

## 2

## 半导体二极管及其基本电路

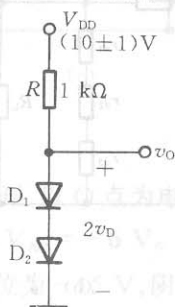
**2.1.1** 在室温(300 K)情况下,若二极管的反向饱和电流为 1 nA,问它的正向电流为 0.5 mA 时应加多大的电压? 设二极管的指数模型为  $i_D = I_S(e^{v_D/nV_T} - 1)$ , 其中  $n=1$ ,  $V_T=26$  mV。

解 将已知参数代入二极管指数模型  $i_D = I_S(e^{v_D/nV_T} - 1)$ , 得

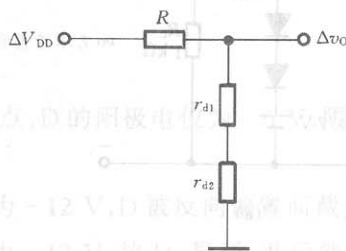
$$0.5 \times 10^{-3} \text{ A} = 1 \times 10^{-9} \text{ A}(e^{v_D/0.026 \text{ V}} - 1)$$

$$v_D \approx 0.34 \text{ V}$$

**2.4.1** 电路如图题 2.4.1 所示。(1) 利用硅二极管恒压降模型求电路的  $I_D$  和  $V_O$  的值;  
(2) 在室温(300 K)的情况下,利用二极管的小信号模型求  $v_O$  的变化范围。



图题 2.4.1



图解 2.4.1

解 (1) 求二极管的电流和电压

$$I_D = \frac{V_{DD} - 2v_D}{R} = \frac{(10 - 2 \times 0.7) \text{ V}}{1 \times 10^3 \Omega} = 8.6 \times 10^{-3} \text{ A} = 8.6 \text{ mA}$$

$$V_O = 2V_D = 2 \times 0.7 \text{ V} = 1.4 \text{ V}$$

(2) 求  $v_O$  的变化范围

图题 2.4.1 的小信号模型等效电路如图解 2.4.1 所示, 温度  $T=300$  K。

$$r_d = \frac{V_T}{I_D} = \frac{26 \text{ mV}}{8.6 \text{ mA}} \approx 3.02 \Omega$$

当  $r_{d1} = r_{d2} = r_d$  时, 则

$$\Delta v_O = \Delta V_{DD} \frac{2r_d}{R + 2r_d} = \pm 1 \text{ V} \times \frac{2 \times 3.02 \Omega}{(1000 + 2 \times 3.02) \Omega} = \pm 6 \text{ mV}$$

$v_O$  的变化范围为  $(V_O + \Delta v_O) \sim (V_O - \Delta v_O)$ , 即  $1.406 \text{ V} \sim 1.394 \text{ V}$ 。

**2.4.2** 电路如图题 2.4.2 所示, 在图题 2.4.1 的基础上, 增加一只二极管  $D_3$  以提高输出电

压。(1) 重复题 2.4.1 的(1)(2)两问;(2) 在输出端外接一负载  $R_L = 1\text{ k}\Omega$  时,问输出电压的变化范围如何?

解 (1) 求二极管的电流和电压

$$I_D = \frac{V_{DD} - 3V_D}{R} = \frac{(10 - 3 \times 0.7)\text{V}}{1 \times 10^3\ \Omega} = 7.9 \times 10^{-3}\text{ A} = 7.9\text{ mA}$$

$$V_O = 3V_D = 2.1\text{ V}$$

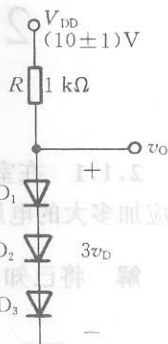
(2) 求  $v_O$  的变化范围

$$r_d = \frac{V_T}{I_D} = \frac{26\text{ mV}}{7.9\text{ mA}} \approx 3.29\ \Omega$$

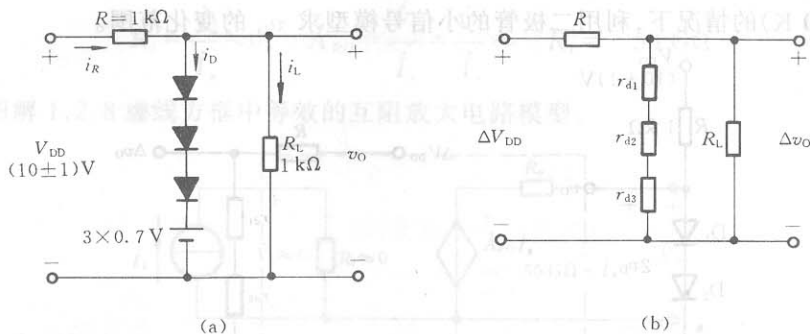
$$\Delta v_O = \Delta V_{DD} \frac{3r_d}{R + 3r_d} = \pm 1\text{ V} \times \frac{3 \times 3.29\ \Omega}{(1000 + 3 \times 3.29)\ \Omega} \approx \pm 9.78\text{ mV}$$

$v_O$  的变化范围为  $(V_O + \Delta v_O) \sim (V_O - \Delta v_O)$ , 即  $2.1098\text{ V} \sim 2.0902\text{ V}$ 。

(3) 求外接  $R_L$  后,  $v_O$  的变化范围



图题 2.4.2



图解 2.4.2

外接  $R_L$  后,图题 2.4.2 的恒压降等效电路及小信号模型等效电路分别如图解 2.4.2a 和图解 2.4.2b 所示。由图解 2.4.2a 求得

$$I_L = \frac{3 \times 0.7\text{ V}}{R_L} = 2.1\text{ mA}$$

$$I_D = I_R - I_L = \frac{(10 - 2.1)\text{V}}{R} - \frac{3 \times 0.7\text{ V}}{R_L} = 5.8\text{ mA}$$

$$V_O = 3 \times 0.7\text{ V} = 2.1\text{ V}$$

$$r_d = \frac{V_T}{I_D} = \frac{26\text{ mV}}{5.8\text{ mA}} \approx 4.48\ \Omega$$

由图解 2.4.2b 求得

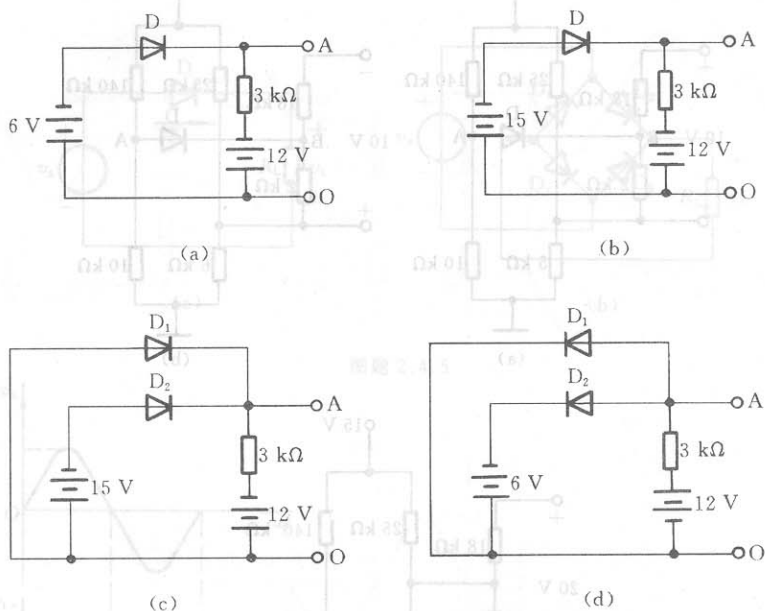
$$\Delta v_O = \Delta V_{DD} \frac{3r_d \parallel R_L}{R + 3r_d \parallel R_L} \approx \pm 13\text{ mV}$$

$v_O$  的变化范围为

$$(V_O + \Delta v_O) \sim (V_O - \Delta v_O), \text{ 即 } 2.113\text{ V} \sim 2.087\text{ V}。$$

**2.4.3** 二极管电路如图题 2.4.3 所示,试判断图中的二极管是导通还是截止,并求出 AO

两端电压  $V_{AO}$ 。设二极管是理想的。折线模型 ( $V_A = 0.6 \text{ V}$ ,  $r_D = 40 \Omega$ ) 进行分析。



图题 2.4.3

解 图 a: 将 D 断开, 以 O 点为电位参考点, D 的阳极电位为  $-6 \text{ V}$ , 阴极电位为  $-12 \text{ V}$ , 故 D 处于正向偏置而导通,  $V_{AO} = -6 \text{ V}$ 。

图 b: D 的阳极电位为  $-15 \text{ V}$ , 阴极电位为  $-12 \text{ V}$ , D 被反向偏置而截止,  $V_{AO} = -12 \text{ V}$ 。

图 c: 对  $D_1$  有阳极电位为  $0 \text{ V}$ , 阴极电位为  $-12 \text{ V}$ , 故  $D_1$  导通, 此后使  $D_2$  的阴极电位为  $0 \text{ V}$ , 而其阳极为  $-15 \text{ V}$ , 故  $D_2$  反偏截止,  $V_{AO} = 0 \text{ V}$ 。

图 d: 对  $D_1$  有阳极电位为  $12 \text{ V}$ , 阴极电位为  $0 \text{ V}$ , 对  $D_2$  有阳极电位为  $12 \text{ V}$ , 阴极电位为  $-6 \text{ V}$ , 故  $D_2$  更易导通, 此后使  $V_A = -6 \text{ V}$ ,  $D_1$  反偏而截止, 故  $V_{AO} = -6 \text{ V}$ 。

#### 2.4.4 试判断图题 2.4.4 中二极管是导通还是截止, 为什么?

解 图 a: 将 D 断开, 以“ $\perp$ ”(地)为电位参考点, 这时有

$$V_A = \frac{10 \text{ k}\Omega}{(140 + 10) \text{ k}\Omega} \times 15 \text{ V} = 1 \text{ V}$$

$$V_B = \frac{2 \text{ k}\Omega}{(18 + 2) \text{ k}\Omega} \times 10 \text{ V} + \frac{5 \text{ k}\Omega}{(25 + 5) \text{ k}\Omega} \times 15 \text{ V} = 3.5 \text{ V}$$

D 被反偏而截止。

图 b: 将 D 断开, 以“ $\perp$ ”为参考点, 有

$$V_A = \frac{10 \text{ k}\Omega}{440 + 101 \text{ k}\Omega} \times 15 \text{ V} = 1 \text{ V}$$

$$V_B = \frac{2 \text{ k}\Omega}{(18 + 2) \text{ k}\Omega} \times (-10 \text{ V}) + \frac{5 \text{ k}\Omega}{(25 + 5) \text{ k}\Omega} \times 15 \text{ V} = 1.5 \text{ V}$$

题。(1) 重复题 2.4.1 的(1)(2)两问;(2) 在输出端外接一负载电阻具有什么影响? 输出电压如何?

解 (1) 求二极管导通前

$$V_{B0} = 3V_D = 2.1V$$

$$V_{A0} = 3V_D = 2.1V$$

$$I_D = 7.9mA$$

$$V_{D0} = 26mV$$

$$I_D = 7.9mA$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

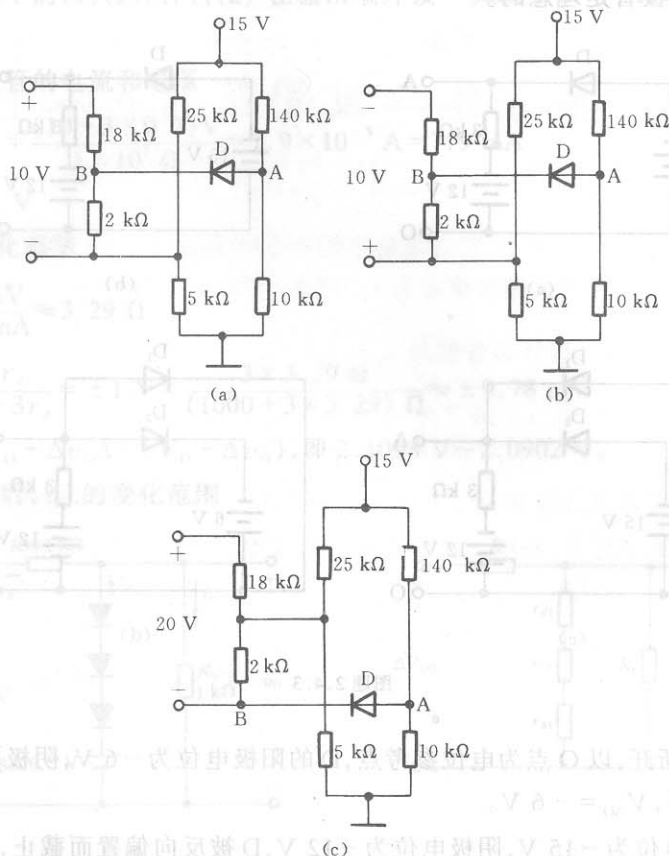
$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$

$$\Delta V_{D0} = \Delta V_{D0} = 3.29V$$



图题 2.4.4

D 被反偏而截止。

图 c: 将 D 断开, 以“—”为参考点, 有

$$V_A = \frac{10k\Omega}{(140+10)k\Omega} \times 15V = 1V$$

$$V_B = \frac{-2k\Omega}{(18+2)k\Omega} \times 20V + \frac{5k\Omega}{(25+5)k\Omega} \times 15V = 0.5V$$

D 被正偏而导通。

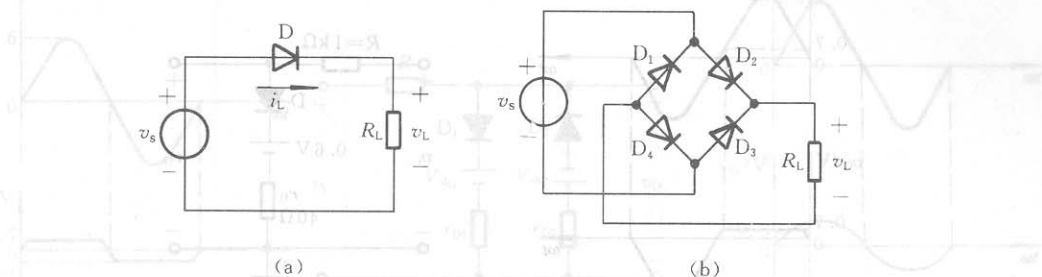
**2.4.5** 电路如图题 2.4.5 所示, 电源  $v_s$  为正弦波电压, 试绘出负载  $R_L$  两端的电压波形。设二极管是理想的。

**解** 图题 2.4.5a 中,  $v_s > 0$  时, D 导通,  $v_L = v_s$ ;  $v_s < 0$  时, D 截止,  $v_L = 0$ 。故  $v_L$  波形如图解 2.4.5 中  $v_{L1}$  所示。

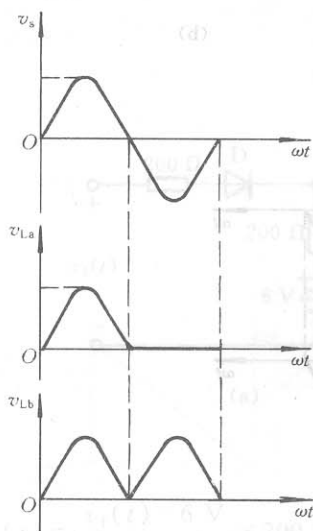
图题 2.4.5b 中  $v_s > 0$  时,  $D_2$ 、 $D_4$  导通,  $v_L = v_s$ ;  $v_s < 0$  时,  $D_1$ 、 $D_3$  导通,  $v_L = -v_s$ 。故  $v_L$  波形如图解 2.4.5 中  $v_{L2}$  所示。

**2.4.6** 电路如图题 2.4.6 所示, 设  $v_i = 6 \sin \omega t V$ , 试绘出输出电压  $v_o$  的波形。设 D 为硅

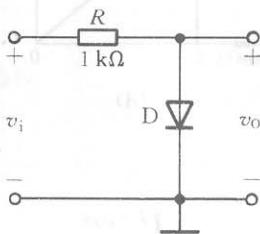
二极管,使用恒压降(0.7 V)模型和折线模型( $V_{th}=0.6\text{ V}$ ,  $r_D=40\ \Omega$ )进行分析。



图题 2.4.5



图题 2.4.5



图题 2.4.6

解 (1) 恒压降等效电路法

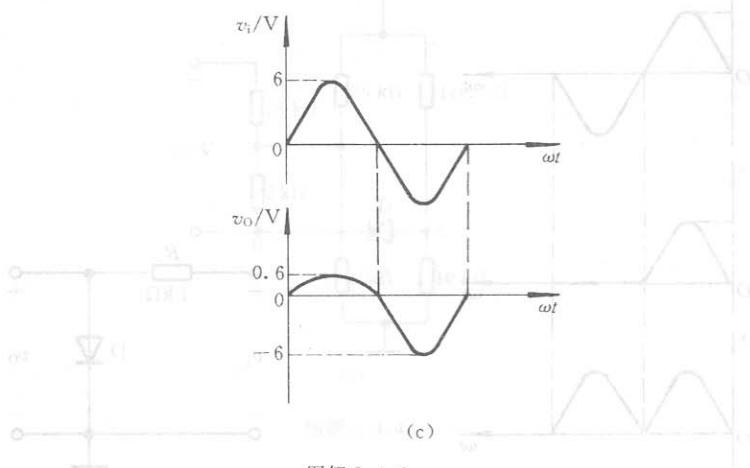
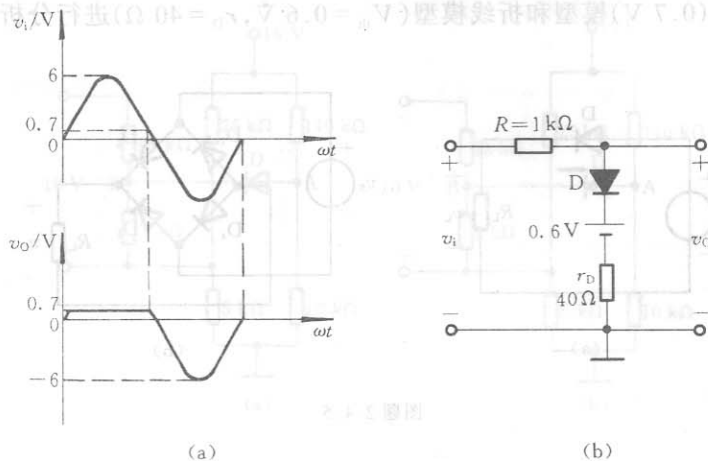
当  $0 < v_i < 0.7\text{ V}$  时,  $D$  截止,  $v_o = v_i$ ; 当  $v_i \geq 0.7\text{ V}$  时,  $D$  导通,  $v_o = v_D = 0.7\text{ V}$ ; 当  $v_i < 0$  时,  $D$  截止,  $v_o = v_i$ 。  $v_i$  与  $v_o$  的波形如图解 2.4.6a 所示。

(2) 折线等效电路如图解 2.4.6 b 所示, 当  $v_i < 0$  及  $0 < v_i < 0.6\text{ V}$  时,  $D$  截止,  $v_o = v_i$ ; 当  $v_i \geq 0.6\text{ V}$  时,  $D$  导通,  $v_o = \frac{v_i - V_{th}}{R + r_D} r_D + V_{th}$ ,  $V_{om} = \frac{(6 - 0.6)\text{ V}}{(1000 + 40)\ \Omega} \times 40\ \Omega + 0.6\text{ V} = 0.86\text{ V}$ 。  $v_i$  与  $v_o$  波形如图解 2.4.6c 所示。

**2.4.7** 电路如图题 2.4.7 所示,  $D_1$ 、 $D_2$  为硅二极管, 当  $v_i = 6 \sin \omega t\text{ V}$  时, 试用恒压降模型和折线模型( $V_{th}=0.5\text{ V}$ ,  $r_D=200\ \Omega$ )分析输出电压  $v_o$  的波形。

解 (1) 恒压降等效电路法

当  $0 < |v_i| < 0.7\text{ V}$  时,  $D_1$ 、 $D_2$  均截止,  $v_o = v_i$ ; 当  $v_i \geq 0.7\text{ V}$  时,  $D_1$  导通,  $D_2$  截止,  $v_o = 0.7\text{ V}$ ; 当  $v_i \leq -0.7\text{ V}$  时,  $D_2$  导通,  $D_1$  截止,  $v_o = -0.7\text{ V}$ 。  $v_i$  与  $v_o$  波形如图解 2.4.7a 所示。



图解 2.4.6

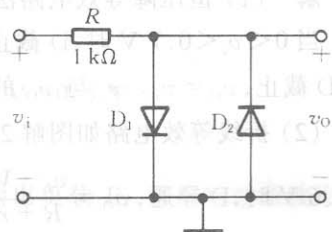
(2) 折线等效电路如图解 2.4.7 b 所示, 图中  $V_{th} = 0.5 \text{ V}$ ,  $r_D = 200 \Omega$ 。当  $0 < |v_i| < 0.5 \text{ V}$  时,  $D_1$ 、 $D_2$  均截止,  $v_o = v_i$ ;  $v_i \geq 0.5 \text{ V}$  时,  $D_1$  导通,  $D_2$  截止;  $v_i \leq -0.5 \text{ V}$  时,  $D_2$  导通,  $D_1$  截止。因此, 当  $v_i \geq 0.5 \text{ V}$  时有

$$v_o = \frac{v_i - V_{th}}{R + r_D} r_D + V_{th}$$

$$V_{om} = \frac{(6 - 0.5) \text{ V}}{(1000 + 200) \Omega} \times 200 \Omega + 0.5 \text{ V} \approx 1.42 \text{ V}$$

同理,  $v_i \leq -0.5 \text{ V}$  时, 可求出类似结果。

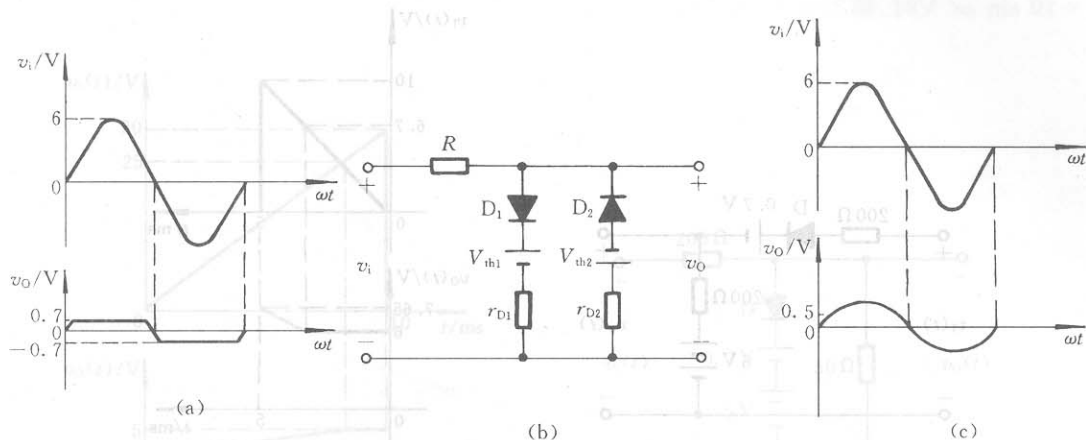
$v_i$  与  $v_o$  波形如图解 2.4.7c 所示。



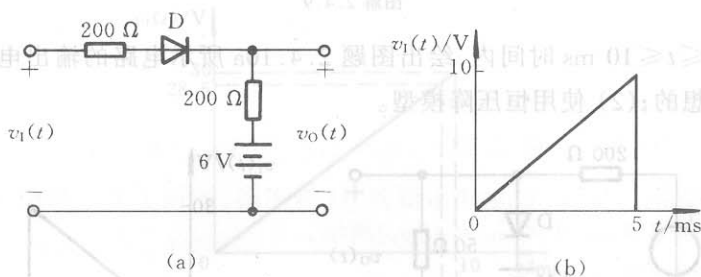
图题 2.4.7

**2.4.8** 二极管电路如图题 2.4.8a 所示, 设输入电压  $v_i(t)$  波形如图 b 所示, 在  $0 < t < 5 \text{ ms}$  的时间间隔内, 试绘出  $v_o(t)$  的波形, 设二极管是理想的。

**解**  $v_i(t) < 6 \text{ V}$  时,  $D$  截止,  $v_o(t) = 6 \text{ V}$ ;  $v_i(t) \geq 6 \text{ V}$  时,  $D$  导通



图解 2.4.7



图题 2.4.8

$$v_o(t) = \frac{v_1(t) - 6 \text{ V}}{(200 + 200) \Omega} \times 200 \Omega + 6 \text{ V}$$

$$= \frac{1}{2} v_1(t) + 3 \text{ V}$$

$v_1(t) = 10 \text{ V}$  时,  $v_o(t) = 8 \text{ V}$ 。  $v_o$  波形如图解 2.4.8 所示。

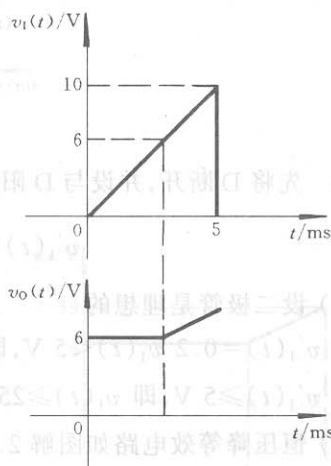
**2.4.9** 重复题 2.4.8, 使用恒压降模型。

**解** 图题 2.4.8 电路的恒压降等效电路如图解 2.4.9 a 所示。  $v_1(t) < 6.7 \text{ V}$  时, D 截止,  $v_o(t) = 6 \text{ V}$ ;  $v_1(t) \geq 6.7 \text{ V}$  时, D 导通。

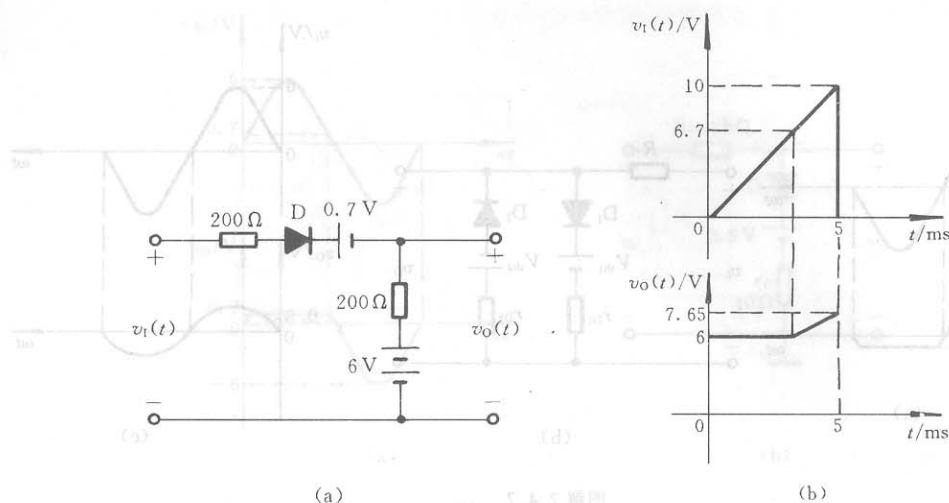
$$v_o(t) = \frac{v_1(t) - 6 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{200 \Omega + 200 \Omega} \times 200 \Omega + 6 \text{ V}$$

$$= \frac{1}{2} v_1(t) + 2.65 \text{ V}$$

$v_o(t) = 10 \text{ V}$  时,  $v_o(t) = 7.65 \text{ V}$ 。  $v_o$  波形如图解 2.4.9b 所示。

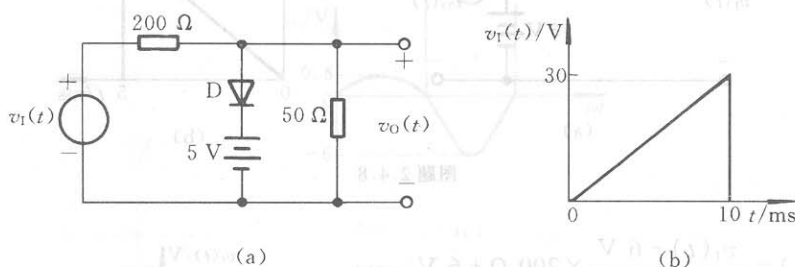


图解 2.4.8



图解 2.4.9

**2.4.10** 在  $0 \leq t \leq 10$  ms 时间内, 绘出图题 2.4.10a 所示电路的输出电压  $v_o(t)$  的波形。  
 (1) 设二极管是理想的; (2) 使用恒压降模型。



图题 2.4.10

**解** 先将 D 断开, 并设与 D 阳极相连的点的电位为  $v'_1(t)$ , 则有

$$v'_1(t) = \frac{50 \Omega}{(200 + 50) \Omega} v_1(t) = 0.2 v_1(t)$$

(1) 设二极管是理想的

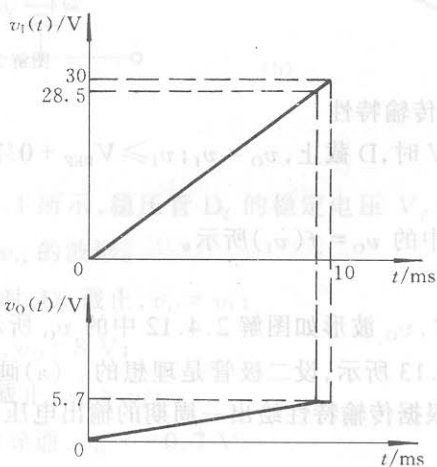
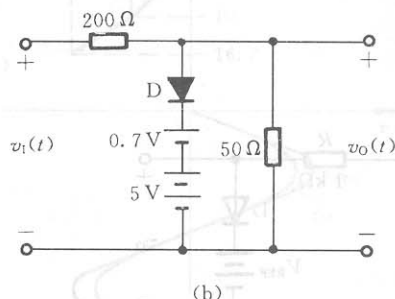
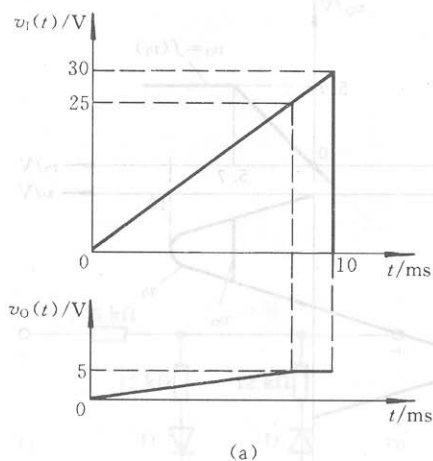
当  $v'_1(t) = 0.2 v_1(t) < 5$  V, 即  $v_1(t) < 25$  V 时, D 截止,  $v_o = 0.2 v_1(t)$ ;

当  $v'_1(t) \geq 5$  V, 即  $v_1(t) \geq 25$  V 时, D 导通,  $v_o = 5$  V,  $v_o$  波形如图解 2.4.10a 所示。

(2) 恒压降等效电路如图解 2.4.10b 所示。当  $v'_1(t) < 5.7$  V, 即  $v_1(t) < 28.5$  V 时, D 截止,  $v_o(t) = v'_1(t) = 0.2 v_1(t)$ ; 当  $v'_1(t) \geq 5.7$  V, 即  $v_1(t) \geq 28.5$  V 时, D 导通,  $v_o(t) = 5.7$  V。 $v_o(t)$  的波形如图解 2.4.10c 所示。

**2.4.11** 试描绘图题 2.4.8 所示电路的传输特性  $v_o = f(v_1)$ , 使用折线模型  $V_{th} = 0.6$  V,  $r_D = 25 \Omega$ 。





图解 2.4.10

解  $v_1 < 6.6 \text{ V}$  时,  $D$  截止,  $v_o = 6 \text{ V}$ ;

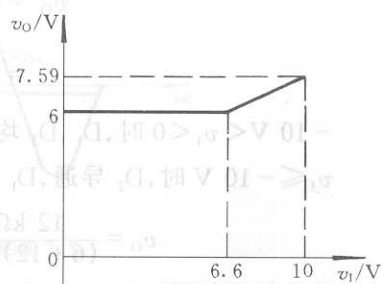
$v_1 \geq 6.6 \text{ V}$  时,  $D$  导通

$$v_o = \frac{v_1 - (6 + 0.6) \text{ V}}{(200 + 25 + 200) \Omega} \times 200 \Omega + 6 \text{ V} = 0.47 v_1 + 2.89 \text{ V}$$

$v_1 = 10 \text{ V}$  时,  $v_o = 7.59 \text{ V}$ 。

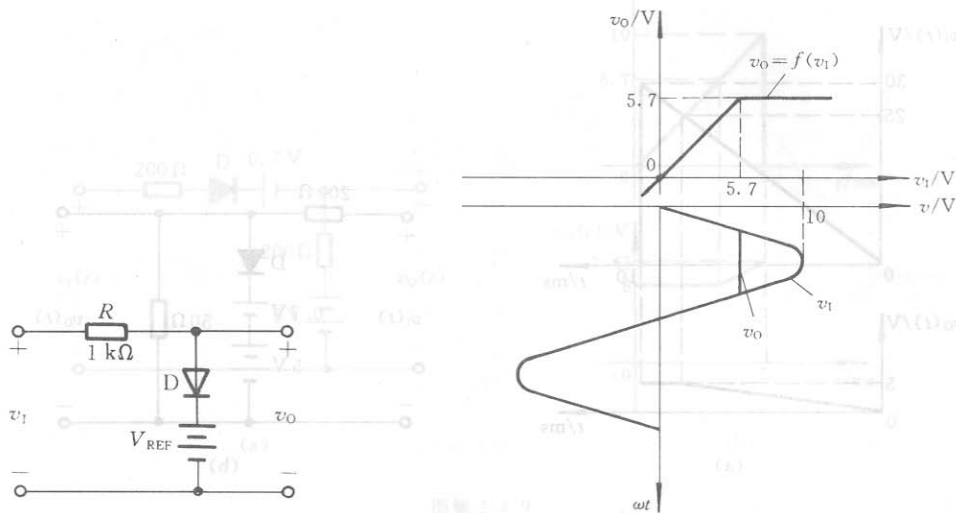
**2.4.12** 一限幅电平可人为地设置的电路如图题 2.4.12

所示,  $D$  为硅二极管,  $V_{\text{REF}} = 5 \text{ V}$ 。(1) 使用恒压降模型求电路的传输特性  $v_o = f(v_1)$ ;(2) 根据传输特性, 画出当  $v_1 =$



图解 2.4.11

$v_i = 10 \sin \omega t$  V 时, 输出电压  $v_o$  的波形。



图题 2.4.12

图解 2.4.12

解 (1) 用恒压降模型求传输特性

$v_i < V_{REF} + 0.7 \text{ V} = 5.7 \text{ V}$  时, D 截止,  $v_o = v_i$ ;  $v_i \geq V_{REF} + 0.7 \text{ V} = 5.7 \text{ V}$  时, D 导通,  $v_o = 5.7 \text{ V}$ 。

传输特性如图解 2.4.12 中的  $v_o = f(v_i)$  所示。

(2) 根据传输特性知,

当  $v_i = v_i = 10 \sin \omega t$  V 时,  $v_o$  波形如图解 2.4.12 中的  $v_o$  所示。

**2.4.13** 电路如图题 2.4.13 所示, 设二极管是理想的。(a) 画出它的传输特性; (b) 若输入电压  $v_i = v_i = 20 \sin \omega t$  V, 试根据传输特性绘出一周期的输出电压  $v_o$  的波形。

解 (a) 画传输特性

$0 < v_i < 12 \text{ V}$  时,  $D_1$ 、 $D_2$  均截止,  $v_o = v_i$ ;

$v_i \geq 12 \text{ V}$  时,  $D_1$  导通,  $D_2$  截止

$$v_o = \frac{12 \text{ k}\Omega}{(6+12) \text{ k}\Omega} v_i + \frac{6 \text{ k}\Omega}{(6+12) \text{ k}\Omega} \times 12 \text{ V} \\ = \frac{2}{3} v_i + 4 \text{ V}$$

$-10 \text{ V} < v_i < 0$  时,  $D_1$ 、 $D_2$  均截止,  $v_o = v_i$ ;

$v_i \leq -10 \text{ V}$  时,  $D_2$  导通,  $D_1$  截止

$$v_o = \frac{12 \text{ k}\Omega}{(6+12) \text{ k}\Omega} v_i + \frac{6 \text{ k}\Omega}{(6+12) \text{ k}\Omega} \times (-10) \text{ V} = \frac{2}{3} v_i - \frac{10}{3}$$

传输特性如图解 2.4.13 中 a 所示。

(b) 当  $v_i = v_i = 20 \sin \omega t$  V 时,  $v_o$  波形如图解 2.4.13b 所示。

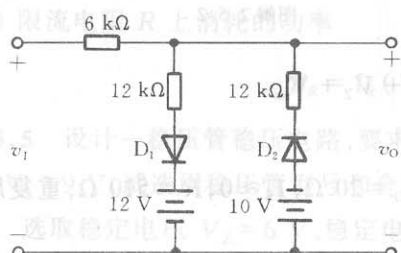
解 (1) 稳压管耗散功率  $P_Z = V_Z I_Z = V_Z \left( \frac{V_1 - V_Z}{R} \right)$  当  $R_L$  开路且  $V_1$  为最大值时,  $P_Z$  达最大值

当  $I_{Z1}$  最大, 即  $\frac{V_1 - V_Z}{R}$  最大时,  $P_Z$  最小

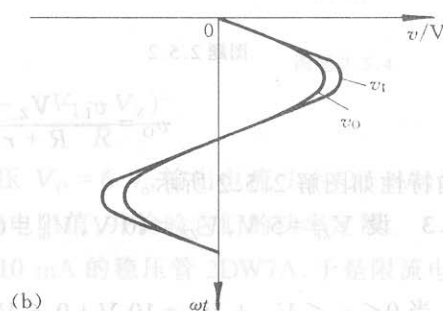
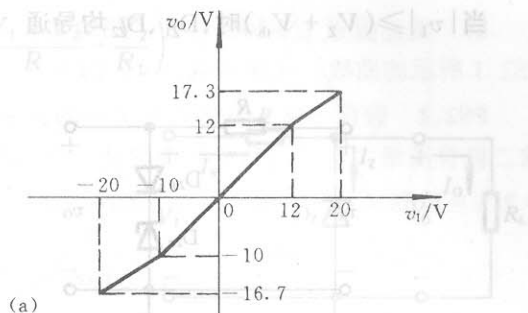
(2) 负载吸收的功率

$$P_L = I_{L1} V_Z = \frac{V_1 - V_Z}{R} V_Z$$

(3) 限流电阻  $R$  上消耗的功率



图题 2.4.13



图解 2.4.13

**2.5.1** 电路如图题 2.5.1 所示, 稳压管  $D_Z$  的稳定电压  $V_Z = 8 \text{ V}$ , 限流电阻  $R = 3 \text{ k}\Omega$ , 设  $v_1 = v_i = 15 \sin \omega t \text{ V}$ , 试画出  $v_o$  的波形。

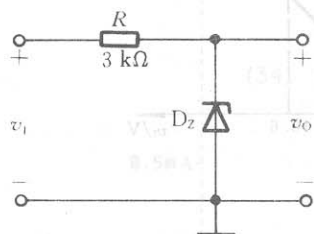
解  $0 < v_1 < V_Z (= 8 \text{ V})$  时,  $D_Z$  截止,  $v_o = v_1$ ;

$v_1 \geq V_Z$  时,  $D_Z$  反向击穿,  $v_o = 8 \text{ V}$ ;

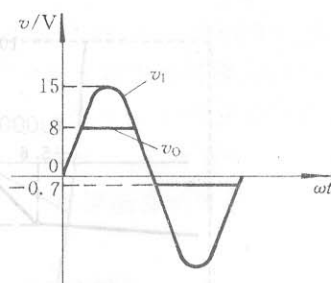
$-0.7 \text{ V} < v_1 < 0$  时,  $D_Z$  截止,  $v_o = v_1$ ;

$v_1 \leq -0.7 \text{ V}$  时,  $D_Z$  正向导通,  $v_o = -0.7 \text{ V}$ 。

$v_o$  的波形图如图解 2.5.1 所示。



图题 2.5.1

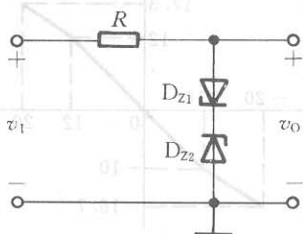


图解 2.5.1

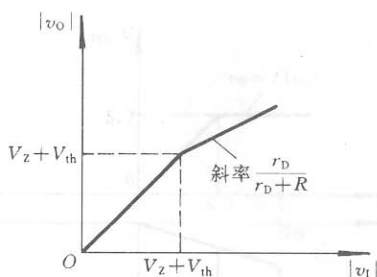
**2.5.2** 两只全同的稳压管组成的电路如图题 2.5.2 所示, 假设它们的参数  $V_Z$  和正向特性的  $V_{th}$ 、 $r_D$  为已知。试画出它的传输特性。

解 当  $|v_1| < (V_Z + V_{th})$  时,  $D_{Z1}$ 、 $D_{Z2}$  均截止,  $v_o = v_1$ ;

当  $|v_1| \geq (V_Z + V_{th})$  时,  $D_{Z1}$ 、 $D_{Z2}$  均导通



图题 2.5.2



图解 2.5.2

$$v_0 = \frac{v_1 - V_Z - V_{th}}{R + r_D} \cdot r_D + V_Z + V_{th}$$

传输特性如图解 2.5.2 所示。

**2.5.3** 设  $V_{Z1} = 5\text{ V}$ ,  $V_{Z2} = 10\text{ V}$ ,  $V_{th} = 0.6\text{ V}$ ,  $r_D = 20\ \Omega$ ,  $I_S \approx 0$ ,  $R = 510\ \Omega$ , 重复题 2.5.2 的要求。

**解** 当  $0 < v_1 < V_{Z2} + V_{th} = 10\text{ V} + 0.6\text{ V}$  时,  $D_{Z1}$ 、 $D_{Z2}$  均截止,  $v_0 = v_1$ ;

当  $v_1 \geq V_{Z2} + V_{th} = 10.6\text{ V}$  时,  $D_{Z1}$ 、 $D_{Z2}$  均导通

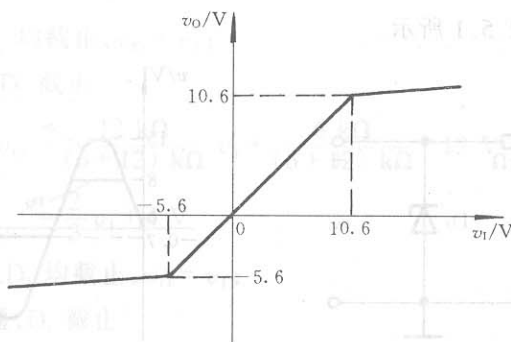
$$v_0 = \frac{v_1 - V_{Z2} - V_{th}}{R + r_D} \cdot r_D + V_{Z2} + V_{th} = 10.2\text{ V} + 0.038 v_1$$

当  $0 > v_1 > -(V_{Z1} + V_{th}) = -5.6\text{ V}$  时,  $D_{Z1}$ 、 $D_{Z2}$  均截止,  $v_0 = v_1$ ;

当  $v_1 \leq -(V_{Z1} + V_{th}) = -5.6\text{ V}$  时,  $D_{Z1}$ 、 $D_{Z2}$  均导通

$$v_0 = \frac{v_1 - V_{Z1} - V_{th}}{R + r_D} \cdot r_D - (V_{Z1} + V_{th}) = 0.038 v_1 - 5.81\text{ V}$$

传输特性如图解 2.5.3 所示。



图解 2.5.3

**2.5.4** 稳压电路如图题 2.5.4 所示。(1) 试近似计算稳压管的耗散功率  $P_Z$ , 并说明在何种情况下,  $P_Z$  达到最大值或最小值;(2) 计算负载所吸收的功率;(3) 限流电阻  $R$  所消耗的功率为多少?

解 (1) 稳压管耗散功率  $P_Z = V_Z I_Z = V_Z \left( \frac{V_1 - V_Z}{R} - \frac{V_Z}{R_L} \right)$

当  $R_L$  开路且  $V_1$  为最大值时,  $P_Z$  达最大值

$$P_{ZM} = \frac{V_1 - V_Z}{R} V_Z$$

当  $I_O$  最大, 即  $I_Z = I_{ZM}$  时,  $P_Z$  最小。

(2) 负载吸收的功率

$$P_L = I_O V_Z = \frac{V_Z^2}{R_L}$$

(3) 限流电阻  $R$  上消耗的功率

$$P_R = I_R (V_1 - V_Z) = \frac{(V_1 - V_Z)^2}{R}$$

**2.5.5 设计一稳压管稳压电路, 要求输出电压  $V_O = 6\text{ V}$ , 输出电流  $I_O = 20\text{ mA}$ , 若输入直流电压  $V_1 = 9\text{ V}$ , 试选用稳压管型号和合适的限流电阻值, 并检验它们的功率定额。**

解 选取稳定电压  $V_Z = 6\text{ V}$ 、稳定电流  $I_Z = 10\text{ mA}$  的稳压管 2DW7A, 于是限流电阻  $R$  上的电流  $I_R = I_Z + I_O = 30\text{ mA}$ , 限流电阻

$$R = \frac{V_1 - V_Z}{I_R} = \frac{(9 - 6)\text{ V}}{30 \times 10^{-3}\text{ A}} = 100\ \Omega$$

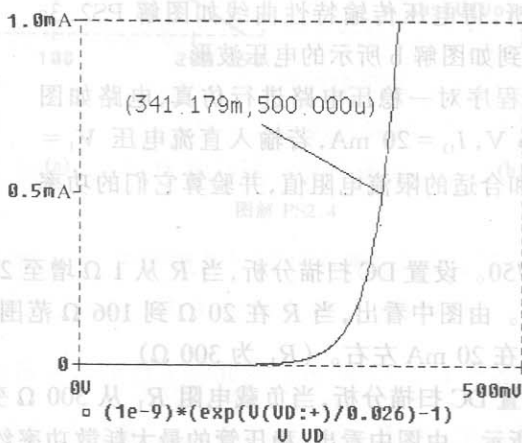
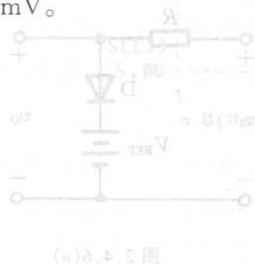
该电阻耗散的功率为

$$P_R = I_R V_R = 0.03\text{ A} \times (9 - 6)\text{ V} = 0.09\text{ W}$$

选取阻值为  $100\ \Omega$ 、功率为  $0.5\text{ W}$  的电阻作限流电阻。

### PSPICE 习题

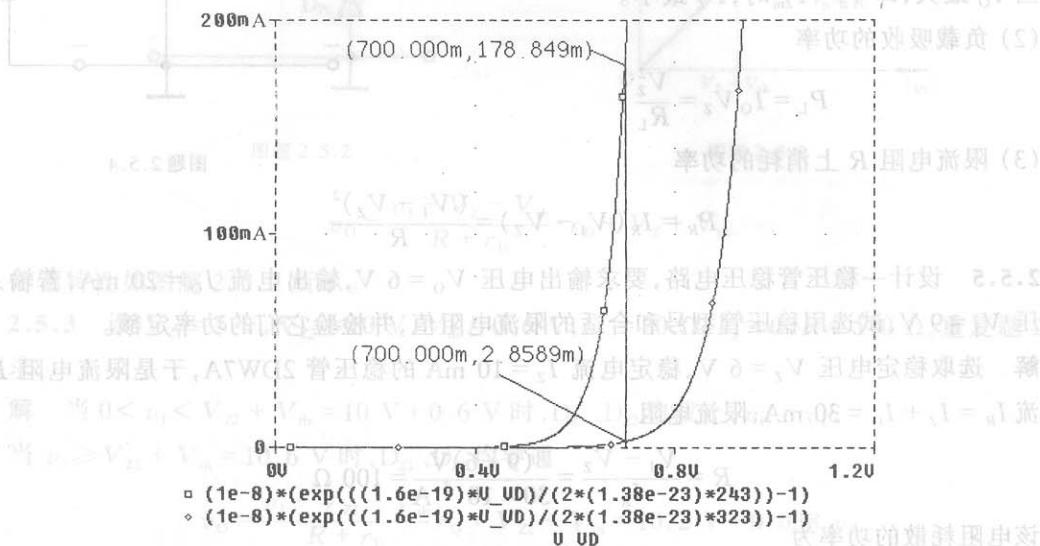
**PS2.1** 在室温(300 K)情况下, 若二极管的反向饱和电流为  $1\text{ nA}$ , 问它的正向电流为  $0.5\text{ mA}$  时应加多大的电压? 二极管采用指数模型  $i_D = I_S (e^{v_D/nV_T} - 1)$ , 其中  $I_S = 10^{-9}\text{ A}$ ,  $n = 1$ ,  $V_T = 26\text{ mV}$ 。



图解 PS2.1

**解** 选二极管 1N4148, 在它的两端加一电压, 并对其进行直流扫描, 由指数模型得到如图解 PS2.1 所示的曲线。从图中看出  $V_D$  约为 0.34 V。

**PS2.2** 假设一硅二极管在 0.7 V 的恒压降下运行, 当温度在  $-30^\circ\text{C}$  到  $50^\circ\text{C}$  之间变动时, 求二极管的最大电流与最小电流之比。使用指数模型  $i_D = I_S(e^{qV_D/nkT} - 1)$ , 其中  $I_S = 10^{-8} \text{ A}$ ,  $n = 2$ ,  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ,  $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。



图解 PS2.2

**解** 选二极管 1N4148, 在它的两端加一电压, 并对其进行直流扫描, 由指数模型得到如图解 PS2.2 所示的曲线。从图中看出最大电流与最小电流之比约为 62.56。

**PS2.3** 电路如图 2.4.6a 所示, 二极管选用 1N4148,  $R = 1 \text{ k}\Omega$ , 对于  $V_{\text{REF}} = 5 \text{ V}$ , 二极管反接, 其参数与例 PSE2.1 相同。试用 PSPICE 分析电路的电压传输特性  $v_o = f(v_i)$ ; 若输入电压  $v_i = v_i = 10 \sin \omega t (\text{V})$ , 求  $v_o$  的波形。

**解** 设置直流扫描分析, 得电压传输特性曲线如图解 PS2.3a 所示。再设置瞬态分析, 得到如图解 b 所示的电压波形。

**PS2.4** 试用 PSPICE 程序对一稳压电路进行仿真, 电路如图题 2.5.4 所示。要求  $V_o = 6 \text{ V}$ ,  $I_o = 20 \text{ mA}$ , 若输入直流电压  $V_i = 9 \text{ V}$ , 试选用稳压管的型号和合适的限流电阻值, 并验算它们的功率定额 ( $P_{\text{ZM}}$ ,  $P_R$ )。

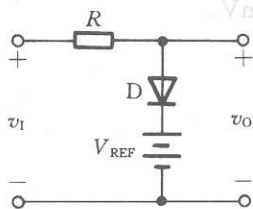
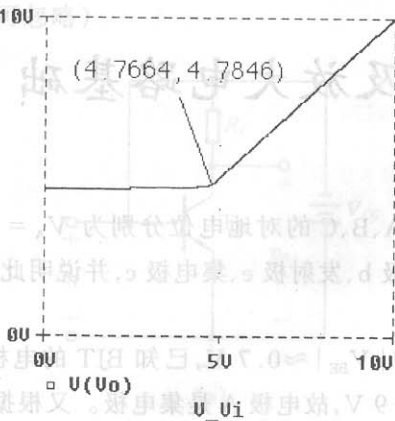


图 2.4.6(a)

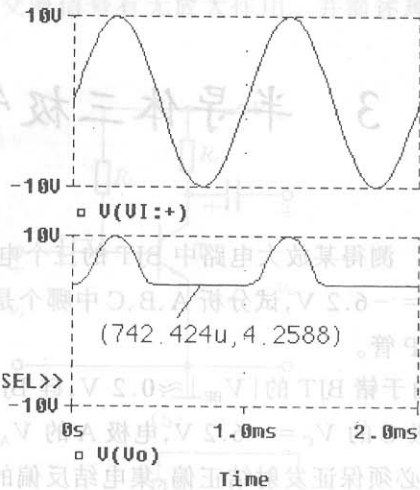
**解** (1) 选稳压管 IN750。设置 DC 扫描分析, 当  $R$  从  $1 \Omega$  增至  $250 \Omega$  时, 输出电压和电流的变化如图解 PS2.4a 所示。由图中看出, 当  $R$  在  $20 \Omega$  到  $106 \Omega$  范围内取值时, 输出电压基本上保持在  $6 \text{ V}$  左右, 其电流在  $20 \text{ mA}$  左右。 ( $R_L$  为  $300 \Omega$ )

(2) 选取  $R = 74 \Omega$ , 设置 DC 扫描分析, 当负载电阻  $R_L$  从  $300 \Omega$  变化到  $100 \text{ k}\Omega$  时, 稳压管耗散功率的变化如图解 b 所示。由图中看出, 稳压管的最大耗散功率约为  $241 \text{ mW}$ , 额定功耗约为  $123 \text{ mW}$ 。

3.2.1 试分析图题 3.2.1 所示各电路对正弦交流信号有无放大作用,并简述理由。(设各电容的容抗  $100\Omega$ )

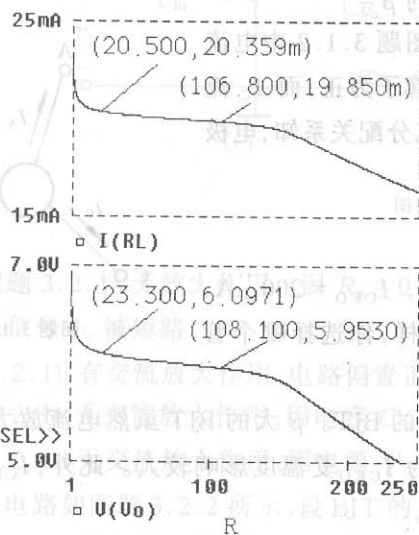


(a)

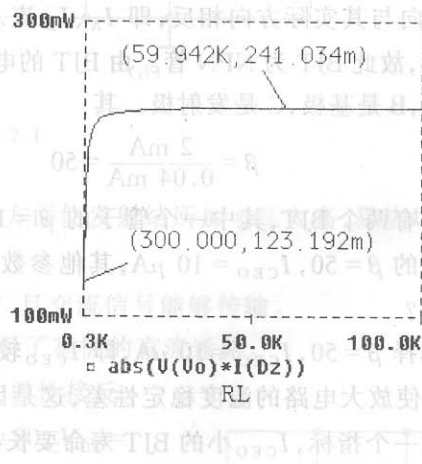


(b)

图解 PS2.3



(a)



(b)

图解 PS2.4