

第六章 二极管与晶体管

6.1 半导体导电和导体导电的主要差别有哪几点？

答：半导体导电和导体导电的主要差别有三点，一是参与导电的载流子不同，半导体中有电子和空穴参与导电，而导体只有电子参与导电；二是导电能力不同，在相同温度下，导体的导电能力比半导体的导电能力强得多；三是导电能力随温度的变化不同，半导体的导电能力随温度升高而增强，而导体的导电能力随温度升高而降低，且在常温下变化很小。

6.2 杂质半导体中的多数载流子和少数载流子是如何产生的？杂质半导体中少数载流子的浓度与本征半导体中载流子的浓度相比，哪个大？为什么？

答：杂质半导体中的多数载流子主要是由杂质提供的，少数载流子是由本征激发产生的，由于掺杂后多数载流子与原本征激发的少数载流子的复合作用，杂质半导体中少数载流子的浓度要较本征半导体中载流子的浓度小一些。

6.3 什么是二极管的死区电压？它是如何产生的？硅管和锗管的死区电压的典型值是多少？

答：当加在二极管上的正向电压小于某一数值时，二极管电流非常小，只有当正向电压大于该数值后，电流随所加电压的增大而迅速增大，该电压称为二极管的死区电压，它是由二极管中 PN 的内电场引起的。硅管和锗管的死区电压的典型值分别是 0.7V 和 0.3V。

6.4 为什么二极管的反向饱和电流与外加电压基本无关，而当环境温度升高时又显著增大？

答：二极管的反向饱和电流是由半导体材料中少数载流子的浓度决定的，当反向电压超过零点几伏后，少数载流子全部参与了导电，此时增大反向电压，二极管电流基本不变；而当温度升高时，本征激发产生的少数载流子浓度会显著增大，二极管的反向饱和电流随之增大。

6.5 怎样用万用表判断二极管的阳极和阴极以及管子的好坏。

答：万用表在二极管档时，红表笔接内部电池的正极，黑表笔接电池负极（模拟万用表相反），测量时，若万用表有读数，而当表笔反接时万用表无读数，则说明二极管是好

的，万用表有读数时，与红表笔连接的一端是阳极；若万用表正接和反接时，均无读数或均有读数，则说明二极管已烧坏或已击穿。

6.6 设常温下某二极管的反向饱和电流 $I_S = 30 \times 10^{-12} \text{A}$ ，试计算正向电压为 0.2V 、 0.4V 、 0.6 和 0.8V 时的电流，并确定此二极管是硅管还是锗管。

解：由 $I = I_S(e^{U/U_T} - 1)$ ， $U_T = 26\text{mV}$ 得

$$U = 0.2\text{V} \text{ 时, } I = 30 \times 10^{-12} (e^{200/26} - 1) = 66 \times 10^{-9} \text{A} = 66 \text{nA}$$

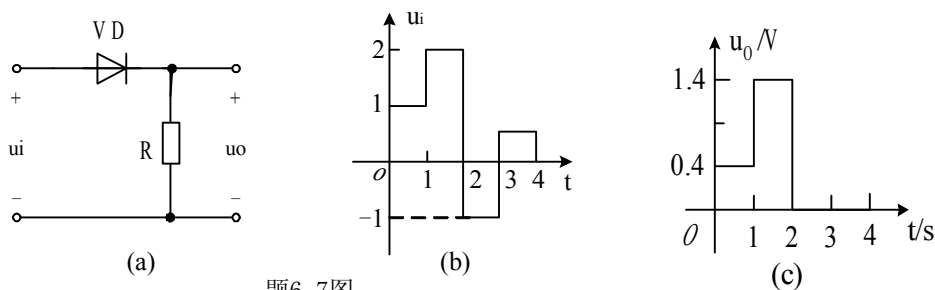
$$U = 0.4\text{V} \text{ 时, } I = 30 \times 10^{-12} (e^{400/26} - 1) = 144 \times 10^{-6} \text{A} = 0.144 \text{mA}$$

$$U = 0.6\text{V} \text{ 时, } I = 30 \times 10^{-12} (e^{600/26} - 1) = 31.6 \times 10^{-2} \text{A} = 316 \text{mA}$$

$$U = 0.8\text{V} \text{ 时, } I = 30 \times 10^{-12} (e^{800/26} - 1) = 6.9 \times 10^2 \text{A}$$

由此可见，此二极管是硅管。

6.7 在题 6.7 图(a)的示电路中，设二极管的正向压降为 0.6V ，输入电压 u_i 的波形如图 (b)所示，试画出输出电压 u_o 波形。

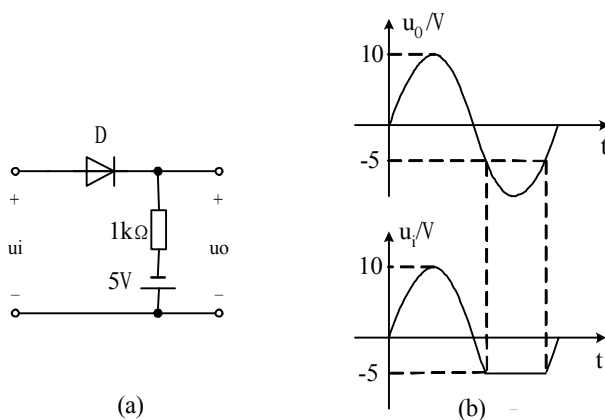


题6.7图

解： $u_i = 1\text{V}$ 和 2V 时，二极管导通， $u_o = u_i - 0.6\text{V}$ ， $u_i \leq 0.5\text{V}$ 时，二极管截止，R 中无电流，故 $u_o = 0$ ，输出电压 u_o 的波形如图 C 所示。

6.8 在题 6.8 图所示电路中，设二极管为理想二极管，输入电压 $u_i = 10 \sin \omega t \text{V}$ ，试画出输入电压 u_o 的波形。

解： $u_i > -5\text{V}$ ，二极管导通，由于二极管是理想的二极管，正向压降等于零，故此时 $u_o = u_i$ ； $u_i < -5\text{V}$ ，二极管截止，电阻中无电流， $u_o = -5\text{V}$ ， u_o 波形如图 b 所示。



题6.8图

6.9 在题 6.9 图所示电路中, 设各二极管均为理想二极管, 求下列三种情况下的输出电压 U_o 和通过各二极管的电流。(1) $V_A = V_B = 0$; (2) $V_A = 4V$, $V_B = 0$; (3) $V_A = V_B = 4V$ 。

解: (1) $V_A = V_B = 0$ 时, D_A 、 D_B 导通, $V_D = 0$, D_C 截止, $I_C = 0$, $U_0 = 0$ 。设 D_A 、 D_B 为相同的二极管, 则

$$I_A = I_B = \frac{1}{2} \times \frac{12}{R_1} = 1.5mA$$

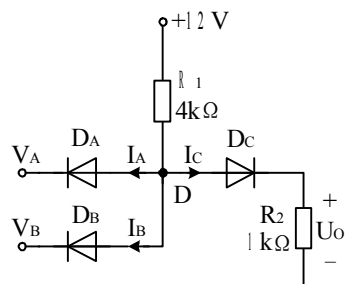
(2) $V_A = 4V$, $V_B = 0$, D_B 导通, $V_D = 0$, D_A 、 D_C 截止, $I_A = I_C = 0$, $U_0 = 0$

$$I_B = \frac{12}{4} = 3mA$$

(3) $V_A = V_B = 4V$, 设 D_A 、 D_B 均导通, 则 $V_D = 4V$, D_C 也导通, $I_C = \frac{V_D}{1} = 4mA$, 而 $I_{R1} = \frac{12 - V_D}{R_1} = \frac{12 - 4}{4} = 2mA$, $I_{R1} = I_A + I_B + I_C$ 不成立, 故 D_A 、 D_B 应截止, $I_A = I_B = 0$, D_C 导通, 此时

$$I_C = \frac{12}{4 + 1} = 2.4mA,$$

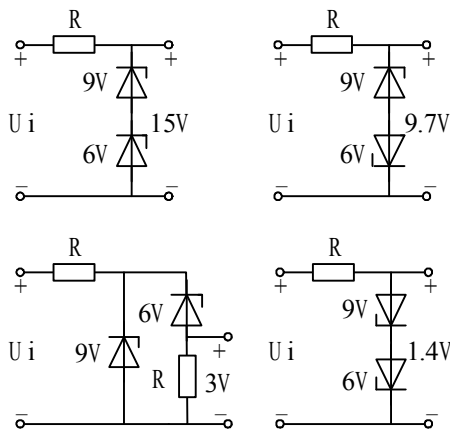
$$U_0 = 2.4 \times 1 = 2.4V$$



题6.9图

6.10 现有两个稳压管, $U_{Z1} = 6V$, $U_{Z2} = 9V$, 正向压降均为 $0.7V$, 如果要得到 $15V$, $9.7V$, $6.7V$, $3V$ 和 $1.4V$ 的稳定电压, 这两个稳压管和限流电阻应如何连接? 画出电路。

解: $15V$ 电压可由两只稳压管串联得到; $9.7V$ 可由 $9V$ 稳压管的稳压值与另一稳压管的正向压降得到; $3V$ 是两稳压管稳定电压的差值; $1.4V$ 是两只稳压管的正向压降, 电路如图所示。

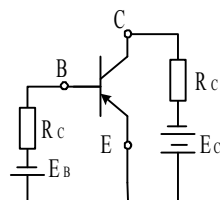


6.11 为什么三极管的基区掺杂浓度小而且做得很薄？

答：由于基区和发射区载流子是不同类型的，因此发射区的多数载流子在正向电压的作用下扩散到基区后，要与基区的多数载流子复合。为使较多的载流子到达集电区，发射区扩散到基区的载流子应尽快通过基区，因而基区要做得薄一些。另外，基区的多数载流子浓度要较小，即掺杂浓度要小。

6.12 要使 PNP 三极管具有电流放大作用， E_B 和 E_C 的正负极应如何连接，画出电路图并说明理由。

解：晶体管要有电流放大作用，发射结应正偏，集电结应反偏，对 PNP 型晶体管来说，基极接 E_B 的负极，发射极接 E_B 的正极，集电极接 E_C 的负极，电路如图所示。



6.13 在一放大电路中，测得某正常工作的三极管电流 $I_E=2\text{mA}$ ， $I_C=1.98\text{mA}$ ，若通过调节电阻，使 $I_B=40\mu\text{A}$ ，求此时的 I_C 。

解：晶体管正常工作时， $\frac{I_E}{1+\beta} = \frac{I_C}{\beta} = I_B$ 故

$$\frac{2}{1+\beta} = \frac{1.98}{\beta}, \quad \beta = 99$$

当 $I_B = 40\mu\text{A}$ 时

$$I_C = \beta I_B = 99 \times 40 \times 10^{-3} = 3.96\text{mA}$$

6.14 在一放大电路中，有三个正常工作的三极管，测得三个电极的电位 U_1 、 U_2 、 U_3 分别为

(1) $U_1=6\text{V}$ ， $U_2=3\text{V}$ ， $U_3=2.3\text{V}$

(2) $U_1=3\text{V}$ ， $U_2=10.3\text{V}$ ， $U_3=10\text{V}$

(3) $U_1=-6\text{V}$ ， $U_2=-2.3\text{V}$ ， $U_3=-2\text{V}$

试确定三极管的各电极，并说明三极管是硅管还是锗管？是 NPN 型还是 PNP 型。

解：晶体管正常工作时，发射结电压硅管为 0.7V 左右，锗管为 0.3V 左右，由此可先确定哪二个极是基极和发射极，剩下的一个极则是集电极。另外，由于集电结反偏，因此，对 PNP 型晶体管，集电极电位最低，对 NPN 型晶体管，集电极电位最高。

(1) $U_{23}=0.7\text{V}$ ，1 是集电极， U_1 最大，因此，晶体管是 NPN 型硅管，这样 2 是基极，

3 是发射极。

(2) $U_{23}=0.3\text{V}$, 1 是集电极, U_1 最小, 因此, 晶体管是 PNP 型锗管, 2 是发射极, 3 是基极。

(3) $U_{32}=0.3\text{V}$, 1 是集电极, U_1 最小, 因此, 晶体管 PNP 型锗管, 2 是基极, 3 是发射极。

6.15 已知某三极管的极限参数为 $P_{\text{CM}}=100\text{mW}$, $I_{\text{CM}}=20\text{mA}$, $U_{(\text{BR})\text{CEO}}=15\text{V}$ 。试问在下列几种情况下, 哪种是正常工作?

(1) $U_{\text{CE}}=3\text{V}$, $I_{\text{C}}=10\text{mA}$;

(2) $U_{\text{CE}}=2\text{V}$, $I_{\text{C}}=40\text{mA}$;

(3) $U_{\text{CE}}=10\text{V}$, $I_{\text{C}}=20\text{mA}$;

解: 晶体管的安全工作区是: $U_{\text{CE}} < U_{(\text{BR})\text{CEO}}$, $I_{\text{C}} < I_{\text{CM}}$, $P = U_{\text{CE}}I_{\text{C}} < P_{\text{CM}}$, 现在 $P_1=30\text{mW}$, $P_2=80\text{mW}$, $P_3=200\text{mW}$, 因此, 第一种情况下, 晶体管正常工作, 第二种情况下, $I_{\text{C}} > I_{\text{CM}}$, 第三种情况下, $P > P_{\text{CM}}$, 第二、第三种情况下晶体管均不能正常工作。

6.16 试画出 PNP 型三极管的微变等效电路, 标出各极电流的方向。

解: 对 PNP 型晶体管, 由题 6.12 电路图知, 基极电流从基极流出, 集电极电流从集电极流出, 故 PNP 型晶体管的微变等效电路如右图所示。

