

二极管的基本应用

PB19000132 苗立扬 PB18020556 戴佳乐

2022 年 2 月 26 日

1 实验目的

- 1、熟悉二极管的种类
- 2、掌握二极管极性判别及好坏判别方法
- 3、掌握二极管应用电路的工作原理与测试方法。

2 实验原理

2.1 二极管的特性

2.1.1 二极管的种类

按结构的不同可以分为：点接触型，面接触型和平面型。

按用途可以分为检波管、开关管、稳压管和整流管等。

2.1.2 二极管对的极性判别

外壳形状：一般把极性标示在二极管的外壳上。大多数用一个不同颜色的环来表示负极，有的直接标上“-”号。

色标：有色标的一端为二极管的负极

发光二极管：管脚短为负极，金属片大的一端为负极。

2.1.3 二极管好坏判断

将万用表打到蜂鸣二极管档，红表笔接二极管的正极，黑笔接二极管的负极，此时测量的是二极管的正向压降值。不同的二极管根据它内部材料不同所测得的正向压降值也不同。正向压降值读数在 300 800 为正常，若显示为“0”说明二极管短路，若显示为“OPEN”说明二极管开路。将表笔调换再测，读数应为超量程显示“OPEN”，即反向电阻无穷大，说明二极管是好的，否则，说明二极管损坏。

2.1.4 二极管的伏安特性

二极管两端的电压和流过二极管的电流之间的关系如图 1 所示，在反向击穿前与 PN 结的伏安关系式 $I = I_s(e^{\frac{qU}{kT}} - 1)$ (I_s 为反向饱和电流) 基本相同。当二极管两端加正向电压达到某一数值 (阀电压)，正向电流才开始显著增加。二极管加反向电压时，反向饱和电流很小，当反向电压超过某一个值 (反向击穿电压)，二极管会发生反向击穿，反向电流剧增，极易烧坏。

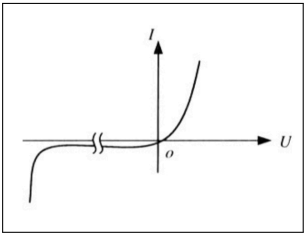


图 1: 二极管的伏安特性曲线

2.1.5 稳压二极管的伏安特性

当二极管两端的反向电压超过击穿电压时，流过二极管的电流急剧增大，而此时管子的端电压变化很小 (如图 2 所示)，具有稳压的功能

2.2 整流滤波电路

如图 3 为最简单的整流电路，其中包含一个二极管与负载电阻 R_L ，当正半周期时，二极管导通，负半周期时，二极管截止。由此达到整流目的，其输出波形如图右侧所示。则理论上可以计算出输出电压的平

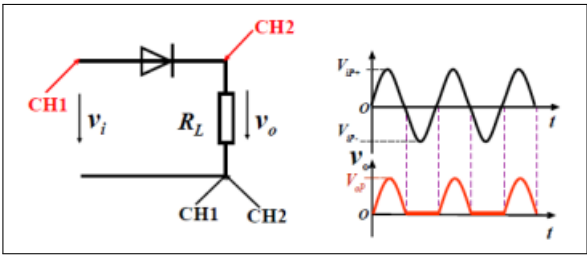


图 3: 整流电路电路与波形示意图

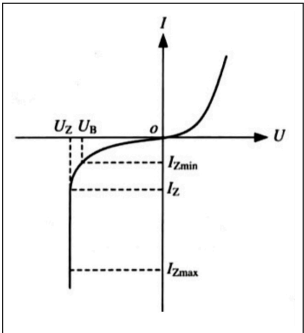


图 2: 二极管的伏安特性曲线

均值为

$$\bar{V}_0 = \frac{1}{T} \int_0^T v_0(t) dt = \frac{V_p}{\pi} \approx 0.318 V_p \quad (1)$$

当并联电容时，电容的阻抗随频率增大而减小，因此可以起到一定的滤高频波的作用，其电路图及波形如图 4 所示。

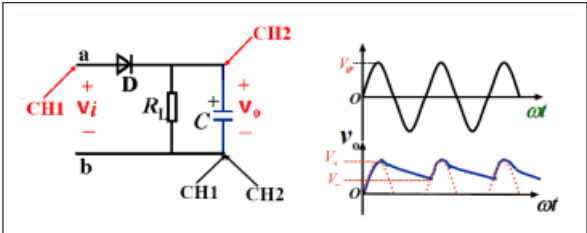


图 4: 整流滤波电路电路与波形示意图

2.3 钳位电路

其电路与波形如图 5 所示。二极管作理想处理，当输入正弦波时，当 V_i 上升到 E 时，二极管 D 导通， V_o 就不可能再上升，被钳位在 E 上。 V_i 继续上升，多余的电压被充到电容 C 上，由于二极管正向导通电阻很小，充电很快，电容电压可充到 $V_p - E$ 。当 V_i 电压从峰值下降时，二极管截止，输出电压 V_o 为电容上电压和 V_i 的代数和。整个波形被压下 $V_p - E$ 伏，顶端被钳制在 E 上。但实际上二极管有压降，实际分析时需要考虑二极管压降。

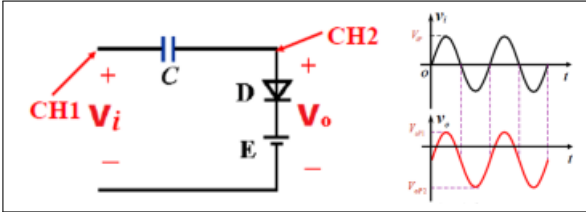


图 5: 钳位电路电路与波形示意图

2.4 限幅电路

限幅电路，又称削波电路，是用来限制输出信号电压范围的电路，仅有上门限的称为上限幅电路，仅有下门限的称为下限幅电路，具有上下门限的限幅电路，称为双向限幅电路。其工作原理与整流电路相近，由于恒压源的存在，使得当输入电压加上恒压源一旦超出了二极管的导通范围，就会截止，因此具有限制幅度的功能。其电路与输出波形如图 6 所示。二极管作理想处理，当输入正弦波时，输出波形最大值受到限制，相当于顶端被“削平”。

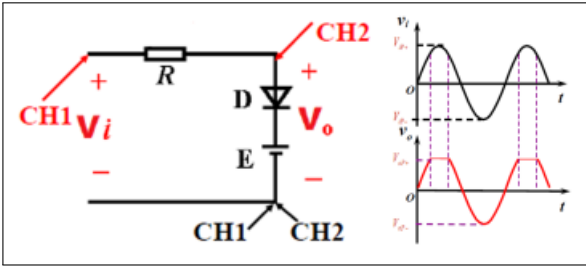


图 6: 限幅电路电路与波形示意图

2.5 稳压电路

其电路图如图 7 所示。当负载 R_L 一定时，如果 V_i 增大，则 V_z 增大，由于稳压二极管动态电阻很小，干路的电流基本上被其捕获，因此 R_1 上的压降增大，最终 V_o 几乎不变。当 R_L 减小时，则其干路路电流增大，因此干路压降增大，则 V_z 分压减小，最终 V_o 基本不变。

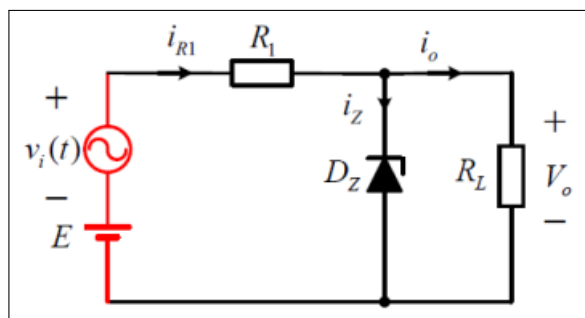


图 7: 限幅电路电路与波形示意图

3 实验内容与步骤

3.1 实验一：整流滤波电路

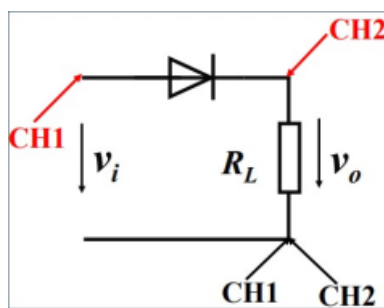


图 8: 实验一电路图

如图 8 所示为整流电路。用万用表的两个 CH 测量其输入和输出电压，再用万用表手动 1V DCV 档测量其平均值。

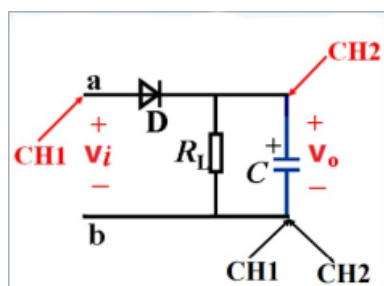


图 9: 实验一（续）电路图

如图 9 所示，在图 8 基础上再并联一个电容 $C = 10\mu\text{F}$ 。用示波器测出其输入、输出电压，再用万用表 ACV 档测量其纹波电压。然后将电容值改为 $C = 100\mu\text{F}$ ，重复实验。

3.2 实验二：钳位电路

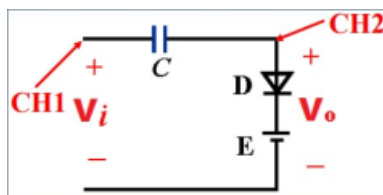


图 10: 实验二电路图

如图 10所示为钳位电路。用示波器测量其输入与输出电压。

3.3 实验三：限幅电路

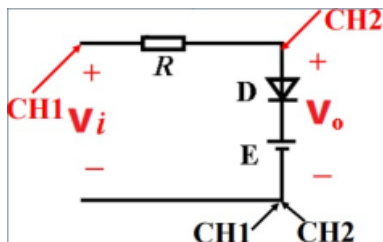


图 11: 实验三电路图

如图 11所示为限幅电路。用示波器测量其输入与输出电压。再用示波器的 $X - Y$ 模式测量其 $v_i - v_o$ 曲线。

3.4 实验四：稳压电路

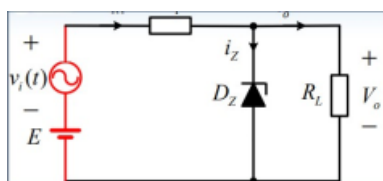


图 12: 实验四电路图

如图 12所示为稳压电路。用示波器测量其输入与输出电压。稳压管等效的交流小信号模型为一个小电阻，用万用表间接测量其等效电路电阻，同时稳压管在静态工作点有一电压降，因此可认为是一反向直流电压源。因此稳压管的等效电路模型是一个小电阻与一个反向直流电源串联。

4 实验数据处理与分析

4.1 实验一：整流滤波电路

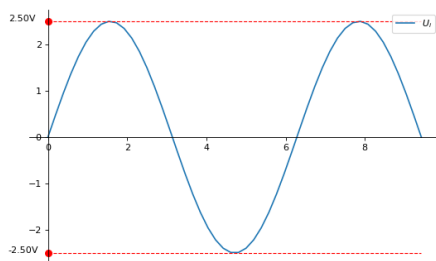


图 13: 实验一输入波形

在未接电容时，输入波形的高峰值为 $V_H = 2.5\text{V}$ ，低峰值为 $V_L = -2.50\text{V}$ ，如图 13 所示。

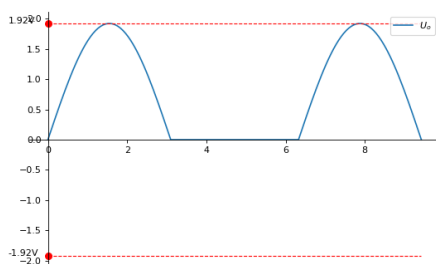


图 14: 实验一输出波形

在未接电容时，输出波形的高峰值为 $V_H = 1.92\text{V}$ ，低值被削平，为 $V_L = 0\text{V}$ ，如图 14。

万用表测得的平均值为 0.586V 。而理论给出的平均值为：

$$\bar{V}_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt \approx 0.318 V_P = 0.318 \times 1.92 = 0.611\text{V}$$

这个值比实验值大。分析其原因：万用表可能是测量若干个断点的值，并对对应时间内的电压作近似积分。而万用表的采样频率可能没有快到可以精确测量电压平均值，所以在用矩形分割法进行近似积分时有误差。

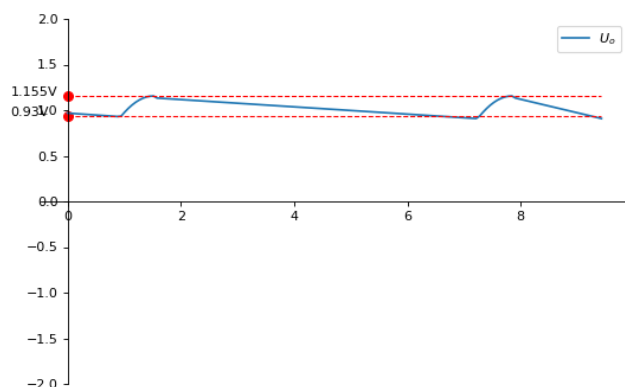


图 15: 实验一（续）输出波形， $C = 10\mu\text{F}$

在电容为 $10\mu\text{F}$ 时，输出波形如图 15 所示。其中波纹高值为 $V_H = 1.155\text{V}$ ，波纹低值为 $V_L = 0.930\text{V}$ 。

万用表测量的平均值为 $\widetilde{V}_o = 0.0654\text{V}$ 。

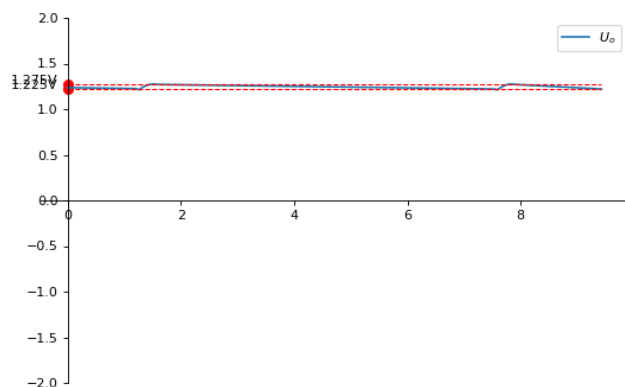


图 16: 实验一（续）输出波形， $C = 100\mu\text{F}$

在电容为 $100\mu\text{F}$ 时，输出波形如图 16 所示。其中波纹高值为 $V_H = 1.275\text{V}$ ，波纹低值为 $V_L = 1.225\text{V}$ 。

万用表测量的平均值为 $\widetilde{V}_o = 7.368\text{mV}$ 。

比较不同电容值下的结果，我们发现：如果提高电容，那么波纹高值会下降，波纹低值会上升，二者之间差距缩小，所以交流波纹电压减小。

分析其原因：若电容 $C = 100\mu\text{F}$ ，那么相较于 $C = 10\mu\text{F}$ 时，电容的阻抗更小了，与负载电阻的并联阻抗也变小了，分压能力减弱，所以波纹高值减小了；而此时电路的时间常数 $\tau = RC$ 更大了，电路中电压的变化更为缓慢，于是第二次实验的波纹更小，因此波纹低值也更高，交流波纹电压更小。

4.2 实验二：钳位电路

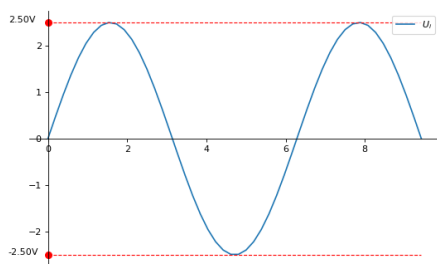


图 17: 实验二输入波形

实验输入波形如图 17所示。高峰值为 $V_H = 2.50\text{V}$ ，低峰值为 $V_L = -2.50\text{V}$ 。

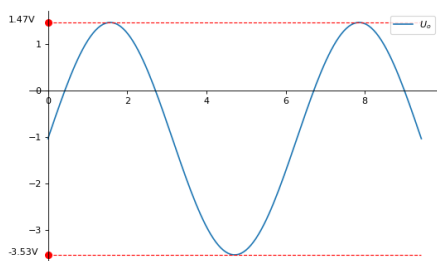


图 18: 实验二输出波形

实验输出波形如图 18所示。高峰值为 $V_H = 1.47\text{V}$ ，低峰值为 $V_L = -3.53\text{V}$ 。

理论上，输出波形相对于输入波形向下平移了 $E = 1.00\text{V}$ ，实际上波形的高峰和低峰分别向下平移了 $2.45 - 1.43 = 1.03\text{V}$ 和 $-2.58 - (-3.66) = 1.03\text{V}$ ，和理论值符合得比较好。

4.3 实验三：限幅电路

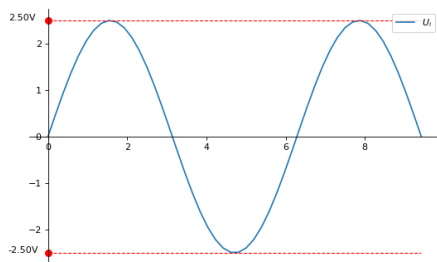


图 19: 实验三输入波形

实验输入波形如图 19所示。高峰值为 $V_H = 2.50\text{V}$ ，低峰值为 $V_L = -2.50\text{V}$ 。

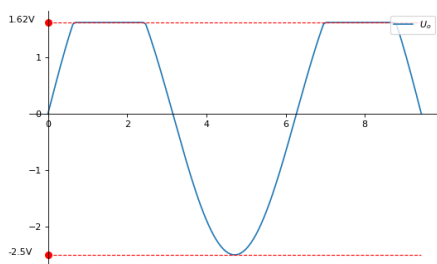


图 20: 实验三输出波形

实验输出波形如图 20所示。高值被削平，为 $V_H = 1.62\text{V}$ ，低峰值为 $V_L = -2.50\text{V}$ 。将示波器输出模式改为 $x-y$ 模式，测量 $v_o - v_i$ 曲线。

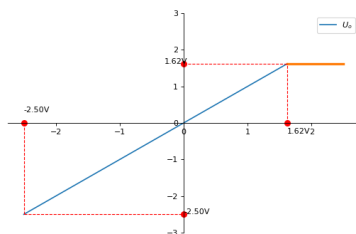


图 21: 实验三输出波形， $x-y$ 模式

输出图像如图 21所示。可见在 u_i 小于阈值电压 1.62V 时， u_o 与 u_i 呈线性关系。若 u_i 大于阈值电压，那么 u_o 被限幅， u_o 电压值不会继续上升，图线保持水平。

4.4 实验四：稳压电路

直流电压源 $E = 12\text{V}$ ，接好电路连线再调整函数信号发生器的取值。调整至万用表测量值为 $100.09\text{mV}_{\text{rms}}$ 时，函数信号发生器的标示有效值为 $106\text{mV}_{\text{rms}}$ 。

改变万用表表笔所接位置，测得稳压管的静态反向电压为 $V_Z = 5.9974\text{V}_{\text{rms}}$ ， R_1 两端电压为 $V_1 = 89.2\text{mV}_{\text{rms}}$ ，负载电阻 R_L 两端电压为 $V_L = 2.199\text{mV}_{\text{rms}}$ 。

由此计算：

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{89.2\text{mV}}{1\text{k}\Omega} = 89.2\mu\text{A}, I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{2.199\text{mV}}{2\text{k}\Omega} = 1.0995\mu\text{A}.$$

$$I_Z = I_1 - I_L = 88.1\mu\text{A}, r = \frac{V_L}{I_Z} = 24.96\Omega.$$

得到稳压管的近似等效电阻值

5 实验总结

本次实验着重于二极管的性质和应用。经过若干个二极管实验，我们对二极管的整流、钳位、限幅（削波）有了更深入的认识。同时我们亲手验证了稳压二极管的稳压作用，并用交流小信号模型去求其等效电路。

在任何规模的电路当中，二极管都是重要的组成成分，所以了解二极管的性质和常见用途，能有效地帮助我们理解复杂电路和自行设计电路。

6 实验思考题

6.1 设计一个全波整流电路并定性分析说明

在原有的半波整流电路的基础上，我们并联另外一组二极管如手绘右图（python 实在画不动了）所示。其输出到电容器上的波形如图 22 所示

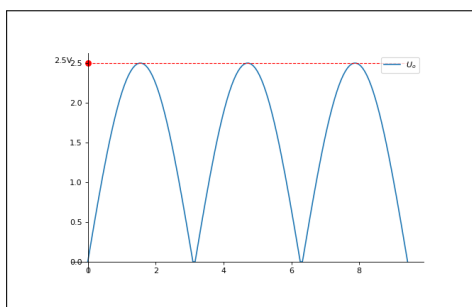


图 22: 全波整流电路电容两端电压特性曲线

由实验一的原理我们知，可以选取较大的电容值，使并联输出电压的波纹平均值变小，得到较好的全波整流输出。

6.2 在稳压管电路实验中，电阻 R1 在电路中的作用

提供额外电阻进行分压。

当负载 R_L 一定时，如果 V_i 增大，则 V_z 增大，由于稳压二极管动态电阻很小，干路的电流基本上被其捕获，因此 R_1 上的压降增大，最终 V_o 几乎不变。当 R_L 减小时，则干路电流增大，因此干路压降增大，则 V_z 分压减小，最终 V_o 基本不变。反之亦然。

假如电路不接入 R_L ，则电路的全部电压加在稳压管的并联支路上，使得稳压管的电压始终为一恒定值，无法研究稳压管在外接电压不同时稳定电压的能力。

6.3 设计一个电路测量出二极管的伏安特性曲线，画出实验电路图，简明扼要写出实验步骤

电路设计如图 23 所示

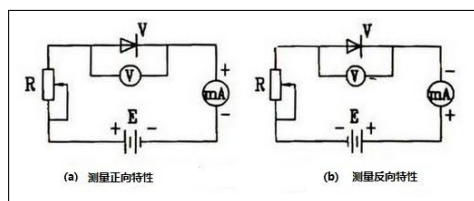


图 23: 伏安特性曲线测量电路

其中，图 a 为正向特性曲线测量电路，图 b 为正向特性曲线测量电路。

测量时，选取适当的偏置电压，调节滑动变阻器，分别通过电流表和电压表来读取多组电流、电压点，并且在图上进行平滑绘制拟合，即可得到二极管的大致伏安特性曲线图。