

## 第 2 章 PN 结二极管以及应用

### 课后习题解答

#### 题 2.1

在  $T=300K$  时, PN 结上

- (1) 所加的反向电压为多少时, 它的反向电流达到其饱和值的 90%;
- (2) 若正向电压和反向电压的值都是 0.05V, 则分别产生的正向电流和反向电流之比是多少?
- (3) 若反向饱和电流为  $10\mu A$ , 正向电压分别为 0.1V, 0.2V 和 0.3V 时的电流各位多少?

考察内容:

PN 结伏安特性。

解题思路:

(1) 根据 PN 结电流与外加端电压之间关系方程即可得到反向电压值

(2) 将正反向电压代入方程可得正反向电流比

(3) 将反向饱和电流和正向电压分别代入即可得所求电流值

解:

$$(1) \because I = I_s (e^{V/V_T} - 1) = -90\% I_s \quad \text{其中, } V_T = 26mV$$

$$\therefore V = V_T * \ln(0.1) = -59.87mV \approx -0.06V$$

$$(2) I_+/I_- = \left| (e^{50/26} - 1) / (e^{-50/26} - 1) \right| = 6.84$$

$$(3) \text{ 代入公式 } I = I_s (e^{V/V_T} - 1) \text{ 可得,}$$

$$V=0.1V \text{ 时, } I = 458\mu A = 4.58 \times 10^{-4} A;$$

$$V=0.2V \text{ 时, } I = 21.9mA = 2.19 \times 10^{-2} A;$$

$$V=0.3V \text{ 时, } I = 1.03A。$$

## 题 2.2

在图 P2.2 所示的锗二极管电路中， $E = 0.2V$ ， $v = 2 \times 10^{-4} \sin \omega t (V)$ ， $T = 300K$ ，

直流电流为  $1.4mA$  时，求：

- (1) 二极管的直流电阻；
- (2) 二极管的交流电阻；
- (3) 电路的交流电流值。

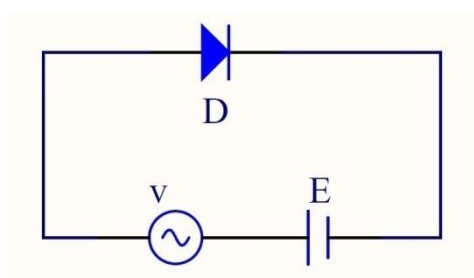


图 P2.2

考察内容：

二极管电阻的概念；

二极管交流小信号模型；

解题思路：

(1) 根据二极管直流电阻定义（二极管两端直流电压与流过二极管直流电流的比）即可求得

(2) 根据二极管交流电阻的近似表达式求得

(3) 直接用交流信号值就可求得

解：

$$(1) \quad R_d = \frac{E}{I_d} = \frac{0.2}{1.4 \times 10^{-3}} \approx 142.9 \Omega$$

$$(2) \quad r_d \approx \frac{V_T}{I_d} = \frac{26}{1.4} \approx 18.6 \Omega$$

$$(3) \quad i = v/r_d = 1.1 \times 10^{-5} \sin(\omega t) (A)$$

## 题 2.3

有两个反向串联于 5V 电源的锗二极管，如图 P2.3 所示，试求

- (1)  $T=300K$ ， $I_s=10\mu A$  时电路中的电流（此二极管的击穿电压大于 5V）；
- (2) 若二极管的击穿电压等于 4.9V，则电路中的电流又为多少？

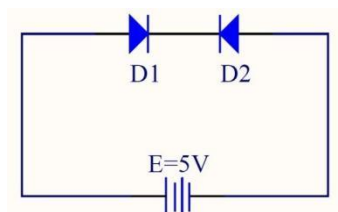


图 P2.3

考察内容：

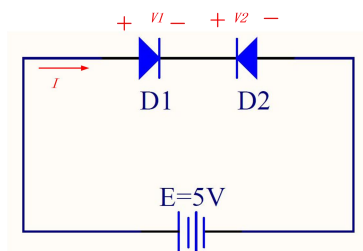
PN 结二极管的伏安特性；

PN 结击穿特性

解题思路：

假设电压电流的参考方向，判断两个管子的击穿特性，计算看与假设是否矛盾。

解：



- (1) 电路的电压、电流参考方向标示如上。

由于二极管的击穿电压大于 5V，则两个二极管均未被击穿，所以  $D_2$  为反

向截止，电路中电流  $I \approx I_s = 10\mu A$ 。

严格推导如下：

$$\begin{cases} V_1 + V_2 = E \\ I = I_s(e^{V_1/V_T} - 1) = -I_s(e^{-V_2/V_T} - 1) \end{cases}$$

整理可得： $(1 + e^{-E/V_T})e^{V_1/V_T} = 2$

由于， $E/V_T \gg 1$ ，故  $e^{V_1/V_T} \approx 2 \Rightarrow I = I_s(e^{V_1/V_T} - 1) \approx I_s = 10\mu A$

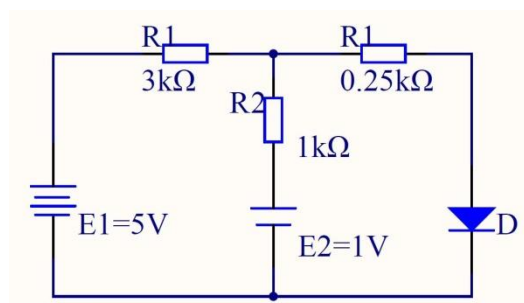
(2) 由于二极管的击穿电压为  $4.9V$ ，所以  $D_2$  被击穿，击穿后  $D_2$  两端的电压不

再变化，即  $V_2 = 4.9V \Rightarrow V_1 = 0.1V$ ，故

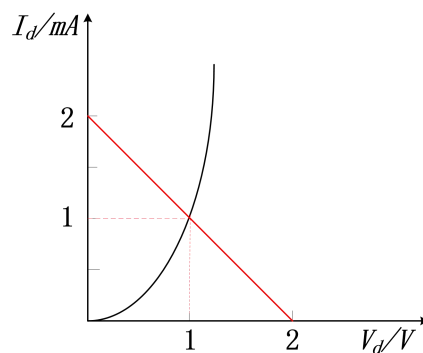
$$I = I_s(e^{V_1/V_T} - 1) = 10 \times (e^{100/26} - 1) = 458.1\mu A$$

## 题 2.4

求图 P2.4 电路中各支路电流。



(a)



(b)

图 P2.4

考察内容：

电路分析基本方法；

二极管电路的图解法；

解题思路：

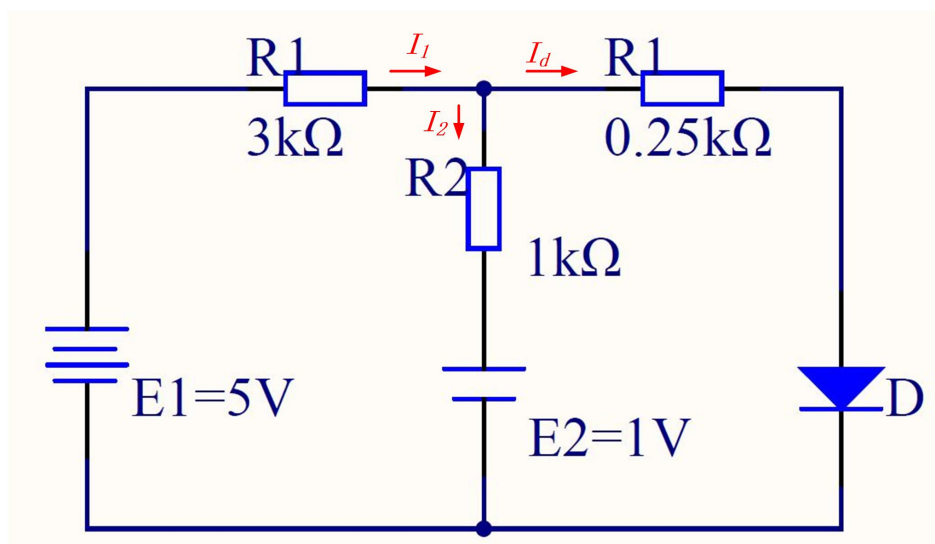
假设管子的工作状态，用不同模型等效，然后用电路分析基本方法即可求解

解：

(1) 判断 D 通断：去掉 D 后，其两端开路电压

$$V_d = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} R_2 + E_2 = 2V > V_r$$

故，二极管 D 处于导通状态。



(2) 电路中各支路的电流参考方向如上图所标示。(原题中两个 R1 的值不等，下面解答过程中将 D 所在支路的 R1 用 R3 代替)

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_d \\ E_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2 + E_2 \\ I_2 R_2 + E_2 = I_d R_3 + V_d \end{cases}$$

化简上述方程组可得， $V_d(V) = 2 - I_d(mA)$

(3) 通过作图法，在图 P2.4(b)中作出上式所得直线，与二极管特性曲线交点为：

$V_d = 1V, I_d = 1mA$ ，代入上面方程组可得， $I_1 = 1.25mA, I_2 = 0.25mA$ 。

## 题 2.5

二极管电路如图 P2.5(a)所示，二极管大信号折线模型参数： $V_r = 0.7V$ ， $r = 10\Omega$ 。

(1) 画电路的电压传输特性 ( $v_o \sim v_i$ )， $v_i$  的范围为  $-30V \leq v_i \leq 30V$ ；

(2) 若输入  $v_i$  为 (b) 图所示三角波，画对应的输出  $v_o$  的波形。

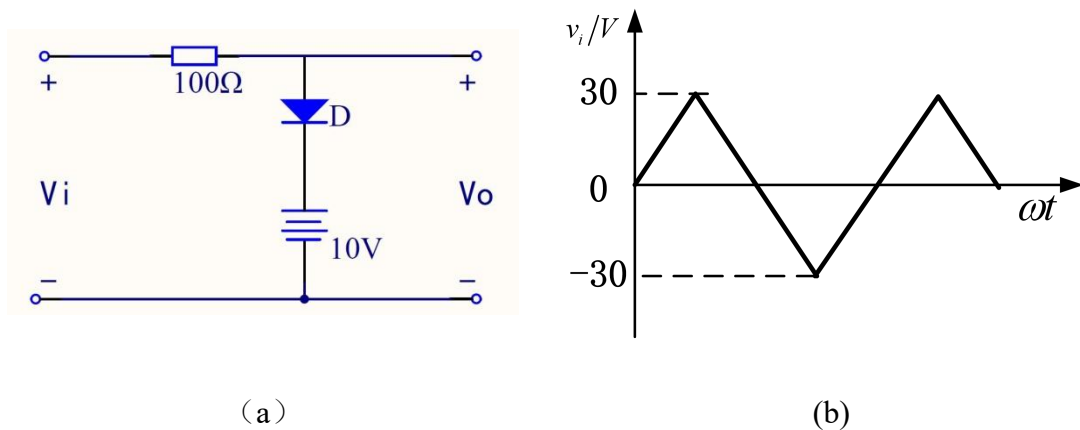


图 P2.5

考察内容：

二极管大信号模型

电路分析的基本方法

解题思路：

在二极管折线模型下分别讨论管子通断的边界条件，由此得出输出与输入的关系

解：

(1) 根据二极管大信号折线模型参数可得，

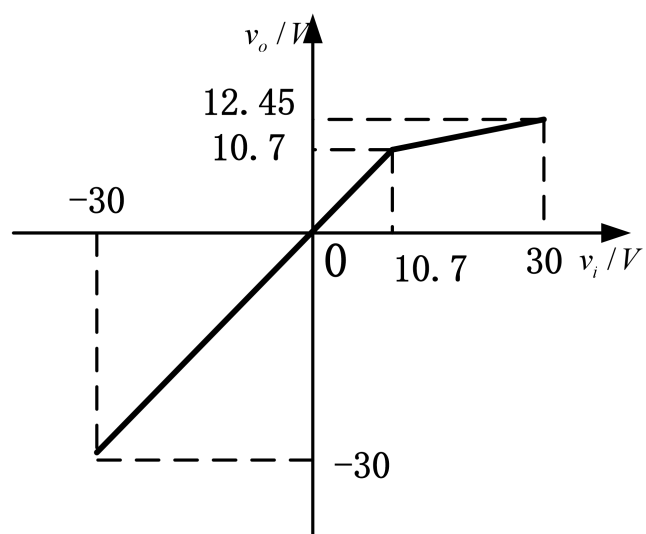
$$I_d = \begin{cases} \frac{V_d - V_r}{r}, & V_d \geq V_r \\ 0, & V_d < V_r \end{cases}$$

当 D 没导通，即  $v_i < 10V + V_r = 10.7V$  时， $v_o = v_i$ ；

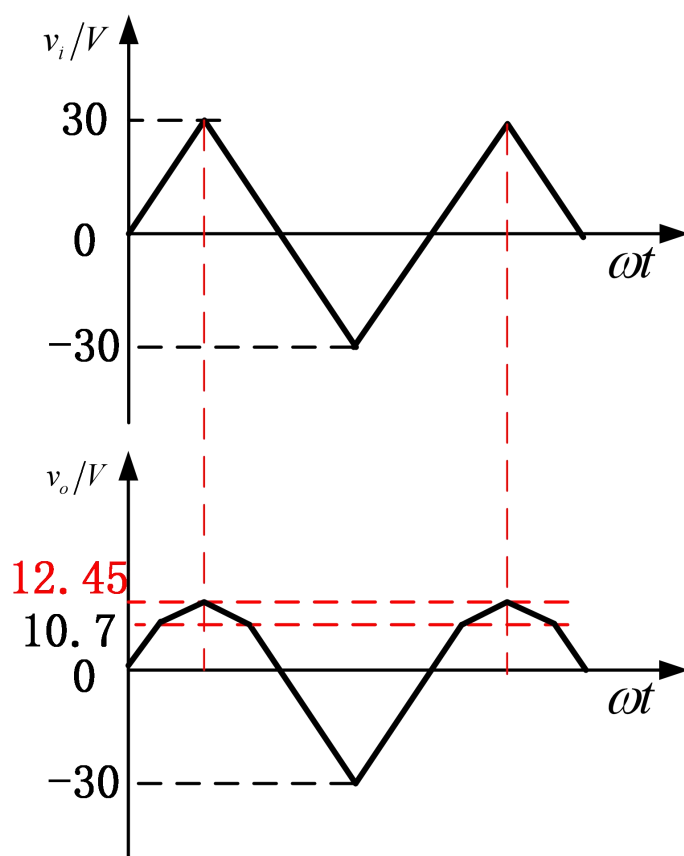
当 D 导通后，即  $v_i \geq 10V + V_r = 10.7V$  时，

$$\begin{cases} v_i = 100I_d + v_o \\ v_o = v_d + 10 \end{cases}$$

将折线模型代入上式化简可得， $v_o = \frac{v_i + 107}{11}$ 。电压传输特性  $v_o \sim v_i$  如下图所示。



(2)



## 题 2.6

二极管电路如图 P2.6 所示，设  $D_1$ 、 $D_2$  为理想二极管，试画出电路的输出电压波形图。

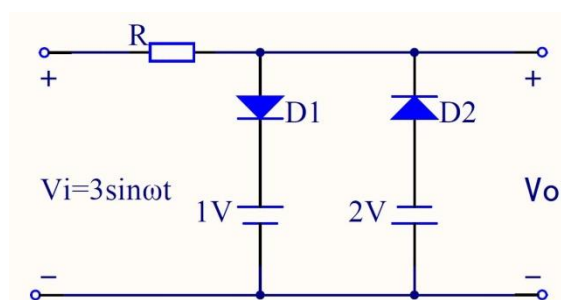


图 P2.6

考察内容：

二极管限幅电路分析

解题思路：

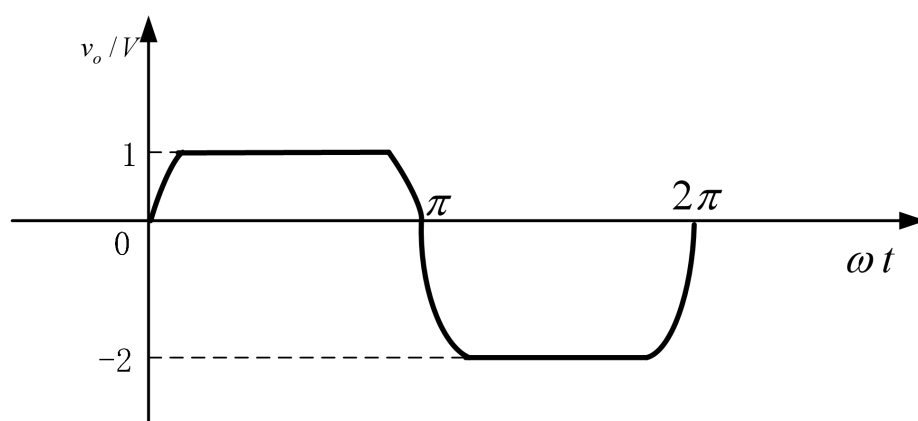
根据限幅电路分别求出此电路的钳位电压，然后以此为界画出输出波形

解：

如图所示为钳位电路， $D_1$  所在支路使输出上钳位为 1V， $D_2$  所在支路使输出下钳位为 -2V。故可得输出电压为：

$$v_o = \begin{cases} 1V & v_i \geq 1V \\ v_i & -2V < v_i < 1V \\ -2V & v_i \leq -2V \end{cases}$$

输出电压波形如下图所示。





## 题 2.7

题 2.7 理想二极管电路如图 P2.7 所示,画  $v_i$  从 0 变化到 15V 时该电路的  $v_o \sim v_i$  及  $I_d \sim v_i$  曲线。

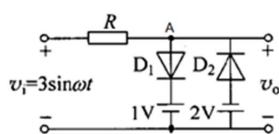


图 P2.6

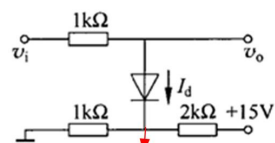


图 P2.7

二极管不导通时,  $V_B = 5V$ , 所以

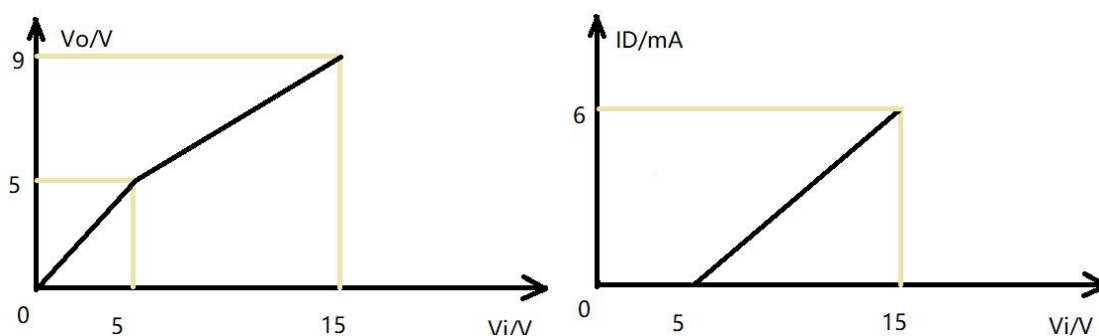
1.  $V_i < 5V$  时, 二极管截止,  $I_D = 0$

$$\therefore V_o = V_i$$

2.  $V_i \geq 5V$  时, 二极管导通,  $V_B = V_o$ , 有

$$\frac{V_i - V_o}{1K\Omega} + \frac{15V - V_o}{2K\Omega} = \frac{V_o}{1K\Omega} \implies V_o = 0.4V_i + 3V$$

$$\therefore I_D = \frac{V_i - V_o}{1k\Omega} = V_i * 0.6mA - 3mA$$



## 题 2.9

题 2.9 若图 P2.9 二极管电路的  $v_i = 15\sin(\omega t)V$ , 以及  $V_d(\text{on}) = 0.7V$ , 画该电路的输出电压  $v_o$  的波形。

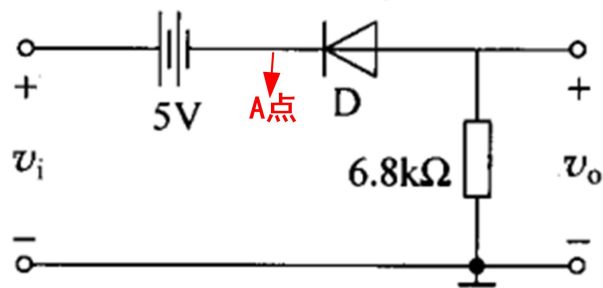


图 P2.9

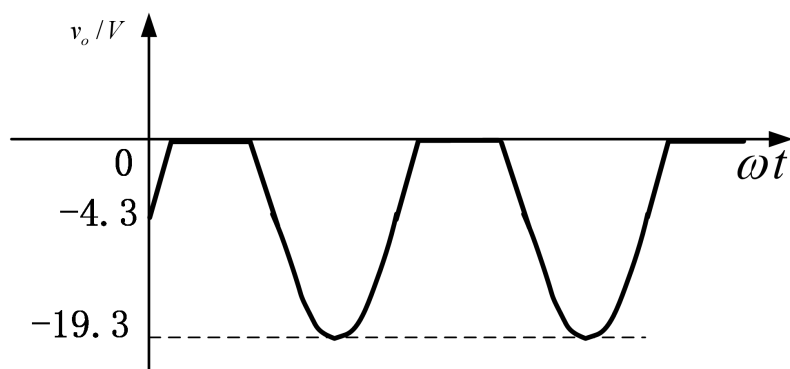
解：考察：直流+交流+整流二极管电路的应用

$$V_A = V_i - 5 = 15 \sin(\omega t) - 5$$

当  $V_A < -0.7$  时，D 导通，即  $V_i < 4.3\text{V}$  时，D 导通，此时

$$V_o < V_i - 5 + 0.7 = V_i - 4.3$$

当  $V_A > -0.7$  时，D 截止，即当  $V_i > 4.3$  时，截止  $V_o = 0$



## 题 2.10

题 2.10 全波整流滤波电路如图 P2.10 所示，设  $R_L = 100\Omega$ ， $C = 1000\mu\text{F}$ ，试标出输出电压  $V_o$  的极性，若  $v_2 = \sqrt{2} \times 25 \sin(2\pi \times 50t) \text{V}$ ，求  $V_o$  和  $I_o$ 。

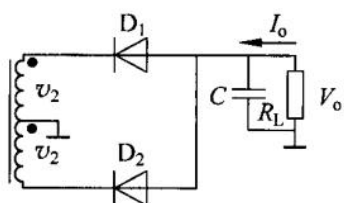
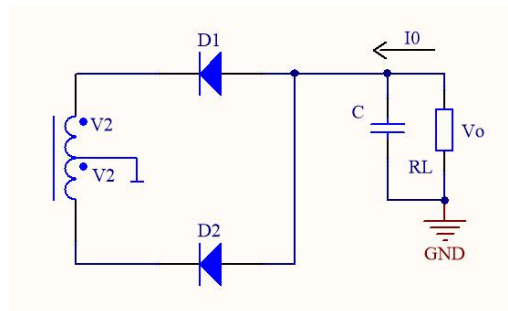
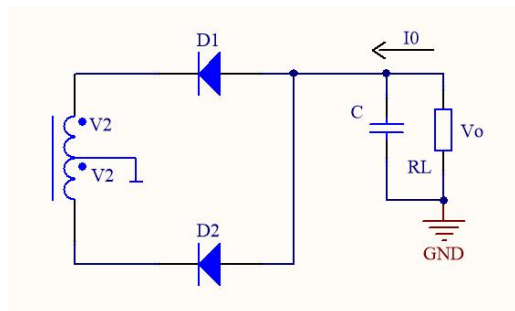


图 P2.10

解：全波整流滤波电路分析：

正半周期：D2 导通，D1 截止

负半周期：D1 导通，D2 截止



所以  $v_o$  的极性为上负下正。电容滤波时间常数  $\tau = R_L C = 0.1s = 5T$   $T = 0.02s$

所以电容放电可以忽略。

$$v_o = 25\sqrt{2} \approx 35.35V$$

$$I_o = 0.25\sqrt{2} \approx 0.3535A$$

## 题 2.12

题 2.12 桥式整流电路如图 P2.12 所示，其中二极管为理想二极管，若  $v_2 = 20\sin(2\pi \times 50t)V$ ，画  $v_{o1}$  和  $v_{o2}$  的波形。

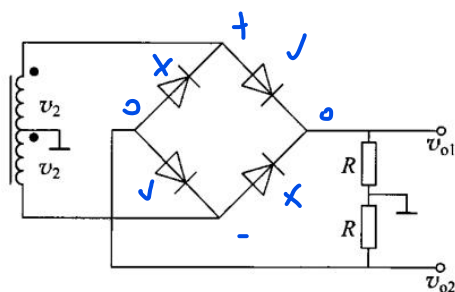
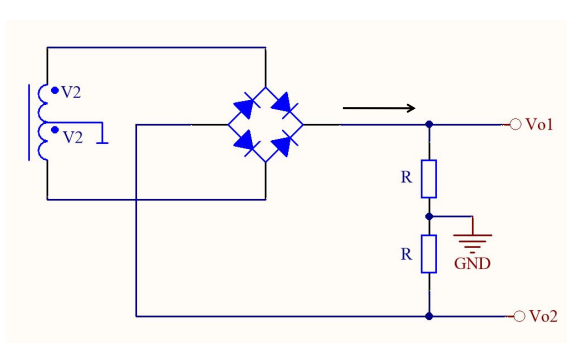
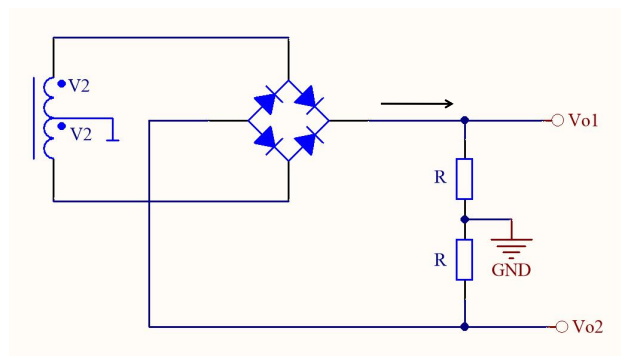


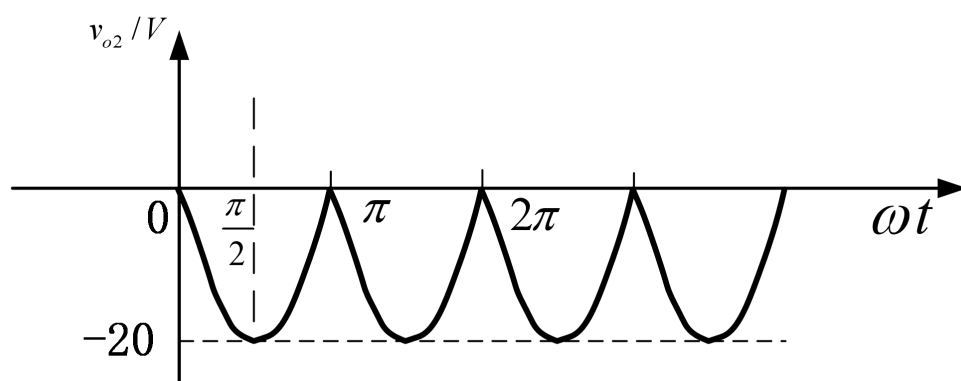
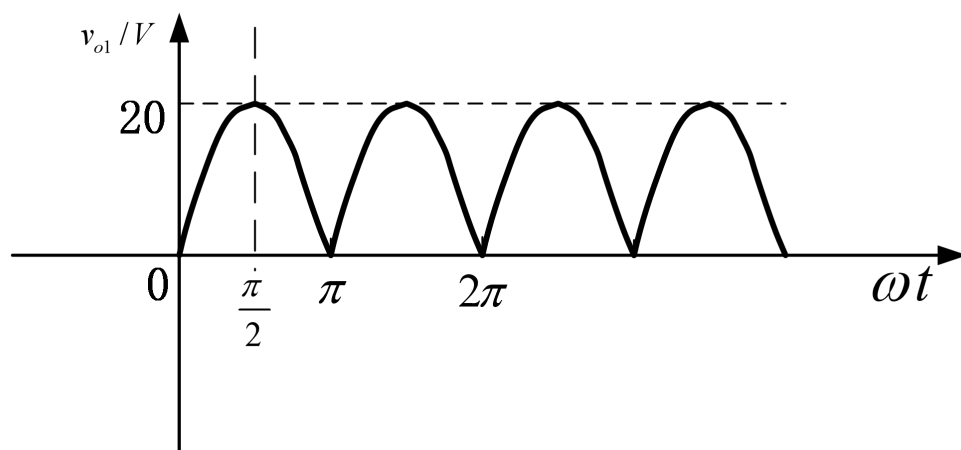
图 P2.12

正半周期

负半周期：



从电流流向可以看出，无论正负半周  $V_{o1}$  电压始终为正， $V_{o2}$  电压始终为负。因为二极管为理想二极管，所以  $V_{o1} = |V_2|$   $V_{o1} = -|V_2|$



## 题 2.13

试求图 P2.13 电路中 A 点、B 点和 C 点的电压，以及二极管  $D_1$  和  $D_2$  所承受的最大反向电压值。

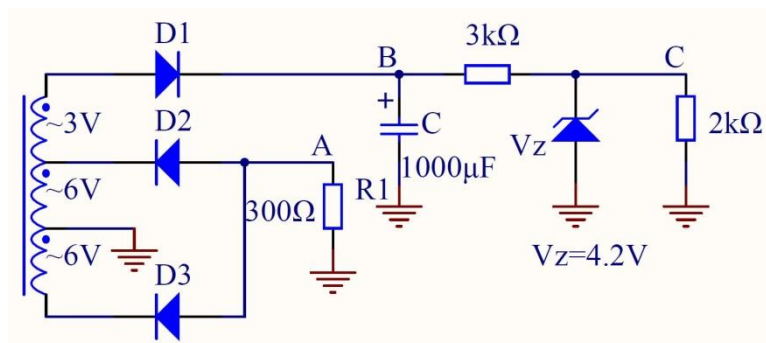


图 P2.13

考察内容：

二极管通断判断；

电路分析基础内容；

解题思路：

讨论交流电压情况下各个电容的充放电情况以求得二极管两端电压，判断其稳压特性

解：注意图中所示电压为有效值

(1) 交流电正半周时，D1 导通，对电容 C 充电，B 点电压很快达到  $V_B = 9\sqrt{2}V$ ，交流电负半周时，D1 截止，电容 C 放电，放电时的衰减指数  $\tau$  为：

$$\tau = RC = (2 + 3) \times 10^3 \times 1000 \times 10^{-6} = 5s$$

可见电容 C 放电的速度很慢，故 B 点电压可视为不变，即  $V_B = 9\sqrt{2}V$ 。

(2) 交流电负半周到峰值时 D1 所承受的反向电压最大，此时 D1 左侧为  $-9\sqrt{2}V$ ，B 点电压  $V_B = 9\sqrt{2}V$ ，故 D1 所承受的最大反向电压为  $18\sqrt{2}V$ 。

(3) 当拿掉稳压管后，C 点电压为： $V_C = \frac{2}{5}V_B \approx 5V > V_Z = 4.2V$ ，故稳压管已经进入了稳压区，所以 C 电压为： $V_C = V_Z = 4.2V$ 。

(4) D2、D3 构成全波整流电路，故 A 点输出电压为：

$$V_A = 0.9 \times 6V = 5.4V \quad (\text{平均值})$$

(5) D2 所承受的最大反向电压为  $12\sqrt{2}V$

## 题 2.15

若图 P2.14 电路中的稳压二极管  $D_z$  的  $V_z = 12V$ ，稳压的电流范围为  $5mA \leq I_z \leq 30mA$ ，当输入  $V_i$  的变化范围为  $V_i = 30(1 \pm 10\%)V$ ，负载电流  $I_L$  在  $0 \sim 5mA$  之间变化时，电阻  $R$  应如何选择？

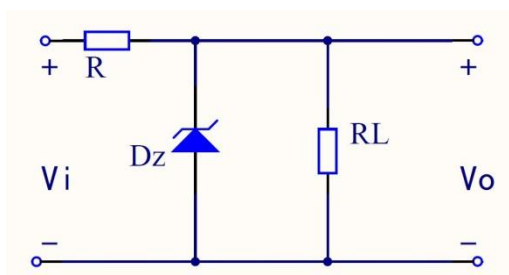


图 P2.14

考察内容：

稳压二极管电路分析

解题思路：

假设管子正常工作范围内，计算出电压和电流的范围，从而确定电阻  $R$  的范围。

解：

有已知可得稳压管正常工作时，

$$(1) V_o = V_z = 12V, V_{i\max} = 33V, V_{i\min} = 27V$$

$$(2) I_{z\max} = 30mA, I_{z\min} = 5mA$$

$$(3) I_{L\max} = 5mA, I_{L\min} = 0mA$$

由于输出是稳压的，故当输入一定时，电阻  $R$  两端的电压固定， $R$  上电流为稳压管与负载的电流之和。

$$\begin{cases} \frac{V_{i\max} - V_o}{R} - I_{L\min} < I_{z\max} \\ \frac{V_{i\min} - V_o}{R} - I_{L\max} > I_{z\min} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R > 0.7k\Omega \\ R < 1.5k\Omega \end{cases} \Rightarrow 0.7k\Omega < R < 1.5k\Omega$$

## 题 2.16

**题 2.16** 图 P2.16 是一种二倍压整流电路,试分析它的工作原理以及输出电压  $V_o$  与次级电压有效值  $V_2$  之间关系。

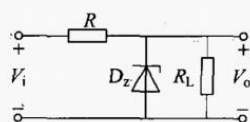


图 P2.14

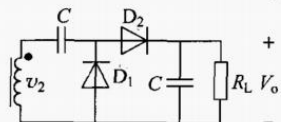


图 P2.16

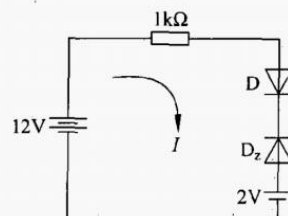
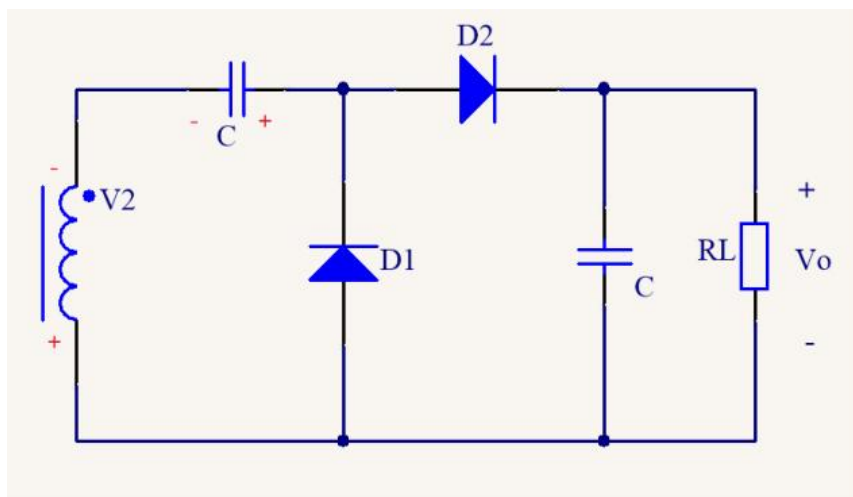
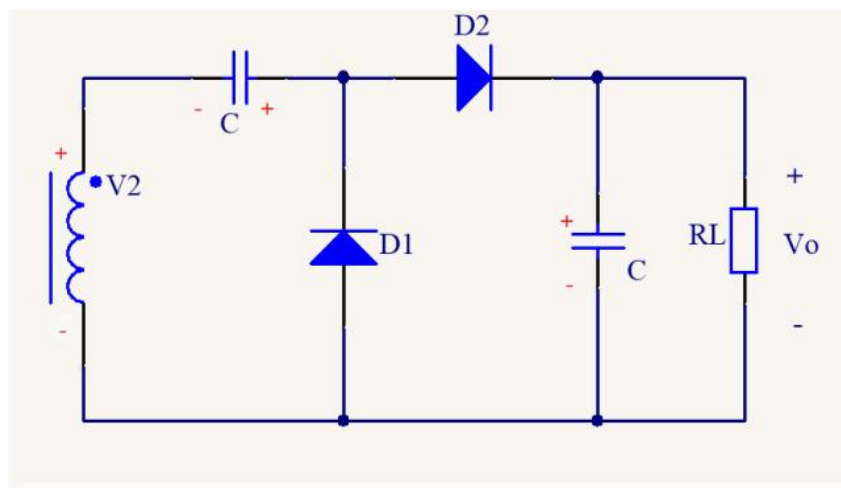


图 P2.17

$V_2 < 0$  时,  $D_1$  导通,  $D_2$  截止, 电源经  $D_1$  向左侧电容  $C$  充电, 使左侧电容  $C$  达到最高电压  $\sqrt{2}V_2$ , 如图:



$V_2 > 0$  时,  $D_2$  导通,  $D_1$  截止, 电源与左侧电容  $C$  串联作为电源给右侧电容  $C$  充电, 使右侧电容  $C$  达到最高电压  $2\sqrt{2}V_2$ , 所以  $V_o = 2\sqrt{2}V_2$ , 如图:



## 题 2.17

图 P2.17 所示电路中二极管的导通电压为  $0.7V$ ，反向饱和电流等于  $0$ ，稳压二极管  $D_z$  的稳压电压  $V_z = 8V$ 。

- (1) 求电流  $I$ ;
- (2) 若  $V_z = 10V$ ，求  $I$ ;
- (3) 若  $D_z$  反接， $V_z = 8V$ ，求  $I$ 。

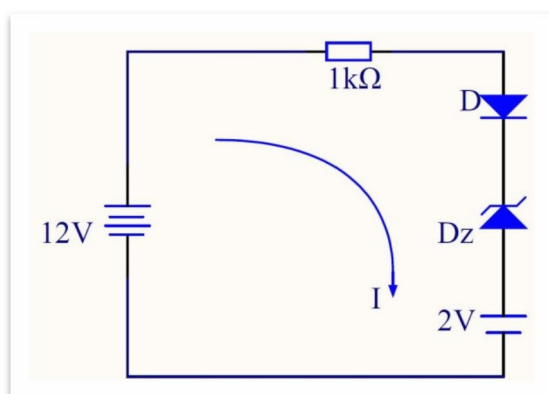


图 P2.17

考察内容：

二极管通断性电路分析

稳压二极管工作状态分析

解题思路：

假设一种管子的工作状态进行计算，看得到结果与假设是否一致。若一致则假设正确；反之，则错误。

解：

- (1) 假设二极管  $D$  导通，稳压二极管  $D_z$  工作在稳压区，即电压  $V_z = 8V$

此时回路电压方程为：

$$12 - 1000I - 0.7 - 8 - 2 = 0 \Rightarrow I = 1.3mA$$

求得的电流方向与参考方向一致，说明上述假设正确。

- (2) 同 (1) 理列回路电压方程：

$$12 - 1000I - 0.7 - 10 - 2 = 0 \Rightarrow I = -0.7mA$$



求得的电流方向与参考方向相反，说明上述假设错误，则二极管 D 未被导通，故回路中电流  $I = 0$ 。

(3) 若  $D_z$  反接，其正向导通，两端电压降为  $0.7V$ ，二极管 D 也处于导通状态，故  $I = (12 - 2 - 0.7 - 0.7)V / 1k\Omega = 8.6mA$ 。