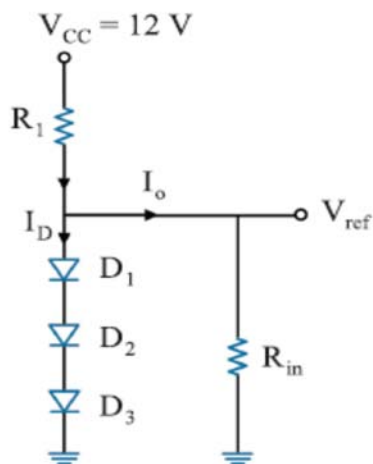


### Question 1

圖 1 中之 Diode 電路，其輸出電流  $I_o$  介於  $0.2\text{mA}$  至  $1\text{mA}$  之間。試求解電阻  $R_1$  之值，使電路中的二極體皆能維持導通且其流通電流  $I_D > 0.5\text{mA}$ 。



**Sol:**

分析電路時通常以最差狀況作為依據，假如最差狀況都能滿足的話，其他狀況必能滿足。

最差狀況發生在  $I_o = 1\text{mA}$ ，在此情況下必須使  $I_D > 0.5\text{mA}$

$$\Rightarrow I_{R1} = I_o + I_D > 1 + 0.5 = 1.5\text{mA}$$

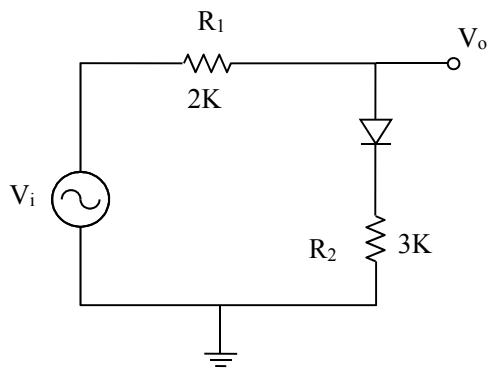
$$\Rightarrow I_{R1} = \frac{V_{cc} - V_{ref}}{R_1} = \frac{12 - 2.1}{R_1} = \frac{9.9}{R_1}$$

$$\Rightarrow \frac{9.9}{R_1} > 1.5\text{mA}$$

$$\Rightarrow R_1 < 6.6\text{k}\Omega$$

## Question2

圖 2 中之 Diode 電路，若  $V_i(t) = 5\sin(2\pi t)$ 、 $V_o(t)$  為輸出電壓，試描繪  $V_i(t)/V_o(t)$  的轉換特性圖。



**Sol:**

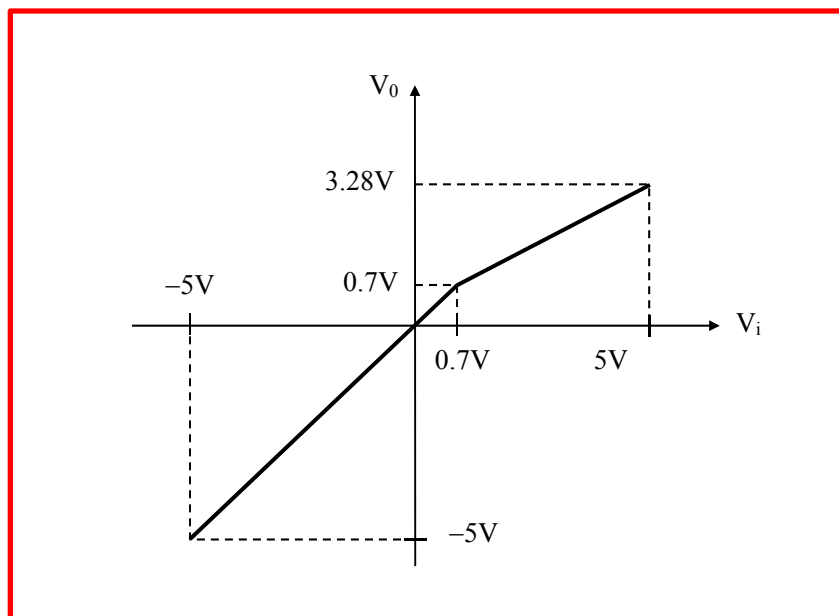
當  $V_i < 0.7\text{V}$ ，二極體不導通，電流  $I = 0$ ：

$$V_o = V_i - IR_1 = V_i$$

當  $V_i \geq 0.7\text{V}$ ，二極體導通，

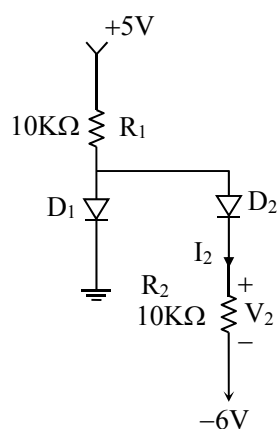
$$I = \frac{V_i - 0.7}{R_1 + R_2}$$

$$V_o = V_i - IR_1 = V_i \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot (0.7) = 0.6V_i + 0.28(\text{V})$$



### Question 3

圖 3 中之 Diode 電路，試求解電阻 R 的跨電壓  $V_2$  及流通的電流  $I_2$ 。



**Sol:**

先假定  $D_1$  和  $D_2$  皆處於導通狀態：

$$I_{R1} = \frac{5 - 0.7}{10K} = 0.43(\text{mA})$$

$$I_2 = \frac{0.7 - 0.7 - (-6)}{10K} = 0.6(\text{mA})$$

$\therefore I_2 > I_1$  故假定不合理， $D_1$ 、 $D_2$  不可能同時導通。由於  $D_2$  陰極接至  $-6V$  故應處於導通狀態。

我們假定  $D_1$  截止而  $D_2$  導通：

$$I_{R1} = I_2 = \frac{5 - 0.7 - (-6)}{10K + 10K} = 0.515(\text{mA})$$

$$V_2 = I_2 \cdot (10K) = 5.15(\text{V})$$

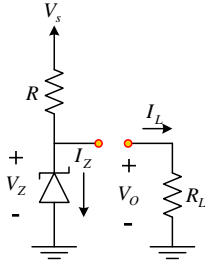
check:  $V_{D1} = 5 - I_{R1} \cdot R_1 = -0.15(\text{V})$ ，無法使  $D_1$  導通。

故假定正確， $I_2$  及  $V_2$  即正確答案。

### Question4

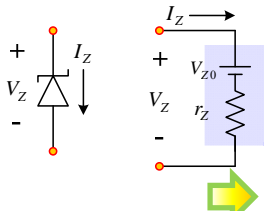
圖 4 中之齊納二極體電路，若二極體跨電壓  $V_Z = 5.1V$  時，流通的電流為  $I_Z = 50mA$ ，其中輸入電壓  $V_s = 15V$ 、電阻元件  $R = 200\Omega$  及齊納二極體參數  $r_Z = 7\Omega$ 。試求解：

- 未連接負載電阻  $R_L$  時，輸出電壓  $V_O$ ；
- 未連接負載電阻  $R_L$  且輸入電壓存在  $\pm 1V$  的變化量，輸出電壓  $V_O$  的變化量；
- 連接負載電阻  $R_L$  且負載電流  $I_L = 1mA$  時，輸出電壓  $V_O$  的變化量。



**Sol:**

齊納二極體等效模型：



$$V_Z = V_{Z0} + r_Z I_Z \Rightarrow V_{Z0} = V_Z - r_Z I_Z = 5.1 - 7 \times (50 \times 10^{-3}) = 4.75V$$

a) 未連接負載電阻時且輸入電壓  $V_s = 15V$ ，通過齊納二極體之電流  $\hat{I}_Z$  為，

$$\hat{I}_Z = \frac{V_s - V_{Z0}}{R + r_Z} = \frac{15 - 4.75}{200 + 7} = 49.5mA$$

$$V_O = V_Z = V_{Z0} + r_Z \hat{I}_Z = 4.75 + 7 \times 0.0495 \cong 5.1V$$

b) 未連接負載電阻時且輸入電壓存在  $\pm 1V$  的變化量，即  $\Delta V_s = \pm 1V$ ，輸通過齊納二極體之電流變化量  $\Delta I_Z$  為，

$$\Delta I_Z = I_{Z1} - I_{Z2} = \left( \frac{V_{s1} - V_{Z0}}{R + r_Z} \right) - \left( \frac{V_{s2} - V_{Z0}}{R + r_Z} \right) = \frac{V_{s1} - V_{s2}}{R + r_Z} = \frac{\Delta V_s}{R + r_Z}$$

$I_{Z1}$  及  $I_{Z2}$  為不同輸入電壓值時通過二極體的電流值，可求得輸出電壓變化量  $\Delta V_O$

$$\Delta V_O = V_{Z1} - V_{Z2} = (V_{Z0} + r_Z I_{Z1}) - (V_{Z0} + r_Z I_{Z2}) = r_Z \Delta I_Z$$

$$\Delta V_O = 7 \times \frac{\pm 1V}{200 + 7} = \pm 33.8mV$$

c) 連接負載電阻  $R_L$  且負載電流  $I_L = 1mA$ ，即通過齊量二極體之電流變化量

$$\Delta I_Z = -1mA，因此可求得輸出電壓變化量  $\Delta V_O$  為，  $\Delta V_O = r_Z \Delta I_Z = -7mV$$$

### Question 5

試利用二極體定電壓降模型，求解下列電路圖中二極體元件的跨電壓值  $v_D$  及通過的電流值  $i_D$ ，

其中  $V_D = 0.7V$ 。

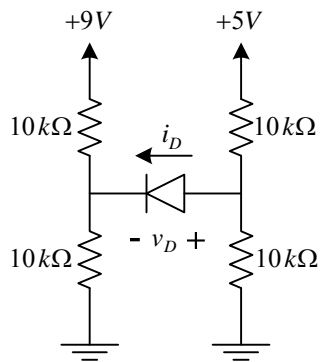


圖 13

在右邊的節點 電壓為 2.5V

在左邊的節點 電壓為 4.5V

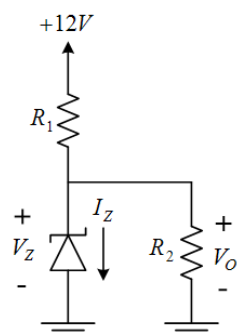
因為二極體只能順向偏壓流動 但此時右邊節點的電壓較小 無法產生順向偏壓 因此兩者皆為 0

## Question 6

圖 6 電路中，若稽納二極體的崩潰電壓  $V_{ZK} = 2V$ 、電阻  $R_1 = 10k\Omega$ ，試根據下列情形求解流經稽納二極體的電流  $I_Z$  及電壓  $V_Z$ 。

a) 電阻  $R_2 = 5k\Omega$ ；

b) 電阻  $R_2 = 1k\Omega$ 。



**Sol:**

(a)

Step1：我們先假設稽納二極體的工作狀態位於崩潰電壓區。

Step2：由題目得知  $V_Z = 2V$ ， $V_{R1} = 12 - 2 = 10V$

$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R_1} = 1mA, \quad I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = 0.4mA$$

在 node1 利用克希荷夫電流定律可知道通過二極體的電流

$$\Rightarrow I_Z = 1 - 0.4 = 0.6(mA); \quad V_Z = 2V$$

(b)

Step1：我們先假設稽納二極體的工作狀態位於崩潰電壓區。

Step2：由題目得知  $V_Z = 2V$ ， $V_{R1} = 12 - 2 = 10V$ ，

$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R_1} = 1mA, \quad I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = 2mA$$

在 node1 利用克希荷夫電流定律可知道通過二極體的電流  $I_Z = 1 - 2 = -1mA$

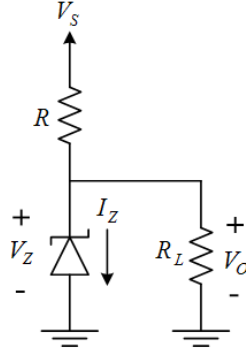
表示電流方向向上，與步驟一假設矛盾。

Step3：我們可知道工作狀態應該在反向電壓區，通過二極體電流  $I_Z = 0$ ，

$$\text{利用分壓定理 } V_Z = V_{R3} = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \times 12 = 1.09V$$

### Question 7

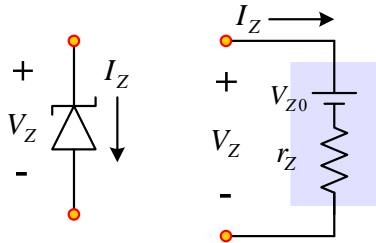
圖 7 電路中，電阻  $R = 250\Omega$ 、齊納二極體的崩潰電流  $I_{ZK} = 0.5mA$  及等效模型參數  $r_z = 30\Omega$ 。若輸出電壓  $V_O = 7.5V$  時，流經齊納二極體的電流  $I_Z = 12mA$ ；若當輸入電壓存在有  $\pm 1V$  的電壓波動時，即  $V_s = 10 \pm 1V$ ，試求解負載電阻  $R_L$  的最小值，使  $I_Z \geq I_{ZK}$ 。



Sol:

Step 1.

齊納二極體等效模型(內阻  $r_z$  及定電壓降  $V_{Z0}$ )如下：



由於輸出電壓  $V_O$  即為齊納二極體元件跨電壓  $V_Z$ ，因此當  $V_Z = V_O = 7.5V$  時，通過電流為  $I_Z = 12mA$  且  $r_z = 30\Omega$ ，可求解齊納二極體等效模型之定電壓降  $V_{Z0}$

$$V_Z = V_{Z0} + r_z I_Z \Rightarrow V_{Z0} = V_Z - r_z I_Z = 7.5 - 30 \times (12 \times 10^{-3}) = 7.14V$$

Step 2.

由電阻元件之歐姆定律可知： $I = \frac{V_s - V_O}{R} = \frac{V_s - V_Z}{R}$ 、 $R_L = \frac{V_O}{I_L} = \frac{V_Z}{I - I_Z}$

由齊納二極體之等效模型可知： $V_Z = V_{Z0} + r_z I_Z$

$$\Rightarrow I = \frac{V_s - V_Z}{R} = \frac{V_s - (V_{Z0} + r_z I_Z)}{R} \quad \& \quad I_L = I - I_Z = \frac{V_s - (V_{Z0} + r_z I_Z) - I_Z R}{R}$$

因此負載電阻  $R_L$  可表示為，

$$R_L = \frac{V_Z}{\frac{V_s - (V_{Z0} + r_z I_Z) - I_Z R}{R}} = \frac{(V_{Z0} + r_z I_Z)R}{(V_s - V_{Z0}) - (r_z + R)I_Z}$$

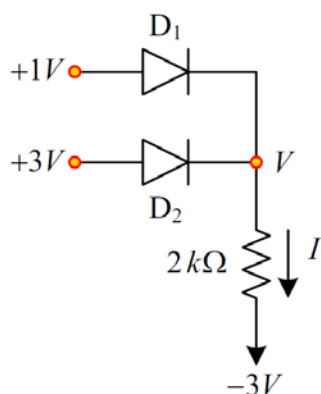
可明顯看出，當  $V_s = V_{s\max} = 11V$  且  $I_Z = I_{Z\min} = I_{ZK} = 0.5mA$  時，可求得負載電阻  $R_L$  之最小值  $R_{L\min}$ ，

$$R_{L\min} = \frac{(V_{Z0} + r_z I_{Z\min})R}{(V_{s\max} - V_{Z0}) - (r_z + R)I_{Z\min}} = \frac{(7.14 + 30 \times 0.5 \times 10^{-3}) \times 250}{(11 - 7.14) - (30 + 250) \times (0.5 \times 10^{-3})}$$

$$\Rightarrow R_{L\min} = 480.85\Omega$$

## Question 8

求解下列二極體電路，所標示的電壓  $V$  及電流  $I$ ，其中二極體皆視為理想二極體元件。



**Sol :**

Step 1.

Diode	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
D1	順向	順向	逆向	逆向
D2	順向	逆向	順向	逆向

電路圖中 2 個二極體共有 4 種可能偏壓情況：

Step 2.

假設二極體偏壓情況為 **Condition 1**，即二極體  $D_1$  及  $D_2$  皆為導通(短路)。

$V = 1V$  同時  $V = 3V$  有違常理。且  $V = 3V$  時， $D_1$  應為不導通，即斷路，與假設之偏壓條件 **Condition 1** 不符，需再嘗試其它偏壓情況。

Step 3.

假設二極體偏壓情況為 **Condition 3**，即  $D_1$  斷路、 $D_2$  導通(短路)，由「二極體為理想二極體元件」可知  $v_D = 0$ ，因此  $V = 3V$ 。

由歐姆定律可知  $I = \frac{3 - (-3)}{2 \times 10^3} = 3mA$

Step 4.

驗證所假設之二極體元件偏壓情況是否正確？

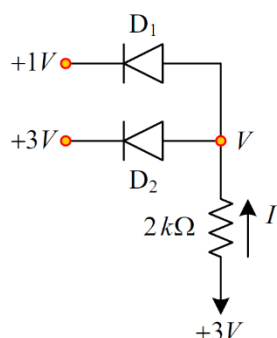
二極體元件  $D_1$ ： $v_{D1} = 1 - 3 = -2 < 0$ (逆向偏壓)、 $i_{D1} = 0$ (斷路)，符合假設；

二極體元件  $D_2$ ： $v_{D2} = 0$ (順向偏壓)、 $i_{D2} = I = 2mA > 0$ ，符合假設。



## Question 9

求解下列二極體電路，所標示的電壓 $V$  及電流 $I$ ，其中二極體皆視為理想二極體元件。



Step 1.

Diode	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
D <sub>1</sub>	順向	順向	逆向	逆向
D <sub>2</sub>	順向	逆向	順向	逆向

由於電路圖中 2 個二極體共有 4 種可能偏壓情況：

Step 2.

假設二極體偏壓情況為 **Condition 4**，即 D<sub>1</sub> 及 D<sub>2</sub> 皆為斷路。

通過  $2k\Omega$  之電流值  $I = 0$  (無電壓升或電壓降)，即  $V = 3V$ 。但  $V = 3V$  時，二極體 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 皆為順向偏壓 ( $v_{D1} = 3 - 1 = 2 > 0$ 、 $v_{D2} = 0$ )，與假設「D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 皆為斷路」不符，因此 **Condition 4** 之假設條件有誤，需再嘗試其它偏壓情況。

Step 3.

假設電路中二極體偏壓情況為 **Condition 2**，即 D<sub>1</sub> 短路、D<sub>2</sub> 斷路。

由「二極體為理想二極體元件」可知  $v_{D1} = 0$ ，因此  $V = 1V$ 。

由歐姆定律可知  $I = \frac{3-1}{2 \times 10^3} = 1mA$

Step 4.

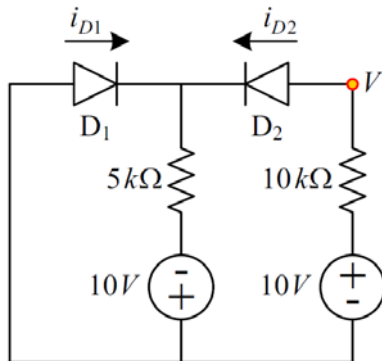
驗證所假設之二極體元件偏壓情況是否正確？

二極體元件 D<sub>1</sub>： $v_{D1} = 1 - 1 = 0$  (順向偏壓)、 $i_{D1} = I = 1mA > 0$ ，符合假設；

二極體元件 D<sub>2</sub>： $v_{D2} = 1 - 3 = -2 < 0$  (逆向偏壓)、 $i_{D2} = 0$  (斷路)，符合假設。

### Question 10

求解下列電路中所標示的電壓  $V$  及電流  $i_{D1}$ 、 $i_{D2}$ ，其中二極體皆視為理想二極體元件。



**Sol:**

Step 1.

Diode	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
D <sub>1</sub>	順向	順向	逆向	逆向
D <sub>2</sub>	順向	逆向	順向	逆向

電路圖中 2 個二極體共有 4 種可能偏壓情況：

Step 2.

假設二極體偏壓情況為 **Condition 3**，即 D<sub>1</sub> 為斷路、D<sub>2</sub> 為導通(短路)： $i_{D1} = 0$ ；

由 KVL 定律可知， $5 \times 10^3 I_{D2} - 10 - 10 + 10 \times 10^3 i_{D2} = 0 \Rightarrow i_{D2} = \frac{4}{3} \text{mA}$

$$V = -10 - (10 \times 10^3) \times \left(\frac{4}{3} \times 10^{-3}\right) = -23.33V$$

·但 D<sub>1</sub> 應為順向偏壓與假設條件不符。

Step 3.

假設電路中二極體偏壓情況為 **Condition 1**，即 D<sub>1</sub> 及 D<sub>2</sub> 二極體元件皆為導通(短路)， $V = 0$  (與接地同電位)；

$$\text{由歐姆定律可知，} i_{D2} = \frac{10 - V}{10 \times 10^3} = \frac{10 - 0}{10 \times 10^3} = 1 \text{mA}$$

$$\text{由 KCL 定律可知，} i_{D1} + i_{D2} = \frac{V - (-10)}{(5 \times 10^3)} = 2 \text{mA} \Rightarrow i_{D1} = 1 \text{mA}$$

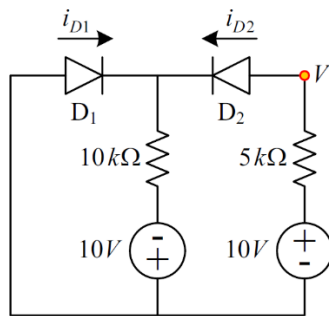
Step 4.

二極體元件 D<sub>1</sub>： $v_{D1} = 0$  (順向偏壓)、 $i_{D1} = 1 \text{mA} > 0$ ，符合假設；

二極體元件 D<sub>2</sub>： $v_{D2} = 0$  (順向偏壓)、 $i_{D2} = 2 \text{mA} > 0$ ，符合假設。

### Question 11

求解下列電路中所標示的電壓  $V$  及電流  $i_{D1}$ 、 $i_{D2}$ ，其中二極體皆視為理想二極體元件。



Step 1.

Diode	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
D <sub>1</sub>	順向	順向	逆向	逆向
D <sub>2</sub>	順向	逆向	順向	逆向

電路圖中 2 個二極體共有 4 種可能偏壓情況：

Step 2.

假設二極體偏壓情況為 **Condition 1**，即 D<sub>1</sub> 及 D<sub>2</sub> 二極體皆為導通(短路)，因此

$V=0$ (與接地同電位)；

由歐姆定律可知， $i_{D2} = \frac{10-V}{5 \times 10^3} = \frac{10-0}{5 \times 10^3} = 2mA$

由 KCL 定律可知， $i_{D1} + i_{D2} = \frac{V-(-10)}{10 \times 10^3} = \frac{10}{10 \times 10^3} = 1mA \Rightarrow i_{D1} = -1mA$

但 D<sub>1</sub> 為順偏與假設不符。

Step 3.

令偏壓情況為 **Condition 3**，即 D<sub>1</sub> 為斷路、D<sub>2</sub> 為導通(短路)， $i_{D1} = 0$ ；

由 KVL 定律可知， $5 \times 10^3 i_{D2} - 10 - 10 + 10 \times 10^3 i_{D2} = 0 \Rightarrow i_{D2} = \frac{4}{3} mA$

因此可求解  $V = -10 - (5 \times 10^3) \times (\frac{4}{3} \times 10^{-3}) = 3.33V$

Step 4.

二極體元件 D<sub>1</sub>： $v_{D1} = 0 - V = -3.33 < 0$ (逆向偏壓)、 $i_{D1} = 0$ ，符合假設；

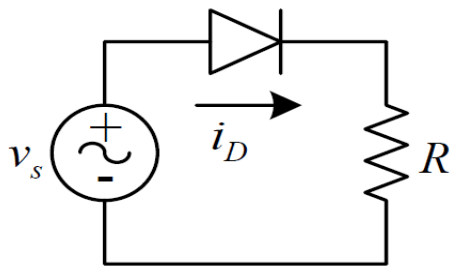
二極體元件 D<sub>2</sub>： $v_{D2} = 0$ (順向偏壓)、 $i_{D2} = \frac{4}{3} mA > 0$ ，符合假設。

## Question 12

下列電路圖為一整流電路，其中二極體元件可視為理想二極體。若輸入源為 120Vrms 弦波電壓，

試求解：

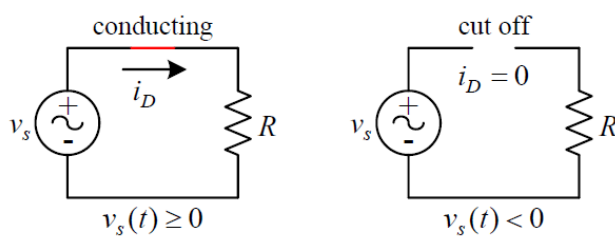
- 電阻值  $R$ ，使通過二極體的電流峰值不超過 50mA；
- 二極體元件的最大逆向電壓。



Sol :

Step1.

輸入有效電壓值 120Vrms :  $V_S(t) = 120\sqrt{2}\sin(\omega t)$  V



Step2.

由  $V_S(t) = 120\sqrt{2}\sin(\omega t)$  可知，通過電阻元件  $R$  的最大電流值為

$$i_{D\max} = \frac{120\sqrt{2}}{R} \leq 50 \text{ mA}$$

因此電阻值最小應為

$$R_{\min} = \frac{120\sqrt{2}}{50 \times 10^{-3}} = 3.4 \text{ k}\Omega$$

