

实验 3-3 用补偿法测量电压、电流和电阻

【实验目的】

1. 掌握补偿法原理,了解其优缺点。
2. 掌握 UJ-31 型直流电位差计的原理、构造及使用方法。
3. 学会用 UJ-31 型电位差计来校准微安表及测量其内阻。

【仪器用具】

滑线式电位差计一套、UJ-31 型直流电位差计一台、检流计一台、标准电池、电源、待测电池、微安表头、电阻箱。

【仪器描述】

1. 滑线式电位差计。在一块木板上,固定有 11 m 长的均匀电阻丝,两端各有一固定接头,中间每米长的地方有一插口,可以抽头,一端一米长的电阻丝固定在一米尺上,米尺上有

一滑动头,按下滑动头,滑动头才与电阻丝接触。配上标准电池、检流计、电源,就组成了电位差计。

2. UJ-31 型电位差计的面板图如图 3-3-1 所示。

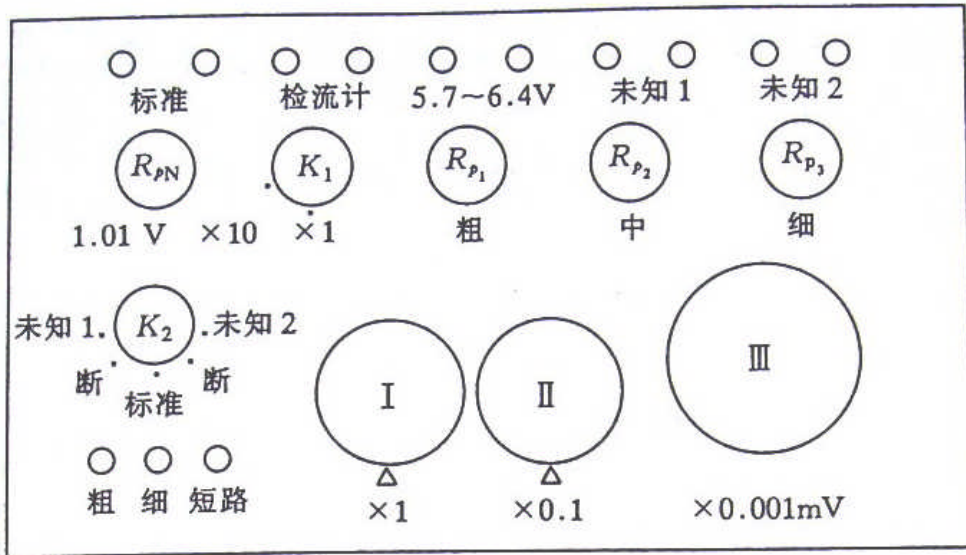


图 3-3-1

其电路图如图 3-3-2 所示。

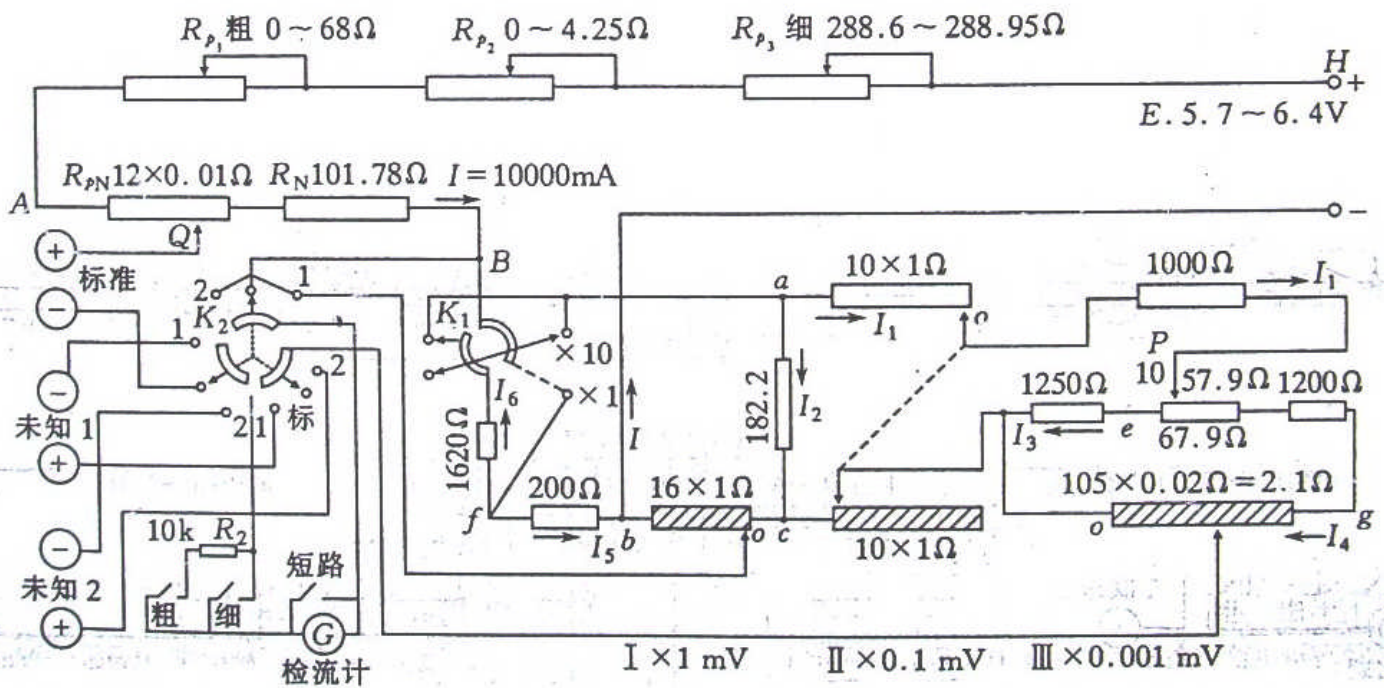


图 3-3-2 UJ-31 型直流电位差计原理图

【实验原理】

电压的测量,一般用伏特表。由于电压表并联在测量电路中,电压表有分流作用,会对原电路两端的电压产生影响,测量到的电压并不是原电路的电压。用电压表测量电源电动

势时,由于电压表的引入,电源内部将有电流,电源一般有内阻,内阻上将有电压降,从而电压表读数是电源的端电压,它小于电源的电动势。由此可知,要测量电动势,必须让它无电流输出。

补偿法是电磁测量中一种常用的精密的测量方法,它可以准确地测量电动势、电位差,是学生必须掌握的方法之一。

滑线电位差计、UJ-31型电位差计都是依据补偿法原理而设计的仪器。补偿的电路原理图如图 3-3-3 所示。

由 E_a 、 K 、 $R_{限}$ 和 R 组成的回路称工作回路;由 E_s 或 E_x 与检流计 G 组成测量支路,与 R 一起组成测量回路。在 $E_a > E_s$, $E_a > E_x$ 时,选择适当的 $R_{限}$,调节 R 的滑点,可使检流计 G 中无电流流过。此时有 $V_{AC} = E_s$ 。在 $R_{限}$ 不变的情况下,将 E_s 换成 E_x ,再调节 R ,如调节 C' 使检流计无电流流过,则 $V_{AC} = E_x$ 。因此,有

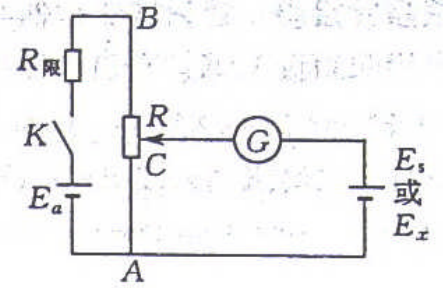


图 3-3-3

$$IR_{AC} = V_{AC}$$

$$IR_{AC'} = V_{AC'}$$

$$\frac{R_{AC}}{R_{AC'}} = \frac{E_s}{E_x}$$

即

$$E_x = \frac{R_{AC}}{R_{AC'}} E_s \quad (3-3-1)$$

测量支路中无电流流过,那么 E_s 或 E_x 就是它们的电动势,由此可知电补偿法测电动势或电位差时较一般电表法更为精确。由图 3-3-1 可知,用补偿法测电动势时,需一个标准电池(标准电动势)作为校准比较。标准电池的电动势比较稳定,精度比较高。图中 $R_{限}$ 起调节工作电流的作用,工作电流越大,分压电阻 R 上单位电阻上的电压降越大;工作电流越小,分压电阻上单位电阻上的电压降越小,表示测量精度越高。检流 G 灵敏度越高,测量精度越高。

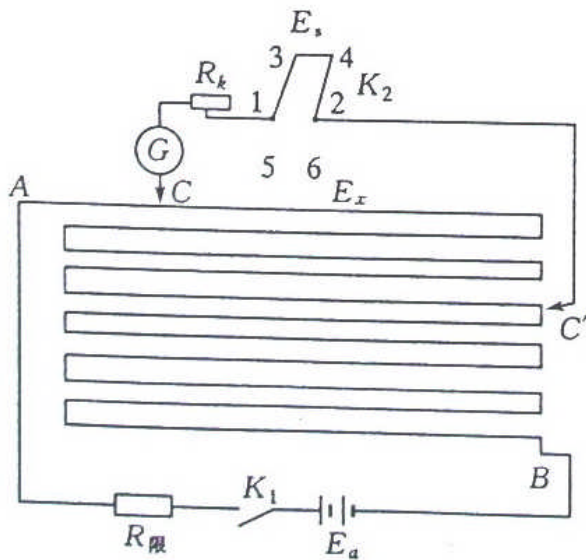


图 3-3-4

图 3-3-4 为 n 线滑式电位差计: E_a 为工作电源, K_1 为开关, $R_{限}$ 为调节工作电流的限流电阻, A 到 B 为 11m 均匀的电阻丝,分绕成 11 段,每段 1m,每段都有一插孔,便于接线。 G 为检流计, R_k 为检流计的保护电阻, K_2 为双刀双掷开关, E_s 为标准电池, E_x 为待测电池。11m 电阻丝的最后一段有一米尺,便于读数, C 点就在最后一米电阻丝上滑动, C' 可选取每段插孔的一个,这样 CC' 的长度就可以在 0~11m 中选取。

合上开关 K_1 ,工作回路接通,电阻丝 AB 上有电流 I 流过,电阻 AB 上的电压降为 IR_{AB} ,调节 $R_{限}$ 会改变电流 I ,使得 $IR_{AB} > E_s$ 或 E_x 。将 K_2 倒向 3、4 标准电池一端,选择适当插孔 C' ,调节

C 点,使检流计指示为零,即互相补偿了。此时有

$$V_{C_s C_s} = IR_{C_s C_s} = E_s$$

保持 I 不变($R_{\text{限}}$ 不变),将 K_2 倒向 5、6 待测电池一边,调节 C' 、 C 使得 G 为零,有

$$V_{C_x C_x} = IR_{C_x C_x} = E_x$$

两式相除,有

$$\frac{E_x}{E_s} = \frac{V_{C_x C_x}}{V_{C_s C_s}} = \frac{R_{C_x C_x}}{R_{C_s C_s}}$$

因为 R_{AB} 为均匀电阻丝,故

$$\frac{E_x}{E_s} = \frac{\rho \frac{L_{C_x C_x}}{A}}{\rho \frac{L_{C_s C_s}}{A}} = \frac{L_{C_x C_x}}{L_{C_s C_s}}$$

即

$$E_x = E_s \frac{L_{C_x C_x}}{L_{C_s C_s}} \quad (3-3-2)$$

这样,只要测出标准电池平衡时的电阻丝长度 $L_{C_s C_s}$ 和待测电池平衡时的电阻丝长度 $L_{C_x C_x}$ (标准电池电动势作为已知比较量),就可求出待测电动势。

UJ-31 型电位差计的工作原理图如图 3-3-5 所示。

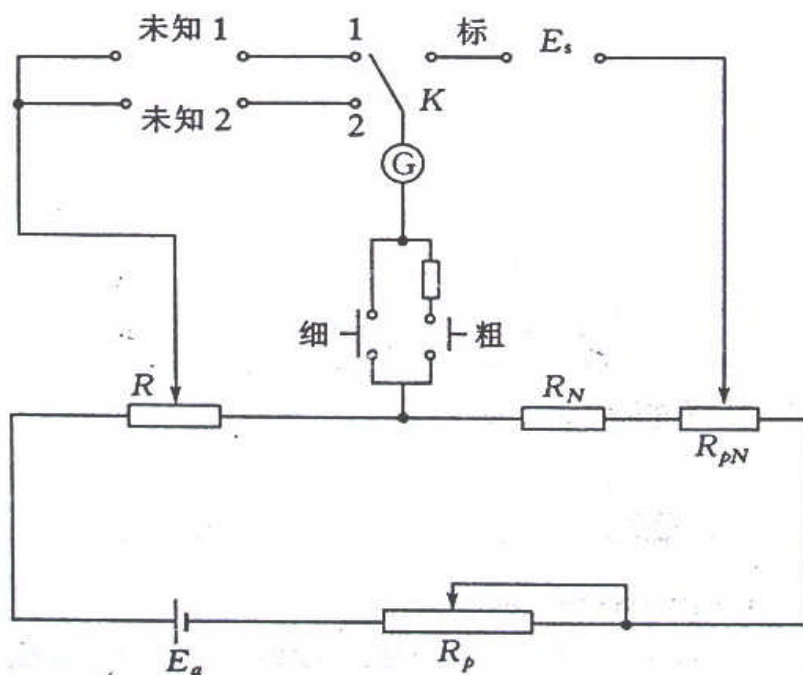


图 3-3-5

UJ-31 型电位差计的工作电路由 E_a 、 R 、 R_N 、 $R_{\rho N}$ 、 R_{ρ} 组成。调节 R_{ρ} 可以控制工作电流 I 的大小。

当转换开关合在“标准”位置时,调节 R_{ρ} (对应仪器面板上有粗、中、细三个可调电阻),可使检流计指示为零,这时有等式

$$E_s = I(R_N + R_{pN})$$

即

$$I = \frac{E_s}{R_N + R_{pN}}$$

若预先知道 E_s 的值,选择适当的电阻 R_N 和可调电阻 R_{pN} ,就可使工作电流 I 成为一个恒定值,我们称之为校标准。标准电池 E_s 的电动势的范围一般为 $1.0178 \sim 1.0190 \text{ V}$ 。UJ-31型电位差计的 R_N 为 1.0178Ω , R_{pN} 为 12 个 0.01Ω 的电阻,调节 R_{pN} ,使检流计指示为零, R_{pN} 与 R_N 上的电压降与 E_s 相等,那么其上的电流正好为 10.0000 mA 。

测量时将转换开关 K 合在未知 1 或未知 2,调节测量电阻 R (面板上 I、II、III),使检流计指示为零,此时有

$$E_x = IR \quad (3-3-3)$$

若 I 为已校准的值,在 UJ-31 中 I 为 10.0000 mA ,则由 R 的值可算出 E_x 的值,测量时调节 R ,面板上标出的是 IR 的值,即所测得的电位差的值。

【实验步骤】

一、用滑线式电位差计测量电池的电动势

1. 按图 3-3-4 接好线路, A 、 B 两端为 11 线电阻丝的两端,即将 11 线电阻丝全部串联在工作回路中,将电阻 $R_{\text{限}}$ 调至 40Ω 左右。

2. 接通 K_1 ,工作回路有电流流过,工作电路的电流大小由工作电源 E_a 、11 m 电阻丝的电阻以及 $R_{\text{限}}$ 决定。 E_a 及 11 m 电阻丝是选定了的,主要靠调节 $R_{\text{限}}$ 控制工作电流;工作电源 E_a 的电动势要大于标准电池或待测电池的电动势。

3. 将 K_2 倒向 3、4 标准电池方向, C' 选在 6~7 m 段电阻丝插孔, C 在米尺电阻丝上滑动,有米尺读数,找出平衡点,读出平衡时 $C_s C'_s$ 电阻丝的长度,记录下来。

4. 将 K_2 倒向 5、6 待测电池方向,选定 C' 插孔,调节滑动头 C ,找出平衡点,读取平衡时电阻丝的长度 $C_x C'_x$,记录于表中。

5. 由公式(3-3-2)计算待测电池电动势。

6. 如果要测甲电池的内阻,如何测量?

二、用 UJ-31 校准微安表和测量其内阻

1. 按图 3-3-6 接好线路。图中, E_N 为标准电池, G 为检流计, E_I 为工作电源(要求其电压在 $5.7 \sim 6.4 \text{ V}$ 范围内), E_x 为待测电路的电源; R_w 为分压用的电位器, R 为降压电阻(这里用电阻箱), R_s 为标准电阻。

2. UJ-31 的校准

(1) K_2 置“断”位置,先调好检流计光点为零,选择光电检流计为 $\times 0.01$ 档。

(2) 根据当时温度计算标准电池的电动势,将 R_{pN} 置于此值。

(3) 将 K_2 调至标准, K_1 调至 $\times 10$ 档。

(4) 按“粗”按钮,调节 R_{p_1} (粗)、 R_{p_2} (中)、 R_{p_3} (细),使检流计指示为零。检流计如指示摆动太大、太快,应立即松开按钮,并注意使用“短路”按钮,以保护检流计。

(5) 逐步将检流计换为 $\times 0.1$ 档, $\times 1$ 档,重复(4)的步骤。

(6) 最后按“细”按钮,检流计在 $\times 1$ 档时,调节粗、中、细按钮使检流计指示为零,表示已校准好,即工作电流已校准为 10.0000 mA 。

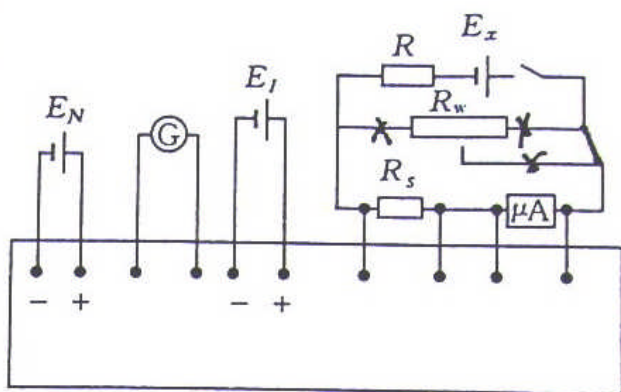


图 3-3-6

3. 校准微安表并测表头内阻

(1) 校准的旋钮 $R_{\mu V}$ 不动, R_{p_1} (粗)、 R_{p_2} (中)、 R_{p_3} (细) 不动, K_1 调到 $\times 1$ 档, K_2 调到未知 1, 检流计调到 $\times 0.01$ 档, 按“粗”按钮, 调节 R_{p_1} 、 R_{p_2} 、 R_{p_3} (即 $\times 1$ 、 $\times 0.1$ 、 $\times 0.001$), 使检流计指示为零。

(2) 逐步将检流计换成 $\times 0.1$ 、 $\times 1$ 档, 调节 I、II、III, 使检流计指示为零。

(3) 按“细”按钮, 在检流计 $\times 1$ 档时, 调节 I、II、III, 使检流计指示为零。记下此时 I、II、III 的读数。

$$V_{\text{未知1}} = (I \times 1 + II \times 0.1 + III \times 0.001) \times K_1 \text{ (mV)}$$

(4) 将 K_2 拨至未知 2, K_1 拨至 $\times 10$ 档, 按测未知 1 的方法测出未知 2。

(5) 依次将微安表电流调至 $100 \mu\text{A}$, $80 \mu\text{A}$, $60 \mu\text{A}$, $40 \mu\text{A}$, $20 \mu\text{A}$, 校准微安表, 列表记录。

$$R_g = \frac{V_2}{I_2} R_s$$

【思考题】

1. 如果电阻丝的电每米 5Ω , $E_a = 3 \text{ V}$, 标准电池 $E_s = 1 \text{ V}$, 待测电池 $E_x = 1.5 \text{ V}$ 左右, $R_{\text{限}}$ 如何取值?

2. 实验用的标准电池电动势为 1.0186 V (20°C), 待测电池为 1.5 V , 倒向标准电池一边平衡时, $L_{C,C'}$ 长为 7 m , 倒向待测电池一边时, $L_{C,C'}$ 可能有多长? 如果倒向标准电池一边平衡时, $L_{C,C'}$ 有 10 m , 倒向待测电池一边时, 还能否找到平衡点? 此时 $R_{\text{限}}$ 的值是偏大还是偏小, 应如何调节才能找到平衡点?

3. 图 3-3-4 中的 R_k 起何作用? 如何调节它?

4. 检流计始终无偏转可能是何原因?

5. 无论怎样滑动 C, C' , 检流计始终朝一个方向偏转, 可能是何原因?

6. 滑线电位差计对测量范围有何限制?

7. 当电路平衡时, 是否电路上电流都为零?

8. 如果工作电源的电动势 E_a 比待测电池电动势 E_x 小, 能否做实验? 为什么?

9. UJ-31 型电位差计允许最大的测量范围是多少? 能否用它来测甲电池的电动势?

10. 在校准 UJ-31 型电位差计的过程中, 尽管 R_p 从最大值调到最小值, 却仍找不到平衡状态。经判断: I_C 的方向是 E_N 的极性所决定的方向。试问: 此故障有哪三种可能的原因?