



中国科学技术大学

# 实验报告

学院：物理学院

姓名：黄阅迅，李秋阳

学号：PB18020631, PB18020567

组号：20

日期：2020年10月29日

课程名称：电子线路实验 (1)

实验题目：二极管的基本应用

## 1 实验目的

参看预习报告。

## 2 实验原理

部分内容参看预习报告。以下为补充内容。

### 2.1 整流滤波电路

如图1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

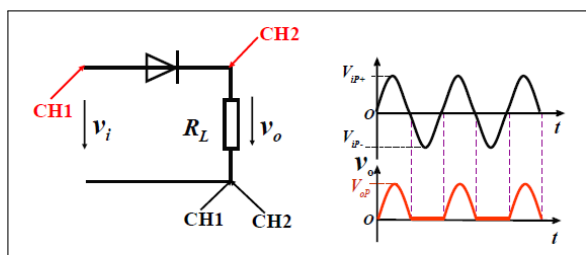


图 1: 整流电路电路与波形示意图

论上可以计算出输出电压的平均值为

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

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2所示。

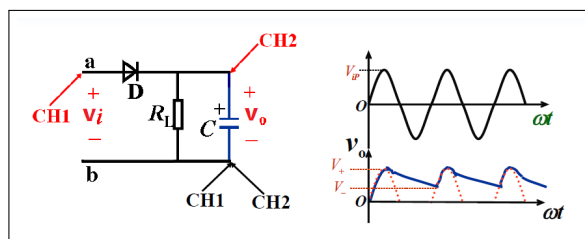


图 2: 整流滤波电路电路与波形示意图

## 2.2 钳位电路

其电路与波形如图 3 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，被钳位在这一电平上。 $V_i$  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，均值即在 E(注意符号) 附近。但实际上二极管有压降，实际分析时需要考虑二极管压降。

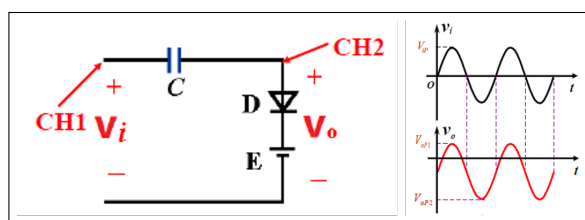


图 3: 钳位电路电路与波形示意图

## 2.3 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 4 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”。

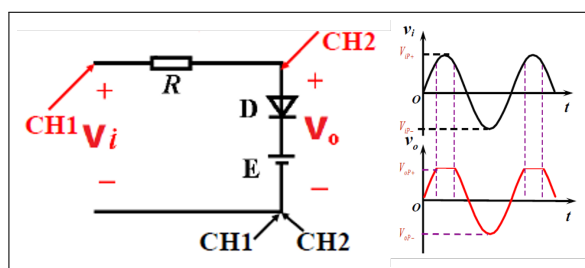


图 4: 限幅电路电路与波形示意图

## 2.4 稳压电路

其电路图如图 5 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。

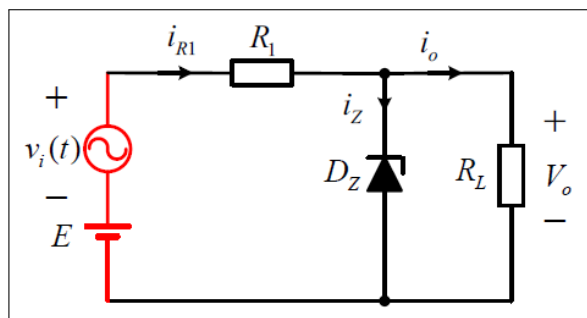


图 5: 限幅电路电路与波形示意图

## 3 实验内容与步骤

### 3.1 实验一：整流滤波电路

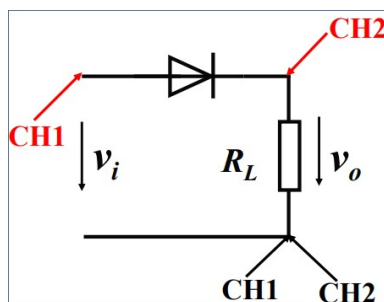


图 6: 实验一电路图

如图 6 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。

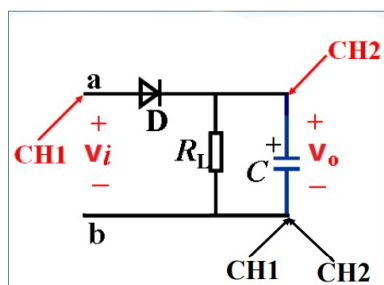


图 7: 实验一（续）电路图

如图 7 所示，在图 6 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

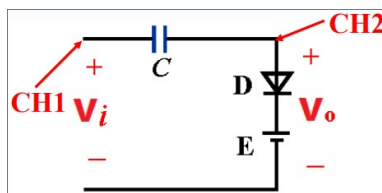


图 8: 实验二电路图

如图 8 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

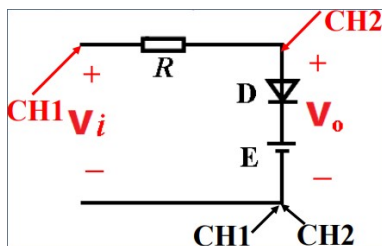


图 9: 实验三电路图

如图 9 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

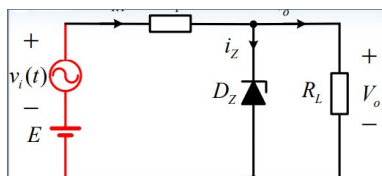


图 10: 实验四电路图

如图 10 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

实验所用的普通二极管导通压降为  $V_D = 0.5823\text{V}$ ，稳压二极管的正向导通电压为  $V_{DS} = 0.7354\text{V}$ 。

### 4.1 实验一：整流滤波电路

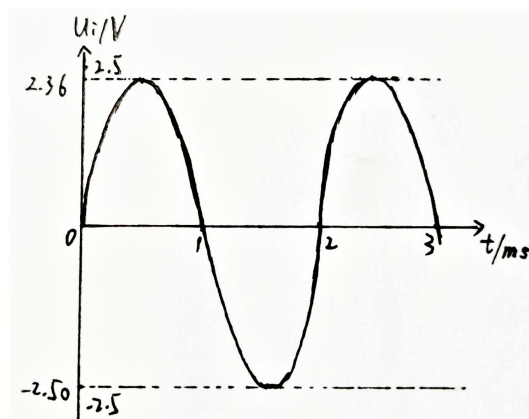


图 11: 实验一输入波形

在未接电容时，输入波形的高峰值为  $V_H = 2.36\text{V}$ ，低峰值为  $V_L = -2.50\text{V}$ ，如图 11 所示。

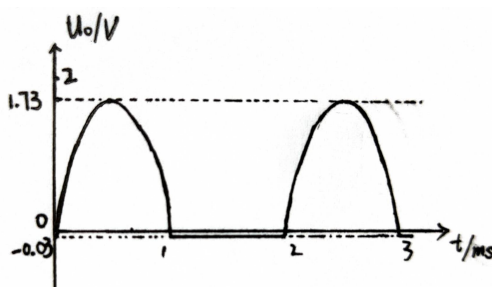


图 12: 实验一输出波形

在未接电容时，输出波形的高峰值为  $V_H = 1.73\text{V}$ ，低值被削平，为  $V_L = -0.03\text{V}$ ，如图 12。

理论上，峰值电压应为  $V_{iH} - V_D = 2.36 - 0.5823 = 1.778\text{V}$ ，与实验值接近，比实验值略大。这可能是由于二极管存在电阻，所以存在分压作用分压作用，电阻实际分到的电压比输入电压略小一些。

万用表测得的平均值为  $0.4328\text{V}$ 。而理论给出的平均值为：

$$\bar{V}_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt \approx 0.318 V_P = 0.318 \times 1.73 = 0.55014\text{V}$$

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。

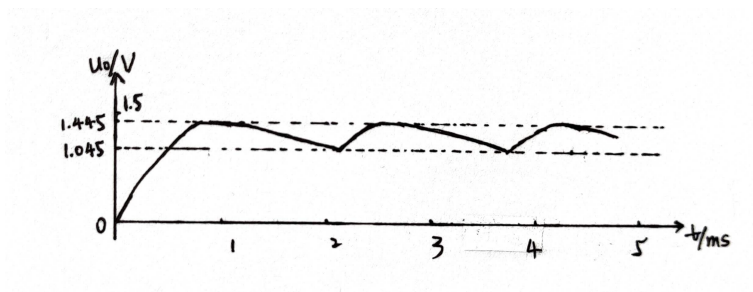


图 13: 实验一（续）输出波形， $C = 10\mu\text{F}$

在电容为  $10\mu\text{F}$  时，输出波形如图 13 所示。其中波纹高值为  $V_H = 1.445\text{V}$ ，波纹低值为  $V_L = 1.043\text{V}$ 。

万用表测量的平均值为  $\widetilde{V}_o = 0.1089\text{V}$ 。

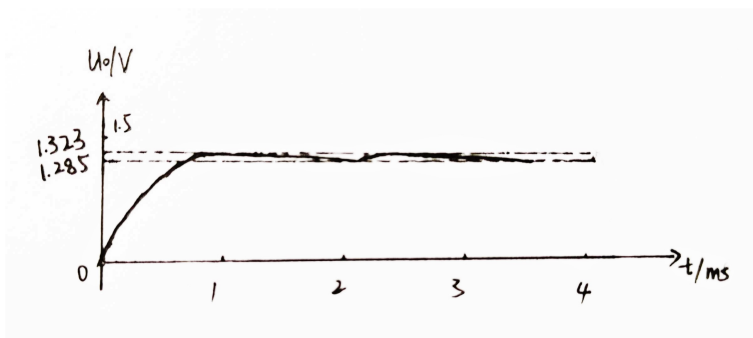


图 14: 实验一（续）输出波形， $C = 100\mu\text{F}$

在电容为  $100\mu\text{F}$  时，输出波形如图 14 所示。其中波纹高值为  $V_H = 1.323\text{V}$ ，波纹低值为  $V_L = 1.285\text{V}$ 。

万用表测量的平均值为  $\widetilde{V}_o = 7.158\text{mV}$ 。

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

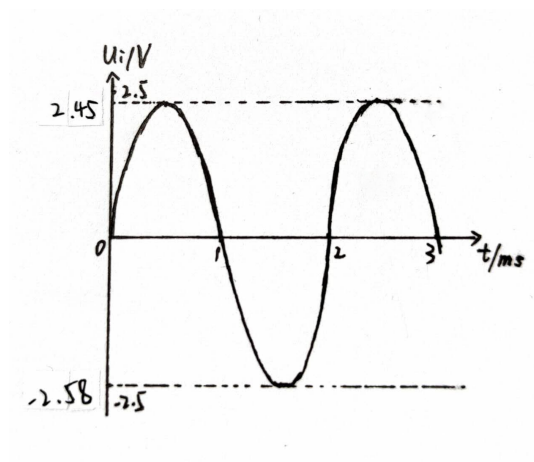


图 15: 实验二输入波形

实验输入波形如图 15 所示。高峰值为  $V_H = 2.45\text{V}$ ，低峰值为  $V_L = -2.58\text{V}$ 。

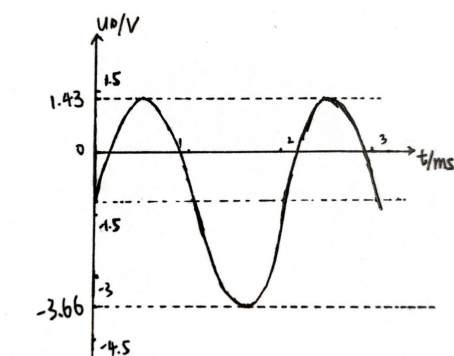


图 16: 实验二输出波形

实验输出波形如图 16 所示。高峰值为  $V_H = 1.43\text{V}$ ，低峰值为  $V_L = -3.66\text{V}$ 。

理论上，输出波形相对于输入波形向下平移了  $E = 1\text{V}$ ，实际上波形的高峰和低峰分别向下平移了  $2.45 - 1.43 = 1.02\text{V}$  和  $-2.58 - (-3.66) = 1.08\text{V}$ ，和理论值符合得比较好。

### 4.3 实验三：限幅电路

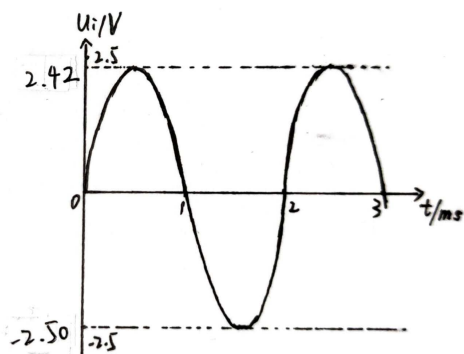


图 17: 实验三输入波形

实验输入波形如图 17所示。高峰值为  $V_H = 2.42V$ ，低峰值为  $V_L = -2.50V$ 。

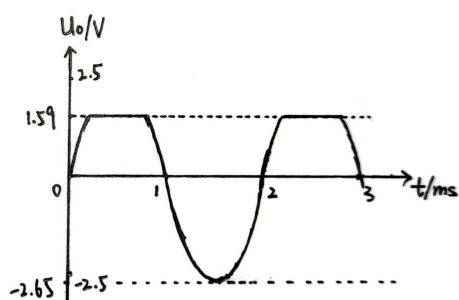


图 18: 实验三输出波形

实验输出波形如图 18所示。高值被削平，为  $V_H = 1.59V$ ，低峰值为  $V_L = -2.65V$ 。

被削平处的电压值应为电源电压加上二极管导通电压，即  $1.00 + 0.5823 = 1.5823V$ ，与实际值接近。

将示波器输出模式改为  $x-y$  模式，测量  $v_o - v_i$  曲线。

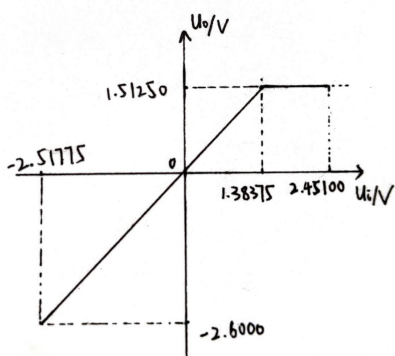


图 19: 实验三输出波形， $x-y$  模式



输出图像如图 19 所示。可见在  $u_i$  小于阈值电压 1.38375V 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  $E = 12V$ , 接好电路连线再调整函数信号发生器的取值。在信号发生器显示有效值为  $100mV_{rms}$  时, 万用表实际测量的有效值为  $94.81mV_{rms}$ 。调整至万用表测量值为  $100.06mV_{rms}$  时, 函数信号发生器的标示有效值为  $105.4mV_{rms}$ 。

改变万用表表笔所接位置, 测得稳压管的静态反向电压为  $V_Z = 4.25V_{rms}$ ,  $R_1$  两端电压为  $V_1 = 99.41mV_{rms}$ , 负载电阻  $R_L$  两端电压为  $V_L = 0.302mV_{rms}$ 。

由此计算:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{99.41mV}{1k\Omega} = 99.41\mu A, I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{0.302mV}{2k\Omega} = 0.151\mu A.$$

$$I_Z = I_1 - I_L = 99.41\mu A, r = \frac{V_L}{I_Z} = 3.04\Omega.$$

下面求其等效电压源电压。假设输入负极接地, 假设等效电源静态电压为  $V_Z$ , 那么依照节点的 KCL 可以写出电路的方程:

$$\frac{12 - 4.25}{1000} = \frac{4.25}{2000} + \frac{4.25 - V_Z}{3.04}$$

由此解得:

$$V_Z \approx 4.233V.$$

由此可以画出其等效电路:

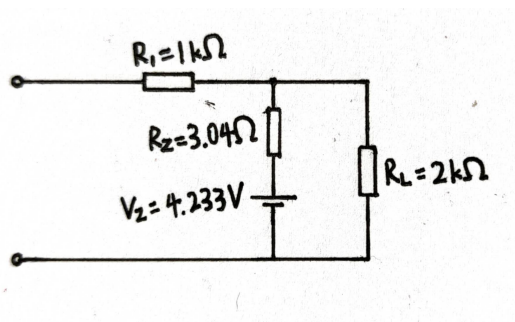


图 20: 实验四等效电路图

## 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 问题一

二极管，对直流量，它相当于一个电压源，而对交流量，它等效成一个小电阻，这句话对吗？稳压管有何特性？

答：这句话需要添加更多的修饰条件，不完全正确。对于直流量，二极管导通时，可以采用恒压降模型，认为其管压降恒定，因此可以近似成一个电压源，对于硅管，一般是 0.7V，对于锗管，一般是 0.2V。但电压很大时，应采用折线模型修正，看作一个有内阻的电压源。

对于交流分量，需要在小信号分析的前提下，采用小信号模型，其可以看作是一个小电阻，在只考虑交流量的情况下，有  $r_d \approx \frac{V_T}{I_D}$ ， $V_T$  为电压当量， $I_D$  为 Q 点二极管电流。因此要求为小信号条件下，才可以看作为小电阻。

稳压二极管，又称为齐纳二极管，这种管子杂质浓度很高，空间电荷区内的电荷密度很大，因而区域窄，容易形成强电场。当反向击穿时，反向电压波动不大即有较大的电流变化。但不能超过最大工作电流，否则进入反向特性转弯段，稳压特性消失，可能被烧毁。

### 6.2 问题二

说明稳压管并联稳压电路的稳压原理。

答：该电路的核心在于稳压管与并联。稳压管工作于反向击穿状态下时，其工作电压随电流变化很小，因此起到稳压作用。

而稳压管由于电压随电流变化很小，因此其动态电阻  $r_z$  非常小，因此将外界扰动导致的干路电流变化看作小信号。其在并联电路的作用下，由于稳压管动态电阻很小，小信号波动基本上会被稳压管全部拾取，而稳压管电压随电流变化很小，因此稳压管在拾取了变化量后电压几乎维持不变，因此与之并联的输出电压也几乎不发生变化。

具体地说：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。