}{U_X} = 2.87 \times 10^{-6} V$$



扫描全能王 创建

实验报告

课程名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: 200615 学生姓名: 蔡畅

$$\Delta U(U_N) = 0.1\% (U_N + \frac{U_N}{10}) = 0.01\% (1.418152 + \frac{0.1}{10}) = 1.43 \times 10^{-4} V.$$

$$U(U_N) = \frac{\Delta U(U_N)}{\sqrt{3}} = 8.25 \times 10^{-5} V.$$

5. 合成不确定度.

$$\frac{U(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{U(R_N)}{R_N}\right)^2 + \left(\frac{U(U_N)}{U_N}\right)^2 + \left(\frac{-U(U_N)}{U_N}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0.1270}{200.0}\right)^2 + \left(\frac{2.87 \times 10^{-6}}{0.039762}\right)^2 + \left(\frac{8.25 \times 10^{-5}}{1.418152}\right)^2}$$

$$= 6.4173 \times 10^{-4}$$

$$U(R_x) = R_x \cdot \frac{U(R_x)}{R_x} = 5.60758 \times 6.4173 \times 10^{-4} = 0.0036.$$

6. 最终表达式:

$$R_x \pm U(R_x) = (5.608 \pm 0.004) \Omega.$$

六. 误差分析.

实验一. 自组电位差计测电动势.

1. 电阻箱仪器误差导致 R_1, R_2, R_1', R_2' 的测量与真值有差距.

2. E_x, E_N 不稳定.

3. 温度变化可能改变 E_N , 造成工作电流变化.

实验二. 三. 四:

1. U_{J25} 型. 电位差计. 的仪器误差.

3. 温度变化误差.

2. 检流计灵敏度大时指针飘移误差.



扫描全能王 创建

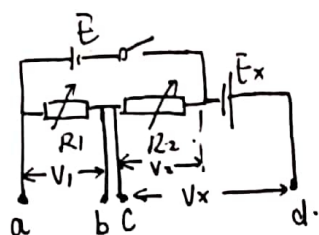
实验报告

课程名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 学生姓名: _____

七. 思考题

①.



E_x 为待测电源.

取 $E \approx 4.5V$, 使 $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 200\Omega$.

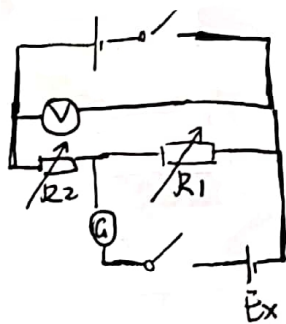
a, b 接入待测 1, c, d 接入待测 2.

$$V_1 \approx 1.5V, V_2 \approx 3V. \text{ 则 } V_x \approx E_x - V_2 = \approx 1.5V$$

在测量范围内.

$$\text{因此, } E_x = V_x + V_1 \cdot \frac{R_2}{R_1}.$$

②.



当检流计 $G=0$ 时, R_1 两端的电势降低值.

等于 E_x 的电动势.

$$\text{因此, } E_x = \frac{UR_1}{R_1 + R_2}. \quad (U \text{ 为电压表读数})$$

有效数字位数: 由电压表量程为 $3V$ (有效数字为 3 位) 电阻箱可精确

到 0.1Ω , 只要保证电阻箱调至 10Ω 及以上, 即可有三位有效数字.

而输出电阻箱可以达到 $10k\Omega$ 量级, 有超过三位有效数字.

因此可以取得三位有效数字.



扫描全能王 创建

5¹²

北京航空航天大学

BEIJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS

实验一:

$$R_0 = 20 \text{ m}\Omega$$

$$E_{\text{标}} = 2.9 \text{ V}$$

$$t = 23.7^\circ\text{C}$$

$$E_N = E_{20} - 3.99 \times 10^{-5} (23.7 - 20) - 0.94 \times 10^{-6} (23.7 - 20)^2 + 9 \times 10^{-9} (23.7 - 20)^3$$

$$= 1.01846 \text{ V} \approx 1.0185 \text{ V}$$

R_1	R_2	R_1'	R_2'	R_1''	R_2''	R
10/8.5	20/11.4	1563.2	1666.7	1549.2	1680.7	10.0 格

$$R_1 + R_2$$

$$3029.9$$

$$R_1' + R_2'$$

$$3229.9$$

$$R_1'' + R_2''$$

$$3229.9$$

$$E_X = I R_1' = 0.001 \text{ A} \times 1563.2 \Omega = 1.5632 \text{ V}$$

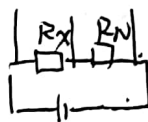
实验二:

$$E_X = 1.563640 \text{ V}$$

标称 E_X

5# 标称 E_X
10.11 格
2.1.28

实验三:



$$U_X = V_1 = 1.424513 \text{ V}$$

标称1: R_X

$$\text{未知2: } R_N = 200 \Omega \quad U_0 = V_2 = 1.588432$$

$$R_X = R_N \frac{V_1}{V_2} = 179.360904 \Omega$$



实验：已知1：电流表 $V_1 = 0.039762$

表2. 200Ω . $V_2 = 16.18152$ 1.418152

$$R_{\text{电流表}} = R_N \cdot \frac{V_1}{V_2} = 5.6076$$

式 $R_{m/s}$

5#

10.11下

2.1.20

