

# 天津大学物理实验报告

# 天津大学物理实验报告

附页 /

信息 学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩 95

实验日期: 2014.11.25 学号 3013204264 同组实验者

## 实验题目: 电位差计

### 一. 实验目的

1. 阅读本实验附录, 了解电位差计的工作原理、基本结构、使用方法, 了解标准电池的使用注意事项
2. 理解电压计灵敏度、灵敏度的意义及其测量方法。
3. 在懂得电路原理的基础上, 搞清楚怎样预估  $R_2 + R_3$  的阻值范围, 如可设定  $R_2, R_3$  的初值, 测量时如何调节  $R_2, R_3$  才能保持工作电流不变。
4. 干电池电动势测量结果不确定度估算。

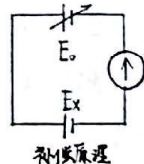
### 二. 实验仪器

电阻箱、检流计、伏特计、毫安计、电位器、待测电池、标准电池、稳压电源和开关等。

### 三. 实验原理

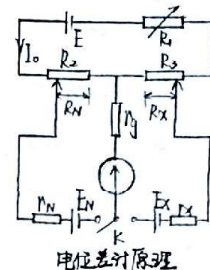
#### 1. 电位差计的工作原理

- 1) 补偿法原理。磁电式指针仪表的突出缺点是必须从被测线路中取用电能转换为驱动指针偏转的机械能, 这就必然要改变被测量的原有状态, 从而带来测量方法的误差。而电位差计所采用的补偿法, 从测量原理上根本克服了电测仪表的这一不足。



图中,  $E_x$  是待测电动势,  $E_0$  是一可精确调节其大小的已知电动势。二者通过一检流计正负相对顶接在一起, 当调节  $E_0$  的大小使检流计指零时, 电路中电流为零, 必然有  $E_x = E_0$ 。称  $E_0$  补偿了 (平衡)  $E_x$ , 这实际上是通过检流计指零直接比较  $E_x$  和  $E_0$  的大小。测量方法来看, 与天平称量质量、平衡电桥测电阻一样, 都是直接与标准器进行比较, 属于高精度测量。

#### 2) 电位差计的工作原理



图是一种常见的定流电阻式电位差计原理简图。图中  $I_0, R_N, R_X$  分别为检流计、电源  $E_N$ 、电源  $E_X$  的电阻。电路图可分为 3 个回路。① 工作电流回路, 由电源  $E$  和电阻  $R_1, R_2, R_3$  组成; ② 校准回路, 由标准电池  $E_N$ 、检流计、电阻  $R_N$  ( $R_2$  的一部分) 和开关  $K$  组成; ③ 测量回路, 由待测电源  $E_X$ 、检流计、测量电阻  $R_X$  ( $R_3$  的一部分) 和开关  $K$  组成。

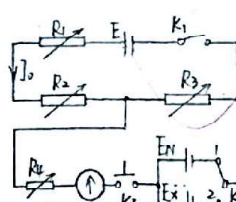
电位差计的工作原理可以通过了解其测量步骤和 3 个回路测量过程中的作用掌握。

- (a) “校准”。进行校准时, 将开关  $K$  合向标准电池  $E_N$  一侧, 取固定电阻  $R_N$  为某一预定值, 调节  $R_2$  使检流计指零, 这时工作电流  $I_0$  在  $R_N$  上的压降恰好与标准电池的电动势处于补偿状态, 即  $I_0 R_N = E_N$ , 于是有  $I_0 = E_N / R_N$ 。

- (b) “测量”。测量时, 将开关  $K$  合向未知电动势电源  $E_X$  一侧, 保持  $I_0$  不变 (即保持电阻  $R_N$  的大小不变), 调节  $R_3$ , 使检流计重新指零, 则有  $E_X = I_0 R_X = \frac{R_X}{R_N} E_N$ 。

由上述测量过程不难看出, 两步骤中的补偿电压  $I_0 R_N$  及  $I_0 R_X$  是回路中一段电阻上的压降,  $E_X$  与  $E_N$  的比较转变成  $R_X, R_N$  两电阻的比较。只要  $E_N$  足够准确,  $E_X$  的测量就能达到很高的准确度。此外, 两步骤中均要求检流计指零, 这意味着达到补偿状态时, 电源  $E_N$  及  $E_X$  均不输出电流。这样, 就从测量方法上保证了测量时不改变待测回路的原有状态, 同时有效地避免了电源内阻和导线电阻对测量准确度的影响。这是补偿法测量准确度高的重要原因。

#### 2. 自组电位差计的线路原理



在测量干电池电动势的电路中,  $R_1, R_2, R_3$  均为电阻箱,  $R_4$  是一电位器, 用作检流计的变阻器。  $K_1$  为检流计自附短路开关,  $E, E_N, E_X$  分别为工作电源、标准电源、待测电源。补偿电压由  $I_0 R_N$  提供, 校位开关合向  $E_N$  (位置 1) 为校准位置, 合为  $E_X$  (位置 2) 为测量位置。

# 天津大学物理实验报告

# 天津大学物理实验报告

附 页 2

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2014.11.25 学号 2013204264 同组实验者

## 实验题目: 电位差计

1)  $R_h = R_2 + R_3$  阻值范围的选择。根据选定的工作电流  $I$ , 预估并选定  $R_h$ 。取值的取值后满足不等式 (设  $E_x > E_N$ ):  $\frac{E_x}{I_0} > R_h > \frac{E_N}{I_0}$ 。式中,  $E_x$  为待测电动势的粗估值。宜取  $R_h$  为上下限之间一个易记值如  $400\Omega$ ,  $300\Omega$  等, 并考虑给  $R_2$  一定的调节范围。

2) 校准时  $R_2$ ,  $R_3$  初值的选择。根据  $I_0 R_h = I_0 R_N = E_N$ , 先选定  $R_3 = R_N = \frac{E_N}{I_0}$ , 则  $R_2 = R_h - R_3 = R_h - R_N$  调定  $R_2$ ,  $R_3$  后, 调节工作回路电阻  $R_1$ , 使检流计指零, 即被“校准”。

3) 测量时  $R_2$ ,  $R_3$  初值的选择和调节。要求  $I_0 R_h = I_0 R_x = E_x$ 。按  $E_x$  的粗估值选定  $R_2$ , 则  $R_3 = R_h - R_2$ 。调定后, 根据检流计偏转情况, 进一步调节  $R_2$ , 并注意同时调节  $R_3$ , 始终保持  $R_2 + R_3 = R_h$  不变。当平衡时, 有  $E_x = \frac{R_x}{R_N} E_N = \frac{R_x}{R_N} E_N$ 。这时的  $R_3$  就是所需的补偿电阻  $R_x$ 。

注意, 校准和测量时, 保护电阻  $R_4$  一开始置于电阻最大位置, 随着检流计偏转的减小逐渐减小  $R_4$ , 直至  $R_4 = 0$ , 再细调  $R_2$ ,  $R_3$  使检流计指零。

## 四. 实验步骤

### 1. 用自组电位差计测干电池电动势

① 按图接线, 注意电压极性是否正确。

② 校准。按  $E_N = 1.018V$ , 调节  $R_3 = R_N$ ,  $R_2 = R_h - R_3$ , 接通工作电源  $E$  及标准电池  $E_N$ , 调节  $R_1$ , 使检流计指零。调节时注意保护电阻  $R_4$  的使用方法。

测定校准灵敏度  $\delta U_N$ , 将  $R_3 (= R_N)$  调偏  $\Delta R_3$  值, 使检流计偏差  $\Delta d = 2 \text{ div}$ , 记录  $\Delta R_3$

及  $\Delta d$ 。

③ 测量。按  $E_x$  约  $1.5V$  设定  $R_2$ ,  $R_3$  的初值。

接通待测电源  $E_x$ , 按原理所述方法调节  $R_2$ ,  $R_3$ , 使检流计指零。操作时使  $R_h$  不变。

测定测量灵敏度  $\delta U_x$ , 记录  $\Delta d$ ,  $\Delta R_x$ 。

### 2. 用自组电位差计校准伏特计

① 接线。按图接线, 按  $U_N = 3V$  校准  $R_h = R_2 + R_3$ 。

② 校准伏特计。完成“校准”后将开关  $K_2$  合向伏特计一侧, 从  $0V$  到  $3V$  均匀校准各个分度值, 注意每校准一个分度线之前, 要预估和调定  $R_3$  值。

③ 数据记录。将校准值与伏特计示值  $U_N$  一一对应列入表格, 并计算各对应值之差  $\Delta U = U_N - U_x$ 。

以  $\Delta U$  为纵坐标,  $U_x$  为横坐标, 在毫米方格纸上作“伏特计校准曲线”, 两点之间以直线连接。

### 五. 数据处理

校 准	$E(V)$	$E_N(V)$	$R_N(\Omega)$	$R_h(\Omega)$	$\Delta R_h(\Omega)$	$\Delta d(\text{div})$	$\delta U_N(V)$	$S_{\delta U_N}(\text{div})$
	4.0	1.018	1018	1013	5	2	$5 \times 10^{-4}$	400
测 量	$E(V)$	$E_x(V)$	$R_x(\Omega)$	$R_h(\Omega)$	$\Delta R_x(\Omega)$	$\Delta d(\text{div})$	$\delta U_x(V)$	$S_{\delta U_x}(\text{div})$
	4.0	1.459	1459	1454	5	2	$5 \times 10^{-4}$	400

$$E_x = \frac{R_x}{R_N} \cdot E_N = \frac{1459}{1018} \times 1.018 = 1.459 (V)$$

$$\Delta R_x = \pm 0.6\% R_h + 0.005\Omega = 1000 \times 0.1\% + 400 \times 0.1\% + 50 \times 0.2\% + 9 \times 0.5\% + 0.005 \times 4 = 1.565\Omega$$

$$\Delta R_N = \pm 0.6\% R_h + 0.005\Omega = 1000 \times 0.1\% + 0 \times 0.1\% + 10 \times 0.2\% + 8 \times 0.5\% + 0.005 \times 4 = 1.08\Omega$$

$$\Delta_1 = E_x \cdot \frac{\Delta R_x}{R_N} = 1.459 \times \frac{1.565}{1459} = 1.565 \times 10^{-3} \div 1.6 \times 10^{-3} V$$

$$\Delta_2 = E_x \cdot \frac{\Delta R_N}{R_N} = 1.459 \times \frac{1.08}{1018} = 1.548 \times 10^{-3} = 1.5 \times 10^{-3} V$$

$$\Delta_3 = E_x \cdot \frac{\Delta E_x}{E_N} = E_x \cdot \frac{E_N \cdot 0.6\%}{E_N} = 1.549 \times \frac{1.018 \times 0.6\%}{1.018} = 7 \times 10^{-5} V$$

显然,  $\Delta_3 \ll \Delta_1$ ,  $\Delta_3 \ll \Delta_2$ , 所以, 标准电池误差的影响是很小的。

$$\Delta E_x = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2} = 2.19 \times 10^{-3} V$$

$$\delta U_N = E_N \cdot \frac{0.2 \Delta R_N}{\Delta d \cdot R_N} = 1.018 \times \frac{0.2}{2} \times \frac{5}{1018} = 5 \times 10^{-4} V$$

$$\delta U_x = E_x \cdot \frac{0.2 \Delta R_x}{\Delta d \cdot R_N} = 1.459 \times \frac{0.2}{2} \times \frac{5}{1459} = 5 \times 10^{-4} V$$



# 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: 2014.11.25 学号 2013204264 同组实验者

实验题目:

电位差计

$$\Delta S = \sqrt{\delta U_N + \delta U_X} = 7.07 \times 10^{-4} V$$

显然,  $\Delta E_X > \Delta S$ , 所以仪器误差的影响同大于灵敏度的影响。但是,  $\Delta S > \Delta E_X$  在总不确定度的估算中, 不能忽略  $\Delta S$  的影响。

$$S_N = \frac{\Delta d}{\Delta U_N} = \frac{0.2}{5 \times 10^{-4}} = 400 \text{ div/V} \quad (\text{书上说 } S_N < S_X \text{ 实际测量结果 } S_N = S_X \text{ 不符合})$$

$$S_X = \frac{\Delta d}{\Delta U_X} = \frac{0.2}{5 \times 10^{-4}} = 400 \text{ div/V}$$

$$B \text{ 类测量不确定度为 } u = \sqrt{\Delta S^2 + \Delta^2 E_X} = 2.3 \times 10^{-3} V$$

$$\text{测量结果为 } E_X = (1.459 \pm 0.0023) V \quad (P \approx 0.95)$$

$$U_r = \frac{2.3 \times 10^{-3}}{1.459} \times 100\% = 0.16\%$$

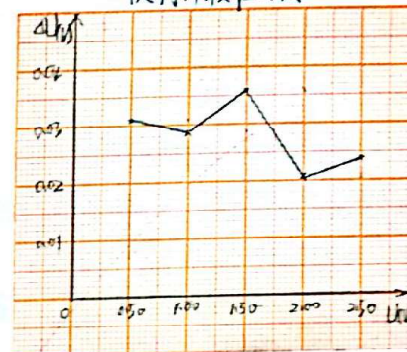
用自组电位差计校准伏特计

伏特计读数 $U_V$	0.60	1.00	1.50	2.00	2.50
标准值 $U$	0.531	1.029	1.536	2.021	2.524
差值 $(V)$	0.031	0.029	0.036	0.021	0.024

# 天津大学物理实验报告

附页 3

伏特计校准曲线



## 六. 误差分析

1. 仪器误差限: 包括电阻箱的误差限以及标准电池的误差限。
2. 操作误差及灵敏度所误差: 包括检流计读数误差以及计算过程中忽略的相对微小误差。
3. 标准电源的示值误差。

# 作业纸

实验原始数据

院系信息 班级 通四 姓名 何青 第 4 页

电位差计

校	$E(V)$	$E_N(V)$	$R_N(\Omega)$	$R_N'(\Omega)$	$\Delta R_N'(\Omega)$	$\Delta U(\text{div})$	$\Delta U_N(V)$	$S_N(\text{div})$
准		1.018	1018	1013		2		
测	$E(V)$	$E_N(V)$	$R_N(\Omega)$	$R_N'(\Omega)$	$\Delta R_N'(\Omega)$	$\Delta U(\text{div})$	$\Delta U_N(V)$	$S_N(\text{div})$
量			1459	1454		2		

$E: 4V$

$R_1: 1414\Omega$

伏特计					
示数(V)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
标准值					

$R_3$  ~~531~~ 1029 1536 2021 2524

坐标纸作图.

横坐标为伏特计示数.

纵坐标为差值.

2.1 3.5 4.9

14. 11. 25