

浙江大学

电路与电子技术 实验报告

实验名称: 半导体二极管特性测试

实验人员: 潘谷雨、杨骐恺

报告撰写: 潘谷雨

学号: 3220102382

实验日期: 2023 年 9 月 25 日

地点: 东三 406

【实验目的】

1. 掌握半导体二极管特性测试。
2. 学习 MULTISIM 电路仿真软件的使用。
3. 进一步熟悉电子仪器的使用。

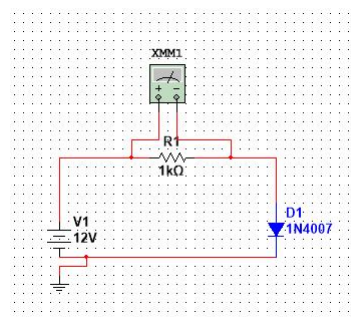
【实验内容】（测试方案，含仿真与硬件测试两种类型）

一、用万用表粗略判别二极管好坏

1. 将数字万用表拨至二极管测试档，取一标有 5.1V/1W 的稳压二极管，将红表笔接入正极，黑笔接入负极，测量正向导通压降 U_{1+} 。
2. 调换红黑表笔，测量稳压二极管反向压降 U_{1-} 。
3. 取 1N4007 二极管，重复上述实验，测量正向导通压降 U_{2+} 、反向压降 U_{2-} 。

二、采用逐点测量法测量二极管的 VA 特性

1. 将可变稳压源 U_s 、标有 $1k\Omega/1W$ 的电阻 R 、1N4007 二极管 L 串联，将万用表并联在电阻两端。
2. 由小到大调节电源电压 U_s ，用万用表合适量程的直流电压挡测量电阻 R 两端电压 U_R ，记录数据。
3. 计算二极管两端电压 $U_L = U_s - U_R$ ，电流 $i = U_R/R$ ，根据不同电流状态下的二极管电压绘制 1N4007 二极管的 VA 特性曲线。



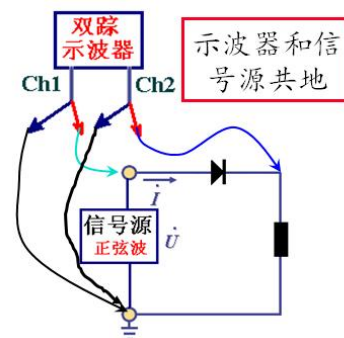
三、采用扫描测量法测量二极管的 VA 特性，并双踪观察信号源与二极管两端电压

1. 将信号源、标有 $1k\Omega/1W$ 的电阻 R 、1N4007 二极管 L 用导线串联，将双踪示波器接入电路中，CH1 通道测量信号源两端电压 U_s ，CH2 通道测量电阻两端电压 U_R 。注意 CH1、

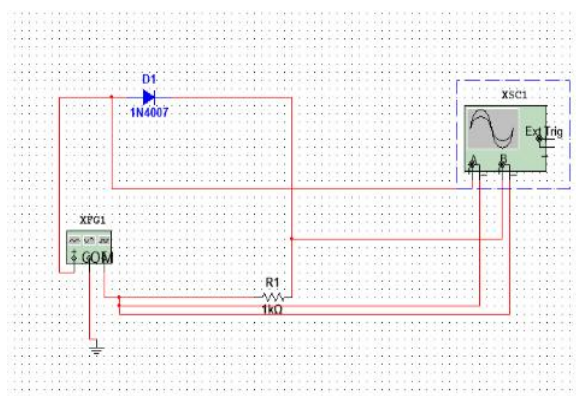
CH2 的黑线均接地。

2. 调整信号源参数，使其发出频率 $f = 1\text{kHz}$ 、幅值 $A = 3\text{V}$ 、偏移 0V 、对称性 50% 、相位 0 的锯齿波。

3. 通过示波器的 XY 功能得到 VA 特性曲线，将数据导出，根据不同电流状态下的二极管电压，绘制 1N4007 二极管的 VA 特性曲线。



四、应用 MULTISIM 软件仿真二极管的 VA 特性



1. 如图在 MULTISIM 软件上搭建电路，调整信号源函数发生器的参数，使其发出频率 $f = 1\text{kHz}$ 、振幅 $V_p = 3\text{V}$ 、偏置 0 、占空比 50% 的锯齿波。

2. 通过示波器的 XY 功能得到 U_R-U_S 图像，导出数据计算得到不同电流状态下的二极管电压，绘制 1N4007 二极管的 VA 特性曲线。

【测试过程与结果】（注明测试设备、原始数据）

一、用万用表粗略判别二极管好坏（测试设备：UT890D+数字万用表，稳压源：GPD-4303S 直流电源）

稳压二极管（ $5.1\text{V}/1\text{W}$ ）：正向导通压降 $U_{1+} = 0.711\text{V}$ 。测量反向压降 U_{1-} 时超量程。

由于二极管测试档内部电路开路电压仅 3V ，为了验证稳压二极管反向功能是否符合标

准，将该二极管反向接入电路并与标有 $1k\Omega/1W$ 的电阻串联，改变稳压直流电源电压 U_S ，得到以下数据：

U_S/V	6.403	10.403	13.401
U_{1-}/V	4.601	4.930	5.027

1N4007 二极管：正向导通压降 $U_{2+} = 0.574V$ ，测量反向压降 U_{2-} 时超量程。

二、采用逐点测量法测量二极管的 VA 特性（测试设备：UT890D+数字万用表，稳压源：GPD-4303S 直流电源）

方案选择：

①由于万用表电流挡误差较大，电压挡误差较小，因此实验时用测量电阻两端电压代替测电流的方案。

②可固定 U_S ，调节 R ，用万用表直接测量不同电流状态下的二极管电压。但是，实验室中电位器不能显示电阻大小，因此必须测量电流。万用表与稳压源的电流测量误差均较大，因此该方案并非最佳。

作为验证二极管的 VA 特性的方案，本组实验仅在正向电压的情况下选取测试点，并在 $i-U_L$ 曲线斜率出现较大变化处集中取点。负向电压情况见下组扫描法测 VA 特性实验。

测量过程中，调整稳压源电压时注意方向一致，不可回调，以减小旋钮造成误差。

万用表测前 10 组数据时，采用直流电压 600mV 挡，最后 2 组数据采用直流电压 6V 挡。

U_S/V	0.103	0.302	0.401	0.501	0.602	0.702	0.802	0.902	1.002	1.102	1.202	2.003
U_R/V	0.000	0.0015	0.0136	0.0554	0.1196	0.1947	0.2762	0.3611	0.4486	0.5372	0.632	1.410
U_L/V	0.103	0.301	0.387	0.446	0.482	0.507	0.526	0.541	0.553	0.565	0.570	0.593
i/mA	0.000	0.002	0.014	0.055	0.120	0.195	0.276	0.361	0.449	0.537	0.632	1.410

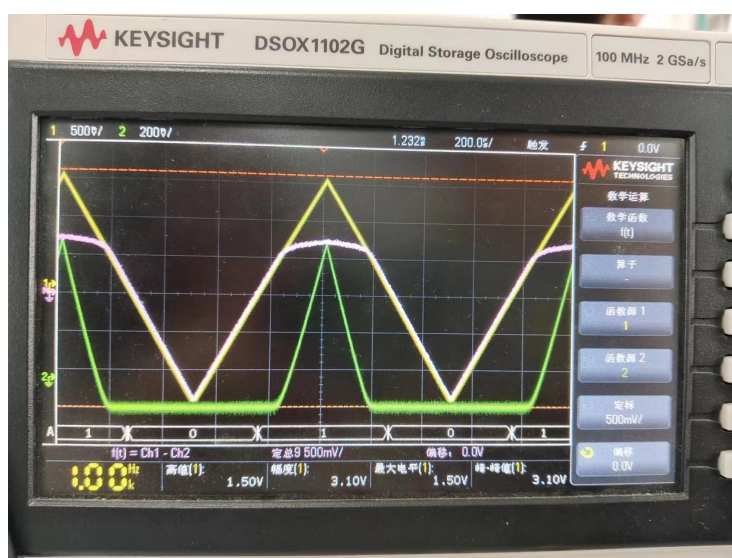
三、采用扫描测量法测量二极管的 VA 特性，并双踪观察信号源与二极管两端电压（测

试设备：DSOX1102G 示波器，信号源：DG1022 信号发生器）

示波器可导出各时刻 CH1、CH2 的电压，得到足够多组 U_s 、 U_R 的数值。

下图为示波器显示波形图。黄线为 CH1 通道所测信号源两端电压 U_s ，绿线为 CH2 通道所测电阻两端电压 U_R ，紫线为示波器通过函数计算 $U_s - U_R$ 所得二极管两端电压 U_L 。

（注意：图中线经过了上下移动、放大缩小，只反映变化趋势，不反映实际电压。）

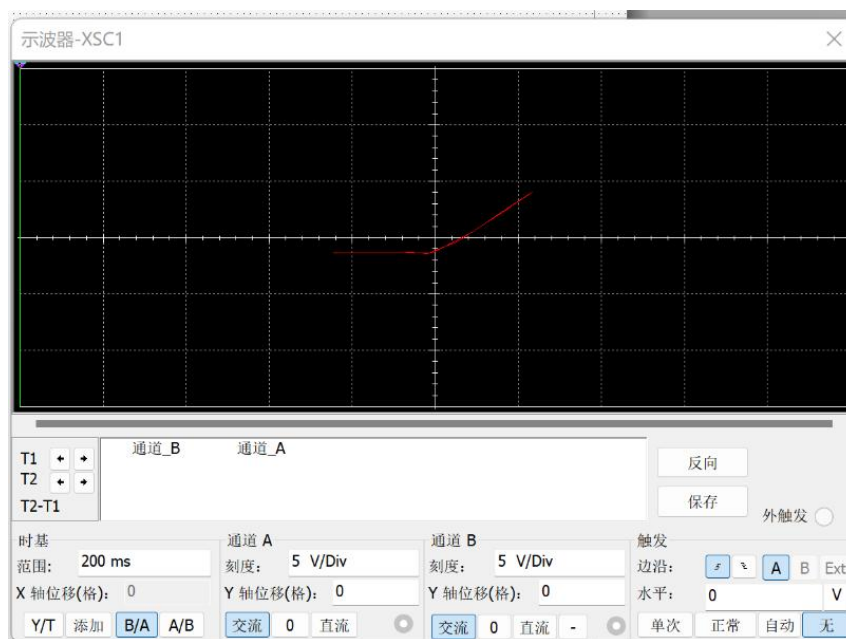


绿线齐平、紫线与黄线重合的时间内，电源电压反向或正向电压较小，二极管处于截止状态。紫线接近齐平的时间内，二极管处于导通状态， U_L 近似不变， U_R 近似线性变化；但在电压正向增大的过程中，二极管两端电压仍有微小增大，因此若将 CH1（此时为 500mV/格）与 CH2 的刻度（此时为 200mV/格）调为一致，屏中显示绿线（ U_R ）斜率小于黄线（ U_s ）。

四、应用 MULTISIM 软件仿真二极管的 VA 特性

软件可导出各时刻 Channel_A、Channel_B 的电压，得到足够多组 U_s 、 U_R 的数值。数据处理见结果分析部分。

示波器显示图形（ $U_R - U_s$ ）如下：



【结果分析】

一、用万用表粗略判别二极管好坏

稳压二极管（5.1V/1W）：

$U_{1+} = 0.711V$ ，接近硅二极管导通电压 0.7V，判断其正向功能完好。

$U_{s/V}$	6.403	10.403	13.401
$U_{1-/V}$	4.601	4.930	5.027

测量反向压降时可见 U_s 增加， U_{1-} 越来越接近标称电压 5.1V，反向功能完好。故判断该稳压二极管完好。

1N4007 二极管：

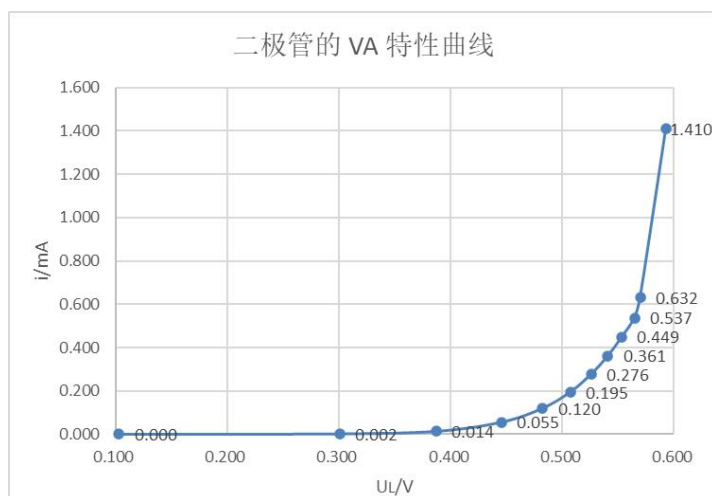
$U_{2+} = 0.574V$ 。说明书表明 1N4007 二极管在电流 1A 的情况下，正向压降为 1V。

由于导通电流为 mA 量级，导通区电流随电压增大而迅速增大，因此 0.574V 合理，判断其正向功能完好。

对于测量反向压降 U_{2-} 时超量程，说明反向击穿电压相对较大，判断其反向功能完好。故判断该二极管完好。

二、采用逐点测量法测量二极管的 VA 特性

利用各组 $i-U_L$ 数据逐组连线，得到二极管 VA 特性曲线如下。

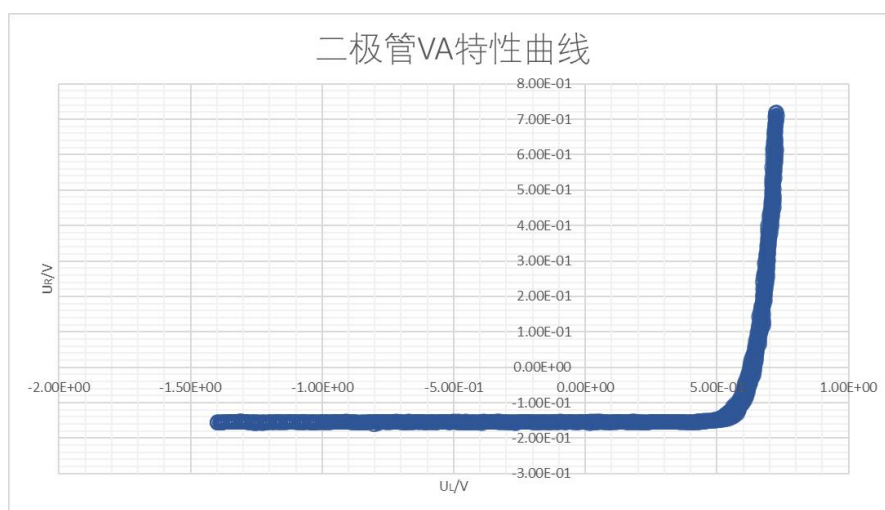


当 $0 < U_L < 0.301V$ 时，流过二极管的电流近似于 0，为截止区，二极管可视作不导通。

当 $U_L > 0.301V$ 时二极管进入导通区：当 $U_L < 0.565V$ 时，电流随电压增大而增大，且斜率越来越大；当 $U_L > 0.565V$ 时斜率极大，极小的 ΔU_L 会引起电流巨大的变化，此时二极管两端电压可近似看作不变。

三、采用扫描测量法测量二极管的 VA 特性，并双踪观察信号源与二极管两端电压

由于 $i \propto U_R$ ， $U_L = U_S - U_R$ ，所以二极管的 VA 特性曲线 i_L-U_L 形状与 $U_R-(U_S-U_R)$ 相同。利用导出的多组 U_S 、 U_R 数据得到信号源与二极管两端电压关系 U_L-U_S 曲线如下：



当 $-1.42V < U_L < 0.57V$ 时， U_R 不变，均为约 $-0.15V$ ，二极管视为截止；当 $U_L > 0.57V$

时二极管进入导通区，电流随电压增大而增大，且斜率越来越大；当 U_L 接近 0.7V 时斜率极大，极小的 ΔU_L 会引起电流巨大的变化，此时二极管两端电压可近似看作不变。

理论上二极管在截止区流过电流应为 0，即电阻两端所测电压 U_R 应为 0。以下是实验中示波器导出的 U_R 为负数的影响因素：

①二极管本身的非理想特性。实际的二极管并不完全符合理想二极管模型，存在接触电阻、反向漏电流等非理想情况。接触电阻只可能降低 U_R ，而不是使其处于反向的稳定数值，而反向漏电流可解释这一现象。

②示波器存在校准问题。横轴为 U_L ，为 $U_S - U_R$ 算得，因此两校准偏差抵消，但由于纵轴为 U_R ，校准偏差未抵消，因此实际所绘图线比理想情况下移 1.5V。

③示波器存在电压分辨率阈值。示波器电压分辨率阈值在 mV 数量级，截止区 U_R 约为 -150mV，故其存在一定影响。

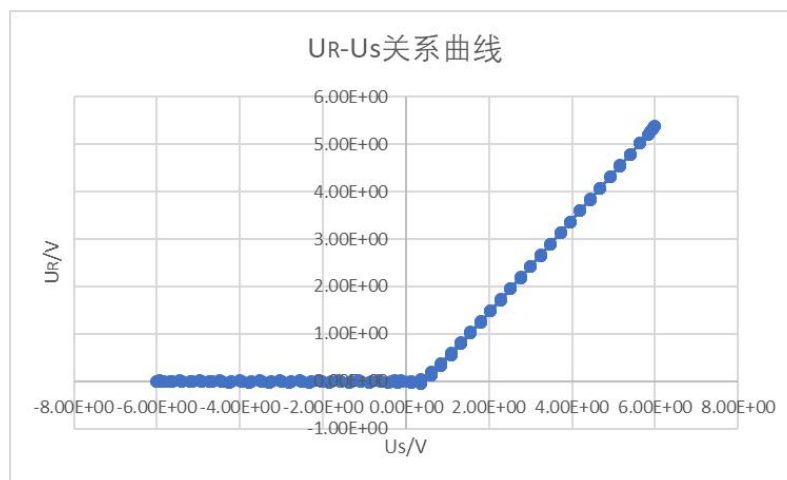
④示波器存在系统误差。电压探头通常包含一个电阻和并联的电容，但由于实验频率在 1kHz，相对较低，示波器输入阻抗通常在兆欧姆 ($M\Omega$) 数量级，对结果影响较小。

综上，二极管的反向漏电流与示波器的校准为主要原因。

四、应用 Multisim 软件仿真二极管的 VA 特性

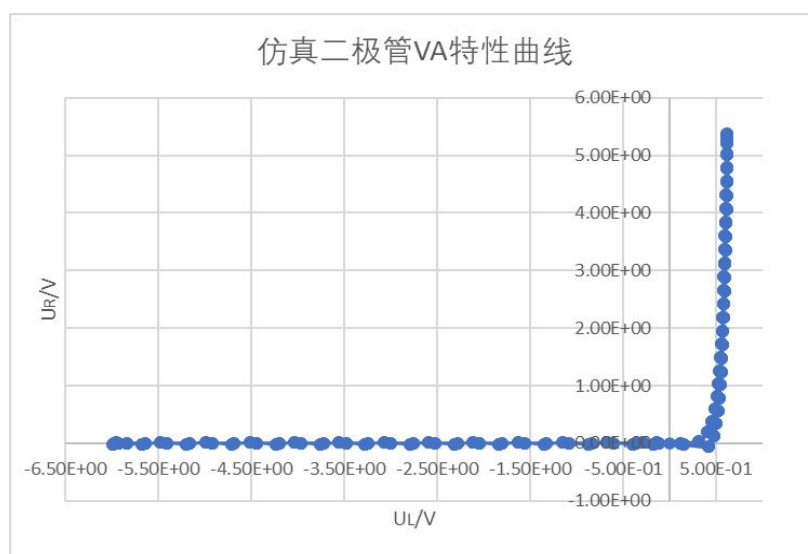
电路图同上，故数据处理方式同上。

由于在 Multisim 软件示波器显示的 $U_R - U_S$ 图像中，当 U_S 较小或反向时， U_R 会出现负数情况，因此用导出的多组 U_S 、 U_R 数据重新绘制，得到图像如下：



与测试过程中示波器产生图样进行对比，可见大体趋势不变，属示波器显示与校准问题。

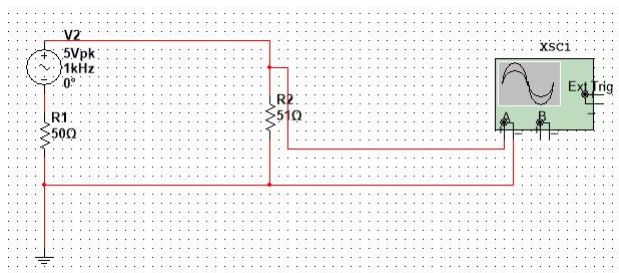
描点得到二极管 VA 特性曲线如下。



当 $-6.00\text{V} < U_L < 0.50\text{V}$ 时， U_R 均为 0，电路中无电流，二极管视为截止；当 $U_L > 0.50\text{V}$ 时二极管进入导通区，电流随电压增大而增大，且斜率越来越大；当 U_L 接近 0.51V 时斜率极大，极小的 ΔU_L 会引起电流巨大的变化，此时二极管两端电压可近似看作不变。

【探究性实验内容】

分压法测量信号源内阻（测试设备：DSOX1102G 示波器，信号源：DG1022 信号发生器）



1. 将标有 $51\ \Omega/1W$ 的电阻 R 接入信号源两端，信号源输出频率 $f = 1kHz$ 、幅值 $A = 5.000V_{pp}$ 、偏移 $0V$ 、相位 0° 的正弦波，将示波器并联在电阻两端测其电压 U_1 。
2. 保持信号源输出参数不变，换不同阻值或同一标称的不同电阻，重复实验，记录数据。记信号源内阻为 r 。

R/Ω	51	51	10	100	330	510
U/V	2.42	2.45	0.89	3.34	4.39	4.51
U_r/V	2.58	2.55	4.11	1.66	0.61	0.49
r/Ω	54.37	53.08	46.18	49.70	45.85	55.41
平均值	50.77					
r'/Ω						

结果分析：

通过上述 6 组数据，可算得信号源内阻 r 均值为 $50.77\ \Omega$ ，可算得不确定度

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum (r_i - \bar{r})^2} = 1.7\ \Omega, \text{ 所以求得信号源内阻为 } 50.77 \pm 1.7\ \Omega.$$

已知信号源 SDG2000X 内部提供 $50\ \Omega$ 的固定串联输出阻抗，可得相对误差 $E =$

$$|50.77\ \Omega - 50\ \Omega| / 50\ \Omega = 1.54\%.$$