

实验三 二极管的特性与应用

1. 实验目的

- (1) 掌握二极管的主要特性，加深对器件特性的理解。
- (2) 掌握二极管典型应用电路的特性。
- (3) 进一步巩固常用电子仪器仪表的使用技能。

2. 实验原理

二极管和三极管是最基本的有源器件，应用很广泛。二极管的种类很多，本实验用的是普通小信号二极管（型号为 1N4148）、RGB 发光二极管（型号为 HH-2551CRGB 共阳）和稳压二极管（TC5V1）。

(1) 二极管的伏安特性

如果不考虑其他次要因素的影响，仅从导电本质看，二极管就是 PN 结，所以理想二极管的伏安特性可以用 PN 结的电流方程来表示。设流过二极管的电流为 i_D ，二极管两端的电压为 v_D ，则理想二极管的伏安特性可以用下式表示：

$$i_D = I_S (e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1) \quad (1)$$

实际二极管的伏安特性与式(1)描述的理想特性有一定的差别，如图 1 所示。

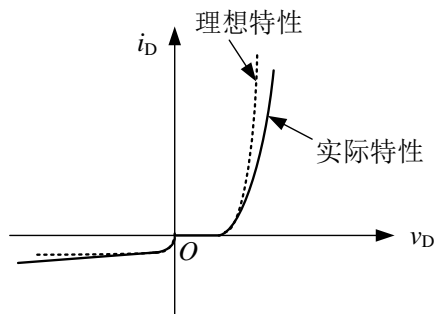


图 1 实际二极管与理想二极管特性的差别

(2) 发光二极管

发光二极管（LED）有单色和多色等种类。在 LED 正偏导通状态，电子和空穴复合时所释放的能量以光子形式发出，产生发光现象。不同半导体材料发出的光的波长不同，本实验中所使用的多色 LED 在同一个封装内封装了红色、绿色和蓝色的三个 LED 管芯，如图 2 所示。三个 LED 的正极（阳极）接在一起，一般称作公共阳极（Common Anode）。三个 LED 管芯不同发光强度的组合，可以产生多种色彩乃至白光。

我们实验使用的 LED 的工作电流约为 0.5mA 至 10mA，为避免电流过大烧毁二极管，必须串联限流电阻。

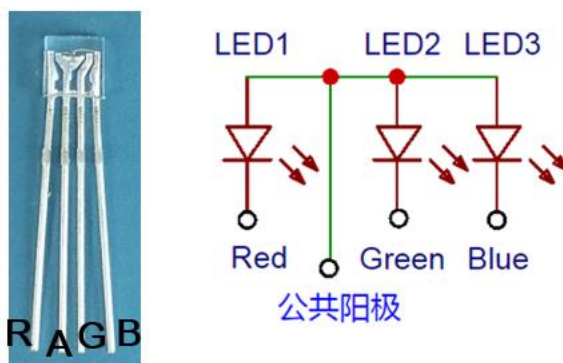


图2 实验所使用的 LED 的管脚和电路连接

(3) 二极管的整流电路应用

二极管半波整流电路如图 3 所示。图中 D 为整流二极管， R_L 为负载电阻。设输入电压 $v_i = V_m \sin \omega t$ ，则输出电压 v_o 一个周期内的信号为：

$$v_o = \begin{cases} V_m \sin \omega t, & 0 \leq \omega t \leq \pi \\ 0, & \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{cases}$$

假设 V_o 为输出电压 v_o 的平均值，则有

$$V_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_o d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t)$$

化简得到：

$$V_o = \frac{V_m}{\pi} \approx 0.318 V_m \quad (2)$$

式(2)说明，经过半波整流后，输出电压平均值只有输入电压峰值的 31.8%。而且这个结果是在理想情况下得出的，如果考虑二极管导通电压和内阻上的压降，则 V_o 的数值还要低。

半波整流加入电容 C 滤波后（电路如图 4 所示），

如果选择的电容 C 满足： $R_L C \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2}$ ，其中 T 为输入电压信号的周期，则输出电压平均值 V_o 为：

$$V_o \approx (0.78 \sim 0.85) V_m \quad (3)$$

(4) 二极管的稳压电路应用

稳压二极管工作于反向击穿区，其主要参数有：稳定电压 V_Z 、稳定电流 I_Z 、额定功率 P_Z ($P_Z = V_Z \times I_{Zmax}$)、动态电阻和温度系数等。

常用的稳压二极管稳压电路如图 6 所示。图中 D_Z 为稳压二极管， R_L 为负载电阻。当稳压二极管的反向电流小于 I_{Zmin} 时稳压效果差，而大于 I_{Zmax} 时会因超过额定功率损坏，所以稳压电路中必须串联一个电阻来限制电流，如图 6 中的 R 就是限流电阻。

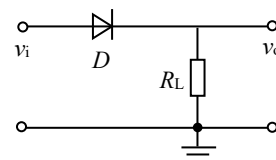


图3 二极管整流电路

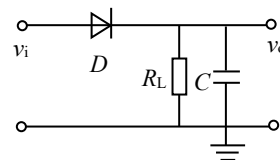


图4 半波整流电容滤波电路

设计时选择限流电阻 R 的依据：保证 $I_{zmin} < I_Z < I_{zmax}$ 。

由图 6 知，首先，当 I_L 最大 ($I_L = I_{Lmax}$)、输入电压 V_I 最小 ($V_I = V_{Imin}$) 时，流过 D_Z 电流为最小值 I_{zmin} 。据此可得：

$$\frac{V_{Imin} - V_Z}{R} - I_{Lmax} > I_{zmin}, \text{ 所以要求 } R < \frac{V_{Imin} - V_Z}{I_{zmin} + I_{Lmax}}。 \text{ 其次，}$$

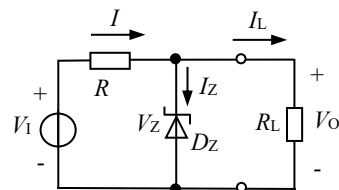


图 6 稳压二极管稳压电路

当 I_L 最小 ($I_L = I_{Lmin}$)、输入电压 V_I 最大 ($V_I = V_{Imax}$) 时，流过 D_Z 电流为最大值 I_{zmax} 。据此

$$\text{可得：} \frac{V_{Imax} - V_Z}{R} - I_{Lmin} < I_{zmax}, \text{ 所以要求 } R > \frac{V_{Imax} - V_Z}{I_{zmax} + I_{Lmin}}。 \text{ 综合以上分析可知限流电阻的}$$

取值范围为：

$$\frac{V_{Imax} - V_Z}{I_{zmax} + I_{Lmin}} < R < \frac{V_{Imin} - V_Z}{I_{zmin} + I_{Lmax}} \quad (4)$$

评价稳压电路特性主要有两个指标：电压调整率 S 和负载特性。电压调整率 S 是衡量稳压性能优劣的重要指标，又称为稳压系数或稳定系数，它表征当负载电阻固定时输入电压 V_I 变化时输出电压 V_O 稳定的程度，电压调整率公式如下：

$$S = \frac{\Delta V_O / V_O}{\Delta V_I / V_I} \quad (5)$$

负载特性是指保持输入电压 V_I 不变，负载电阻在一定范围内变化时，稳压电路的输出电压 V_O 随负载变化的特性。

3. 实验内容

(1) 点亮 LED

一般的 LED 正常导通时的压降在 1.5V 到 3.5V 之间，请记录红、绿、蓝三种颜色发光二极管正常发光状态的正向压降（控制通过 LED 各管芯的电流在 $1\text{mA} \pm 20\%$ 的范围），并留意正向压降和发光颜色的关系。

设计电路，点亮两个或三个的 LED 管芯，使多种颜色混合，产生紫色光。

(2) 二极管的伏安特性曲线

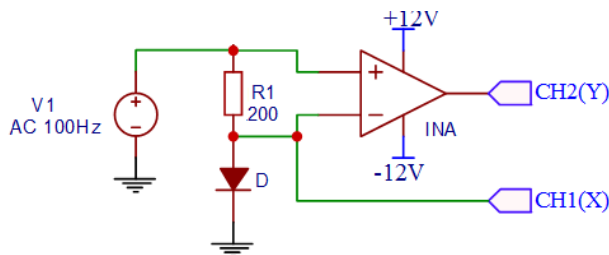


图 7 二极管的伏安特性曲线的测试电路

为了在示波器上显示出二极管的伏安特性曲线，设计如图 7 所示的电路。激励信号可取为频率 100Hz 的正弦信号或三角波信号。使用差分放大器测量电流采样电阻两端的电压并进行放大。设差分放大器的增益为 G ，配合 200 欧姆的电流采样电阻，当二极管流过的电流为 1mA，差分放大器的输出电压为 $0.2G$ (V)。将示波器的通道 1 接二极管的电压，通过 2 接差分放大器的输出，示波器设置为 X-Y 模式，就可以显示元件的伏安特性。

观察并记录 1N4148、三种颜色的 LED，TC5V1 的伏安特性曲线，并从曲线上确定电流为 1mA 时的 1N4148 二极管的导通压降。

(3) 二极管的整流应用

二极管整流实验电路如图 8 所示。

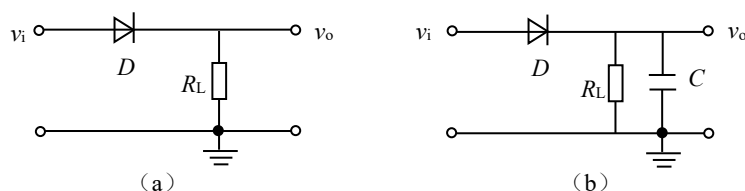


图 8 二极管整流实验电路

图 8 中 D 为 1N4148 型二极管， $R_L=5.1k\Omega$ ， C 为 $1\mu F$ 电容用来滤波。

- ① 按图 8 的 (a) 连接电路，调整函数信号发生器输出频率为 1kHz、峰峰值为 20V 的正弦波，将该正弦波加入到图 (a) 电路的输入端，分别用示波器的两个通道同时观测并记录电路的输入端及输出端的波形。
- ② 测量并记录输出信号的平均值 V_o ，与理论值比较，并进行误差分析。
- ③ 在图 8 的 (a) 的基础上加入电容 C ，即按图 (b) 连接电路，分别用示波器的两个通道同时观测并记录电路的输入端及输出端的波形，测量并记录此时输出信号的平均值 V_o 。

(4) 二极管并联稳压

二极管稳压实验电路如图 9 所示。

图 9 中的 D_Z 为 TC5V1 型稳压二极管，其标称稳压值 V_Z 为 5.1V，最小稳定电流 $I_{Zmin}=2mA$ ，额定功率 $P_Z=500mW$ ， R 为限流电阻， R_L 为负载电阻。

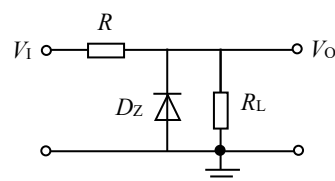


图 9 二极管稳压实验电路

- ① 测量直流工作点 Q

设定： V_i 为 10V， $R_L=5.1k\Omega$ ，限流电阻 R 为 $1k\Omega$ 。测量直流工作点 Q ，即：测量此时 D_Z 两端的电压 (V_{DQ})，测量相关电压，计算得到流过 D_Z 的电流 (I_{DQ})，确认稳压二极管处于正常工作区。

② 测量该稳压电路的电压调整率 S

设定： $R_L=5.1k\Omega$ ，限流电阻 R 为 $1k\Omega$ 。分别测量并记录 V_I 为 10V 和 15V 时的输出电压 V_O 的值，通过计算得到该稳压电路的电压调整率 S 。

③ 测量该稳压电路的负载特性

设定： V_I 为 10V，限流电阻 R 为 $1k\Omega$ ，在 $500\Omega\sim\infty$ 范围内改变负载 R_L ，通过描点法画出该稳压电路的负载特性曲线，粗略确定负载在什么范围内变化时，该稳压电路可以正常工作。

4. 注意事项

- (1) 注意所使用的二极管管脚和极性。
- (2) 实验中要将直流电源、信号源、示波器等电子仪器和实验电路共地。
- (3) 电流的测量一般采用间接测量法进行，即测量该电流流经电阻上的直流电压，计算得到电流值。

5. 预习要求

- (1) 了解半导体二极管相关知识，包括：二极管的结构、伏安特性、主要参数、等效电阻、模型、二极管电路的分析方法等。
- (2) 自行拟定实验方案，绘制电路图，拟定各项测试的操作步骤，设计实验数据记录表格。

6. 实验报告附加要求

分析半波整流后实测的输出电压平均值与理论值之间的差异大小及其产生的原因。

说明各单元实验可能的实际应用。

7. 思考题

(1) 如果希望用万用表测量获得二极管正向伏安特性曲线，请你用学过的电路知识设计一个测试电路并简要说明测试方法？

(2) 在照明领域，由于单个 LED 管芯的功率受限，往往使用多个 LED 同时点亮，图 10 所示的照明灯就由 $12\times 7=84$ 个小 LED 组成。这种白色的 LED 实际上是用蓝色 LED 管芯激发黄色的荧光粉，通过蓝色和黄色的互补产生白光。为保证整体能正常且可靠的工作，请根据 LED 的伏安特性等角度分析这些小 LED 应当串联、并联还是以其他形式相连接，绘制电路图，给出工作电压等条件。

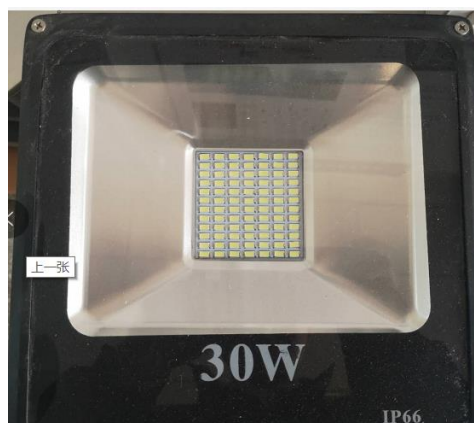


图 10 某 30 瓦 LED 照明灯