



# 厦 门 大 学

## XIAMEN UNIVERSITY

ADD: FULFAN XIAMEN

CABLE: 0633 P.C: 361005

### 实验十二 电阻元件伏安特性的测定

#### 一. 实验目的

1. 了解伏安法测量电阻时, 电表内阻给测量结果带来的系统误差
2. 学会根据电表内阻, 被测电阻的大小及测量的精确度要求, 选择合时的测量方法
3. 学会测绘非线性元件的伏安特性曲线
4. 学会使用数字万能表

#### 二. 实验仪器

电压表、电流表、数字万能表、直流稳压电源、滑线变阻器、二极管小灯泡。

#### 三. 实验原理

##### 1. 伏安法测电阻的原理

根据欧姆定律  $R = \frac{U}{I}$ , 在一电阻元件两端, 用电压表测出该电阻两端的电压  $U$ , 用电流表测出流经该电阻的相应电流  $I$ , 就可以求出电阻值  $R$ , 这种测电阻的方法称为伏安法。测出一组  $U$  和对应的  $I$  后, 以电压  $U$  为横坐标, 以电流  $I$  为纵坐标作图, 所得的曲线为伏安特性曲线。线性元件的两端电压与流经它的电流成正比, 它的伏安特性曲线是一条过原点的直线, 如金属膜电阻 (若保持导体温度不变, 其阻值为常数); 非线性元件的两端电压与流经它的电流不成正比, 它的伏安特性曲线是一条曲线。我们常用的二极管和小白炽灯都是非线性元件。由以上讨论可知, 线性电阻的阻值不随电流大小而变化, 它可以由  $I-U$  直线的斜率倒数求得。也可以由各点的电阻值取平均值。而非线性电阻的阻值随电流而变化, 电阻值是相对于伏安特性曲线上某一点而言的, 各点的阻值不能取平均值, 非线性元件的电阻值有直流电阻和交流电阻两种含义。直流电阻又称静态电阻, 它是特性曲线上某一点  $P$  点的  $U$  与  $I$  的比值, 即  $P$  点的直流电阻  $R = \frac{U}{I}$ 。交流电阻又称动态电阻, 它是  $P$  点电压对电流的变化率, 即  $P$  点的交流电阻为  $r = \frac{dU}{dI}$ 。交流电阻只能从伏安特性曲线上通过  $P$  点作曲线的切线, 再由切线斜率求得。

##### 2. 测量电路的连接方法及电表的接入误差

(1) 电流表内接电路: 电路的特点是电流表测得的电流  $I$  等于流经待测电阻  $R_x$  的电流  $I_x$ , 而电压表测得的电压  $U = U_A + U_x$ , 由于  $U > U_x$ , 所以  $R_{测} > R_x$ , 实际上  $R_{测} = \frac{U}{I} = \frac{U_A + U_x}{I} = R_A + R_x$  或  $R_x = R_{测} - R_A$ 。电流表内接产生的接入误差相对值为  $\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{R_{测} - R_x}{R_x} = \frac{R_A}{R_x} = \frac{R_A}{R_{测} - R_A}$ 。

##### (2) 电流表外接电路

电路的特点是, 电压表测得的电压  $U$  等于待测电阻  $R_x$  两端的电压  $U_x$ , 而电流表测得的电流  $I = I_v + I_x$ 。由于  $I > I_x$ , 所以  $R_{测} < R_x$ 。实际上, 用电流表外接法测量的电阻  $R_{测}$  是  $R_x$  与  $R_v$  并联电阻, 即  $R_{测} = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_v + I_x} = \frac{1}{\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_x}} = \frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v}$  或  $R_x = \frac{R_v \cdot R_{测}}{R_v - R_{测}}$ 。电压表接入误差相对值为  $R_x = \frac{R_{测} - R_x}{R_x} = -\frac{R_x}{R_x + R_v} = -\frac{R_{测}}{R_v}$ 。







# 厦 门 大 学

## XIAMEN UNIVERSITY

ADD: FUJIAN XIAMEN

CABLE: 0633 P.C: 361005

负号表示测量结果偏小

### (3) 电流表接入方法的选择

当  $R_x \gg R_A$  时,  $R_x \approx R_{测}$ , 这表明: 当  $R_x$  较大, 而  $R_A$  又较小时, 可用电流表内接法测电阻, 所得结果的接入误差较小; 当  $R_x \ll R_V$  时,  $R_x \approx R_{测}$ , 这表明: 当  $R_x$  较小, 而  $R_V$  又较大时, 用电流表外接法测电阻的接入误差较小。当内接、外接的接入误差值相等时, 有  $\frac{R_A}{R_x} = \frac{R_x}{R_x + R_V}$ , 即  $R_x = \frac{R_A}{2} + \sqrt{\frac{R_A^2}{4} + R_A R_V}$ 。一般情况  $R_V \gg R_A$ , 并舍去无意义的负根, 得  $R_x \approx \sqrt{R_A R_V}$ 。同理可得, 当  $\frac{R_A}{R_x} < \frac{R_x}{R_x + R_V}$ , 即  $R_x > \sqrt{R_A R_V}$  时, 选择电流表内接法; 而当  $\frac{R_A}{R_x} > \frac{R_x}{R_x + R_V}$ , 即  $R_x < \sqrt{R_A R_V}$  时, 选择电流表外接法。由上可知, 用伏安法测电阻时, 无论内接外接都会产生系统误差, 要减小接入误差, 除了根据被测电阻和所使用电流表、电压表的内阻大小选择合适的测量电路外, 还应选择内阻大的电压表, 内阻小的电流表。本实验备有数字万能表, 其中数字电压表内阻很大 ( $10^8 \Omega$  以上) 在外流表外接电路中, 用它来测量电压, 接入误差可忽略不计; 数字电流表内阻很小 (接近于  $0 \Omega$ ), 在电流表内接电路中, 用它来测量电流, 接入误差可忽略不计。

## 四. 实验内容

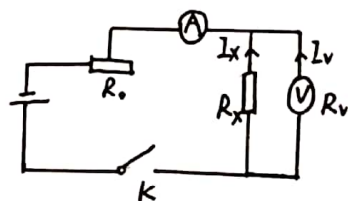
### 1. 测量二极管的伏安特性

待测二极管是锗二极管 2AP4, 它的正向最大电流  $I_{max} \leq 10mA$ , 反向电流为  $12\mu A \sim$  几百  $\mu A$ , 反向电阻  $10^5 \Omega$  数量级, 最大反向工作电压  $U_{max} \leq 50V$ 。

#### (1) 用电流表外接法测量二极管的正向极性

图中的电压表用数字万能表,  $R_x$  为二极管, 二极管的正极接电路的高电位, 负极接低电位, 直流稳压电源  $E$  连续可调 (从  $0V$  调起)。

测量时, 调节  $E$  或滑动变阻器  $R_0$ , 使电流  $I$  从  $0.00mA$  变到大约  $15.00\mu A$ , 观察相应电压的变化量, 然后根据该变化量, 选取实验测量的数据点, 由于二极管的伏安特性是非线性的, 即它的伏安特性呈一条曲线, 根据作图要求选定数据测量间隔点, 记录一组  $(I, U)$  数据。



#### (2) 用电流表内接法测量二极管的反向极性

图中的电流表用数字万能表,  $R_x$  为二极管, 二极管的正极接电路的低电位, 负极接高电位。测量时, 调节  $E$  或  $R_0$ , 使  $U$  从  $0.00V$  变到大约  $15.00V$ , 根据曲线作图的原则, 选取数据点, 记录一组  $(I, U)$  数据。

### 2. 测量小灯泡的伏安特性

被测小灯泡的额定电压  $6.00V$ , 额定功率  $4.3W$ ,  $R_x$  随电流增大而增大到  $50\Omega$  左右,  $C_3$  型电压表量程  $0 \sim 7.5V$ , 内阻  $R_V = 3.75k\Omega$ ; 电流表量程  $0 \sim 750mA$ , 内阻  $R = 0.06\Omega$ 。

(1) 由所提供的电表及小灯泡的特性, 根据选择测量电路  $R_x$  与  $\sqrt{R_A R_V}$  的大小关系, 选择设计电路。



扫描全能王 创建





# 厦 门 大 学

## XIAMEN

## UNIVERSITY

ADD: FULFAN XIAMEN

CABLE: 0633 P.C: 361005

(2) 连续测量电路, 并测量小灯泡的伏安特性。测量时, 调节E或R, 使U从0.00V变到大约3.00V, 选取数据点, 记录一组(I, U)数据

### 五. 数据记录

#### 1. 测量二极管伏安特性

##### (1) 测量二极管正向伏安特性

I (mA)	0.00	0.30	0.50	1.00	2.00	5.00	8.00	11.00	15.00
U (V)	-0.0038	0.1739	0.2126	0.2943	0.4150	0.6639	0.8852	1.0681	1.2872

##### (2) 测量二极管反向伏安特性

U (V)	0.00	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00	9.00	11.00	13.00	15.00
I (mA)	0.00	<del>4.32</del> 0.00	<del>5.04</del> 0.00	<del>5.57</del> 0.00	<del>6.26</del> 0.05	<del>6.84</del> 0.10	<del>7.35</del> 0.16	<del>7.83</del> 0.22	<del>8.21</del> 0.27	8.84

#### 2. 测量小灯泡的伏安特性

电压表量程: 0~7.5V; 准确度等级: 0.5; 内阻: 3.75kΩ

电流表量程: 0~750mA; 准确度等级: 0.5; 内阻: 0.06Ω

U (V)	0.00	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	
I (mA)	0.00	115.0	160.5	200.0	225.0	250.5	275.0	295.0	

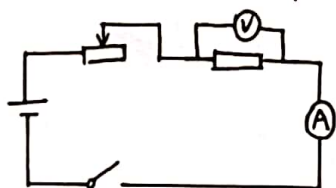
### 六. 注意事项

1. 接好电路后, 应检查电源是否调零, 或滑线变阻器的滑动端是否移到安全位置。当滑线变阻器作限流器时, 通电前应将滑动端调至接入电阻最大处 (此时回路电流最小); 当它作分压器时, 应将滑动端调至输出电压最小处, 方可接通电源。

2. 注意电源, 电表及二极管的正负极性

3. 被测元件的工作电压和工作电流不允许超过额定值

4. 正确选择电表的量程, 测量值不得超过满刻度, 但应尽可能使电表指针有较大的偏转角度。电表使用前须先较准机械零点, 读数时要估读到最小分度的  $1/10 \sim 2/10$ 。



← 指正极

$$R_{测} = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_x + I_v} = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_v}} = \frac{R_x R_v}{R_x + R_v}$$

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{R_{测} - R_x}{R_x} = \frac{R_x R_v - R_x R_v - R_x^2}{R_x (R_x + R_v)} = -\frac{R_x}{R_x + R_v} = -\frac{R_{测}}{R_v}$$



扫描全能王 创建



### 七. 数据处理

#### 1. 测量二极管伏安特性

##### (1) 测量二极管正向伏安特性

I (mA)	0.00	0.30	0.50	1.00	2.00	5.00	8.00	11.00	15.00
U (V)	-0.0038	0.1739	0.2126	0.2943	0.4150	0.6639	0.8852	1.0681	1.2872

##### (2) 测量二极管反向伏安特性

U (V)	0.00	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00	9.00	11.00	13.00	15.00
I (μA)	0.00	4.32	5.04	5.57	6.26	6.84	7.35	7.83	8.21	8.84

#### 2. 描绘二极管伏安特性曲线计算有关数值

图表见附图，见图一。

① 当  $I = 1.50 \text{ mA}$  时，静态电阻  $R = \frac{U}{I} = \frac{0.37}{1.50 \times 10^{-3}} = 2.5 \times 10^2 \Omega$

作切线得另一关键点，(0.22, 0.00)，动态电阻  $R = \frac{dU}{dI} = \frac{1}{k} = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} = \frac{0.37 - 0.22}{(1.50 - 0) \times 10^{-3}} = 1.0 \times 10^{-4} \Omega$

② 当  $U = -6.50 \text{ V}$  时，静态电阻  $R = \frac{U}{I} = \frac{-6.50}{-5.60 \times 10^{-6}} = 1.16 \times 10^6 \Omega$

另一关键点，(0.00, -4.72)，动态电阻  $R = \frac{dU}{dI} = \frac{1}{k} = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} = \frac{0.00 - (-6.60) \times 10^{-6}}{-4.72 - (-6.50)} = 3.15 \times 10^{-6} \Omega$

#### 3. 测量小灯泡的伏安特性

电压表量程：0~7.5V；准确度等级：0.5；内阻：3.75 kΩ

电流表量程：0~750 mA；准确度等级：0.5；内阻：0.06 Ω

U (V)	0.00	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
I (mA)	0.00	115.0	160.5	200.0	225.0	250.5	275.0	295.0

#### 4. 描绘小灯泡的伏安特性曲线，计算相关数值

图表见附图，见图二。

当  $U = 2.70 \text{ V}$  时， $I = 278.0 \text{ mA}$   $R_{\text{测}} = \frac{U}{I} = \frac{2.70}{278.0 \times 10^{-3}} = 9.712 \Omega$

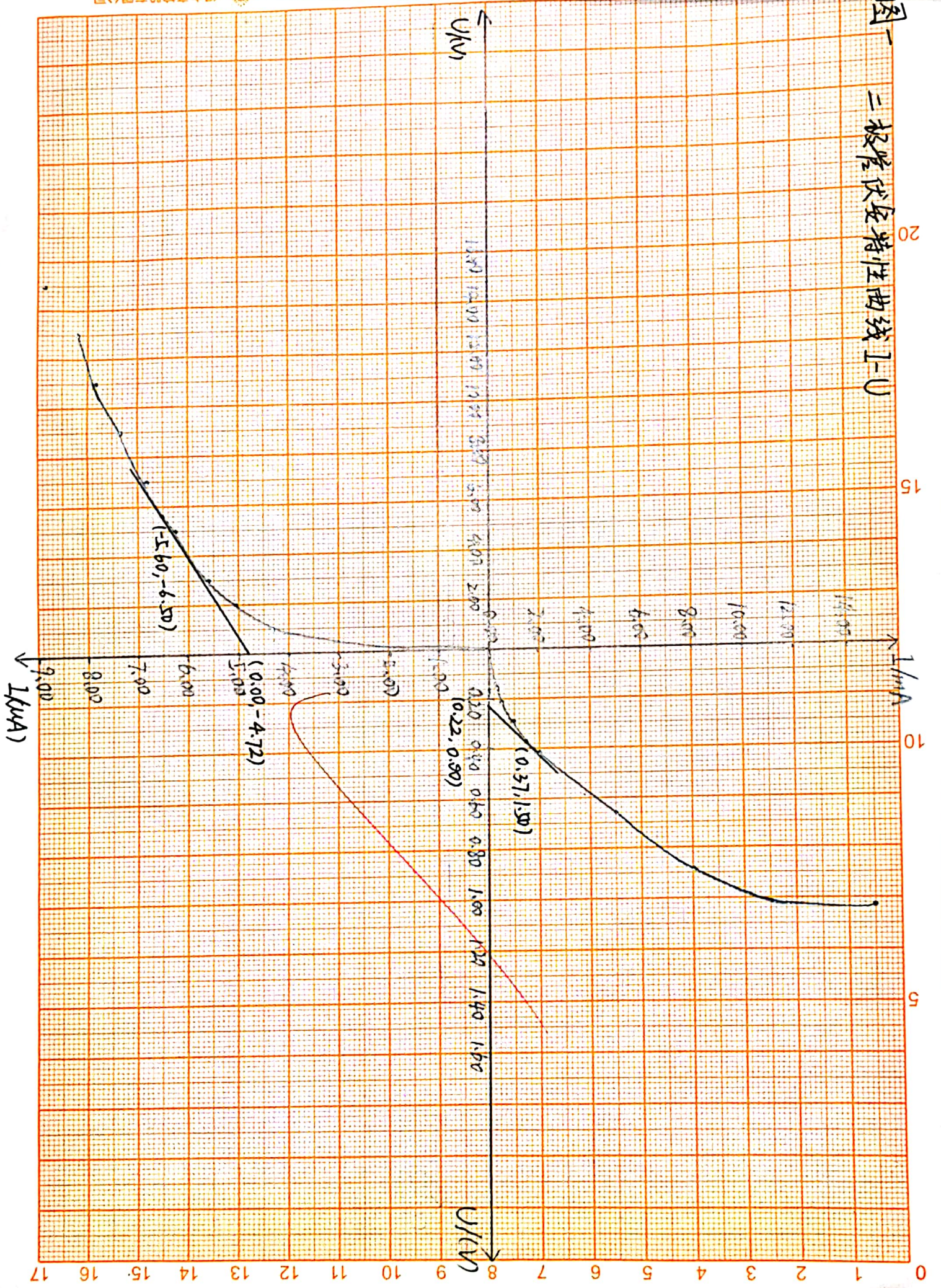
电路外接法， $\therefore R_x = \frac{R_V R_{\text{测}}}{R_V - R_{\text{测}}} = \frac{3.75 \times 10^3 \times 9.712}{3.75 \times 10^3 - 9.712} = 9.737 \Omega$

误差相对值  $\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{|R_{\text{测}} - R_x|}{R_x} \times 100\% = \frac{|9.712 - 9.737|}{9.737} \times 100\% = 0.26\%$





图一 二极管伏安特性曲线 I-U





图二 小灯伏安特性曲线 I-U

