



北京航空航天大学

实验报告

日期: 9.28.2022
评分:

实验名称: 电位差计及其应用

一. 实验目的

1. 学习补偿原理和比较测量头。
2. 巩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. 熟悉掌握仪器误差限和不确定度的估算。

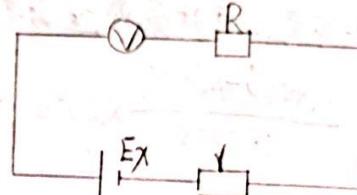
得分 9.28.2022

二. 实验原理

1. 补偿原理

测量干电池电动势最简单的方法如右：

由于①的内阻 R 不是 ∞ , E_x 的内阻 $r \neq 0$, 故测得的电



压 $V = E_x \frac{R}{R+r}$ 不是 E_x 。这种由于伏特表的接入导致一部分电流分出叫作接入误差。

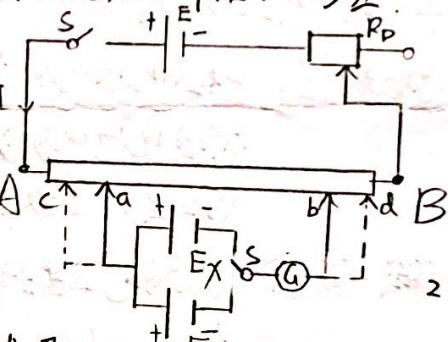
这里用补偿电路来避免接入误差，方法如示：

以可调， $E > E_x$ ，则总有一个cd位置使 E_x 回路中没有电流

通过，此时 $V_{cd} = E_x$ ，这种方法称为补偿原理。其中：

$E_x \rightarrow C \rightarrow d \rightarrow C \rightarrow E_x$ 为补偿回路； $E \rightarrow S \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow E_x$ 为辅助回路。

灵敏电流计 C 来判断 I 是否为0，这种方法称为零示法。



比较测量头：在图2中把 E_x 换成 R_{AB} ，当抽头置于cd位置时，

G 中无电流，则 $Z_x = I R_{cd}$ ；再把一已知的 E_N 接入 R_{AB} ，当抽头置于ab位置 G 为0。则 $E_N = I R_{ab}$, $Z_x = \frac{R_{cd}}{R_{ab}} E_N$ 。 R_{AB} 是精密电阻， R_{cd}/R_{ab} 可精确测出， E_N 也是高精度，故只要将 E 的检定与 G 的灵敏度 Z_x 就有高准确度。

按以上原理可制得电位差计。为保证两次 I 都相等， $I = Z_x / R_{ab}$ 应当标准化。例如取 $I = I_0 = 1mA$ ，这样就可由相应的电阻值直接读出 V_{cd} 即 $Z_x = I_0 R_{cd}$ 。在UJ25中的做法是在辅助回路中串一个可调电阻 R_P ，按公式 $R_{ab} = Z_x / I_0$ 预先设置好 R_P ，调节 R_P 不改变 R_{ab} ，直至 $V_{ab} = V_N$ ；再撤去 E_x ，调节 R_{cd} ，并保持工作电流不变。

2. UJ25电位差计

测量上限为 $1.91110V$ ，精度为0.01级，工作电流 $I_0 = 0.1mA$ 。原理图如右。

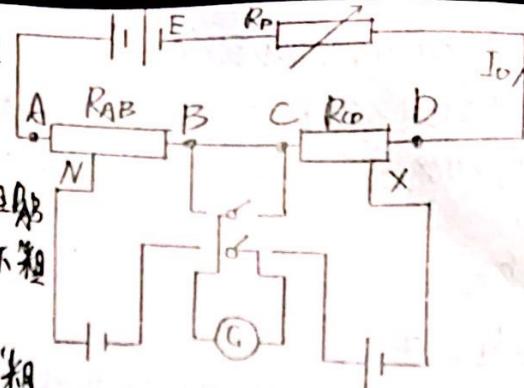
其中 R_{AB} 为步进的电阻旋钮，标有不同温度的标准电动势的值，当调节工作电流做标准电动势修正。 R_P 调节工作电流 I_0 用， R_{cd} 是标有 $I_0 R_{cd}$ 值的大个大旋钮。

左下角为功能转换开关，标有“粗”“细”“量程”由三个按钮是检流计的控制开关。

UJ25 使用方法如下：

① 调节工作电流：将功能转换开关置 N，温度补偿电阻 R_p 放至修正后的标准电池电动势“1.018V”两端，分别按下粗“按钮”，调节 R_p 至检流计为零。

② 测量待测电压：功能转换开关置 X₁ 或 X₂，分别按“粗”“细”按钮，调节 R_p 至检流计指零，则 R_{AB} 的显示值为待测电压。



三. 实验仪器

ZX-21 电源箱两个，指针式检流计、标准电池、电压表、待测干电池、双刀双掷开关；UJ25型电压计、电子检流计、待测电压表、待测电流表。

四. 实验内容

1. 自组电压差计

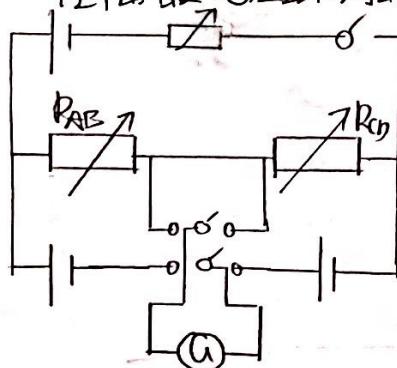
- 设计并连接自组电压差计电路
- 工作电流标准化，测量干电池电动势
- 测量自组电压差计的灵敏度

2. UJ25

- 使用 UJ25 测量固定电阻
- 使用 UJ25 测量干电池电动势
- 使用 UJ25 测量电源内阻

五. 预习思考题

1. 画出自组电压差计测干电池电动势的完整电路，并按照设计要求设置各仪器的初定值。



$$\text{估计: } E_X = 1.5V \quad E \approx 3V \quad I = I_0 = 1mA \quad E_V = 1.01860V.$$

$$\text{对粗线回路: } I_0 = E_{AB} \quad \text{由粗线万用表, } E_V = I_0 R_{AB} \Rightarrow R_{AB} = 1018.6 \Omega.$$

$$\Rightarrow E_X = R_{CD} \quad R_{CD} = 1500 \Omega$$

$$\text{对整个回路: } I_0 (R_{AB} + R_{CD} + R_p) = E \quad R_p = 481.4 \Omega$$

$$\text{P.P: } R_{AB} = 1018.6 \Omega \quad R_{CD} = 1500 \Omega \quad R_p = 481.4 \Omega$$

2. 可用一较大的电阻 R' 与电光计串联，在粗测中 R' 起限流作用，保护电光计，粗测电路电流已至 1mA 级，可以直接读数，使用电光计时要用放大法，按下电门按钮接在电路上快接快断，观察指针偏转是否剧烈。

3. ① 按图连接电路，将可变电阻调至最大阻值，开关断开

② 开关向右闭合，不连检流计，设计 $I_0 = 1mA$, $P.P R_{AB} = 1018.6 \Omega$ ，此接头接通 E_V

并随时间调整 R_{CD} , R_D 使 E_N 回路电流为 0。

③. 关闭右接通，接 E_X 补偿回路，接通检流计观察指针变化，为了使 E_X 回路电流为 0，需改变 R_D 大小而保证 $I_0=1mA$ ，则外电阻总不变；改变 R_D 或 R ，则应改变 k_{ABCR} 并检查电流计 E_X 指针 I_0 。

$$④. E_X = R_{CD} I_0.$$

六 实验数据处理

实验一：自组电位差计测电池电动势。

1. 原始实验数据

$$\begin{aligned} t &= 26.1^\circ C \quad \text{由温度修正公式: } E_N \approx E_{20} - 3.99 \times 10^{-5} \times (26.1 - 20) - 0.91 \times 10^{-6} \times (26.1 - 20)^2 \\ &\quad + 9 \times 10^{-9} \times (26.1 - 20)^3 = 1.01832 V. \\ \text{为使 } I &= 1mA, R_1 = \frac{1.01832}{0.001} = 1018.3 \Omega. \end{aligned}$$

类别	R_1/Ω	R_2/Ω	R_1'/Ω	R_2'/Ω	R_1''/Ω	R_2''/Ω
数值	1018.3	2092.2	1606.3	1504.2	1633.5	1477.0

$$2. \text{ 结果: } E_X = \frac{R_1'}{R_1} \cdot E_N = \frac{1606.3}{1018.3} \times 1.01832 V = 1.6063 V.$$

3. 不确定度及仪器误差。

$$\Delta R_1 = 1000 \times 10^{-3} + 0 \times 10^{-3} + 10 \times 2 \times 10^{-3} + 8 \times 8 \times 10^{-3} + 0.3 \times 5 \times 10^{-2} + 0.02 = 1.119 \Omega.$$

$$\Delta R_2 = 2000 \times 10^{-3} + 0 \times 10^{-3} + 90 \times 2 \times 10^{-3} + 2 \times 8 \times 10^{-3} + 0.2 \times 5 \times 10^{-2} + 0.02 = 2.226 \Omega$$

$$\Delta R_1' = 1000 \times 10^{-3} + 600 \times 10^{-3} + 0 \times 2 \times 10^{-3} + 6 \times 8 \times 10^{-3} + 0.3 \times 5 \times 10^{-2} + 0.02 = 1.683 \Omega.$$

$$\Delta R_2' = 1000 \times 10^{-3} + 500 \times 10^{-3} + 0 \times 2 \times 10^{-3} + 4 \times 8 \times 10^{-3} + 0.2 \times 5 \times 10^{-2} + 0.02 = 1.562 \Omega.$$

$$U(R_1) = \frac{\Delta R_1}{\sqrt{3}} = 0.646 \Omega$$

$$U(R_2) = \frac{\Delta R_2}{\sqrt{3}} = 1.285 \Omega$$

$$U(R_1') = \frac{\Delta R_1'}{\sqrt{3}} = 0.972 \Omega$$

$$U(R_2') = \frac{\Delta R_2'}{\sqrt{3}} = 0.902 \Omega$$

4. 合成不确定度及测量结果的最终表达。

$$\begin{aligned} \frac{U(E_X)}{E_X} &= \sqrt{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_1 + R_2}\right)^2 U^2(R_1) + \left[\frac{1}{R_1 + R_2}\right]^2 U^2(R_2) + \left(\frac{U(R_1)}{R_1 + R_2}\right)^2} \\ &= \frac{1}{R_1 + R_2} \sqrt{\left(\frac{R_2}{R_1} U(R_1)\right)^2 + \left(U(R_2)\right)^2 + \left(\frac{R_2}{R_1} U(R_1)\right)^2 + \left(U(R_2)\right)^2} \\ &= 0.00072. \end{aligned}$$

$$U(E_X) = 0.0012 V.$$

$$\therefore \text{测量结果为: } E_X \pm U(E_X) = (1.606 \pm 0.001) V.$$

5. 误差分析：①电源的不稳定性带来一定误差。
 ②电阻箱的仪器误差导致 R_1 , R_2 , R_3 , R_4 的测量值与真实值有误差。
 ③环境温度变化带来的误差。
 ④示零电路的灵敏度有误差。

6. 灵敏度及其误差。

$$(1). \text{灵敏度: } S = \frac{14 \text{ div}}{|1.5042 - 1.4770|} = 54.7 \text{ div/V.}$$

$$(2). \Delta E_{(Ex)} = \frac{\sigma^2}{S} = 0.00038858 \text{ V}$$

$$U_{(Ex)} = \frac{\Delta E_{(Ex)}}{\sqrt{3}} = 0.000224 \text{ V.}$$

7. 以 UJ25 电位差计的测量结果为标准计算相对误差。

$$\frac{|1.6063 - 1.6098|}{1.6098} \times 100\% = 0.0124\%.$$

实验二：箱式电位差计测电池电动势。

1. 原始数据：稳压电源电动势 3V

标准电池电动势： $E_V = 1.01832 \text{ V}$.

电位差计系数： $E_X = 1.609865 \text{ V}$.

2. 不确定度：UJ25 电位差计精度级别： $\alpha = 0.01$ ，基准值： $U_0 = 0.1 \text{ V}$.

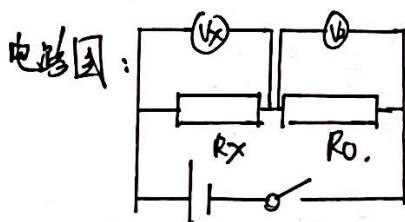
$$\Delta E_X = \alpha \% (U_X + \frac{U_0}{10}) = 0.01\% \times (1.609865 + \frac{0.1}{10}) = 1.619865 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$U_{(Ex)} = \frac{\Delta E_X}{\sqrt{3}} = 9.352 \times 10^{-5} \text{ V.}$$

$$\text{最终结果: } E_X \pm U_{(Ex)} = (1.609865 \pm 0.0001) \text{ V.}$$

3. 误差分析：①电源不稳定性造成误差
 ②检流计灵敏度造成误差
 ③环境温度改变造成误差

实验三：箱式电位差计测固定电阻



$$R_0 = 170 \Omega, V_2 = 1.495300 \text{ V.}$$

$$V_X = 1.579740 \text{ V.}$$

$$R_X = \frac{R_0 V_X}{V_2} = 179.6 \Omega.$$



北京航空航天大学
实验报告

学
班
姓
同

日期: _____
评分: _____

实验名称: 电压差计及其应用

不确定度计算:

R₀不确定度:

$$\Delta R_0 = 100 \times 10^{-3} + 70 \times 2 \times 10^{-3} + 0 + 0 + 0.02 = 0.26$$

$$U(R_0) = \frac{\Delta R_0}{\sqrt{3}} = 0.1501 \Omega.$$

V₂不确定度:

$$\Delta V_2(V_2) = \alpha^0 b (V_2 + \frac{V}{V_0}) = 0.01\% \times (1495300 + \frac{0.1}{10}) = 1.50 \times 10^{-4} V.$$

$$U(V_2) = \frac{\Delta V_2(V_2)}{\sqrt{3}} = 8.64 \times 10^{-5} V.$$

V_X不确定度:

$$\Delta V_x(V_x) = \alpha^0 b (V_x + \frac{V}{V_0}) = 0.01\% \times (1.574740 + \frac{0.1}{10}) = 1.57 \times 10^{-4}.$$

$$U(V_x) = \frac{\Delta V_x(V_x)}{\sqrt{3}} = 9.18 \times 10^{-5} V.$$

合成不确定度及其最终结果表述:

$$R_X = \frac{V_x}{V_2} R_0 \quad \ln R_X = \ln R_0 + \ln V_x - \ln V_2$$

$$\begin{aligned} \frac{U(R_X)}{R_X} &= \sqrt{\left(\frac{U(R_0)}{R_0}\right)^2 + \left(\frac{U(V_x)}{V_x}\right)^2 + \left(\frac{U(V_2)}{V_2}\right)^2} \\ &= 8.87 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$U(R_X) = 179.6 \times 8.87 \times 10^{-4} = 0.16 \Omega.$$

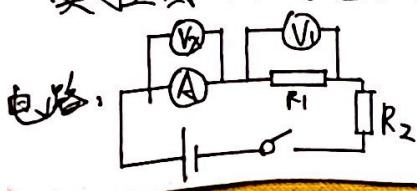
最终结果表述为: R_X ± U(R_X) = (179.6 ± 0.2) Ω.

误差分析: ①. 电位差计仪器误差,

②. 电阻箱仪器误差

③. 环境温度变化引起的误差

实验四: 箱式电位差计测电表内阻.



实验数据: ~~V_A=0.044V~~ R₁=5.0Ω R₂=1000Ω

$$V_A = 0.201041 V \quad V_1 = 0.16213 V \quad R_A = \frac{R_1 V_A}{V_1} = 6.20 \Omega$$

不确定度计算：

R₁不确定度：
 $\Delta R_1 = 5 \times 8 \times 10^{-3} + 0.02 = 0.06 \Omega.$

$U(R_1) = \frac{\Delta R_1}{\sqrt{3}} = 0.0346 \Omega.$

V_i不确定度：

$\Delta R(V_i) = \alpha^b (V_i + \frac{V}{10}) = 0.01\% \times (0.162130 + \frac{0.1}{10}) = 1.72 \times 10^{-5} V.$

$U(V_i) = \frac{\Delta R(V_i)}{\sqrt{3}} = 9.93 \times 10^{-6} V.$

V_A不确定度：

$\Delta R(V_A) = \alpha^b (V_A + \frac{V}{10}) = 0.01\% \times (0.201041 + \frac{0.1}{10}) = 2.11 \times 10^{-5} V.$

$U(V_A) = \frac{\Delta R(V_A)}{\sqrt{3}} = 1.22 \times 10^{-5} V.$

合成不确定度及最终结果表达：

$R_A = \frac{R_1 V_A}{V_i} \quad \ln R_A = \ln R_1 + \ln V_A - \ln V_i$

$\frac{U(R_A)}{R_A} = \sqrt{\left(\frac{U(R_1)}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{U(V_A)}{V_A}\right)^2 + \left(\frac{U(V_i)}{V_i}\right)^2} = 0.00692$

$U(R_A) = 0.043 \Omega.$

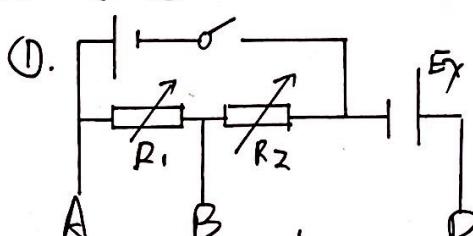
∴ 最终结果表达为 $R_A \pm U(R_A) = (6.20 \pm 0.04) \Omega.$

误差分析：① 电位差计仪器误差

② 电阻箱仪器误差

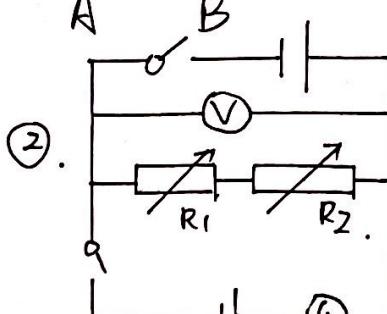
③ 环境温度变化造成误差。

七. 思考题



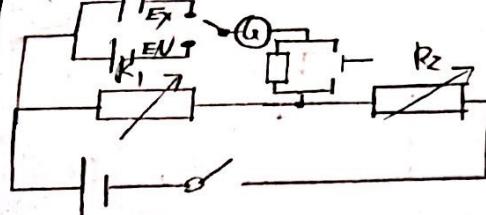
$E_x \approx 4.5V$
 $\text{令 } R_1 = 1000 \Omega \quad R_2 = 2000 \Omega$

$E_x = V_{DB} + V_{AB} \times \frac{R_2}{R_1}$



仪器：AC5 指针式检流计，直流电压表 10.5 级
 量程：1.5~3.0~7.5~15V，电阻箱（0~9999.9 Ω），两节电池
 (1A, 3V)，开关、导线若干。
 做法：开关断开，调节 R₁, R₂ 使得 ① 读数接近待测电源电动势，再闭合开关，调节 R₁, R₂，使 ② 为零，此时 ③ 读数即为待测电源电动势。

实验一：自组电位差计测电池电动势.



$$t = 25.726.1^\circ\text{C}$$

$$\therefore E_N = 1.01834 \text{ V.} \quad 1.01832 \text{ V.}$$

表格：类别 $R_1/52$ $R_2/52$ $R'/52$ $R''/52$ $R_1''/52$ $R_2''/52$ (4格)

数值1	10183	20713	16044	14685		
数值2	10183	21000	16044	1577.9		
数值3	10183	20933	16083	15053		

1.570
1.598V

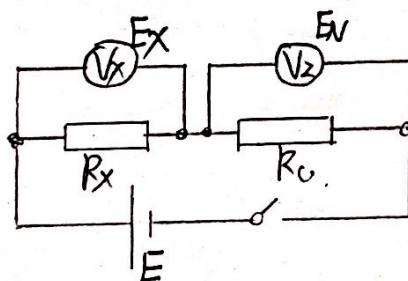
①

~~10183 2092.2 16063 1504.2 1633.5 1477.0~~

~~1018.3 2092.2 1606.3 1504.2 1633.5 1477.0~~

~~1018.3 2092.2 1606.3 1504.2 1633.5 1477.0~~

实验二：箱式电位差计测电池电动势.

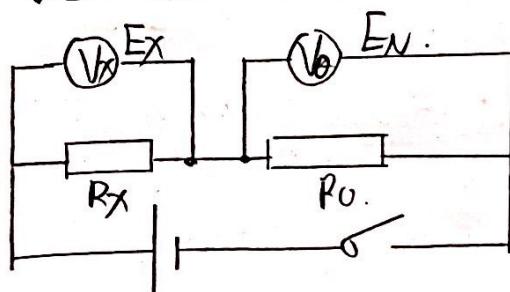


$$E = 3 \text{ V} \quad \bar{E}_N = 1.01834 \text{ V.} \quad \bar{E}_N = 1.01832 \text{ V.}$$

$$E_x = 1.632567 \text{ V.}$$

$$\bar{E}_x = 1.609865 \text{ V.} \quad \text{②}$$

实验三：箱式电位差计测固定电阻.



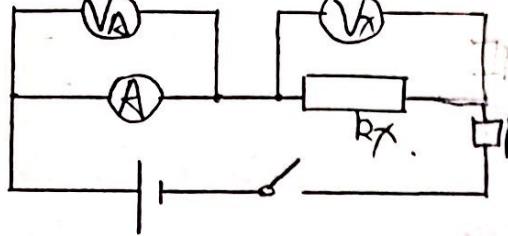
$$R_o = 1700 \Omega. \quad V_o = 1.495300 \text{ V.}$$

$$V_x = 1.579740$$

✓
2

$$R_x = \frac{R_o V_x}{V_o} = 179.6 \Omega.$$

实验四：箱式电位差计测电表内阻



$$R_A = 100\Omega$$

$$R_X = 5.0\Omega$$

$$V_X = 0.16213V \quad V_A = 0.201041V \quad (4)$$

$$R_A = \frac{R_X V_A}{V_X} = 6.2\Omega$$

$$\begin{aligned} R_A &= 2000.0\Omega \\ R_X &= 1.0\Omega \\ V_X &= 0.24874V \\ V_A &= 0.0903V \end{aligned}$$

① ② ③ ④ ⑤ 9.28 11:28