

## 实验题目：伏安法测电阻

姓名：张耕嘉；学院及专业：人工智能学院工科试验班（信息科学与技术）；学号：2313725；组别：J 组；座号：7 实验日期：2024 年 3 月 8 日，星期五上午

### 一、实验原理：

#### 1. 线性元件和非线性元件

当一电阻元件两端加上不同的直流电压  $U$  时，元件内则有相应的电流  $I$  流过，以电流  $I$  为纵坐标，电压  $U$  为横坐标，作出  $I$ - $U$  关系曲线，这便是该电阻元件的伏安特性曲线。通常情况下，导电金属丝、碳膜电阻、金属膜电阻等，其伏安特性曲线是一条通过原点的直线，这类元件称为线性元件，其阻值是一个不随  $I$ 、 $U$  变化的常量。对于像晶体二极管、热敏电阻等元件，它们的伏安特性曲线不是一条直线，这类元件称为非线性元件，其阻值不是常量。

#### 2. 测量电路的选取

利用伏安法测电阻，常采用如图 3-1-2 所示的两种类型测量电路。由图可以看出，测量电路的选取在于电源的选取、变阻器  $R$  和电表的选取及连接方式等几方面。

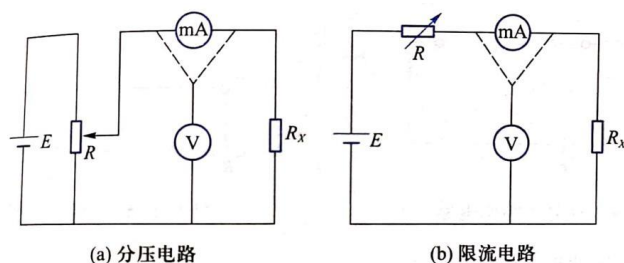


图 3-1-2 测量电路的选取

#### 3. 电源的选取

实验室常用的直流电源有三种：直流稳压电源，直流稳流电源和固定电压源（如干电池等），实验时电源的选取应使所选的电源的额定电压和额定电流同负载的额定电压和电流相同或稍大较为理想，余量过大浪费电能，会使调节变粗，若使用不慎也易损坏电表。

#### 4. 变阻器的选取与连接方式

变阻器的用途是控制电路中的电流和电压，使其达到某一指定的数值，或使其在一定范围内连续变化，为此，实验中常用变阻器组成分压电路和限流电路如图 3-1-2 所示，分压电路是通过变阻器  $R$  滑动端的移动来改变  $R_x$  两端电压的；

电电路是通过改变变阻器  $R$  的阻值来改变电路中的电流的。实验中选用固定电压，需用变阻器来调节  $R_x$  两端电压和通过它的电流，变阻器的连接方式，按如下考虑，如所选电源的额定电流大于负载  $R_x$  额定电流的两倍以上，宜选用分压电路。该电路调节的范围宽，且可以调为零值，实验中希望改变  $R$  时，负载  $R_x$  两端的电压变化要尽量均匀，否则调节困难，给实验带来不便。使所选变阻器  $R$  的全阻值要小于  $R_x$  越小调节的均匀性越好，而当电源额定电压大于  $R_x$  额定电压时，也可考虑选用分压和限流的混联电路，如图 3-1-3 所示，如所选电源的额定电流仅够待测负载  $R_x$  使用，应选用限流电路，当需要负载上电流调节范围足够大时，可使变阻器全阻值大于负载电阻十倍以上，但此时负载电流调节的均匀性较差，变阻器控制电路的选取也不必和理论设计的完全一致，只要根据实验室的设备情况，设计出一套可行的方案即可，变阻器电路选定后，有时也可能出现调节变阻器  $R$  时，能调到准确的电表示值的情况，这反映了该控制电路细调程度的不足。若分压电路细调程度不足，可采用如图 3-1-4 所示的双分压结构的电路。若限流电路细调程度不足，可再串接一阻值较小的变阻器  $R'$ ，如图 3-1-5 所示。两种情况下  $R'$  值的选取均为  $R/10$  左右。

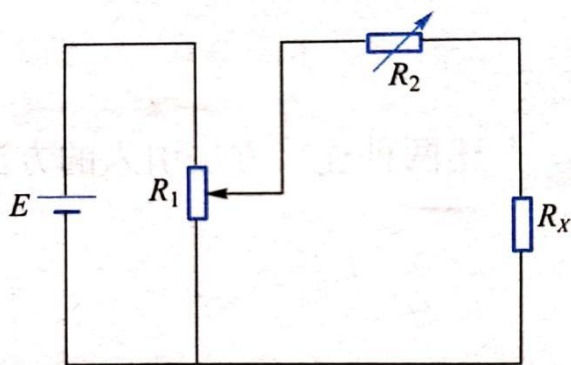


图 3-1-3 混联电路

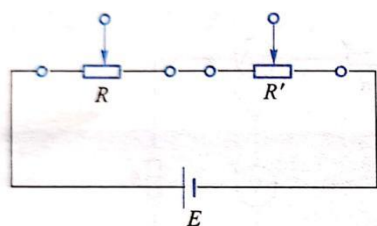


图 3-1-4 双分压结构电路

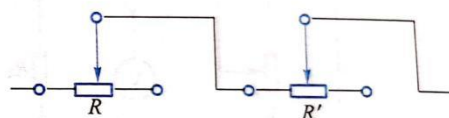


图 3-1-5 双限流电路

## 5. 电表的选取及连接方式

电压表、电流表量程的选取略大于待测电压、电流较为理想，量程太大会降低电表的测量精度。

电表级别的选取以测量结果能达到期望的准确度要求为准。如果期望测量结果的相对误差不超过  $K\%$ ，则电压表和电流表的准确度等级可先在  $K/2$  内选择，精度不够再行调整。例如，利用伏安法测量某一电阻，要求测量的相对误差小于  $1.5\%$ ，所用电流表量程为  $15\text{mA}$ ，电压表量程为  $1.5\text{V}$ ，不难看出，当被测量  $I$ 、 $U$  均超过量程的  $2/3$  时，只要选用  $0.5$  级电表即可满足要求。

电表选定后，电表的连接方式有两种，如图 3-1-6 所示。一种是电压表跨接在电流表和电阻  $R_x$  的外侧，称为电压表外接法（或电流表内接法）；另一种是电压表跨接在  $R_x$  两端，称为电压表内接法（或电流表外接法）。不论采用哪一种接法，依欧姆定律  $R_x=U/I$  算出的  $R_x$  值，由于电表内阻的影响，都会引入一定的误差。易看出，电压表外接时，测得的  $R_x$  值偏大，电压表内接时测得的  $R_x$  偏小。这种由连接方法引入的误差通常称为方法误差。显然方法误差是一种系统误差。

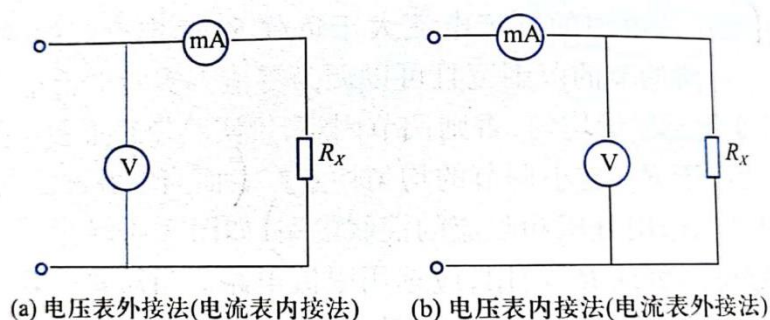


图 3-1-6 电表的连接方式

上述两种链接方法引入的方法误差分别为

$$\rho_{\text{外}} = \frac{R_A}{R_x}$$

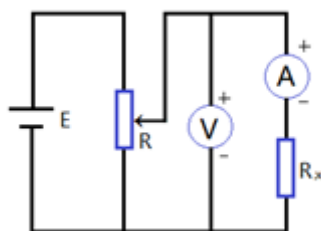
$$\rho_{\text{内}} = -\frac{R_V}{R_x + R_V}$$

式中  $R_A$ 、 $R_V$  分别为电流表和电压表的内阻，负号表示电压表内接时，测得的  $R_x$  偏小。实验时根据  $R_A$ 、 $R_V$  及  $R_x$  的标称值比较  $\rho_{\text{外}}$  和  $\rho_{\text{内}}$  的大小，选用方法误差小的电路进行测量。若方法误差不可忽略时，可由下面两式分别对电压表外、内接法测得的结果进行修正：

$$R_x = \frac{U}{I} - R_A \quad (3-1-3)$$

$$R_x = \frac{U}{1 - \frac{U}{R_V}} \quad (3-1-4)$$

本实验使用分压电路的电压表外接法。以下是实验电路图。



其中，这个连接方法的相对误差为  $\rho_x = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U_2 - U_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I_2 - I_1}\right)^2}$

## 二、主要仪器品牌及型号

直流稳压电源

台式万用表：GDM-8342

手持万用表：UT61B

滑动变阻器：BX 7-11

## 三、万用表测量数据：

1. 金属膜电阻  $R_x$  阻值：110  $\Omega$
2. 实验中直流稳压电源输出电压：1.50V
3. 二极管方向：正向
4. 电表内阻  $R_V = 10^7 \Omega$ ,  $R_A = 2 \Omega$ , 电压表外接

## 四、伏安法测量数据

### 1. 测金属膜电阻伏安特性原始数据表

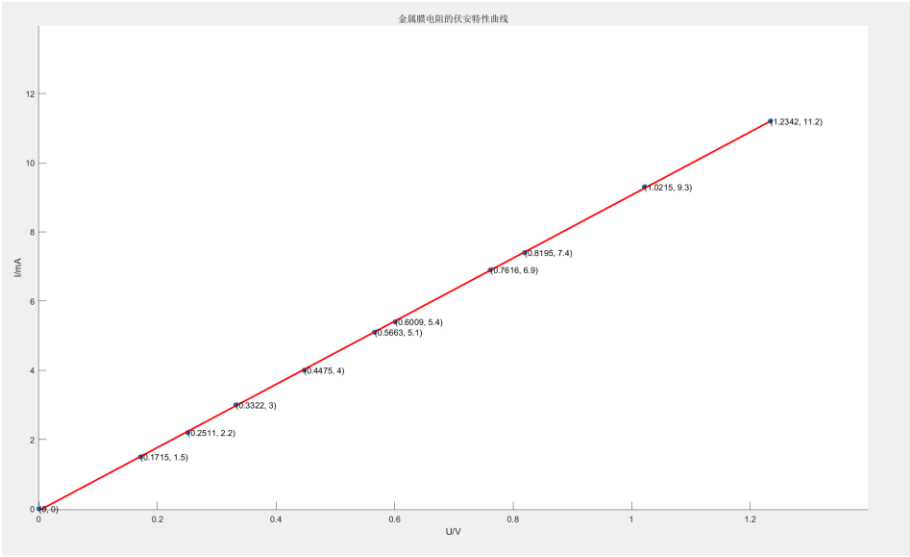
|        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| U (V)  | 0.5663 | 0.7616 | 0.8195 | 0.6009 | 0.1715 | 0.2511 | 1.0215 | 0.3322 | 0.4475 | 1.2342 |
| I (mA) | 5.1    | 6.9    | 7.4    | 5.4    | 1.5    | 2.2    | 9.3    | 3.0    | 4.0    | 11.2   |

2. 测晶体二极管正向伏安特性原始数据表

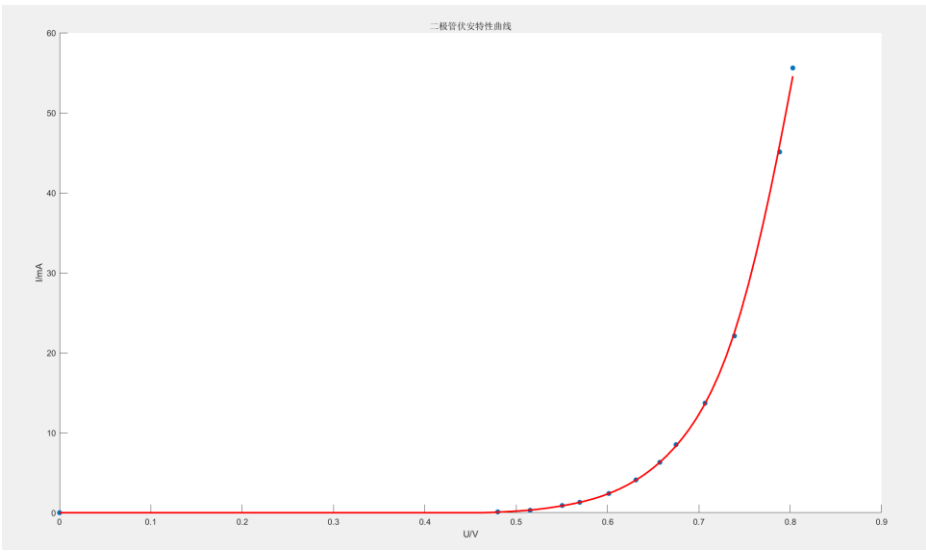
|         |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| U (V)←  | 0.6310← | 0.7067← | 0.8028← | 0.5152← | 0.7884← | 0.5695← |
| I (mA)← | 4.1←    | 13.7←   | 55.6←   | 0.3←    | 45.1←   | 1.3←    |
| U (V)←  | 0.7389← | 0.5503← | 0.4797← | 0.6014← | 0.6572← | 0.6749← |
| I (mA)← | 22.1←   | 0.9←    | 0.1←    | 2.4←    | 6.3←    | 8.5←    |

五、数据处理

1、 以下是金属膜电阻的伏安特性曲线。



以下是二极管伏安特性曲线。



2、从金属膜电阻伏安特性曲线取相距较远的两点 ( $I_1 = 1.3\text{mA}$ ,  $U_1 = 0.1496\text{V}$ )  
和 ( $I_2 = 10.1\text{mA}$ ,  $U_2 = 1.1095\text{V}$ )

$$\text{计算待测电阻平均值 } \overline{R_x} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} - R_A = 107.07955 \Omega$$

3、测量误差

$$\Delta U = \pm(0.02\%U_x + 4 \times 0.0001) = \pm 0.0006043\text{V},$$

$$\Delta I = \pm(1.2\%I_x + 3 \times 0.1) = \pm 0.4344\text{mA}$$

$$\text{相对误差 } \rho_x = \sqrt{(\rho_U)^2 + (\rho_I)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U_2 - U_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I_2 - I_1}\right)^2} = 0.0493$$

$$\text{绝对误差 } \Delta R = \overline{R_x} \times \rho_x = 5.28496 \Omega$$

$$\text{最终结果 } R_x = (107.07955 \pm 5.28496) \Omega$$

4、从二极管伏安特性曲线图中读取数据，计算晶体二极管的阻值：

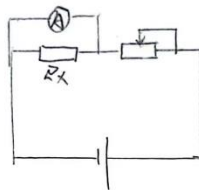
$$(a) \text{ 在 } 2.0\text{mA} \text{ 下的阻值} = \frac{0.9536}{2.0 \times 10^{-3}} = 476.81 \Omega$$

$$(b) \text{ 在 } 8.0\text{mA} \text{ 下的阻值} = \frac{0.9509}{8.0 \times 10^{-3}} = 118.8625 \Omega$$

六、思考题：

欲测导线电阻 (约  $0.05 \Omega$ )，给定直流电流表 ( $15\text{mA}$ ,  $2.4 \Omega$ )，甲电池，滑线电阻 ( $0 \sim 100 \Omega$ ,  $1.5\text{A}$ )，画出电路图并说明测量方法。

测量电阻的电路图如下：



测量方法：

将电路连接好后，调节甲电池电压为  $U$ ，内阻为  $r$ ，导线电阻为  $R_x$ ，滑线最大阻值为  $R$ ，电流表内阻为  $r$ ；打开开关，将滑线电阻滑片置于最右端 ( $100 \Omega$  处) 记录电流表示数  $I_1$ ；将滑片移至最左端 ( $0 \Omega$  处) 记录电流表示数  $I_2$ 。

$$\text{则 } U = I_1 R_A + \left(\frac{I_1 R_A}{R_x} + I_1\right)(r + R)$$

$$U = I_2 R_A + \left(\frac{I_2 R_A}{R_x} + I_2\right)r$$

$$\text{解得 } R_x = \frac{I_1 I_2 R_A R}{U(I_2 - I_1) - I_1 I_2 R}$$