

原始记录

待测电阻

$$R_{x0} = 1400\Omega$$

内接法

~~3.000V~~

~~3V~~ 3V

172 μA

外接法

0.5V

200 μA

补偿法

U/V

2.76

2.34

1.90

1.56

0.94

0.52

I/ μA

200

158

126

~~116~~ 116

~~58~~ 58

44

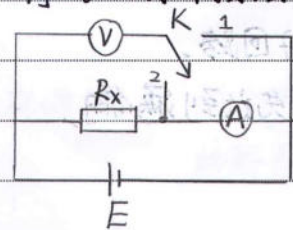
4.18

实验目的

1. 了解伏安法(内、外接法)测电阻产生系统误差的原因和修正方法。
2. 掌握用补偿法测电压的原理。
3. 学会基本电学仪器的使用。

实验原理

在使用伏安法测量电阻阻值时,利用欧姆定律 $R = \frac{U}{I}$, 通过测量待测电阻两端的电压 U 和通过它的电流 I , 就可以计算出其电阻值。但在实际测量中, 由于电压表和电流表本身具有内阻, 它们的接入会改变电路的实际状态, 从而引入系统误差。根据电流表和电压表连接方式的不同, 主要有电流表外接法和电流表内接法, 各自带来不同的误差:



① 当开关 K 置于 1 端时, 测量方法为电流表内接法

设测得电压表读数为 U_1 , 电流表读数为 I_1 , 则根据欧姆定律:

$$R_{x1} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{I_1(R_x + R_A)}{I_1} = R_x + R_A$$

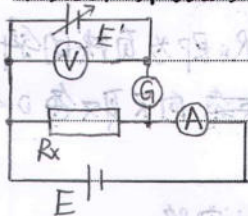
由此可见采用内接法测得电阻总是大于真实值。

设电压表内阻为 R_V , 电流表内阻为 R_A ② 当开关 K 置于 2 端时, 测量方法为电流表外接法

$$\text{设测得读数分别为 } U_2, I_2, \text{ 则有 } R_{x2} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{U_2}{I_x + I_V} = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_V}}$$

由此可见采用外接法测得电阻总是小于真实值。

以上两种测量方法只有在电表内阻已知的前提下, 才能对结果进行修正。因此, 我们可以引入一个辅助补偿电路, 使测量时电压表所需电流不由主测量电路提供, 从而修正外接法的误差。



为了使电压表不从工作回路中获取电流, 我们需要调节补偿电源 E'

直到电流计示数 $G = 0$ (表示工作回路中的电流全部流过了 R_x),

此时, 电压表的示数 U_V 即为 R_x 两端的真实电压 U_x ;

电流表的示数 I_A 即为流过 R_x 两端的真实电流 I_x 。

由欧姆定律可得:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_V}{I_A}$$

4.18

实验仪器

ZX-21型直流多值电阻器, C21 μ A-1型微安表, C311-V型电压表
J0409灵敏电流计, ~~UTP~~ UTP 8303乙直流稳压电源

实验步骤与数据记录

~~已知待测电阻 $R_x = 14000\Omega$, 电压表量程为 $0 \sim 3.0V$, 微安表量程为 $0 \sim 200\mu A$, 计算得微安表先发生满偏。于倒测法中采用。~~

① 采用内接法接好回路, 开启可调电源并将所有通道的电压、电流值调至零, 打开对应通道的输出。由于测量数据仅有一组, 因此我们要求其中一个电表指针达到满偏, 使结果更加精确。

逐级调节输出电压值, 发现电压表先达到满偏, 此时 $U_1 = 3V$, $I_1 = 172\mu A$ 。

② 将可调电源输出均置为零, 关闭电源, 采用外接法接好回路。

开启对应通道输出, 逐级调节输出电压值, 发现微安表先达到满偏, 此时 $U_2 = 0.5V$, $I_2 = 200\mu A$ 。

③ 补偿法需测六组数据, 且采用倒测法。因此需先确定最大一组数据的其中一个物理量的数值。

已知待测电阻 $R_x = 14000\Omega$, 电压表量程为 $0 \sim 3.0V$, 微安表量程为 $0 \sim 200\mu A$
计算得微安表先发生满偏, 因此将微安表的最大量程 $200\mu A$ 固定, 计算得 U_1 在 $2.8V$ 左右。

由 $R_x = \frac{U_k}{I_k}$ 得, 我们需对数据进行线性拟合来得出 R_x , R_x 即为直线的斜率。
为了使得出的结果准确, 应使样本点分散。由此我们可以取每向下取每 $0.4V$ 左右为样本点的间隔。测量结果如下:

将可调电源输出均置为零, 关闭电源, 按补偿法电路图接好回路。

测量结果如下:

U/V	2.76	2.34	1.90	1.56	0.94	0.52
$I/\mu A$	200	158	126	116	58	44

实验数据处理

内接法 $R_{x1} = \frac{U_1}{I_1} \approx 17442\Omega$

$R_x = R_{x1} - R_A = 14242\Omega$

$\Delta R_x = R_{x1} - R_{x0} = 3442\Omega$

$E = \frac{\Delta R_x}{R_{x0}} \approx 24.58\%$

外接法 $R_{x2} = \frac{U_2}{I_2} = 2500\Omega$

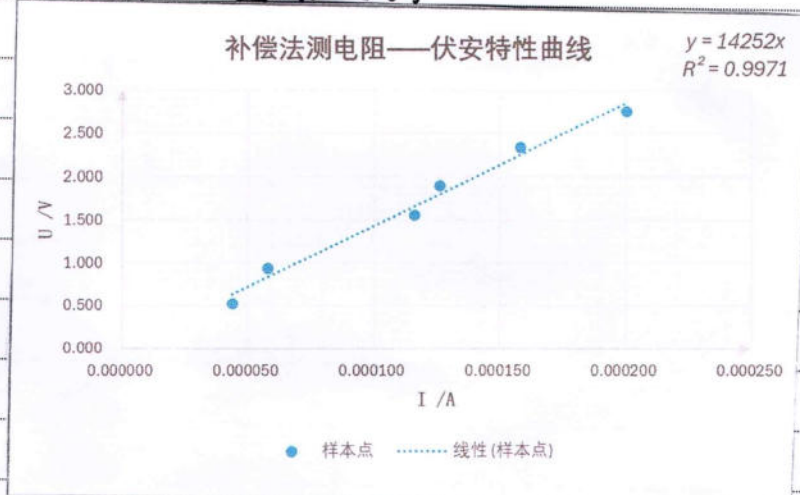
$R_x = \frac{1}{\frac{1}{R_{x2}} - \frac{1}{R_V}} = 18125\Omega$

$\Delta R_x = R_{x2} - R_{x0} = -11500\Omega$

$E = \frac{\Delta R_x}{R_{x0}} \approx -82.14\%$

数

补偿法：对所测得数据进行线性拟合，为了更好地反映欧姆定律 $U=IR$ ，此外强制设置截距为0。



得出 $R_x = 14252\Omega$

$\Delta R_x = R_x - R_{x0} = 252\Omega$

$E = \frac{\Delta R_x}{R_{x0}} \approx 1.8\%$

实验结论

- ① 对于测量 $R_{x0} = 14000\Omega$ 的电阻，^{内接法}伏安法比外接法更合适，其系统误差更小，修正后的结果更准确。
- ② 采用补偿法通过线性拟合得到了与内接法修正后精度相当的结果。
- ③ 外接法在此情况下的误差极大，不适用于测量该阻值的电阻。

实验讨论

本实验的误差来源

伏安法测电阻：① 电表内阻引入的误差

② 导线间与接触点间存在接触电阻

③ 焦耳效应，电流通过待测电阻时会产生热量

补偿法测电阻：① ~~可调~~ 可调电源不稳定或存在误差

② ② 电流计灵敏度有限

系统误差：① 仪表精度

② 电表内阻值不准

随机误差：① 仪表读数误差

② 外部环境如振动影响仪表指针示数。

思考题

① 若在同一坐标系中分别作出电流表内、外接法及补偿法下的 $U-I$ 曲线，其分布规律如何？有何相对关系？

1. 三条曲线均通过原点。曲线斜率由大到小分别为内接法 $>$ 补偿法 \approx 真实值 $>$ 外接法。
2. 补偿法的曲线最准确地反映了电阻本身的伏安特性。内、外接法的曲线则包含了由电表内阻引入的系统误差。

② 为了提高测量精度，选择电流表内、外接法的原则各是什么？

设电流表内阻为 R_A ，电压表内阻为 R_V ，待测电阻为 R_x 。

$$\begin{aligned} 1. \text{内接法: } \left. \begin{aligned} U_{\text{测}} &= U_x + U_A \\ I_{\text{测}} &= I \end{aligned} \right\} R_{\text{测}} &= \frac{U_{\text{测}}}{I} = R_x + R_A > R_x \end{aligned}$$

$$\text{相对误差值 } E_{\text{内}} = \frac{R_A}{R_x}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{外接法: } \left. \begin{aligned} U_{\text{测}} &= U_x \\ I_{\text{测}} &= I + I_V \end{aligned} \right\} R_{\text{测}} &= \frac{U_x}{I + I_V} = \frac{R_x R_V}{R_x + R_V} < R_x \end{aligned}$$

$$\text{相对误差值 } E_{\text{外}} = \frac{R_x}{R_x + R_V}$$

$$\text{令 } E_{\text{内}} = E_{\text{外}} \Rightarrow \frac{R_A}{R_x} = \frac{R_x}{R_x + R_V} \approx \frac{R_V}{R_x} \Rightarrow R_x^2 = R_A \cdot R_V$$

因此，当 $R_x > \sqrt{R_A \cdot R_V}$ 时，选用内接法；当 $R_x < \sqrt{R_A \cdot R_V}$ 时，选用外接法。

③ 为什么说伏安法测电阻的两种方法都不严格满足欧姆定律？

两种接法中，我们直接使用的电压表和电流表读数，并不能同时精确代表待测电阻两端的电压和通过它的真实电流，不符合欧姆定律成立的条件。