

一、预习要点

1. 实验目的:

- ① 学习补偿原理和比较测量法
- ② 学习并掌握基本电学仪器使用方法, 实现规范操作
- ③ 培养电学实验初步设计能力
- ④ 熟悉仪器误差限和不确定度计算

2. 仪器设备

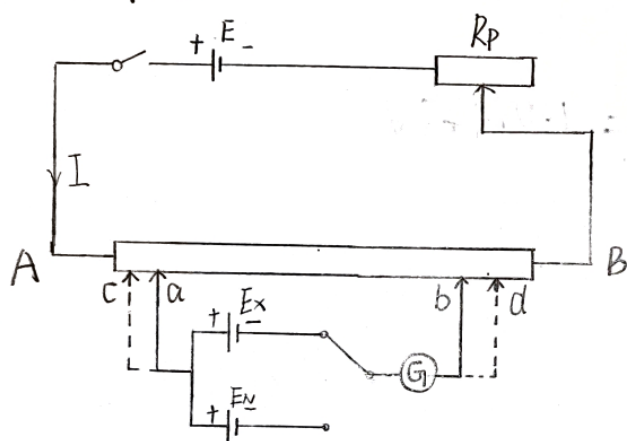
ZX-21 电阻箱 (两个)、指针式检流计、标准电池、稳压电源、待测干电池、双刀双掷开关、UJ25 型电位差计、电子检流计、待测电压表、待测电流表

3. 电学实验操作规程

- ① 分析线路图
- ② 合理安排仪器
- ③ 按回路接线法连线和查线
- ④ 检查仪器零点和安全位置
- ⑤ 瞬态试验和“宏观”粗测
- ⑥ 实验结束先断电源

二、实验原理和方法

① 补偿原理



1) 测量干电池电动势 E_x 时若直接把电压表接到电池上会引入接入误差, 导致 $V \neq E$

2) 如图, 其中 cd 可调, $E > E_x$ 则总可找到一个 cd 位置使 E_x 所在回路中无电流通过, 此时 $V_{cd} = E_x$ 即补偿原理. 其中补偿回路: $E_x \rightarrow G \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow E_x$

辅助回路: $E \rightarrow S \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow E$

3) 零示法: 为了确定补偿回路中无电流通过应在补偿回路中接入检流计 G

② 比较测量法

把 E_x 接入 R_{AB} 抽头, 当抽头滑至位置 cd 时 G 中无电流通过, 则 $E_x = IR_{cd}$. 再把一电动势已知的标准电池 E_N 接入 R_{AB} 抽头, 当抽头滑至位置 ab 时 $G = 0$ 则 $E_N = IR_{ab}$ 故 $E_x = \frac{R_{cd}}{R_{ab}} E_N$

③ 工作电流表标准化

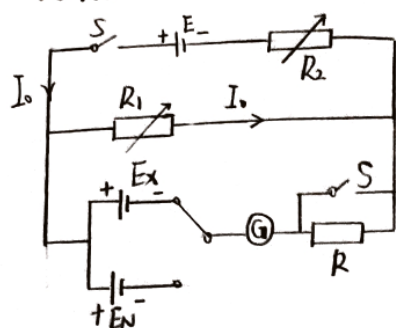
在辅助回路中串联一可调电阻 R_p 按照 $R_{ab} = \frac{E_N}{I}$ 预先设置好 R_{ab} 调节 R_p 直至 $V_{ab} = E_N$, 再接入 E_x 调节 R_{cd} 并保持工作电流不变, 由此便于读数, 即 $E_x = I \cdot R_{cd}$

④ 指针式检流计

采用跃接法

三. 实验内容

1. 自组电位差计



① 设计并连接自组电位差计 (如右图) 原理与 UJ25 类似

极大电阻 R 与 G 串联保护检流计

② 工作电流标准化: 测量干电池电动势 即确保

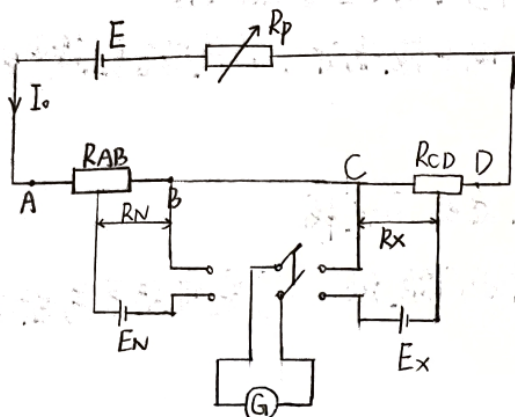
$(R_1 + R_2)$ 不变 使 I_0 不变的条件成立

③ 测量自组电位差计灵敏度

④ 温度修正公式: ($E_{20} = 1.0186 \text{ V}$)

$$E_N \approx E_{20} - 3.99 \times 10^{-5} (t - 20^\circ\text{C}) - 0.94 \times 10^{-6} (t - 20^\circ\text{C})^2 + 9 \times 10^{-9} (t - 20^\circ\text{C})^3$$

2. UJ25 型电位差计 测电池电动势



① 调节工作电流: 将功能转换开关置于 "N", 温度补偿电阻 R_{AB} 旋至修正后标准电池电动势 "1.018V" 后两位 分别按下 "粗" "细" 按钮 调节 R_p 至检流计指零

② 测量待测电压: 功能转换开关置 "X1" 或 "X2" 分别按下 "粗" "细" 按钮 调节 R_{CD} 至检流计指零

则 R_{CD} 显示指值为待测电压。

79

四: 实验结果及数据处理

1. 自组电位差计

室温: $t = 23.9^\circ\text{C}$ 修正标准电池电动势: $E_N = 1.01845 \text{ V}$

表格:

E_N		E_X		E_i		偏转格数
R_1/Ω	R_2/Ω	R_1'/Ω	R_2'/Ω	R_1''/Ω	R_2''/Ω	
1027.9	1972.1	1330.5	1669.5	1354.5	1645.5	13

仪器误差: $\Delta R_1 = 1000 \times 0.1\% + 20 \times 0.2\% + 7 \times 0.5\% + 0.9 \times 5\% + 0.025 = 1.145$

$\Delta R_2 = 1000 \times 0.1\% + 900 \times 0.1\% + 7 \times 0.2\% + 2 \times 0.5\% + 0.1 \times 5\% + 0.025 = 2.080$

同理得 $\Delta R_1' = 1.410$ $\Delta R_2' = 1.815$

不确定度: $U(R_1) = \frac{\Delta R_1}{\sqrt{3}} = 0.661 \Omega$ $U(R_2) = \frac{\Delta R_2}{\sqrt{3}} = 1.201 \Omega$

$U(R_1') = 0.8 \frac{\Delta R_1'}{\sqrt{3}} = 0.814 \Omega$ $U(R_2') = \frac{\Delta R_2'}{\sqrt{3}} = 1.048 \Omega$

灵敏度 $S = \frac{13 \text{ div}}{1.3545 - 1.3305} = 541.7 \text{ div/V}$

灵敏度误差 $\Delta_{\text{灵}}(E_X) = \frac{0.2}{S} = 0.00036921 \text{ V}$

$U_{\text{灵}}(E_X) = \frac{\Delta_{\text{灵}}(E_N)}{\sqrt{3}} = 0.0002132 \text{ V}$

合成不确定度及最终表达.

$$\begin{aligned}\frac{U(E_x)}{E_x} &= \sqrt{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_1+R_2}\right)^2 U^2(R_1) + \left[\frac{U(R_2)}{R_1+R_2}\right]^2 + \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_1+R_2}\right]^2 U^2(R_1) + \left[\frac{U(R_2)}{R_1+R_2}\right]^2} \\ &= \frac{1}{R_1+R_2} \sqrt{\left[\frac{R_2}{R_1} U(R_1)\right]^2 + [U(R_2)]^2 + \left[\frac{R_2}{R_1} U(R_1)\right]^2 + [U(R_2)]^2} \\ &= 0.00075795\end{aligned}$$

$$E_x = E_N \cdot \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right) = 1.318268 \text{ V}$$

$$U(E_x) = E_x \cdot \frac{U(E_x)}{E_x} = 0.00099918 \text{ V}$$

$$\text{最终结果表达为 } E_x \pm U(E_x) = (1.318 \pm 0.001) \text{ V}$$

$$\text{相对误差为 } \frac{|E_{x1} - E_{x(25)}|}{E_{x(25)}} = 0.07\%$$

2. UJ25 型电位差计测电池电动势

检流计 $30nA$

原始数据: $E_x = 1.31917 V$

误差计算: UJ25 准确度级别为 $\alpha = 0.001$ 基础数值 $U_0 = 0.1V$

$$\Delta = \alpha\% (U_x + \frac{U_0}{10}) = 0.01\% \times (1.31917 + 0.1) = 1.3292 \times 10^{-4} V$$

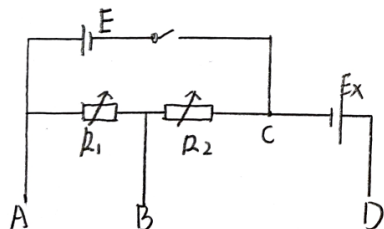
$$U(E_x) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 7.67397 \times 10^{-5} V$$

最终结果为 $E_x \pm U(E_x) = (1.31917 \pm 0.00008) V$

需要进行结果分析讨论哦, -1

课后思考题:

(1) UJ25 测约 4.5V 的电动势



取 $E \approx 4.5V$ $R_1 = 1k\Omega$ $R_2 = 2k\Omega$

利用 UJ25 测出 U_{AB} 和 U_{BD}

$$\text{可得 } E_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot U_{AB} - U_{BD}$$

(2) 自组电位差计在测量的应用

① 电学中: 利用补偿原理制成万用表

或用于校准电表

② 非电学中: 可用于测量温度、压力、位移等。