

第三部分

习题与解答

习 题 1

客观检测题

一、填空题

1. 在杂质半导体中,多数载流子的浓度主要取决于掺入的 杂质浓度,而少数载流子的浓度则与 温度 有很大关系。
2. 当 PN 结外加正向电压时,扩散电流 大于 漂移电流,耗尽层 变窄。当外加反向电压时,扩散电流 小于 漂移电流,耗尽层 变宽。
3. 在 N 型半导体中,电子为多数载流子, 空穴 为少数载流子。

二、判断题

1. 由于 P 型半导体中含有大量空穴载流子,N 型半导体中含有大量电子载流子,所以 P 型半导体带正电,N 型半导体带负电。 (×)
2. 在 N 型半导体中,掺入高浓度三价元素杂质,可以改为 P 型半导体。 (√)
3. 扩散电流是由半导体的杂质浓度引起的,即杂质浓度大,扩散电流大;杂质浓度小,扩散电流小。 (×)
4. 本征激发过程中,当激发与复合处于动态平衡时,两种作用相互抵消,激发与复合停止。 (×)
5. PN 结在无光照无外加电压时,结电流为 0。 (√)
6. 温度升高时,PN 结的反向饱和电流将减小。 (×)
7. PN 结加正向电压时,空间电荷区将变宽。 (×)

三、简答题

1. PN 结的伏安特性有何特点?

答: 根据统计物理理论分析,PN 结的伏安特性可用式 $i_D = I_s \cdot (e^{\frac{v}{V_T}} - 1)$ 表示。式中, i_D 为流过 PN 结的电流; I_s 为 PN 结的反向饱和电流,是一个与环境温度和材料等有关的参数,单位与 i_D 的单位一致; v 为外加电压; $V_T = kT/q$, 为温度的电压当量(其单位与 v 的单位一致),其中玻尔兹曼常数 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, 电子电量 $q = 1.602\,177\,31 \times 10^{-19} \text{ C}$ (库伦), 则 $V_T = \frac{T}{11\,594.2} (\text{V})$, 在常温 ($T = 300 \text{ K}$) 下, $V_T = 25.875 \text{ mV} \approx 26 \text{ mV}$ 。当外加正向电压,即 v 为正值,且 v 比 V_T 大几倍时, $e^{\frac{v}{V_T}} \gg 1$, 于是 $i_D = I_s \cdot e^{\frac{v}{V_T}}$, 这时正向电流将随着正向电压的增加按指数规律增大,PN 结为正向导通状态。外加反向电压,即 v 为负值,且 $|v|$ 比

V_T 大几倍时, $eV_T \ll 1$, 于是 $i_D \approx -I_s$, 这时 PN 结只流过很小的反向饱和电流, 且数值上基本不随外加电压而变, PN 结呈反向截止状态。PN 结的伏安特性也可用特性曲线表示, 如图 1.3.1 所示。从伏安特性方程的分析和图 1.3.1 所示特性曲线(实线部分)可见, PN 结具有单向导电性和非线性的伏安特性。

2. 什么是 PN 结的反向击穿? PN 结的反向击穿有哪几种类型? 各有何特点?

答: PN 结的反向击穿特性是指, 当加在 PN 结上的反向偏压超过其设计的击穿电压后, PN 结发生击穿。

PN 结的击穿主要有两类: 齐纳击穿和雪崩击穿。齐纳击穿主要发生在两侧杂质浓度都较高的 PN 结, 一般反向击穿电压小于 $4E_g/q$ (E_g 为 PN 结量子阱禁带能量, 用电子伏特衡量, E_g/q 指 PN 结量子阱外加电压值, 单位为伏特) 的 PN 结的击穿模式就是齐纳击穿, 击穿机理就是强电场把共价键中的电子拉出来参与导电, 使少子浓度增加, 反向电流上升。

雪崩击穿主要发生在 PN 结一侧或两侧的杂质浓度较低 PN 结, 一般反向击穿电压高于 $6E_g/q$ 的 PN 结的击穿模式为雪崩击穿。击穿机理就是强电场使载流子的运动速度加快, 动能增大, 撞击中性原子时把外层电子撞击出来, 继而产生连锁反应, 导致少数载流子浓度升高, 反向电流剧增。

3. PN 结电容是怎样形成的? 和普通电容相比有什么区别?

答: PN 结电容由势垒电容 C_b 和扩散电容 C_d 组成。

势垒电容 C_b 是由空间电荷区引起的。空间电荷区内有不能移动的正负离子, 各具有一定的电量。当外加反向电压变大时, 空间电荷区变宽, 存储的电荷量增加; 当外加反向电压变小时, 空间电荷区变窄, 存储的电荷量减小, 这样就形成了电容效应。势垒电容的大小随外加电压的改变而变化, 是一种非线性电容, 而普通电容为线性电容。在实际应用中, 常用微变电容作为参数, 变容二极管就是势垒电容随外加电压变化比较显著的二极管。

扩散电容 C_d 是载流子在扩散过程中的积累而引起的。PN 结加正向电压时, N 区的电子向 P 区扩散, 在 P 区形成一定的电子浓度 (n_p) 分布, PN 结边缘处浓度大, 离结远的地方浓度小, 电子浓度按指数规律变化。当正向电压增加时, 载流子积累增加了 ΔQ ; 反之, 则减小, 如图 1.3.2 所示。同理, 在 N 区内空穴浓度随外加电压变化而变化的关系与 P 区电子浓度的变化相同。因此, 外加电压增加 ΔV 时所出现的正负电荷积累变化 ΔQ , 可用扩散电容 C_d 来模拟。 C_d 也是一种非线性的分布电容。

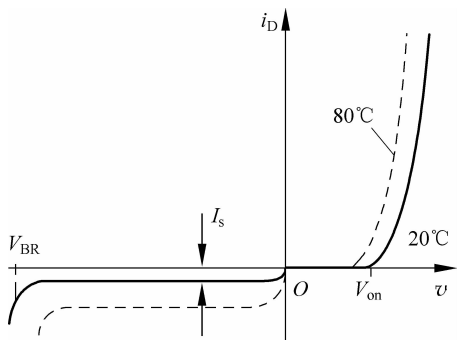


图 1.3.1 PN 伏安特性

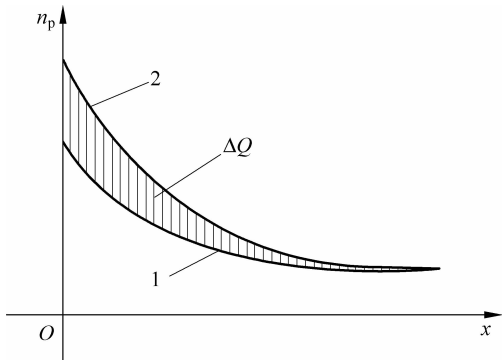


图 1.3.2 p 区中电子浓度的分布曲线及电荷的积累

综上所述,势垒电容和扩散电容是同时存在的。PN 结正偏时,扩散电容远大于势垒电容;PN 结反偏时,扩散电容远小于势垒电容。势垒电容和扩散电容的大小都与 PN 结面积成正比。与普通电容相比,PN 结电容是非线性的分布电容,而普通电容为线性电容。

习 题 2

客观检测题

一、填空题

1. 当半导体二极管正偏时,势垒区 变窄,扩散电流 大于 漂移电流。
2. 在常温下,硅二极管的门限电压约 0.6V,导通后在较大电流下的正向压降约 0.7V;锗二极管的门限电压约 0.1V,导通后在较大电流下的正向压降约 0.2V。
3. 在常温下,发光二极管的正向导通电压为 1.5~2.5V, 高于 硅二极管的门限电压;考虑发光二极管的发光亮度和寿命,其工作电流一般控制在 5~15mA。
4. 利用硅 PN 结在某种掺杂条件下反向击穿特性陡直的特点而制成的二极管,称为 稳压二极管。请写出这种管子的四种主要参数,分别是 最大整流电流、反向击穿电压、反向电流 和 极间电容。

二、选择题

1. 二极管加正向电压时,其正向电流由(a)。

(a) 多数载流子扩散形成	(b) 多数载流子漂移形成
(c) 少数载流子漂移形成	(d) 少数载流子扩散形成
2. PN 结反向偏置电压的数值增大,但小于击穿电压,(c)。

(a) 其反向电流增大	(b) 其反向电流减小
(c) 其反向电流基本不变	(d) 其正向电流增大
3. 稳压二极管是利用 PN 结的(d)。

(a) 单向导电性	(b) 反偏截止特性
(c) 电容特性	(d) 反向击穿特性
4. 二极管的反向饱和电流在 20°C 时是 $5\mu\text{A}$,温度每升高 10°C ,其反向饱和电流增大一倍,当温度为 40°C 时,反向饱和电流值为(c)。

(a) $10\mu\text{A}$	(b) $15\mu\text{A}$	(c) $20\mu\text{A}$	(d) $40\mu\text{A}$
---------------------	---------------------	---------------------	---------------------
5. 变容二极管在电路中使用时,其 PN 结是(b)。

(a) 正向运用	(b) 反向运用
----------	----------

三、问答题

1. 温度对二极管的正向特性影响小,对其反向特性影响大,这是为什么?

答:正向偏置时,正向电流是多子扩散电流,温度对多子浓度几乎没有影响,因此温度对二极管的正向特性影响小;但反向偏置时,反向电流是少子漂移电流,温度升高少数载流子数量将明显增加,反向电流急剧随之增加,因此温度对二极管的反向特性影响大。

2. 能否将 1.5V 的干电池以正向接法直接接到二极管两端? 为什么?

答:若二极管的反向饱和电流 $I_s = 0.02\text{nA}$ 根据二极管电流的方程式

$$i_D = I_S (e^{qv/kT} - 1)$$

将 $v=1.5\text{V}$ 代入方程式可得

$$i_D = 20 \times 10^{-12} (e^{1500/26} - 1) \approx 20 \times 10^{-12} \times e^{1500/26}$$

故

$$i_D = 2.18 \times 10^{14} \text{ A}$$

虽然二极管的内部体电阻、引线电阻及电池内阻都能起限流作用,但过大的电流定会烧坏二极管或电池发热失效,不能将 1.5V 干电池以正向接法直接接到二极管两端,因此应另外添加限流电阻。

3. 有 A、B 两个二极管。它们的反向饱和电流分别为 5mA 和 $0.2\mu\text{A}$,在外加相同的正向电压时的电流分别为 20mA 和 8mA ,你认为哪一个管的性能较好?

答: B 管的性能好,因为 B 管的单向导电性好;当反向偏置时,反向饱和电流很小,二极管相当于断路,其反向偏置电阻无穷大。

4. 利用硅二极管较陡峭的正向特性,能否实现稳压?若能,则二极管应如何偏置?

答: 能实现稳压,二极管应该正向偏置,硅二极管的正向导通电压为 0.7V ,因此硅二极管的正向偏置时,其稳压值为 0.7V 。

5. 什么是齐纳击穿? 击穿后是否意味着 PN 结损坏?

答: 齐纳击穿主要发生在两侧杂质浓度都较高的 PN 结,其空间电荷区较窄,击穿电压较低(如 5V 以下),一般反向击穿电压小于 $4E_g/q$ (E_g 为 PN 结量子阱禁带能量,用电子伏特衡量, E_g/q 指 PN 结量子阱外加电压值,单位为伏特)的 PN 的击穿模式就是齐纳击穿,击穿机理就是强电场把共价键中的电子拉出来参与导电,使少子浓度增加,反向电流上升。

发生齐纳击穿需要的电场强度很大,只有在杂质浓度特别大的 PN 结才能达到。击穿后并不意味着 PN 结损坏,当加在稳压管上的反向电压降低以后,管子仍然可以恢复原来的状态。但是反向电流和反向电压的乘积超过 PN 结容许的耗散功率时,就可能由电击穿变为热击穿,而造成永久性的破坏。电击穿时 PN 结未必损坏,但热击穿时 PN 结将永久损坏。

主观检测题

2.1.1 试用电流方程式计算室温下正向电压为 0.26V 和反向电压为 1V 时的二极管电流(设 $I_S=10\mu\text{A}$)。

解: 由公式

$$i_D = I_S (e^{qv_D/kT} - 1) = I_S (e^{v_D/V_T} - 1)$$

由于

$$I_S = 10\mu\text{A}, \quad V_T = 0.026\text{V}$$

当正向偏置 $v_D=0.26\text{V}$ 时

$$i_D = I_S (e^{v_D/V_T} - 1) = 10(e^{0.26/0.026} - 1) = 10(e^{10} - 1) = 220\,264\mu\text{A} = 0.22\text{A}$$

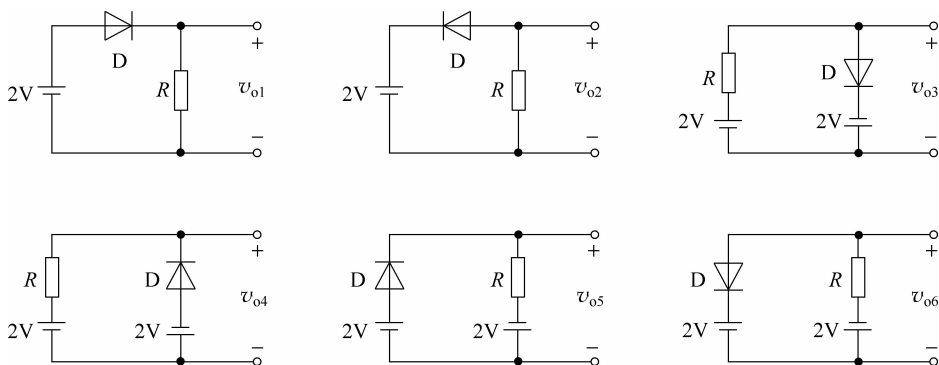
当反向偏置 $v_D=-1\text{V}$ 时

$$i_D \approx -I_S = -10\mu\text{A}$$

2.1.2 写出题图 2.1.2 所示各电路的输出电压值,设二极管均为理想二极管。

解: $v_{o1} \approx 2\text{V}$ (二极管正向导通), $v_{o2} = 0$ (二极管反向截止), $v_{o3} \approx -2\text{V}$ (二极管正向导通), $v_{o4} \approx 2\text{V}$ (二极管反向截止), $v_{o5} \approx 2\text{V}$ (二极管正向导通), $v_{o6} \approx -2\text{V}$ (二极管反向截止)。

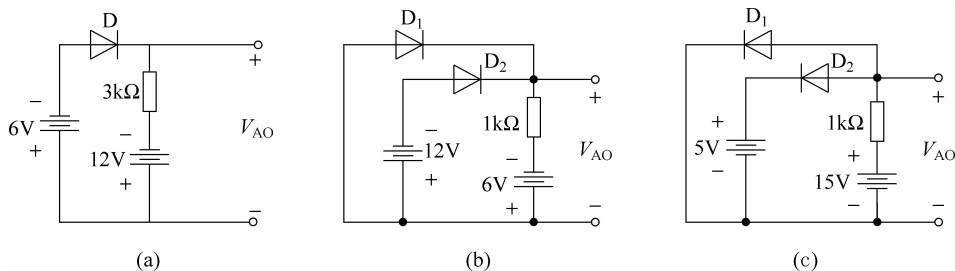
2.1.3 重复题 2.1.2,设二极管均为恒压降模型,且导通电压 $V_D=0.7\text{V}$ 。



题图 2.1.2

解: $v_{o1} \approx 1.3\text{V}$ (二极管正向导通), $v_{o2} = 0$ (二极管反向截止), $v_{o3} \approx -1.3\text{V}$ (二极管正向导通), $v_{o4} \approx 2\text{V}$ (二极管反向截止), $v_{o5} \approx 1.3\text{V}$ (二极管正向导通), $v_{o6} \approx -2\text{V}$ (二极管反向截止)。

2.1.4 设题图 2.1.4 中的二极管均为理想的 (正向可视为短路, 反向可视为开路), 试判断其中的二极管是导通还是截止, 并求出 A、Q 两端电压 V_{AO} 。



题图 2.1.4

解: 在题图 2.1.4 所示的电路图中, 图 (a) 所示的电路中二极管 D 导通, $V_{AO} = -6\text{V}$; 图 (b) 所示电路, 二极管 D_1 导通, D_2 截止, $V_{AO} = -0\text{V}$; 图 (c) 所示电路, 二极管 D_1 导通, D_2 截止, $V_{AO} = -0\text{V}$ 。

2.1.5 在用模拟万用表的 $R \times 10\Omega$, $R \times 100\Omega$ 和 $R \times 1k\Omega$ 三个欧姆档测量某二极管的正向电阻时, 共测得三个数据: $4k\Omega$ 、 85Ω 和 680Ω , 试判断它们各是哪一档测出的。

解: 模拟万用表测量二极管时, 对应的测量电路和伏安特性如图 2.1.5 所示, 实际上是将流过电表的电流换算为电阻值, 用指针的偏转表示在表盘上。当流过的电流大时, 指示的电阻小。测量时, 流过电表的电流由万用表的内阻和二极管的等效直流电阻值和联合决定。

通常万用表欧姆挡的电池电压为 $E_i = 1.5\text{V}$, $R \times 10\Omega$ 挡时, 表头指针的满量程为 $100\mu\text{A}$ (测量电阻为 0, 流经电阻 R_i 的电流为 10mA), 万用表的内阻为 $R_{i10} = 150\Omega$; $R \times 100\Omega$ 挡时, 万用表的内阻为 $R_{i100} = 10R_{i10} = 1500\Omega$ (测量电阻为 0, 表头满量程时, 流经 R_i 的电流为 1mA); $R \times 1k\Omega$ 挡时 (测量电阻为 0, 表头满量程时, 流经 R_i 的电流为 0.1mA), 万用表的内阻为 $R_{i100} = 100R_{i10} = 15k\Omega$ 。

由图 2.1.5 可得管子两端的电压 v 和电流 i 之间有如下关系:

$$R \times 10\Omega \text{ 挡时, 内阻 } R_{i10} = 150\Omega, V_1 = 1.5 - I_1 R_{i10} = 1.5 - 150I_1;$$

$R \times 100\Omega$ 挡时, 内阻 $R_{i100} = 1500\Omega$, $V_2 = 1.5 - I_2 R_{i100} = 1.5 - 1500 I_2$;

$R \times 1k\Omega$ 挡时, 内阻 $R_{i100} = 15k\Omega$, $V_3 = 1.5 - I_3 R_{i1k} = 1.5 - 15000 I_3$

从伏安特性图上可以看出, 用 $R \times 10\Omega$ 挡测量时, 万用表的直流负载线方程与二极管的特性曲线的交点为 A, 万用表的读数为 V_1/I_1 。

用 $R \times 100\Omega$ 挡测量时, 万用表的直流负载线方程与二极管的特性曲线的交点为 B, 万用表的读数为 V_2/I_2 。

用 $R \times 1k\Omega$ 挡测量时, 万用表的直流负载线方程与二极管的特性曲线的交点为 C, 万用表的读数为 V_3/I_3 。

由图 2.1.5 可以得出
$$\frac{V_1}{I_1} < \frac{V_2}{I_2} < \frac{V_3}{I_3}$$

所以, 85Ω 是由万用表 $R \times 10\Omega$ 挡测出的; 680Ω 是由万用表 $R \times 100\Omega$ 挡测出的; $4k\Omega$ 是由万用表 $R \times 1k\Omega$ 挡测出的。

当使用数字万用表测量二极管时, 对应的测量电路和伏安特性如图 2.1.5(b) 所示, 原理与模拟万用表相同; 但红表笔为电池正极, 黑表笔为电池负极。当被测二极管为 FR307 时, 使用 200Ω 档测电阻超量程; 使用 $2k\Omega$ 档测的正向电阻为 $0.57k\Omega$; 使用 $20k\Omega$ 档测的正向电阻为 $3.5k\Omega$; 使用 $200k\Omega$ 档测的正向电阻为 $12.1k\Omega$ 。

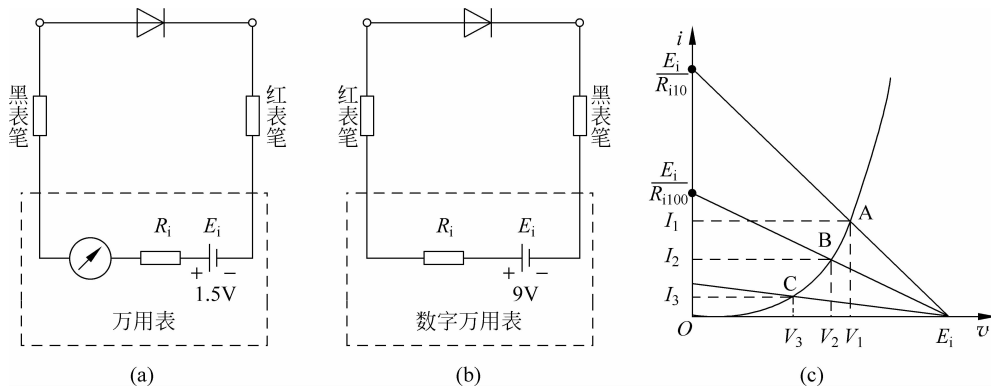


图 2.1.5

2.1.6 电路如题图 2.1.6 所示, 已知 $v_i = 6\sin\omega t(V)$, 试画出 v_i 与 v_o 的波形, 并标出幅值。分别使用二极管理想模型和恒压降模型($V_D = 0.7V$)。

解: 由题意可知, $v_i = 6\sin\omega t(V)$ 在 v_i 的正半周, 二极管导通, 电路的输出电压波形如图 2.1.6(a) 和 (b) 所示。

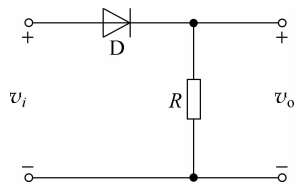
2.1.7 电路如题图 2.1.7 所示, 已知 $v_i = 6\sin\omega t(V)$, 二极管导通电压 $V_D = 0.7V$ 。试画出 v_i 与 v_o 的波形, 并标出幅值。

解: $v_i = 6\sin\omega t(V)$ 波形如图 2.1.7 所示。

当 $v_i > 3.7V$ 时, 二极管 D_1 导通, $v_o = 3.7V$ 。

当 $v_i < -3.7V$ 时, 二极管 D_2 导通, $v_o = -3.7V$ 。

当 $-3.7V \leq v_i \leq 3.7V$ 时, 二极管 D_1 、 D_2 截止, $v_o = v_i$ 。



题图 2.1.6

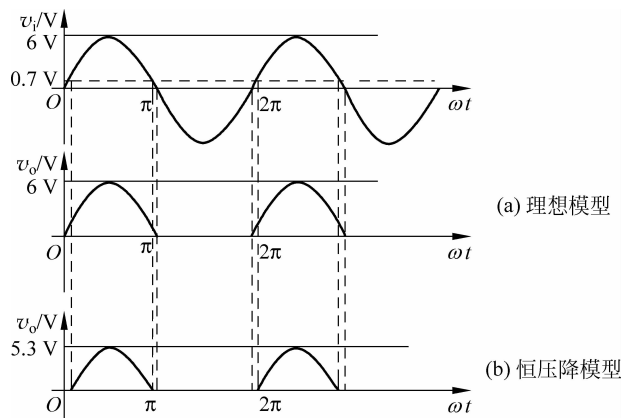
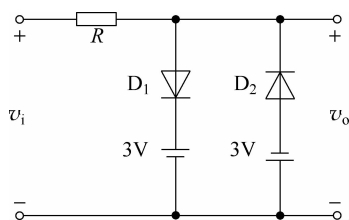


图 2.1.6



题图 2.1.7

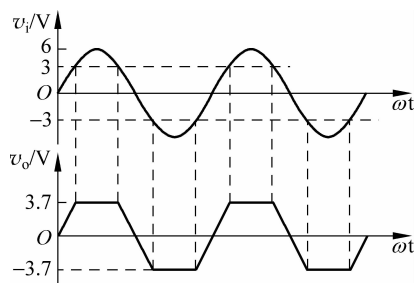


图 2.1.7

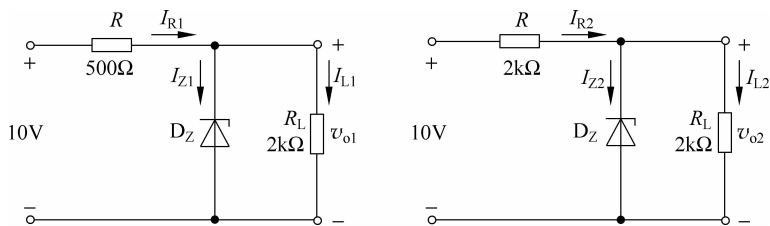
2.2.1 现有两只稳压管, 它们的稳定电压分别为 5V 和 8V, 正向导通电压为 0.7V。试问:

- (1) 若将它们串联相接, 则可得到几种稳压值? 各为多少?
- (2) 若将它们并联相接, 则又可得到几种稳压值? 各为多少?

解: (1) 两只稳压管串联时可得 1.4V、5.7V、8.7V 和 13V 四种稳压值。

(2) 两只稳压管并联时可得 0.7V、5V 两种稳压值。

2.2.2 已知稳压管的稳压值 $V_Z = 6V$, 稳定电流的最小值 $I_{Zmin} = 5mA$ 。求题图 2.2.2 所示电路中 V_{o1} 和 V_{o2} 各为多少伏。



题图 2.2.2

解: (1) 当 $v_i = 10V$ 时, 若稳压管击穿 $v_{o1} = V_Z = 6V$, 则稳压管的电流为

$$I_{Z1} = \frac{v_i - V_Z}{R_1} = \frac{10 - 6}{500} = 0.008A = 8mA$$

$$I_{Z1} = I_{R1} - I_{L1} = 8\text{mA} - \frac{6}{2}\text{mA} = 5\text{mA} = I_{Z\min}$$

等于其最小稳定电流,稳压管击穿,故 $v_{o1}=6\text{V}$ 。

(2) 当 $v_i=10\text{V}$ 时,若稳压管击穿 $v_{O2}=V_Z=6\text{V}$,则稳压管的电流为

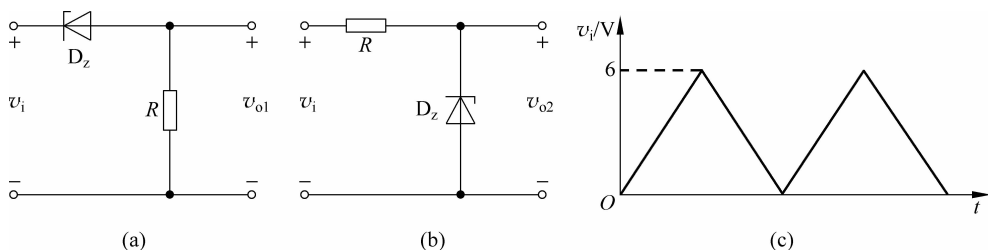
$$I_{R2} = \frac{v_i - V_Z}{R_2} = \frac{10 - 6}{2000} = 0.002\text{A} = 2\text{mA} < I_{Z\min} = 5\text{mA}$$

$I_{Z2}=I_{R2}-I_{L2}=2-3<0$ 出现矛盾,故假设不成立。

所以稳压管未击穿,故

$$v_{o2} = \frac{R_L}{R_2 + R_L} \cdot v_i = \frac{2000}{2000 + 2000} \cdot v_i = 5\text{V}$$

2.2.3 电路如题图 2.2.3(a)、(b)所示,稳压管的稳定电压 $V_Z=3\text{V}$, R 的取值合适, v_i 的波形如图 2.2.3(c)所示。试分别画出 v_{o1} 和 v_{o2} 的波形。



题图 2.2.3

解: 波形如图 2.2.3 所示。在题图 2.2.3 所示的电路中,对于图(a)所示的电路,当 $v_i > 3\text{V}$ 时,稳压管 D_Z 反向击穿, $v_o = v_i - 3\text{V}$, 当 $v_i < 3\text{V}$ 时,稳压管 D_Z 未击穿, $v_o = 0\text{V}$; 对于图(b)所示的电路,当 $v_i > 3\text{V}$ 时,稳压管 D_Z 反向击穿, $v_o = V_Z$, 当 $v_i < 3\text{V}$ 时,稳压管 D_Z 未击穿, $v_o = v_i$ 。

2.2.4 已知题图 2.2.4 所示电路中稳压管的稳定电压 $V_Z=6\text{V}$, 最小稳定电流 $I_{Z\min}=5\text{mA}$, 最大稳定电流 $I_{Z\max}=25\text{mA}$ 。

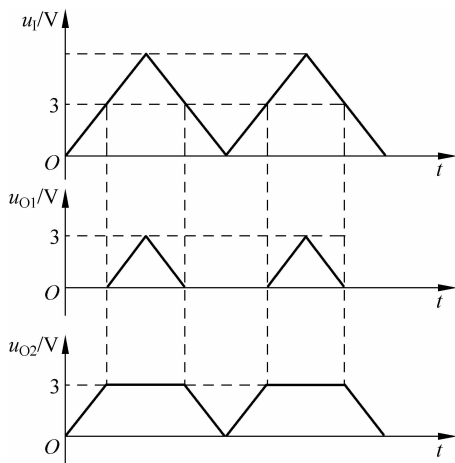
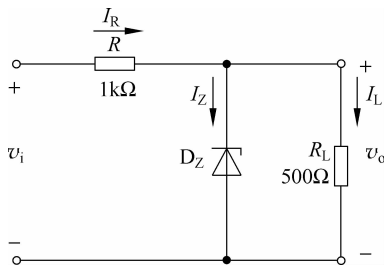


图 2.2.3



题图 2.2.4

(1) 分别计算 v_i 在 10V、15V、35V 三种情况下输出电压 v_o 的值；

(2) 若 $v_i = 35\text{V}$ 时负载开路, 则会出现什么现象? 为什么?

解: (1) 当 $v_i = 10\text{V}$ 时, 假设稳压管击穿 $v_o = V_Z = 6\text{V}$, 则 I_R 的电流为 4mA , 小于稳压管最小稳定电流, 所以稳压管未击穿。故

$$v_o = \frac{R_L}{R + R_L} \cdot v_i \approx 3.33\text{V}$$

当 $v_i = 15\text{V}$ 时, 假设稳压管击穿, $v_o = V_Z = 6\text{V}$,

则

$$I_R = \frac{v_i - V_Z}{R} = 9(\text{mA})$$

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} = 12(\text{mA})$$

$$I_Z = I_R - I_L < 0 \quad \text{矛盾}$$

因此假设不成立, 稳压管未击穿,

$$v_o = \frac{R_L}{R_L + R} v_i = 5\text{V}$$

同理, 当 $v_i = 35\text{V}$ 时, 假设稳压管击穿, $v_o = V_Z = 6\text{V}$,

则

$$I_R = \frac{v_i - V_Z}{R} = 29(\text{mA})$$

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} = 12(\text{mA})$$

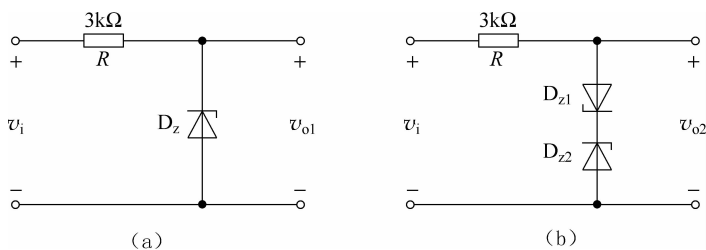
$$I_Z = I_R - I_L = 17\text{mA}$$

$$I_{Z\min} < I_Z < I_{Z\max}$$

因此假设成立, 稳压管击穿。 $v_o = V_Z = 6\text{V}$ 。

(2) $I_{DZ} = (v_i - V_Z)/R = 29\text{mA} > I_{ZM} = 25\text{mA}$, 稳压管将因功耗过大而损坏。

2.2.5 电路如题图 2.2.5 所示, 设所有稳压管均为硅管 (正向导通电压为 $V_D = 0.7\text{V}$), 且稳定电压 $V_Z = 8\text{V}$, 已知 $v_i = 15\sin\omega t (\text{V})$, 试画出 v_{o1} 和 v_{o2} 的波形。



题图 2.2.5

解: 题图 2.2.5 所示的电路图中, 对于图(a),

当 $v_i \geq V_Z = 8\text{V}$ 时, 稳压管 D_Z 反向击穿, $v_o = 8\text{V}$;

当 $v_i < -V_D = -0.7\text{V}$ 时, 稳压管 D_Z 正向导通, $v_o = -0.7\text{V}$;

当 $-0.7\text{V} = -V_D < v_i < +V_Z = 8\text{V}$ 时, 稳压管 D_{Z1} 和 D_{Z2} 未击穿, $v_o = v_i$ 。

对于题图 2.2.5(a), 输出电压的波形如图 2.2.5(a) 所示。

对于题图 2.2.5(b),

当 $v_i \geq V_Z + V_D = 8.7\text{V}$ 时,稳压管 D_{Z1} 正向导通、 D_{Z2} 反向击穿, $v_o = 8\text{V}$;

当 $v_i < -V_Z - V_D = -8.7\text{V}$ 时,稳压管 D_{Z1} 反向击穿、 D_{Z2} 正向导通, $v_o = -8\text{V}$;

当 $-8.7\text{V} = -V_Z - V_D < v_i < +V_Z + V_D = 8.7\text{V}$ 时,稳压管 D_{Z1} 和 D_{Z2} 未击穿, $v_o = v_i$ 。

对于题图 2.2.5(b),输出电压的波形如图 2.2.5(b) 所示。

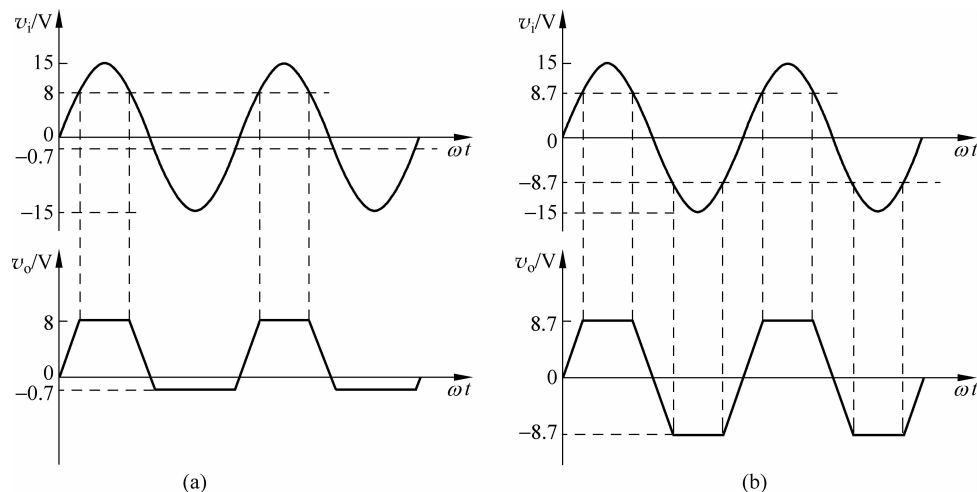


图 2.2.5

2.3.1 在题图 2.3.1 所示电路中,发光二极管导通电压 $V_D = 1.5\text{V}$,正向电流在 $5 \sim 15\text{mA}$ 时才能正常工作。试问:

(1) 开关 S 在什么位置时发光二极管才能发光?

(2) R 的取值范围是多少?

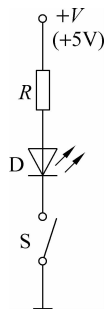
解: (1) 当开关 S 闭合时发光二极管才能发光。

(2) 为了让二极管正常发光, $I_D = 5 \sim 15\text{mA}$, R 的范围为

$$R_{\min} = (V - V_D) / I_{D\max} \approx 233\Omega$$

$$R_{\max} = (V - V_D) / I_{D\min} = 700\Omega$$

可以计算得到 $R = 233 \sim 700\Omega$ 。



题图 2.3.1

习 题 3

客观检测题

一、填空题

- 三极管处在放大区时,其 集电结 电压小于零, 发射结 电压大于零。
- 三极管的发射区 杂质 浓度很高,而基区很薄。
- 在半导体中,温度变化时 少 数载流子的数量变化较大,而 多 数载流子的数量变化较小。
- 三极管实现放大作用的内部条件是: 发射区杂质浓度远大于基区杂质浓度,同时基区厚度很小; 外部条件是: 发射结正向偏置、集电结反向偏置。