

实验十 非线性元件伏安特性曲线的研究

【实验目的】

- 1、熟悉电学基本仪器使用方法，电路的连接，仪器的选择；
- 2、通过电阻元件、半导体二极管、钨丝灯泡等电学元件的伏安特性测量。学会合理配接电压表和电流表，才能使测量误差最小，初步学习实验方案设计。
- 3、掌握电子元件非线性特点，熟悉掌握电子元件伏安特性的测试技巧；
- 4、学会用作图法处理实验数据。

【实验仪器】

DH6102 型伏安特性实验仪

【实验原理】

当一个元件两端加上电压，元件内有电流通过时，若一个元件两端的电压与通过它的电流成比例，则伏安特性曲线为一条直线，这类元件称为线性元件。若元件两端的电压与通过它的电流不成比例，则伏安特性曲线不再是直线，而是一条曲线，这类元件称为非线性元件。

根据欧姆定律，电阻 R 、电压 U 、电流 I ，有如下关系：

$$R = U/I \quad (3-6-1)$$

由电压表和电流表的示值 U 和 I 计算可得到待测元件 R_x 的阻值。但非线性元件的 R 是一个变量，因此分析它的阻值必须指出其工作电压（或电流）。非线性元件的电阻有两种方法表示，一种称为静态电阻（或称为直流电阻），用 R_D 表示；另一种称为动态电阻用 r_D 表示，它等于工作点附近的电压改变量与电流改变量之比。动态电阻可通过伏安曲线求出，如图 3 所示，图中 Q 点的静态电阻 $R_D = U_Q/I_Q$ ，动态电阻 $r_D = dU/dI$ 。

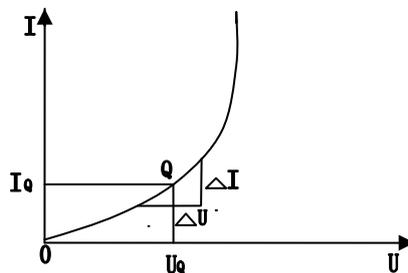


图 3-6-1 非线性元件的伏安特性曲线

测量伏安特性时，受电压表、电流表内阻接入影响会引入一定的系统误差，通常采用图七所示的两种线路。图 5 (a) 为电流表的内接法，图 5 (b) 为电流表的外接法。

R

R





图 3-6-2 测电阻的线路

但是，由于电表有内阻，无论采用内接法还是外接法，均会给测量带来系统误差。

当 $R > \sqrt{R_A R_V}$ 时，用内接法系统误差小。

当 $R < \sqrt{R_A R_V}$ 时，用外接法系统误差小。

当 $R = \sqrt{R_A R_V}$ 时，两种接法可任意选用。

因此，通常只在对电阻值的测量精确度要求不高时，才使用伏安法，并且还要根据电表的内阻 R_A 、 R_V 和待测电阻值的大小来合理选择测量线路。

测定元件的伏安特性曲线与测量元件的电阻一样，也存在着用电流表内接还是外接的问题，我们也应根据待测元件电阻的大小，适当地选择电表和接法，减小系统误差，使测出的伏安特性曲线尽可能符合实际。

1、半导体二极管

半导体二极管是一种常用的非线性元件，由 P 型、N 型半导体材料制成 PN 结，经欧姆接触引出电极，封装而成。在电路中用图 3-6-3(a) 符号表示，两个电极分别为正极、负极。二极管的主要特点是单向导电性，其伏安特性曲线如图 3-6-3(b) 所示，其特点是：在正向电流和反向电压较小时，电流较小，当正向电压加大到某一数值 U_D 时，正向电流明显增大，将此段直线反向延长与横轴向交，交点 U_D 称为正向导通阈值电压。正向导通后，锗管的正向电压降为 0.2-0.3V，硅管为 0.6-0.8V。在反向电压较大时，电流趋近极限值 $-I_s$ ， I_s 为反向饱和电流；在反向电压超过某一数值 $-U_b$ 时，电流急剧增大，这种情况称为击穿， U_b 为击穿电压。

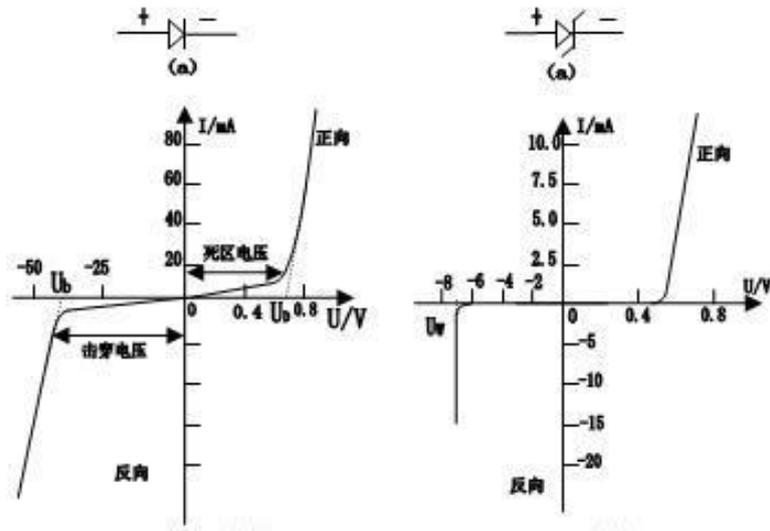


图 3-6-3 (b)

图 3-6-4(b)

图 3-6-3, 图 3-6-4 普通二极管和稳压二极管的符号 (a) 和伏安特性 (b)

二极管的主要参数：最大整流电流 I_f , 即二极管正常工作时允许通过的最大正向平均电流；最大反向电压 U_b , 一般为反向击穿电压的一半；反向电流 I_r 是反向饱和电流的额定值。

由于二极管具有单向导电性，它在电子电路中得到了广泛应用，常用于整流、检波、限幅、元件保护以及在数字电路中作为开关元件等。

2、稳压二极管

稳压二极管是一种特殊的硅二极管, 表示符号如图 5(a); 其伏安特性曲线如图 5(b), 在反向击穿区一个很宽的电流区间, 伏安曲线陡直, 此直线反向与横轴相交于 U_w 。与一般二极管不同, 普通二极管击穿后电流急剧增大, 电流超过极限值 $-I_s$, 二极管被烧毁。稳压二极管的反向击穿是可逆的, 去掉反向电压, 稳压管又恢复正常, 但如果反向电流超过允许范围, 稳压管同样会因热击穿而烧毁。故正常工作时要根据稳压二极管的允许工作电流来设定其工作电流。稳压管常用在稳压、恒流等电路中。

稳压管的主要参数：稳定电压 U_w 、动态电阻 r_D (r_D 越小, 稳压性能越好)、最小稳压电流 I_{min} 、最大稳压电流 I_{max} 、最大耗散功率 P_{max} 。

2CW56 属硅半导体稳压二极管, 其正向伏安特性类似于 1N4007 型二极管, 其反向特性变化甚大。当 2CW56 二端电压反向偏置, 其电阻值很大, 反向电流极小, 据手册资料称其值 $\leq 0.5 \mu A$ 。随着反向偏置电压的进一步增加, 大约到 7—8.8V 时, 出现了反向击穿 (有意掺杂而成), 产生雪崩效应, 其电流迅速增加, 电压稍许变化, 将引起电流巨大变化。只要在线路中, 对“雪崩”产生的电流进行有效的限流措施, 其电流有小许一些变化, 二极管二

端电压仍然是稳定的（变化很小）。这就是稳压二极管的使用基础，

3、钨丝灯特性描述

实验仪用灯泡中钨丝和家用白炽灯泡中钨丝同属一种材料，但丝的粗细和长短不同，就做成了不同规格的灯泡。只要控制好两端电压，使用就是安全的，金属钨的电阻温度系数为 $48 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ ，系正温度系数，当灯泡两端施加电压后，钨丝上就有电流流过，产生功耗，灯丝温度上升，致使灯泡电阻增加。灯泡不加电时电阻称为冷态电阻。施加额定电压时测得的电阻称为热态电阻。由于正温度系数的关系，冷态电阻小于热态电阻。在一定的电流范围内，电压和电流的关系为：

$$U = KI^n \quad 6-1$$

式中 U— 灯泡二端电压，

I— 灯泡流过的电流，

K— 与灯泡有关的常数

N— 与灯泡有关的常数

为了求得常数 K 和 n，可以通过二次测量所得 U_1 、 I_1 和 U_2 、 I_2 ，得到：

$$U_1 = KI_1^n \quad 6-2$$

$$U_2 = KI_2^n \quad 6-3$$

将 4-2 除以 4-3 式可得

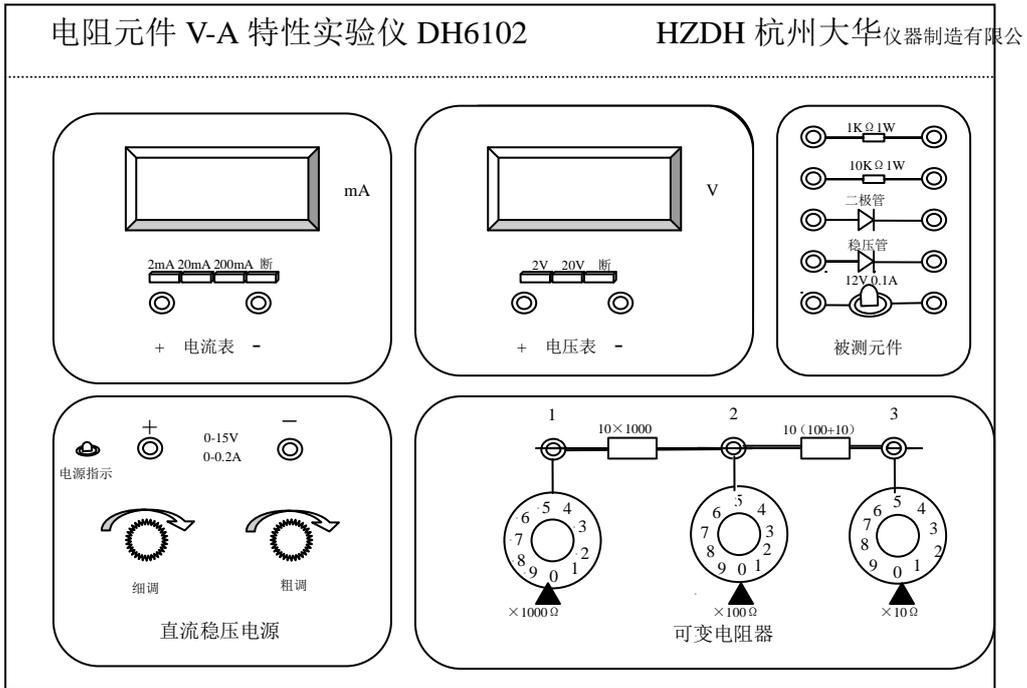
$$n = \frac{\lg \frac{U_1}{U_2}}{\lg \frac{I_1}{I_2}} \quad 6-4$$

将 4-4 式代入 4-2 式可以得到：

$$K = U_1 I_1^{-n} \quad 6-5$$

【实验内容】

仪器介绍



本实验仪由直流稳压电源、可变电阻器、电流表、电压表及被测元件等五部分组成，电压表和电流表采用四位半数显表头如图

直流稳压电源

输出电压：0~15V，负载电流：0~0.2A；输出电压可调节，粗调、细调配合使用

可变电阻箱结构

1. 电路结构

可变电阻箱由 $(0\sim 10) \times 1000\Omega$ ， $(0\sim 10) \times 100\Omega$ 和 $(0\sim 10) \times 10\Omega$ 三位可变电阻开关盘构成，在电路原理图如下图 1

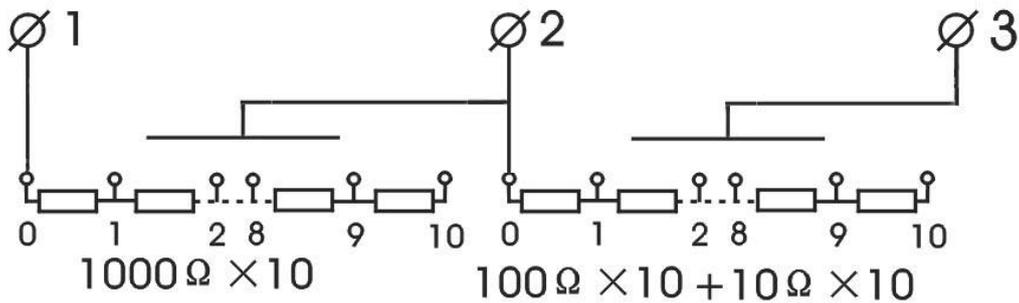


图 1 变阻器电路结构图

2. 技术指标

- 1) 电阻变化范围：0~11100Ω，最小步进 10Ω；精度：1%
- 2) 电阻的功耗值： $\times 1000\Omega$ ，0.5W； $\times 100\Omega$ ，1W； $\times 10\Omega$ ，5W。

3. 作用

- 1) 作变阻器用；
- 2) 构成变阻输入式分压箱，分压工作电流可变。

数字电表参数

表 1: 电压量程和对应的电压表内阻值

电压表量程	2V	20V
电压表内阻	1M Ω	10M Ω
测量精度	0.2%	0.2%

表 2: 电流表量程及所对应内阻

电流表量程	2mA	20mA	200mA
电流表内阻	100 Ω	10 Ω	1 Ω
测量精度	0.5%	0.5%	0.5%

电子元件参数

- 1) 二极管，最高反向峰值电压 13V，正向最大电流 $\leq 0.2A$ （正向压降 0.8V）
- 2) 稳压管 2CW56：稳定电压 7—8.8V，最大工作电流 27mA，工作电流 5mA 时动态电阻为 15 Ω ，正向压降 $\leq 1V$ 。
- 3) 钨丝灯泡：冷态电阻为 10 Ω 左右（室温下），12V 0.1A 时热态电阻 80 Ω 左右，安全电压 $\leq 13V$ 。

【实验内容及步骤】

1、二极管特性测试电路

测量之前，先记录所用晶体管的型号和主要参数（即最大正向电流和最大反向电压），再判别晶体管的正、负极。

1) 反向特性测试电路

二极管的反向电阻值很大，采用电流表内接测试电路可以减少测量误差。测试电路如下图，变阻器设置 700 Ω

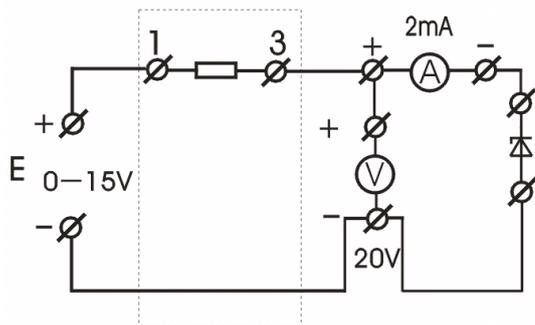


图 2-3 二极管反向特性测试电路

2) 正向特性测试电路

二极管在正向导通时，呈现的电阻值较小，拟采用电流表外接测试电路。电源电压在 0~10V 内调节，变阻器开始设置 700Ω，调节电源电压，以得到所需电流值。

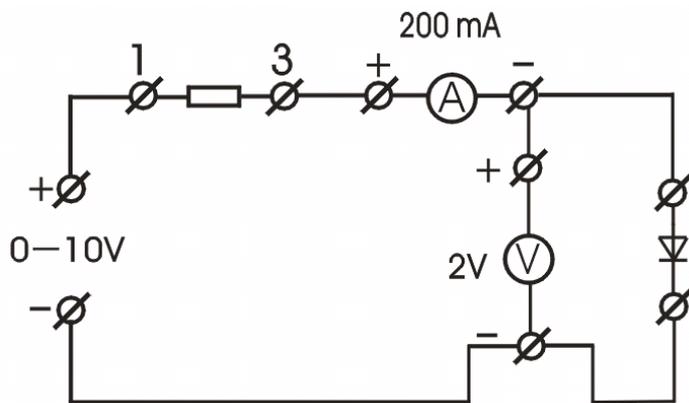


图 2-4 二极管正向特性测试电路

注：1)、电阻修正值按电流表外接修正公式 1-3 式计算所得。

2)、实验时二极管正向电流不得超过 20mA。

2、稳压二极管特性测试电路

2CW56 反向偏置 0~7V 左右时阻抗很大，拟采用电流表内接测试电路为宜；反向偏置电

压进入击穿段，稳压二极管内阻较小（估计为 $R = \frac{8}{0.008} = 1K\Omega$ ），这时拟采用电流表外

接测试电路。测试电路如图 3-2

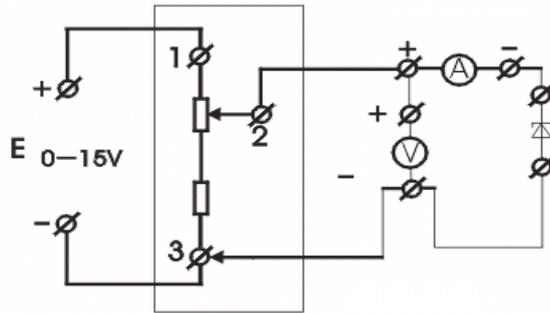


图 3-2 稳压二极管反向伏安特性测试电路

电源电压调至零，按图 3-2 接线，开始按电流表内接法，将电压表+端接于电流表+端；变阻器旋到 1100Ω 后，慢慢地增加电源电压，记下电压表对应数据。

当观察到电流开始增加，并有迅速加快表现时，说明 2CW56 已开始进入反向击穿过程，这时将电流表改为外接式，按表 3-1 继续慢慢地将电源电压增加至 10V。为了继续增加 2CW56 工作电流，可以逐步地减少变阻器电阻，为了得到整数电流值，可以辅助微调电源电压。

测反向击穿特性（稳压特性），实验数据不能少于 10 个，测出反向电流达 10mA 时稳压二极管的反向击穿电压（稳定电压）。并用伏安法求出稳压二极管的动态电阻，说明动态电阻的大小对稳压特性的影响。在作图纸上描出反向伏安特性曲线。

3、钨丝灯伏安特性的测试

灯泡电阻在端电压 12V 范围内，大约为几欧到一百多欧姆，电压表在 20V 档内阻为 $1M\Omega$ ，远大于灯泡电阻，而电流表在 200mA 档内阻为 10Ω 或 1Ω （因万用表不同而不同），和灯泡电阻相比，小的不多，宜采用电流表外接法测量，电路图见 4-1。变阻器置 100Ω ，按表 4-1 规定的过程，逐步增加电源电压，记下相应的电流表数据。

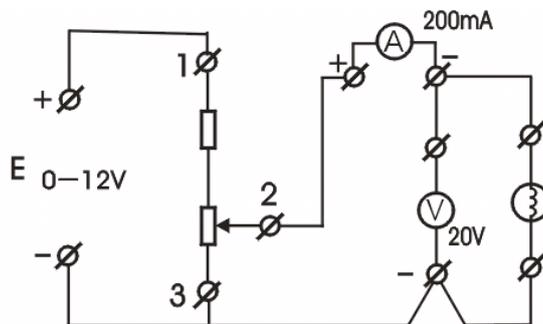


图 4-1 钨丝灯泡伏安特性测试电路

【注意事项】

1. 测半导体二极管的正向伏安特性时，毫安表读数不得超过二极管允许通过的最大正

向电流值。

2. 测半导体二极管反向伏安特性时，加在半导体管上的电压不得超过管子允许的最大反向电压。此实验选用的半导体二极管 IN4007 的最大反向电压比较高，所以半导体二极管所加反向电压比较低时反向电流读数接近零。

实验时，如果违反上述任一条规定，都将会损坏半导体二极管。

3. 电源不能短路。

4. 数字电流表为三挡测量量程，各量程的内阻不同，在做实验时选好量程，尽量不要换量程，各挡的内阻详见其使用说明书。

【数据记录及处理】

1、二极管数据记录格式见表 3-6-1，3-6-2

表 3-6-1 反向伏安曲线测试数据表

U (V)								
I (uA)								
电阻计算值 (KΩ)								

表 3-6-2 正向伏安曲线测试数据表

正向伏安曲线测试数据 I (mA)								
U (V)								
电阻直算值 (KΩ)								
电阻修正值 (Ω)								

2、稳压管

表 3-6-3 2CW56 硅稳压二极管反向伏安特性测试数据表

电流表接法	数 据								
	U (V)								
	I (μA)								
	I (mA)								
	U (V)								

将上述数据在坐标纸上画出 2CW56 伏安曲线，

表 3-6-4

钨丝灯泡伏安特性测试数据表

灯泡电压 V (V)													
灯泡电流 A (mA)													
灯泡电阻计算值(Ω)													

由实验数据在坐标纸上画出钨丝灯泡的伏安特性曲线,并将电阻直算值也标注在坐标图上。选择二对数据(如 $U_1=2V$, $U_2=8V$, 及相应的 I_1 、 I_2),按 4-4 和 4-5 式计算出 K 、 n 两系数值。由此写出 4-1 式,并进行多点验证。

3. 计算百分误差,分析实验结果。

【思考题】

- 1)、二极管反向电阻和正向电阻差异如此大,其物理原理是什么?
- 2)、在制定表 2-2 时,考虑到二极管正向特性严重非线性,电阻值变化范围很大,在表 2-2 中加一项“电阻修正值”栏,与电阻直算值比较,讨论其误差产生过程。
- 3)在测试稳压二极管反向伏安特性时,为什么会分二段分别采用电流表内接电路和外接电路?
- 4)稳压二极管的限流电阻值如何确定?(提示:根据要求的稳压二极管动态内阻确定工作电流,由工作电流再计算限流电阻大小)
- 5)选择工作电流为 $8mA$,供电电压 $10V$ 时,限流电阻大小是多少?供电电压为 $12V$ 时,限流电阻又多大?
- 6)试从钨丝灯泡的伏安特性曲线解释为什么在开灯的时候容易烧坏?
- 7)什么是静态电阻和动态电阻,说明二者区别?
- 8)PN 结正向伏安特性曲线的函数形式可能是什么类型?写出其标准形式。从实验数据求出二极管(PN 结) $I-U$ 关系的经验公式。