

實 習 六

電壓調節電路

◆ 實習目的

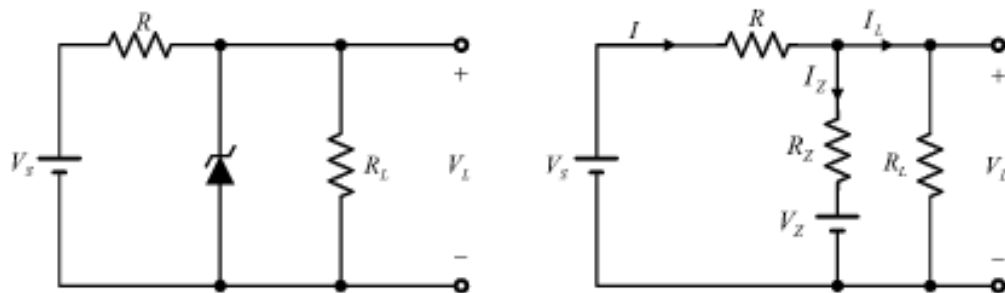
1. 藉由實習過程，以瞭解使用曾那二極體來設計**電壓調節器**（穩壓器）。
2. 藉由實習過程，以瞭解使用曾那二極體來設計**雙向截波電路**。



相 關 知 識

- ◆ 當曾那二極體工作於崩潰區時，兩端電壓幾乎可以維持**定值**，所以在電子電路中常常使用來設計電壓調節器（穩壓器），而使用曾那二極體所設計**電壓調節電路**，如左下圖所示。當曾那二極體接受逆向偏壓超過 V_Z ($V_S > V_Z$) 時，曾那二極體可視為 V_Z 與 R_Z 串聯之**等效電路**，如右下圖所示。

- ◆ 觀察右圖可知，無論 V_S 如何變化（但必須滿足 $V_S > V_Z$ 之條件），則曾那二極體可使 R_L 兩端之**電壓維持** V_Z ，即 $V_L = V_Z$ 。根據 *KVL* 可得 I_Z 為



$$I_Z = I - I_L = \frac{V_S - V_Z}{R + R_Z} - \frac{V_L}{R_L} \rightarrow I_Z = \frac{V_S - V_Z}{R} - \frac{V_Z}{R_L} \quad (R_Z \rightarrow 0)$$

- ◆ 使用曾那二極體來設計**電壓調節器**時，不但要滿足 $V_S > V_Z$ 之條件，亦必須保證 I_Z 滿足下列**條件**：

$$I_{ZK} < I_Z < I_{ZM}$$



◆ 在設計電壓調節電路時，必須考慮最差之情況下，仍能發揮電壓調節之功能，即討論使用曾那二極體設計之電壓調節電路時，輸入電壓 (V_S)、負載電阻 (R_L) 與限流電阻 (R) 等 3 個參數間相互關係，可同時滿足 $V_S > V_Z$ 與 $I_{ZK} < I_Z < I_{ZM}$ 等兩個條件，即分別討論這 3 個參數間相互變動關係如下：

1. 當限流電阻 (R) 與負載電阻 (R_L) 皆固定之條件下，輸入電壓 (V_S) 可容許之最大變動範圍，使電壓調節電路，依然可維持正常操作。
2. 當輸入電壓 (V_S) 與限流電阻 (R) 皆固定之條件下，負載電阻 (R_L) 可容許之變化範圍，使電壓調節電路，依然可維持正常操作。
3. 當輸入電壓 (V_S) 與負載電阻 (R_L) 皆固定之條件下，限流電阻 (R) 可容許之變化範圍，使電壓調節電路，依然可維持正常操作。



輸入電壓 (V_S) 可容許最大變動範圍之電壓調節電路的設計

- ◆ 當限流電阻 (R) 與負載電阻 (R_L) 皆固定之條件下，**輸入電壓** (V_S) 可容許之最大變動範圍 ($V_{S(\max)} \sim V_{S(\min)}$)，使曾那二極體之**電壓與電流**，可同時滿足 $V_S > V_Z$ 與 $I_{ZK} < I_Z < I_{ZM}$ ，以維持穩壓電路正常操作之條件如下：

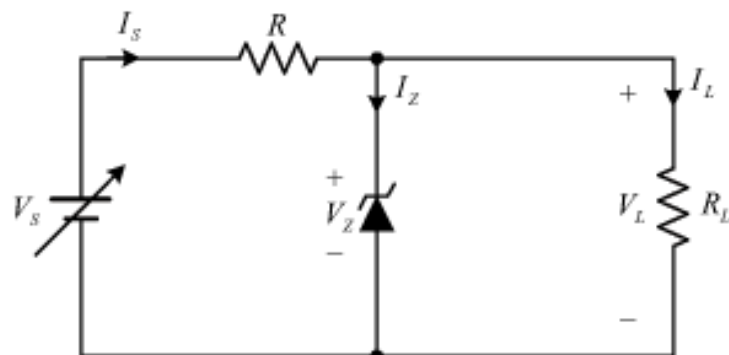
1. 當 $V_S = V_{S(\min)}$ 時，可得流過曾那二極體之**最小電流** I_{ZK} 為

$$I_{ZK} = \frac{V_{S(\min)} - V_Z}{R} - \frac{V_Z}{R_L}$$

利用上式，可得為維持右圖之穩壓電路正常操作之

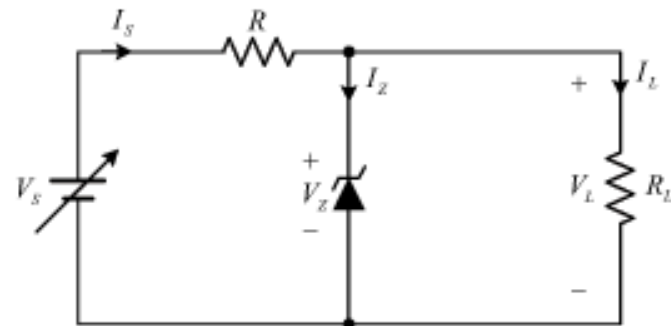
$V_{S(\min)}$ 為

$$V_{S(\min)} = I_{ZK} \cdot R + \frac{R \cdot V_Z}{R_L} + V_Z$$



2. 當 $V_S = V_{S(\max)}$ 時，可得流過曾那二極體之**最大電流** I_{ZM} 為

$$I_{ZM} = \frac{V_{S(\max)} - V_Z}{R} - \frac{V_Z}{R_L}$$



利用上式，可得為維持上圖之穩壓電路正常操作之最大輸入電壓 $V_{S(\max)}$ 為

$$V_{S(\max)} = I_{ZM} \cdot R + \frac{R \cdot V_Z}{R_L} + V_Z$$

◆ 由上面之討論可知，當限流電阻 (R) 與負載電阻 (R_L) 固定之條件下，則上圖之輸入電壓 (V_S) 可容許之**最大變動範圍**為

$$\left(I_{ZK} \cdot R + \frac{R \cdot V_Z}{R_L} + V_Z \right) < V_S < \left(I_{ZM} \cdot R + \frac{R \cdot V_Z}{R_L} + V_Z \right)$$



負載電阻 (R_L) 可容許最大變動範圍之電壓調節電路的設計

- ◆ 當輸入電壓 (V_S) 與限流電阻 (R) 皆固定之條件下，則允許**負載電阻** (R_L) 之最大變動範圍 ($R_{L(\min)} \sim R_{L(\max)}$)，使流過曾那二極體之電流 I_Z ，可滿足 $I_{ZK} < I_Z < I_{ZM}$ ，以維持下圖之穩壓電路正常操作的條件如下：

1. 當 $R_L = R_{L(\min)}$ 時，可得流過曾那二極體之**最小電流**

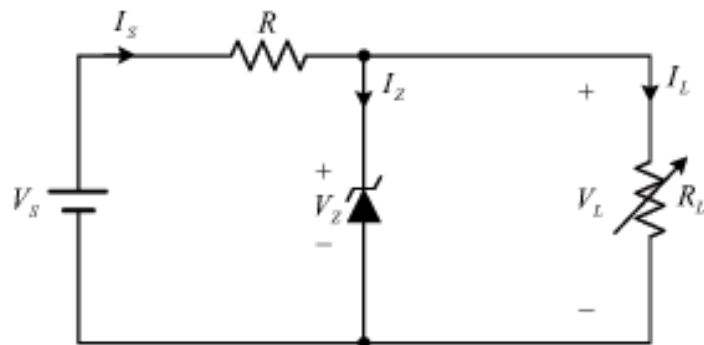
I_{ZK} 為

$$I_{ZK} = \frac{V_S - V_Z}{R} - \frac{V_Z}{R_{L(\min)}}$$

求解上式可得，為維持右圖之穩壓電路正常操作之

最小負載電阻 $R_{L(\min)}$ 為

$$R_{L(\min)} = \frac{V_Z}{\frac{V_S - V_Z}{R} - I_{ZK}}$$



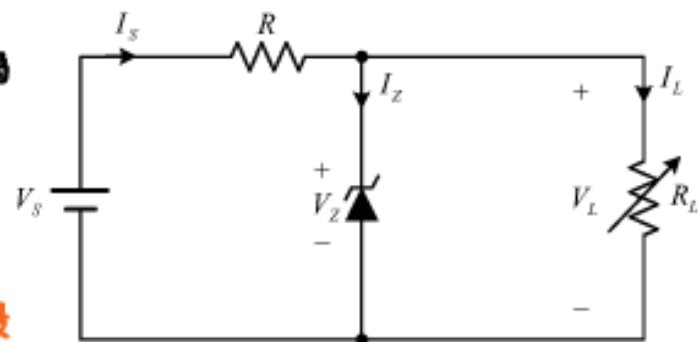
3. 當 $R_L = R_{L(\max)}$ 時, 可得流過曾那二極體之最大電流 I_{ZM} 為

$$I_{ZM} = \frac{V_S - V_Z}{R} - \frac{V_Z}{R_{L(\max)}}$$

求解上式可得, 為維持右圖之穩壓電路正常操作的最

大負載電阻 $R_{L(\max)}$ 為

$$R_{L(\max)} = \frac{V_Z}{\frac{V_S - V_Z}{R} - I_{ZM}}$$



◆ 由上面之討論可知, 當輸入電壓 (V_S) 與限流電阻 (R) 皆固定之條件下, 則上圖之負載電阻 (R_L) 可容許之最大變動範圍為

$$\frac{V_Z}{\frac{V_S - V_Z}{R} - I_{ZK}} < R_L < \frac{V_Z}{\frac{V_S - V_Z}{R} - I_{ZM}}$$



限流電阻 (R) 可容許最大變動範圍之電壓調節電路的設計

- ◆ 當輸入電壓 (V_S) 與負載電阻 (R_L) 皆固定之條件下，則允許**限流電阻** (R) 之最大變動範圍 ($R_{(\min)} \sim R_{(\max)}$)，使流過曾那二極體之電流 I_Z ，可滿足 $I_{ZK} < I_Z < I_{ZM}$ ，以維持下圖之穩壓電路正常操作的條件如下：

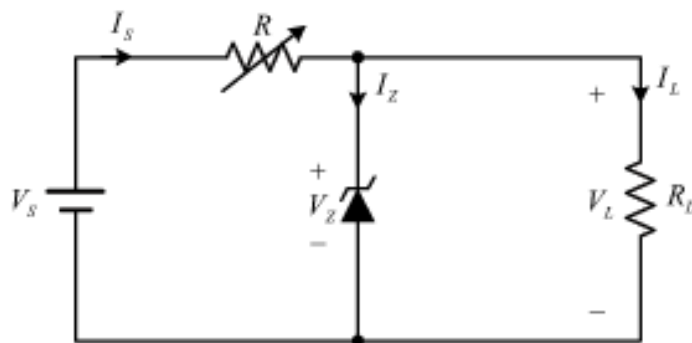
2. 當 $R = R_{(\max)}$ 時，可得流過曾那二極體之**最小電流** I_{ZK} 為

$$I_{ZK} = \frac{V_S - V_Z}{R_{(\max)}} - \frac{V_Z}{R_L}$$

求解上式可得，為維持右圖之穩壓電路正常操作之

最大限流電阻 $R_{(\max)}$ 為

$$R_{(\max)} = \frac{V_S - V_Z}{I_{ZK} + \frac{V_Z}{R_L}}$$



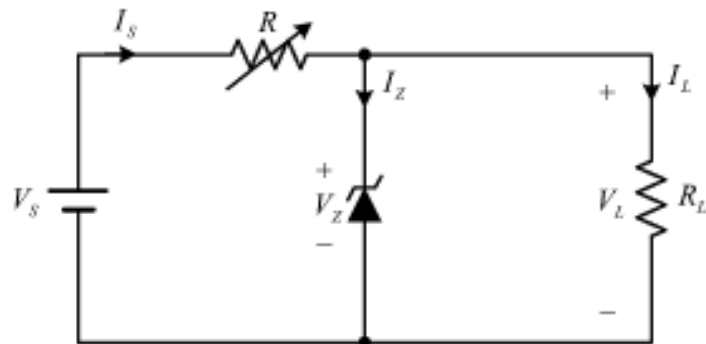
4. 當 $R = R_{(\min)}$ 時，可得流過曾那二極體之**最大電流** I_{ZM} 為

$$I_{ZM} = \frac{V_S - V_Z}{R_{(\min)}} - \frac{V_Z}{R_L}$$

求解上式可得，為維持右圖之穩壓電路正常操作的**最**

小限流電阻 $R_{(\min)}$ 為

$$R_{(\min)} = \frac{V_S - V_Z}{I_{ZM} + \frac{V_Z}{R_L}}$$



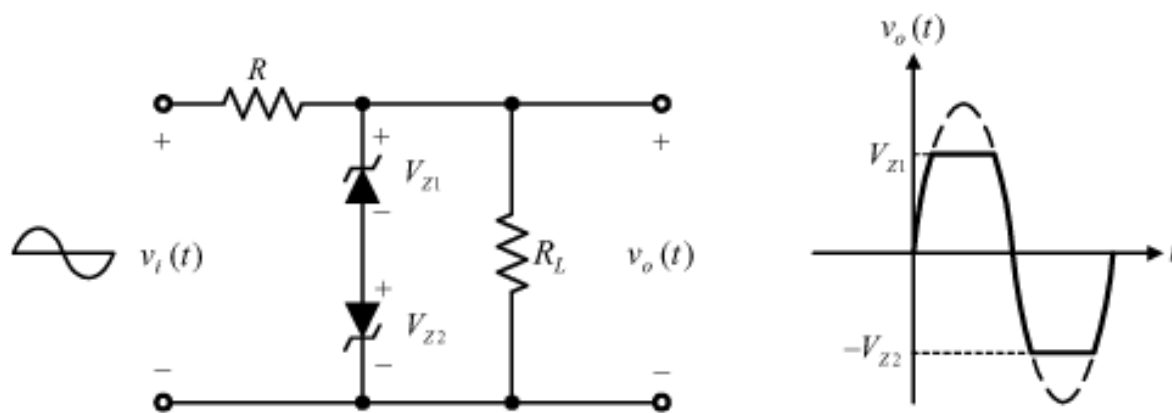
◆ 由上面之討論可知，當輸入電壓 (V_S) 與負載電阻 (R_L) 皆固定之條件下，則上圖之限流電阻 (R) 可容許之**最大變動範圍**為

$$\frac{V_S - V_Z}{I_{ZM} + \frac{V_Z}{R_L}} < R < \frac{V_S - V_Z}{I_{ZK} + \frac{V_Z}{R_L}}$$



利用曾那二極體設計之雙向截波電路

- ◆ 當曾那二極體工作於崩潰區（當外加之逆向偏壓超過 V_Z ）時，則二極體兩端電壓幾乎可以維持定值，因此經適當之設計，亦可使用曾那二極體來設計**截波電路**。
- ◆ 若將兩個曾那二極體背對背連接起來，即可得同時對**正、負半週作截波**之截波電路，如左下圖所示，而利用曾那二極體之特性（注意：輸入電壓 $v_i(t)$ 之峰值，必須大於 $V_Z + V_D$ ），即可得到輸入 - 輸出**電壓波形**，如下圖所示。



實習步驟與結果

(一) 輸入電壓 (V_s) 可容許最大變動範圍之電壓調節電路

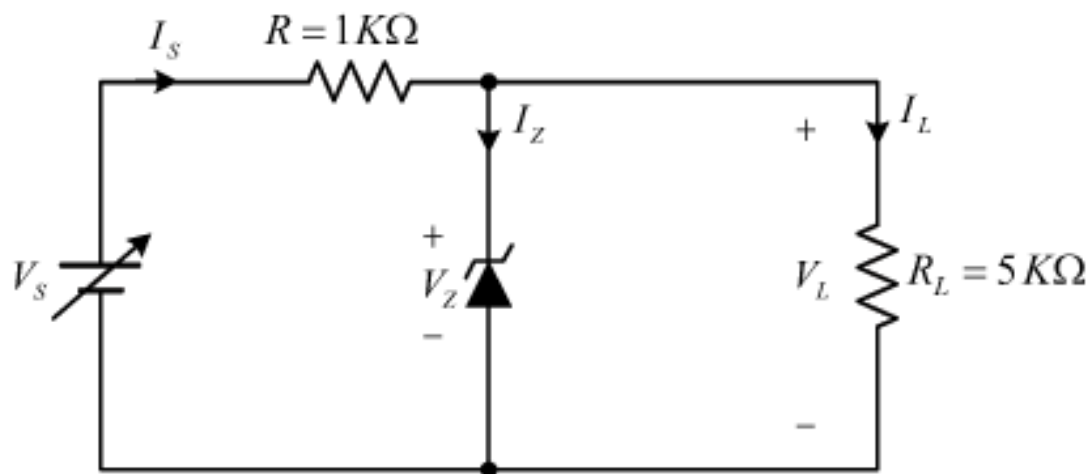


表 6-1 輸入電壓 (V_S) 變動之電壓調節電路的相關電壓與電流值 ($V_Z = 5.1\text{ V}$)

$V_S\text{ (V)}$	3	5	6	8	10	12	15	18	20	25
$I_Z\text{ (mA)}$	0	0	0.05	1.9	3.9	5.72	8.7	11.85	13.75	18.73
$V_Z\text{ (V)}$	2.54	4.2	5.1	5.15	5.18	5.2	5.23	5.26	5.27	5.3
$I_L\text{ (mA)}$	0.5	0.83	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.1

表 6-2 輸入電壓 (V_S) 變動之電壓調節電路的相關電壓與電流值 ($V_Z = 6.8\text{ V}$)

$V_S\text{ (V)}$	3	5	6	8	10	12	15	18	20	25
$I_Z\text{ (mA)}$	0	0	0	0.18	2	4.02	6.98	10	12.09	16.95
$V_Z\text{ (V)}$	2.51	4.16	5.06	6.6	6.67	6.68	6.7	6.72	6.73	6.75
$I_L\text{ (mA)}$	0.5	0.83	1.01	1.31	1.33	1.34	1.35	1.36	1.37	1.39



(二) 負載電阻 (R_L) 可容許最大變動範圍之電壓調節電路

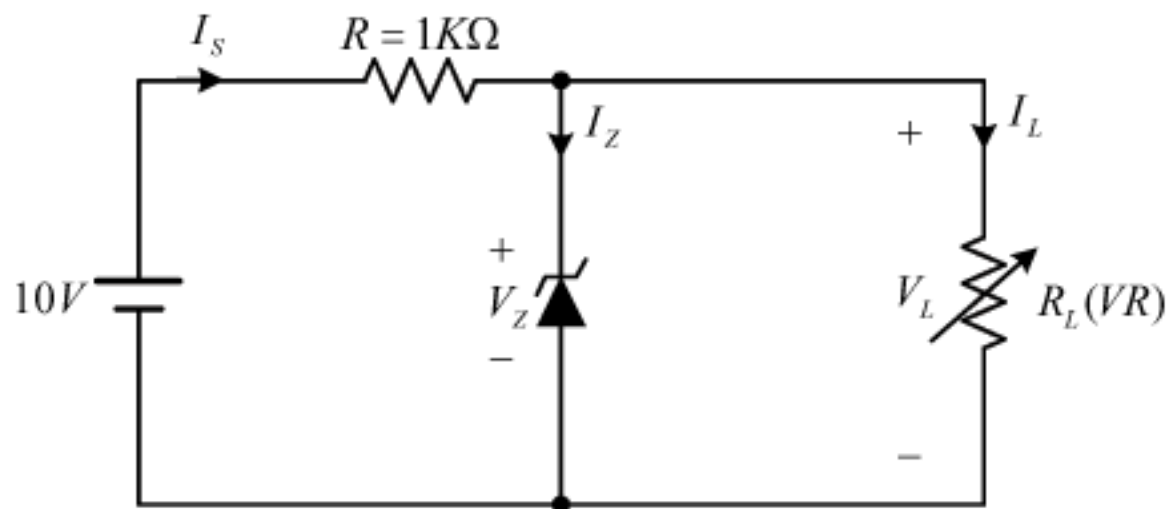


表 6-3 負載電阻 (R_L) 變動之電壓調節電路的相關電壓與電流值 ($V_Z = 5.1\text{ V}$)

$R_L (\Omega)$	100	200	500	1K	2K	5K	10K	20K	50K	100K
$I_Z (mA)$	0	0	0	0.53	3.7	4.09	4.43	4.64	4.72	4.78
$V_Z (V)$	0.8	2	3.41	5.13	5.18	5.19	5.19	5.2	5.2	5.2
$I_L (mA)$	9.38	8.17	6.71	4.41	1.15	0.75	0.4	0.18	0.1	0.04

表 6-4 負載電阻 (R_L) 變動之電壓調節電路的相關電壓與電流值 ($V_Z = 6.8\text{ V}$)

$R_L (\Omega)$	100	200	500	1K	2K	5K	10K	20K	50K	100K
$I_Z (mA)$	0	0	0	0	0.75	2.21	2.95	3.08	3.21	3.29
$V_Z (V)$	0.9	2.02	3.71	5.21	6.65	6.68	6.68	6.68	6.68	6.68
$I_L (mA)$	9.28	8.12	6.40	4.89	2.67	1.15	0.39	0.25	0.13	0.05



(三) 限流電阻 (R) 可容許最大變動範圍之電壓調節電路

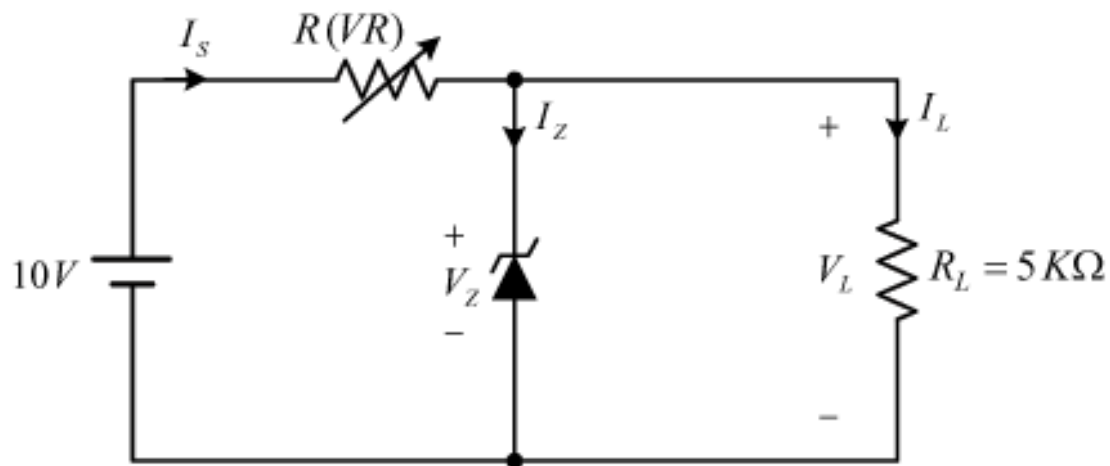


表 6-5 限流電阻 (R) 變動之電壓調節電路的相關電壓與電流值 ($V_Z = 5.1\text{ V}$)

$R\ (\Omega)$	300	500	700	1K	2K	5K	8K	10K	15K	20K
$I_Z\ (mA)$	17.56	6.13	5.81	3.33	0.51	0.01	0	0	0	0
$V_Z\ (V)$	5.29	5.21	5.21	5.18	5.14	5	3.87	3.39	2.55	2.02
$I_L\ (mA)$	1.09	1.04	1.04	1.03	1.02	0.99	0.76	0.67	0.5	0.4

表 6-6 限流電阻 (R) 變動之電壓調節電路的相關電壓與電流值 ($V_Z = 6.8\text{ V}$)

$R\ (\Omega)$	300	500	700	1K	2K	5K	8K	10K	15K	20K
$I_Z\ (mA)$	9.3	5.72	3.45	1.98	0.39	0	0	0	0	0
$V_Z\ (V)$	6.72	6.7	6.68	6.67	6.64	5.06	3.88	3.4	2.54	2.03
$I_L\ (mA)$	1.35	1.33	1.32	1.32	1.31	1.00	0.76	0.67	0.5	0.4



(四) 曾那二極體雙向截波電路

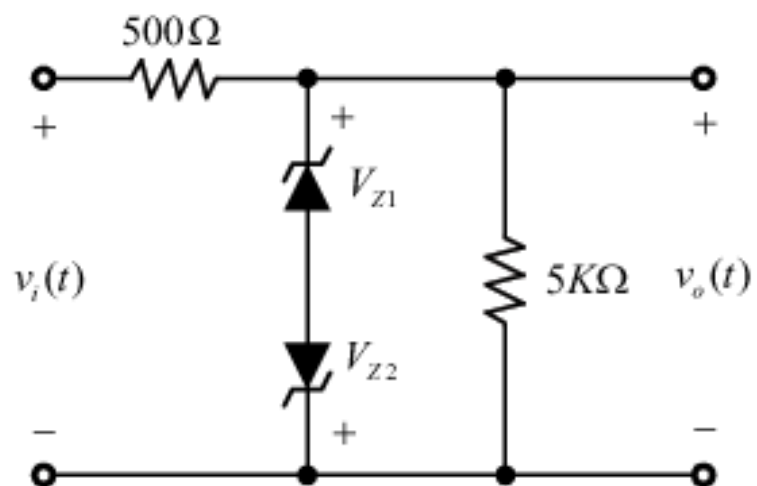


表 6-7 雙向截波電路之 $v_i(t)$ 與 $v_o(t)$ 波形與 $v_i(t) - v_o(t)$ 轉換特性曲線

$$V_Z = 5.1\text{ V}$$

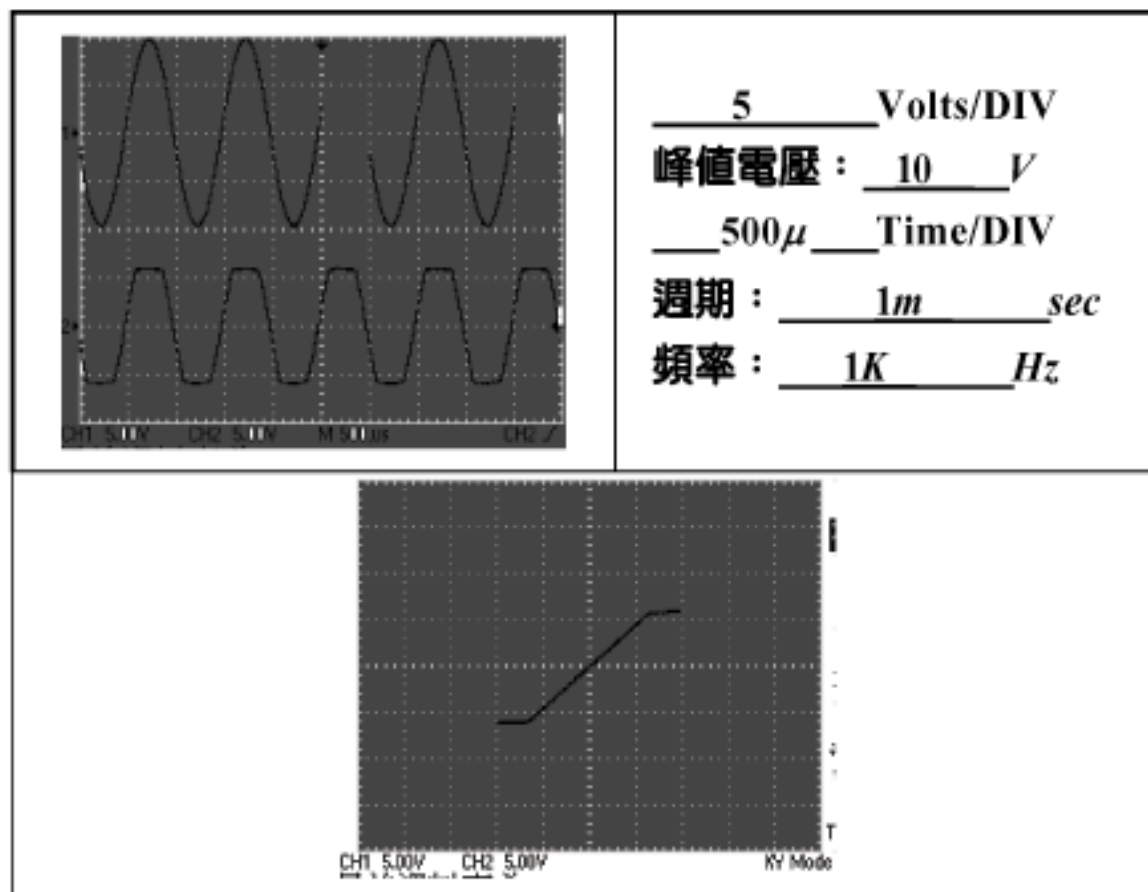
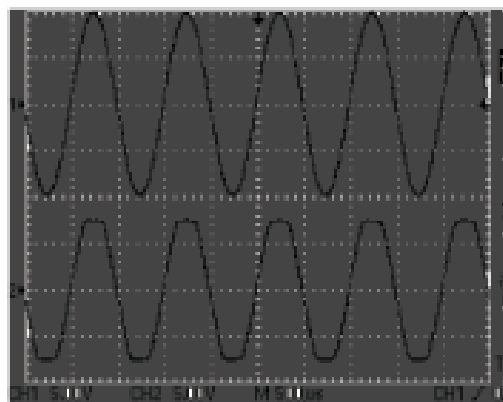


表 6-8 雙向截波電路之 $v_i(t)$ 與 $v_o(t)$ 波形與 $v_i(t) - v_o(t)$ 轉換特性曲線

$$V_Z = 6.8\text{ V}$$



5 Volts/DIV
 峰值電壓： 10 V
 500 μ Time/DIV
 週期： 1m sec
 頻率： 1K Hz

