

實習二

二極體整流電路

◆ 實習目的

1. 學習應用 pn 接面二極體之單向導通特性，以設計整流與濾波電路。
2. 藉由實習過程，以瞭解半波、全波與橋式全波整流之電氣特性。



相 關 知 識

- ◆ 將**交流訊號** (AC) 轉換成為**直流訊號** (DC) 之工作稱為**整流** (Rectification)，亦即將**正負交變**之訊號轉變成僅**單方向**之訊號。
- ◆ 利用實習一所討論之 pn **接面二極體** (簡稱二極體) 僅允許單方向之電流通過，而不允許另一方向之電流通過之電氣特性，以執行**整流**之工作。
- ◆ 由二極體所構成之整流電路可分為**半波整流器** (Half-wave Rectifier)、**中間抽頭變壓器之全波整流器** (Full-Wave Rectifier) 與**不需中間抽頭變壓器之全波橋式整流器** (Full-Wave Bridge Rectifier) 等三種。

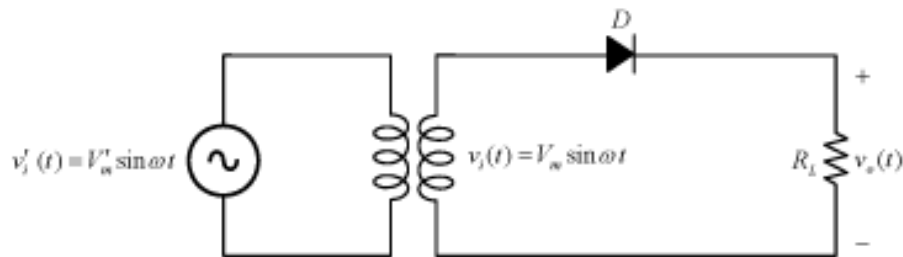


半波整流器

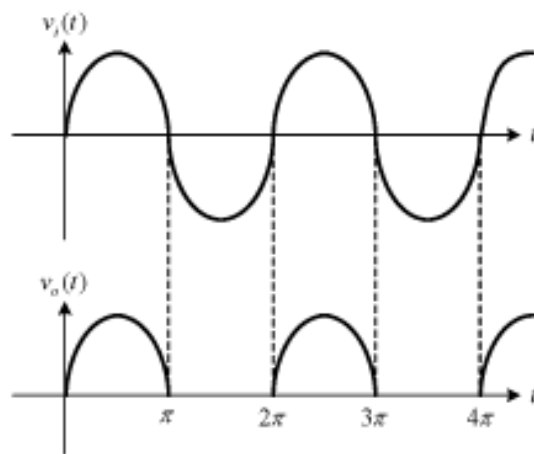
- ◆ 一個具變壓器之**半波整流器** (Half-wave Rectifier)，如右圖 (a) 所示。而整流器之原理如下：

- 1、當 $v_i(t)$ 為**正** ($v_i(t) > 0$) 時， D 接受**順向偏壓**(假設二極體為理想之情況)，因此時 D 可以用**短路**取代， $v_o(t)$ 等於 $v_i(t)$ 。
- 2、當 $v_i(t)$ 變為**負** ($v_i(t) < 0$) 時， D 接受**逆向偏壓**，因此時 D 可以用**開路**取代， $v_o(t)$ 等於**零**。

- ◆ 因輸出電壓僅出現在輸入電壓之**半個週期**，故此電路稱為**半波整流器**，而輸入與輸出波形，如右圖(b)所示，。



(a) 半波整流電路



(b) 輸入、輸出波形

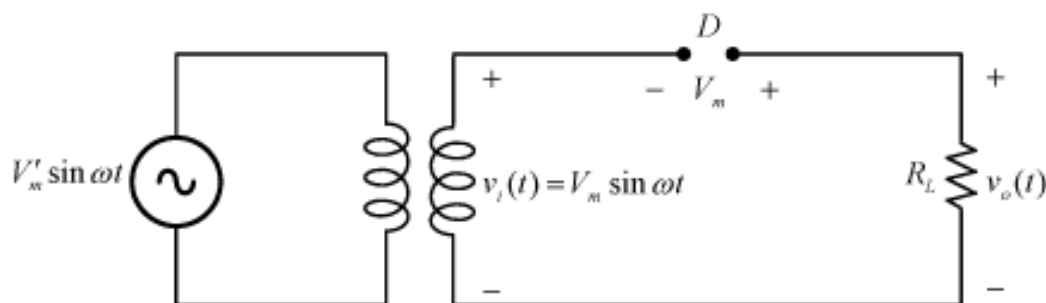


- ◆ 根據定義可知，半波整流之**直流輸出電壓** V_{dc} 與**輸出電壓均方根值** (Root Mean Square) V_{rms} 分別為

$$V_{dc} = V_{avg} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi} \left[-\cos(\omega t) \right]_0^{\pi} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318V_m$$

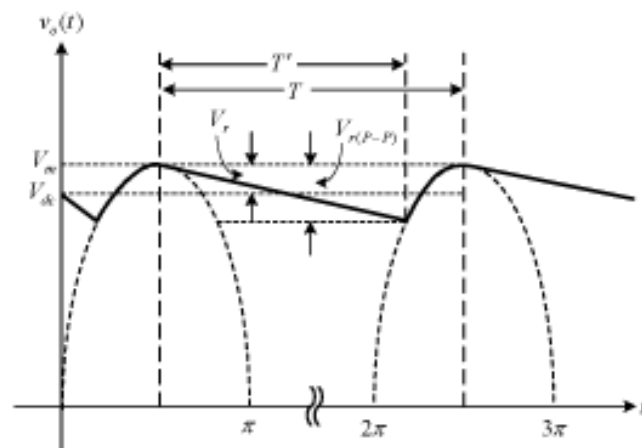
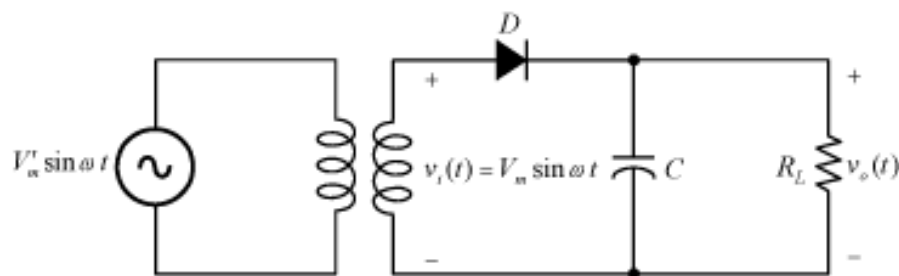
$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\int_0^{\pi} V_m^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t)}{2\pi}} = \sqrt{\frac{\pi V_m^2 / 2}{2\pi}} = \frac{V_m}{2}$$

- ◆ 對**半波整流電路**而言，當輸入電壓 $v_i(t)$ 為負 ($v_i(t) < 0$) 時，因二極體接受**逆向偏壓**，可將其視為開路之狀態，如下圖所示。此時二極體所承受之**最大逆向電壓**，而不發生崩潰之情況稱為**逆向峰值電壓** (Peak Inverse Voltage; **PIV**)。
- ◆ 對未經濾波之半波整流電路而言，二極體之 **PIV** 值必須要大於輸入訊號之**峰值電壓** V_m 。



含電容濾波之半波整流電路

- ◆ 半波整流電路之輸出電壓會有**漣波太大**之缺點，這種**不平坦**之輸出電壓，通常不符合實際之需要，必須經過**濾波電路**，使輸出之直流電壓的漣波變小，以改善整流電路的**脈動直流輸出訊號**。
- ◆ 若在半波整流電路之輸出**並聯一個電容器** C 後，便可構成簡單的**半波整流濾波電路**，如右下圖所示。
- ◆ 藉電阻和電容放電之**時間常數** $R_L C$ 。以**延緩輸出電壓** $v_o(t)$ **之下降**，當電容兩端電壓會被充電至正峰值電壓 V_m ，而當輸入電壓 $v_i(t)$ 通過正半週之峰值後，輸出電壓 $v_o(t)$ 會隨輸入電壓 $v_i(t)$ 之降低而減少，但因**電容** C **兩端之電壓瞬間不會改變**，僅會朝負載電阻 R_L 放電，而緩慢的下降，如左下圖所示。



- ◆ 為了避免電容放電期間，直流輸出電壓**衰減**太快，通常需選用**較大濾波電容** (C)，使時間常數 $R_L \cdot C$ **遠大於**放電時間 (T')，即滿足 $R \cdot C \gg T'$ 之條件，便可在輸入電壓通過**正半週之峰值至負半週** (二極體截止之狀態) 之期間，電容兩端之電壓僅會稍微下降，方可得到**較平穩** (較小之漣波) 之直流輸出電壓。
- ◆ 若電容濾波之半波整流電路的電容與負載電阻，分別為 C 與 R_L ，則當電容之放電時，可得負載兩端之**輸出電壓** $v_o(t)$ 為

$$v_o(t) = V_m e^{\frac{-t}{R_L \cdot C}} \rightarrow v_o(t) = V_m (1 - \frac{t}{R_L \cdot C}) \quad \text{當 } R \cdot C \gg T' \text{ 之條件成立}$$

- ◆ 若**忽略電容充電時間** (電容之充電時間相當短)，即假設 $T' \approx T$ 之條件成立，可得

$$V_m \left(1 - \frac{T}{R_L \cdot C} \right) = V_m - V_{r(p-p)} \rightarrow V_{r(p-p)} = \frac{V_m \cdot T}{R_L \cdot C} = \frac{V_m}{R_L \cdot C \cdot f}$$

- ◆ 因 $V_r = \frac{1}{2} V_{r(p-p)}$ ，再利用上式，即可得到**漣波電壓** V_r 為

$$V_r = \frac{V_m \cdot T}{2 \cdot R_L \cdot C}$$



- ◆ 根據定義可得**漣波電壓之均方根值** $V_{r(rms)}$ 為

$$V_{r(rms)} = \sqrt{\frac{\int_0^T \left(\frac{V_m \cdot T}{2 \cdot R_L \cdot C} \right)^2 dT}{T}} = \frac{V_m \cdot T}{2\sqrt{3} \cdot R_L \cdot C} = \frac{V_{r(p-p)}}{2\sqrt{3}}$$

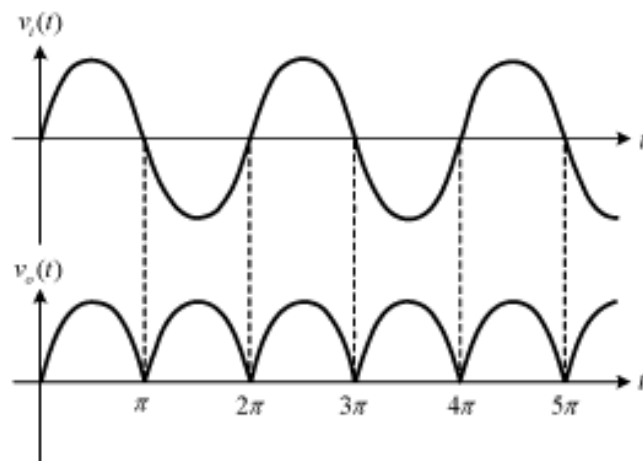
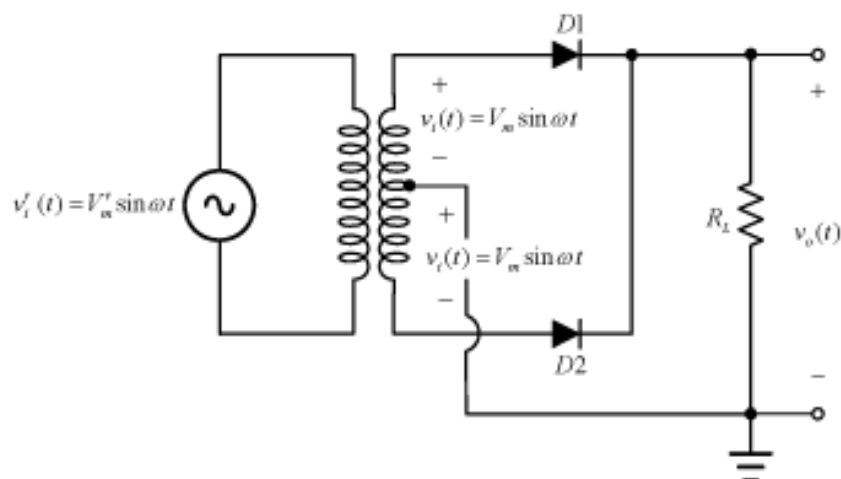
- ◆ 若利用三角波來近似漣波電壓時，則可得到**半波整流之直流電壓** V_{dc} 為

$$V_{dc} \approx V_m - \frac{V_{r(p-p)}}{2}$$



全波整流器

- ◆ **全波整流器** (Full-wave rectifier) 可將交流訊號之**正負半週**，同時整流成為**同一方向**之直流訊號，而**中間抽頭變壓器**之全波整流器，如下圖所示。(1)、當 $v_i > 0 \rightarrow v_o = v_i$ ；(2)、當 $v_i < 0 \rightarrow v_o = -v_i$ ，不管輸入訊號於正、負半週，經過全波整流器後，其輸出電壓皆為**同一方向**之訊號。



- ◆ 觀察上圖可知，**直流輸出電壓**之大小等於輸出電壓之**平均值**，其值可由一週期之輸出電壓函數積分後，再除以一週期而得到(全波整流器之輸出電壓為半波整流器之**兩倍**)，即

$$V_{dc} = V_{avg} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi} \left[-\cos \omega t \Big|_0^{\pi} \right] = \frac{2V_m}{\pi} = 0.636V_m$$

- ◆ 根據定義，可得半波整流之**輸出電壓均方根值** (Root mean square) 為

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\int_0^{\pi} V_m^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t)}{\pi}} = \sqrt{\frac{\pi V_m^2 / 2}{\pi}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

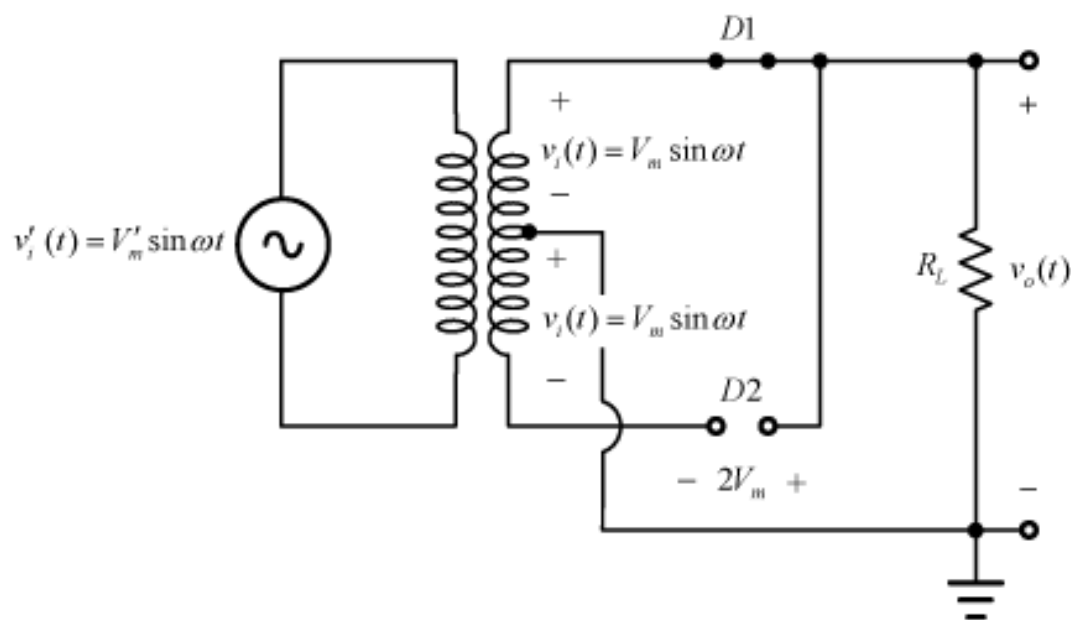
- ◆ 同理，半波整流之直流輸出電流與**均方根值** (Root mean square) 分別為

$$I_{dc} = I_{avg} = \frac{V_{dc}}{R_L} = \frac{2 \cdot V_m}{\pi \cdot R_L} = \frac{2 \cdot I_m}{\pi} = 0.636I_m$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707I_m$$

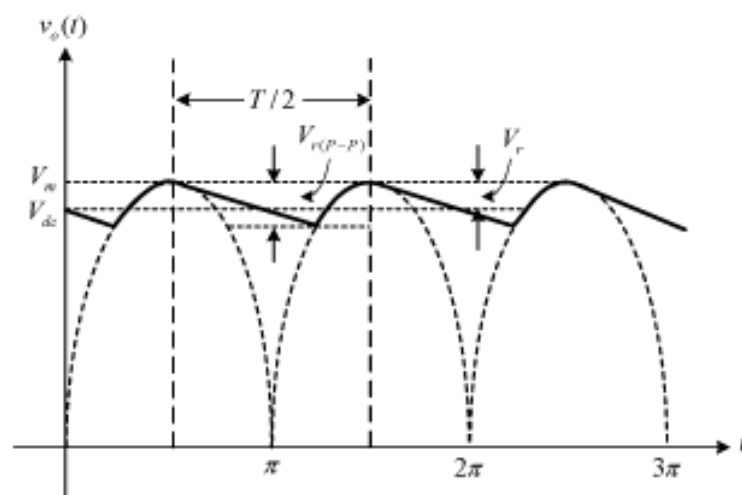
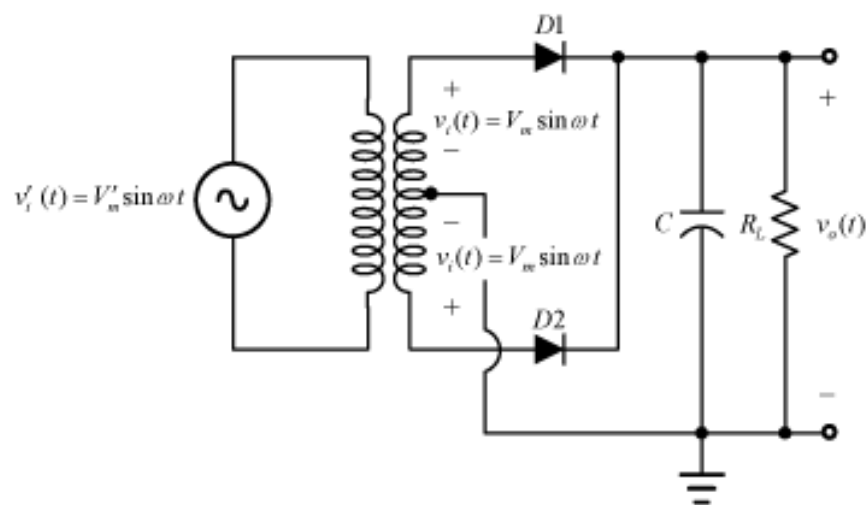


- ◆ 對全波整流器而言，當輸入電壓為正(負)半週時，二極體 $D2$ ($D1$) 必須能承受之**最大逆向電壓**，等於電路之輸出電壓 V_m 加上負 (正) 之 V_m ，因此施加每個二極體兩端之逆向電壓為 $2V_m$ ，故全波整流器之所有**二極體之 PIV 值**必須大於 $2V_m$ ，否則會使二極體產生**崩潰**之現象，如下圖所示。



含電容濾波之全波整流器

- ◆ 若在全波整流器上並聯一個電容後，構成一個簡單的濾波器，則可藉電阻和電容充放電之時間常數 $R_L C$ 來延緩電壓之下降（ $R_L C$ 之乘積必須遠大於輸入訊號之週期 T ），來獲得較為平穩之輸出直流訊號，而其輸入與輸出波形之關係，如下圖所示。



- ◆ 全波整流濾波器之**原理**與半波整流濾波相似，而唯一不同之處，僅為**全波整流電路的輸出電壓之頻率為半波整流電路兩倍**，若將半波整流濾波器之 T 改成 $\frac{T}{2}$ （即 f 改成 $2f$ ），即可獲得全波整流濾波器之**連波峰對峰電壓** ($V_{r(p-p)}$)、**均方根電壓** ($V_{r(rms)}$) 與**直流輸出電壓** (V_{dc}) 分別如下：

$$V_{r(p-p)} = \frac{V_m}{2 \cdot R_L \cdot C \cdot f}$$

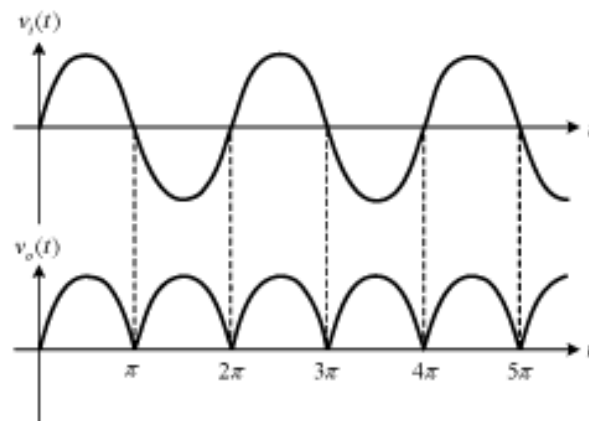
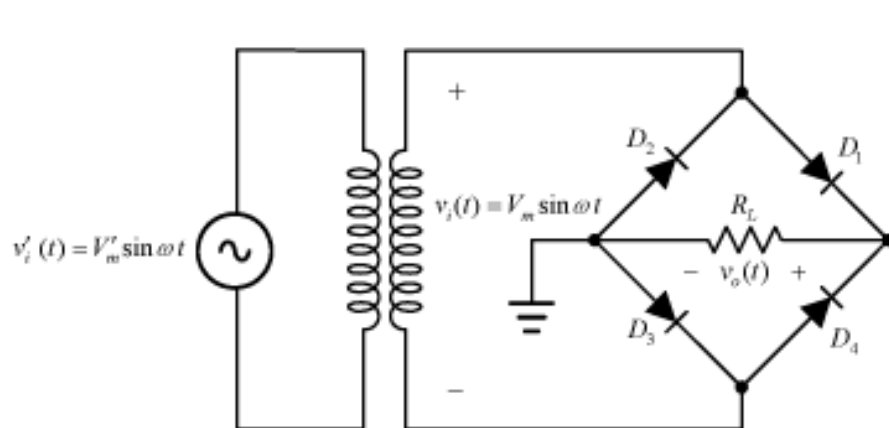
$$V_{r(rms)} = \frac{V_{r(p-p)}}{2\sqrt{3}}$$

$$V_{dc} \approx V_m - \frac{V_{r(p-p)}}{2}$$

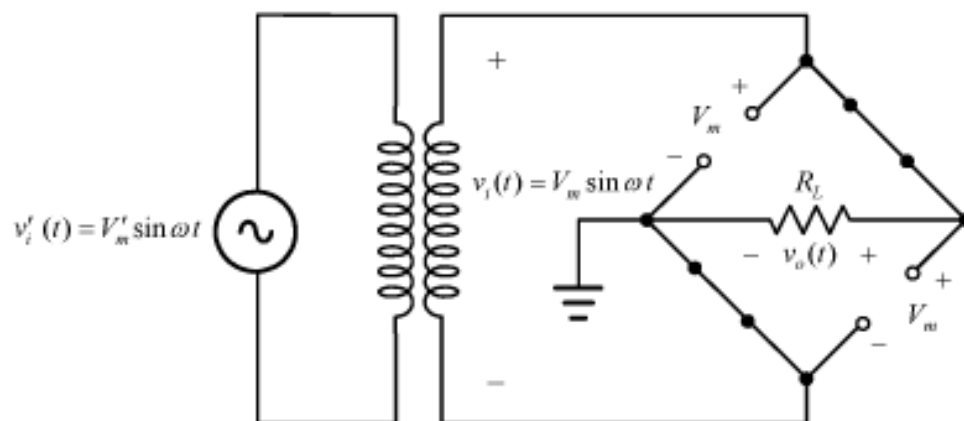


全波橋式整流器

- ◆ 為消除全波整流器變壓器中間抽頭之缺點，而使用四個二極體來實現之全波整流電路，稱為橋式整流器，如下圖所示。
- ◆ 當 $v_i > 0$ 時，二極體 D_1, D_3 接受順向偏壓而導通， D_2, D_4 接受逆向偏壓而截止，電流經由 D_1, D_3 在負載電阻 R_L 產生正壓降。
- ◆ 當 $v_i < 0$ 時，二極體 D_1, D_3 接受逆向偏壓而截止， D_2, D_4 接受順向偏壓而導通，因此電流經由 D_2, D_4 ，在負載電阻 R_L 產生與正半週相同方向之壓降。

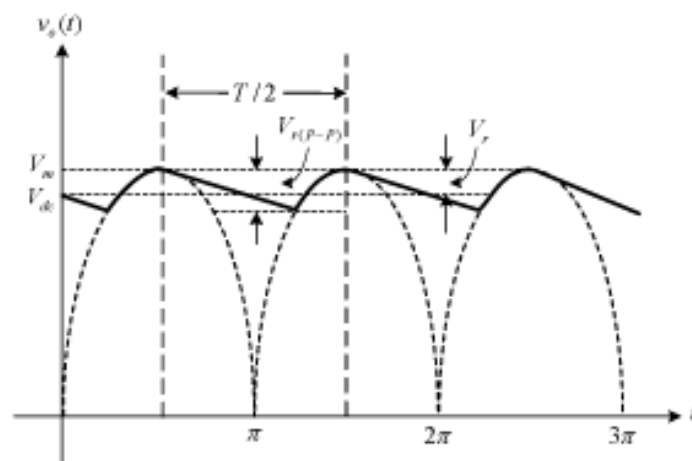
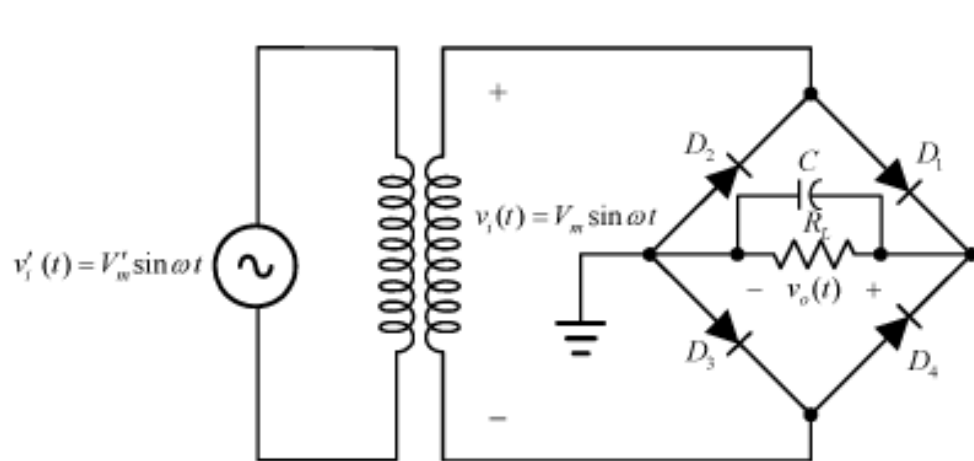


- ◆ 因橋式全波整流器無壓器中間抽頭，因此每個二極體所需承受之最大逆向電壓，只須為電路之輸出峰值電壓 V_m 即可，如下圖所示。



含電容濾波之全波橋式整流器

- ◆ 若在全波橋式整流電路上並聯一個電容後，構成一個簡單的濾波器，則可藉電阻和電容充放電之時間常數 $R_L C$ 來延緩電壓之下降（ $R_L C$ 之乘積必須遠大於輸入訊號之週期 T ），來獲得較為平穩之輸出直流訊號，而其輸入與輸出波形之關係，如下圖所示。



- ◆ 全波橋式整流濾波器之**原理**與全波整流濾波器相似，因此可得全波橋式整流濾波電路之**連波峰對峰電壓** ($V_{r(p-p)}$)、**均方根電壓** ($V_{r(rms)}$) 與**直流輸出電壓** (V_{dc}) 分別如下：

$$V_{r(p-p)} = \frac{V_m}{2 \cdot R_L \cdot C \cdot f}$$

$$V_{r(rms)} = \frac{V_{r(p-p)}}{2\sqrt{3}}$$

$$V_{dc} \approx V_m - \frac{V_{r(p-p)}}{2}$$



無濾波電容整流器之特性

特 性 \ 種 類	半波整流器	全波整流器	全波橋式整流器
二極體數目	1	2	4
輸出峰值電壓	V_m	V_m	V_m
輸出峰值電流	I_m	I_m	I_m
輸出直流電壓 (V_{dc})	$0.318 V_m$	$0.636 V_m$	$0.636 V_m$
輸出均方根電壓 (V_{rms})	$0.5 V_m$	$0.707 V_m$	$0.707 V_m$
輸出直流電流 (I_{dc})	$0.318 I_m$	$0.636 I_m$	$0.636 I_m$
輸出均方根電流 (I_{rms})	$0.5 I_m$	$0.707 I_m$	$0.707 I_m$
最大逆向峰值電壓 (VIP)	V_m	$2 V_m$	V_m



含電容濾波整流器之特性

特 性 \ 種 類	半波整流器	全波整流器	全波橋式整流器
濾波頻率	f	$2f$	$2f$
濾波峰對峰電壓 ($V_{r(p-p)}$)	$\frac{V_m}{R_L \cdot C \cdot f}$	$\frac{V_m}{2 \cdot R_L \cdot C \cdot f}$	$\frac{V_m}{2 \cdot R_L \cdot C \cdot f}$
濾波均方根電壓 ($V_{r(rms)}$)	$\frac{V_{r(p-p)}}{2\sqrt{3}}$	$\frac{V_{r(p-p)}}{2\sqrt{3}}$	$\frac{V_{r(p-p)}}{2\sqrt{3}}$
直流輸出電壓 (V_{dc})	$V_m - \frac{V_{r(p-p)}}{2}$	$V_m - \frac{V_{r(p-p)}}{2}$	$V_m - \frac{V_{r(p-p)}}{2}$



實習步驟與結果

(一) 無濾波電路之半波整流器

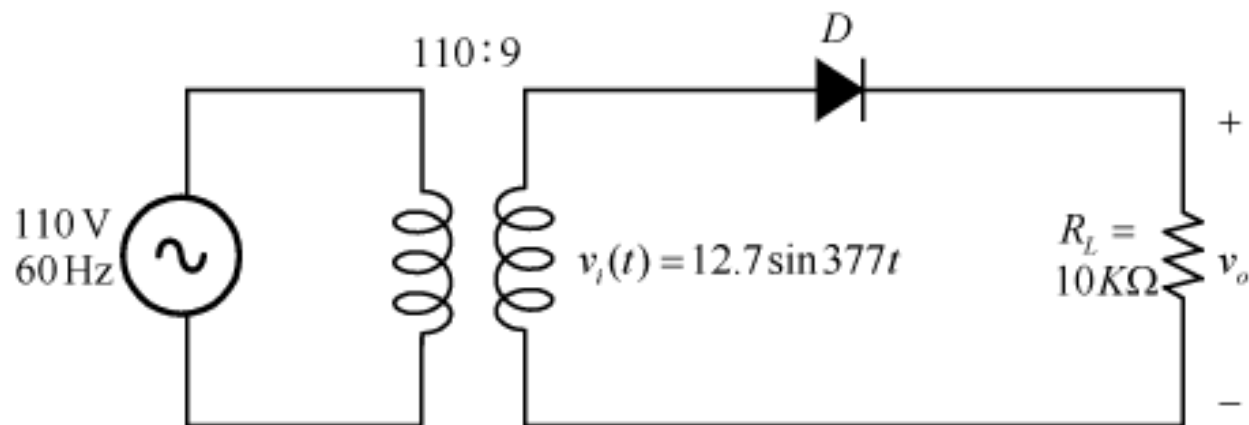


表 2-3 半波整流器之輸入與輸出電壓波形

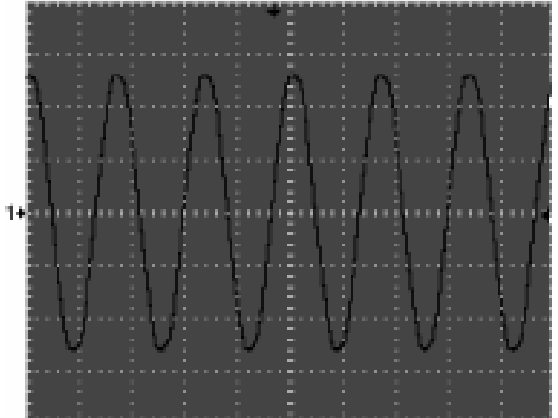
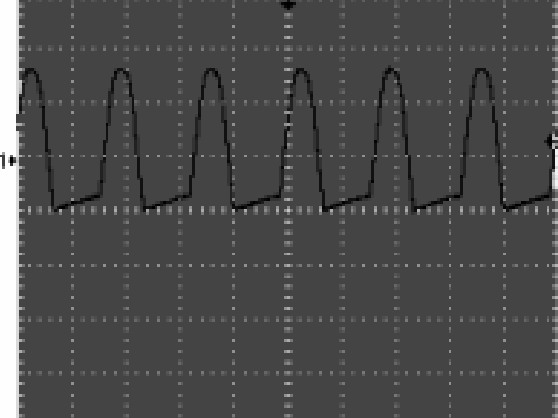
 <p>CH1 5.00V M 10.0ms CH1 ✓</p>	<p><u>5</u> Volts/DIV 峰值電壓： <u>13</u> V <u>10m</u> Time/DIV 週期： <u>1.68m</u> sec 頻率： <u>60</u> Hz</p>
 <p>CH1 5.00V M 10.0ms CH1 ✓</p>	<p><u>5</u> Volts/DIV 峰值電壓： <u>13</u> V <u>10m</u> Time/DIV 週期： <u>1.68m</u> sec 頻率： <u>60</u> Hz</p>



表 2-4 半波整流電路之輸入與輸出電壓值

特 性 \ 種 類	測 量 值	理 論 值
峰值電壓 V_m (V)	13	12.7
直流電壓 V_{dc} (V)	4.1	4
漣波均方根值電壓 $V_{r(rms)}$ (V)	6.5	6.35



(二) 具濾波電路之半波整流器

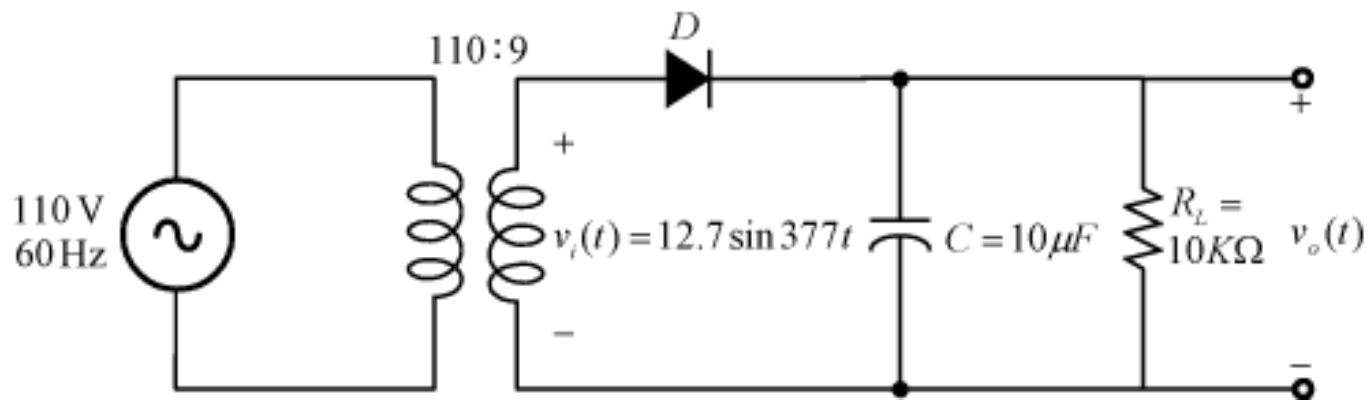


表 2-5 含電容濾波之半波整流器的輸入與輸出電壓波形

$$C = 1\mu F$$

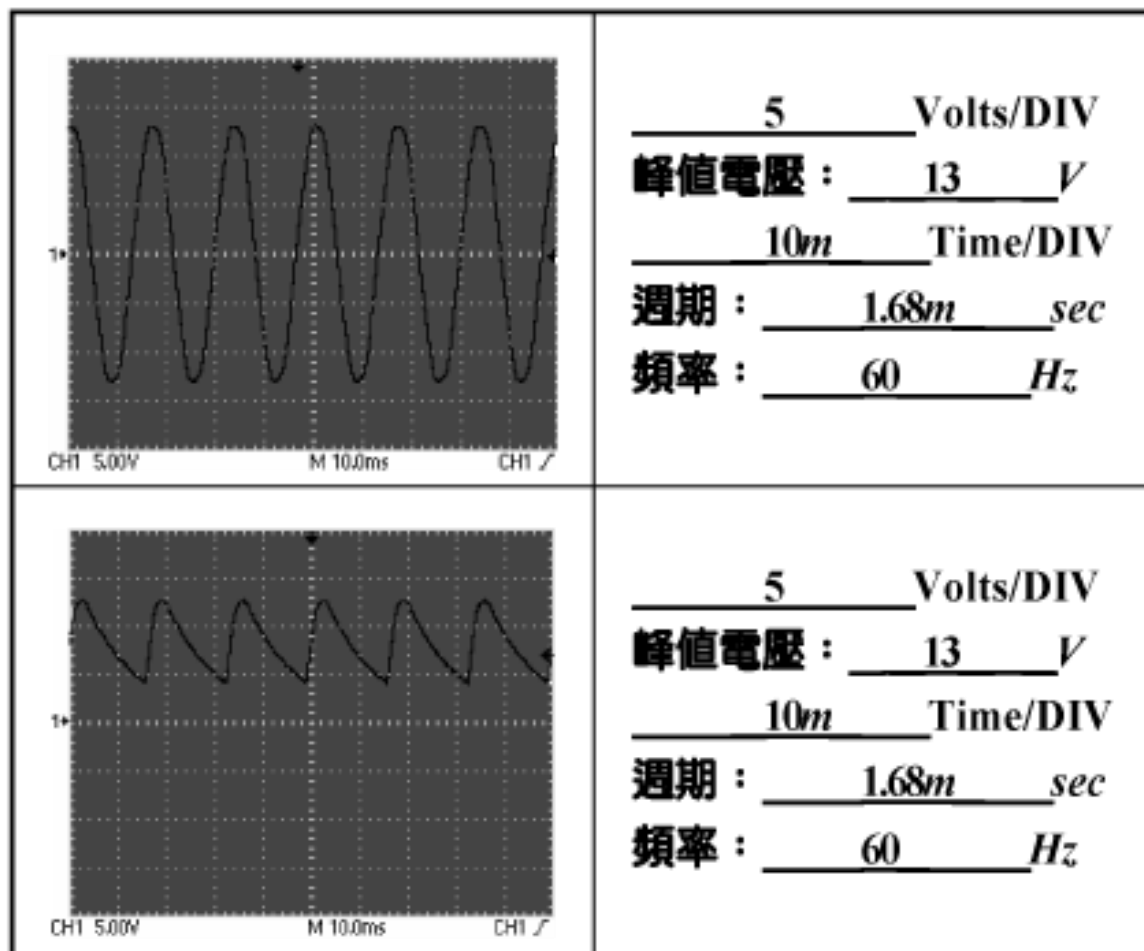


表 2-6 含電容濾波之半波整流電路之輸入與輸出電壓值

$$C = 1 \mu F$$

特 性 \ 種 類	測 量 值	理 論 值
峰值電壓 V_m (V)	13	12.7
直流電壓 V_{dc} (V)	11.91	11.64
濾波均方根值電壓 $V_{r(rms)}$ (V)	0.62	0.61



表 2-7 含電容濾波之半波整流器的輸入與輸出電壓波形

$$C = 100 \mu F$$

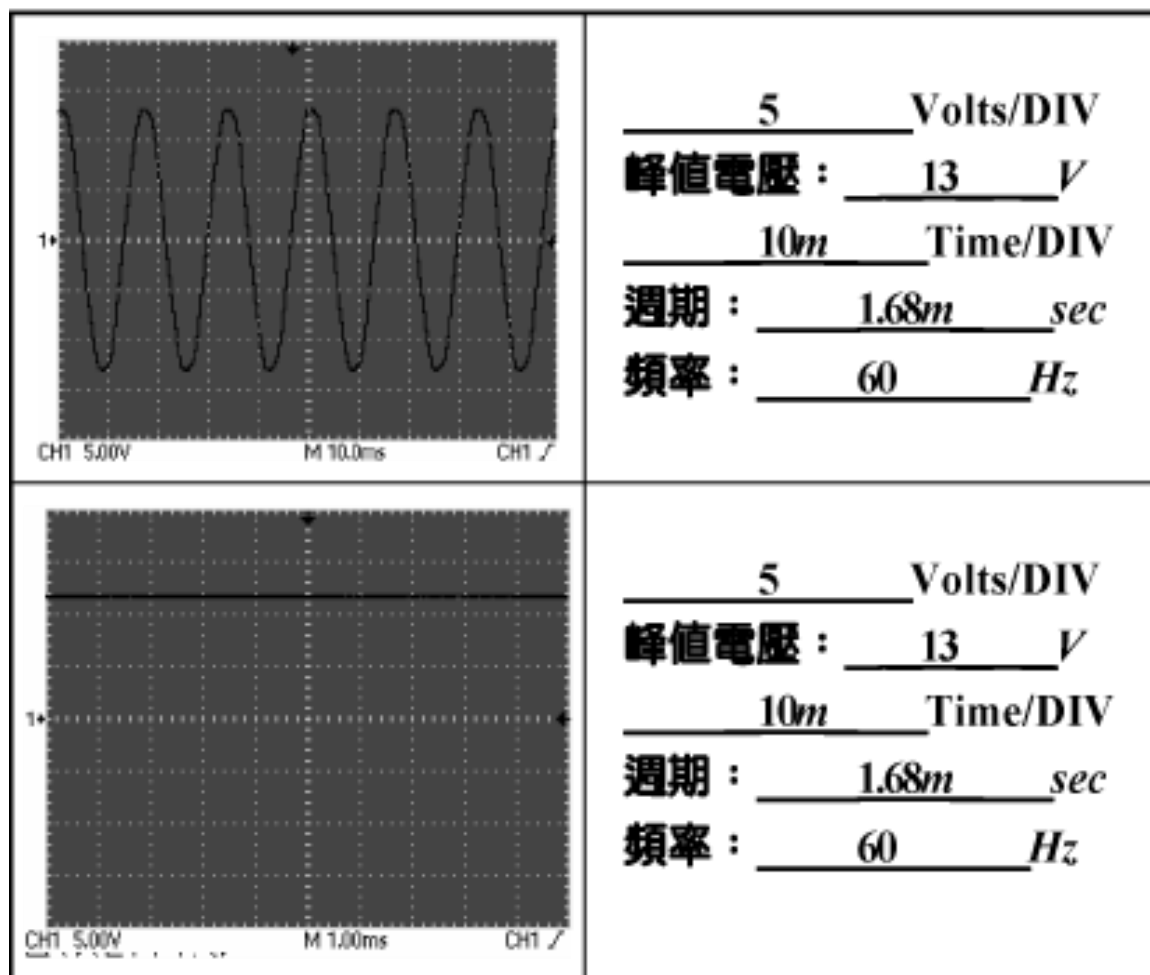


表 2-8 含電容濾波之半波整流電路之輸入與輸出電壓值

$$C = 100 \mu F$$

特 性 \ 種 類	測 量 值	理 論 值
峰值電壓 $V_m (V)$	13	12.7
直流電壓 $V_{dc} (V)$	12.9	12.6
漣波均方根值電壓 $V_{r(rms)} (V)$	0.061	0.06



(三) 無濾波電路之全波整流器

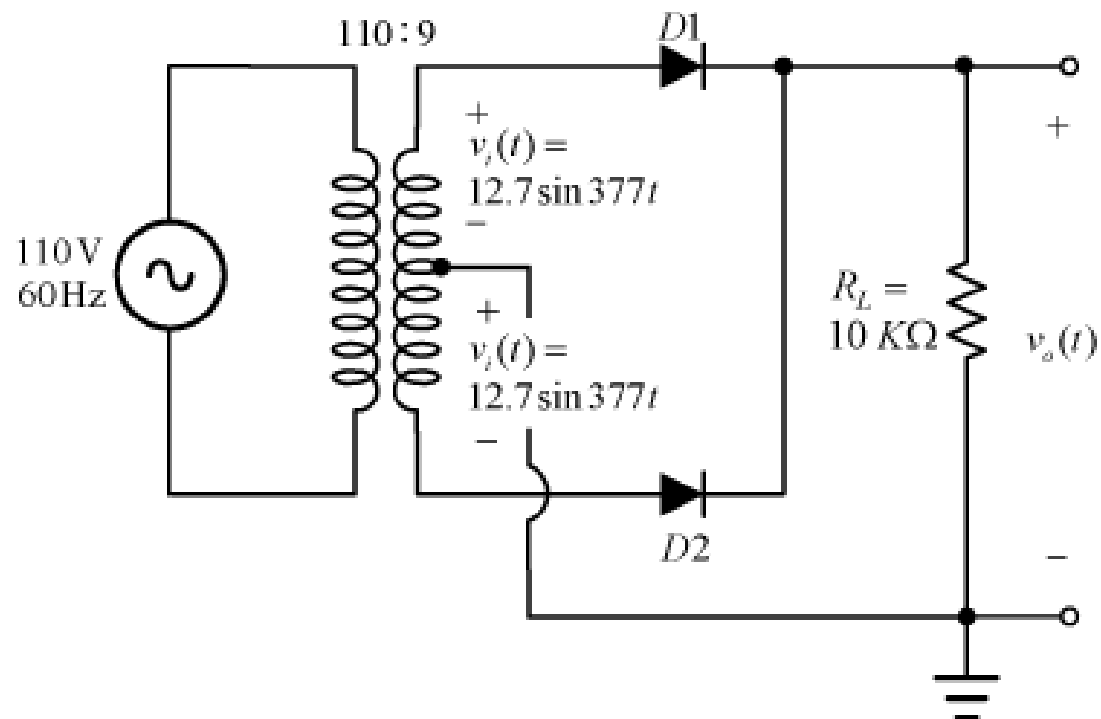


表 2-9 全波整流器之輸入與輸出電壓形

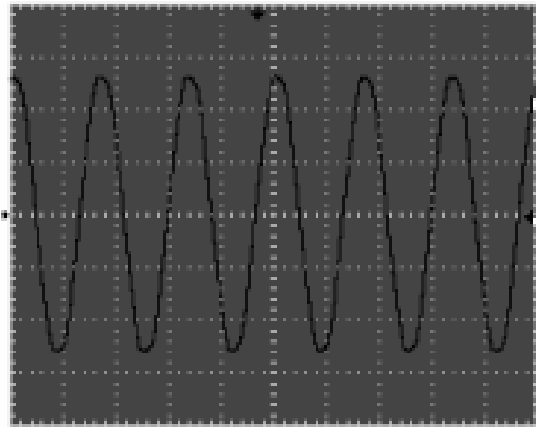
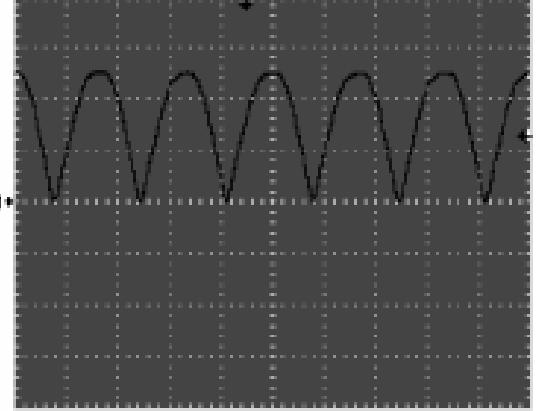
 <p>CH1 5.00V M 10.0ms CH1 ✓</p>	<p><u>5</u> Volts/DIV 峰值電壓： <u>13</u> V <u>10m</u> Time/DIV 週期： <u>1.68m</u> sec 頻率： <u>60</u> Hz</p>
 <p>CH1 5.00V M 5.00ms CH1 ✓</p>	<p><u>5</u> Volts/DIV 峰值電壓： <u>13</u> V <u>10m</u> Time/DIV 週期： <u>1.68m</u> sec 頻率： <u>60</u> Hz</p>



表 2-10 全波整流電路之輸入與輸出電壓值

特 性 \ 種 類	測 量 值	理 論 值
峰值電壓 V_m (V)	13	12.7
直流電壓 V_{dc} (V)	8.27	8.08
連波均方根值電壓 $V_{r(rms)}$ (V)	9.16	8.98



(四) 具濾波電路之全波整流器

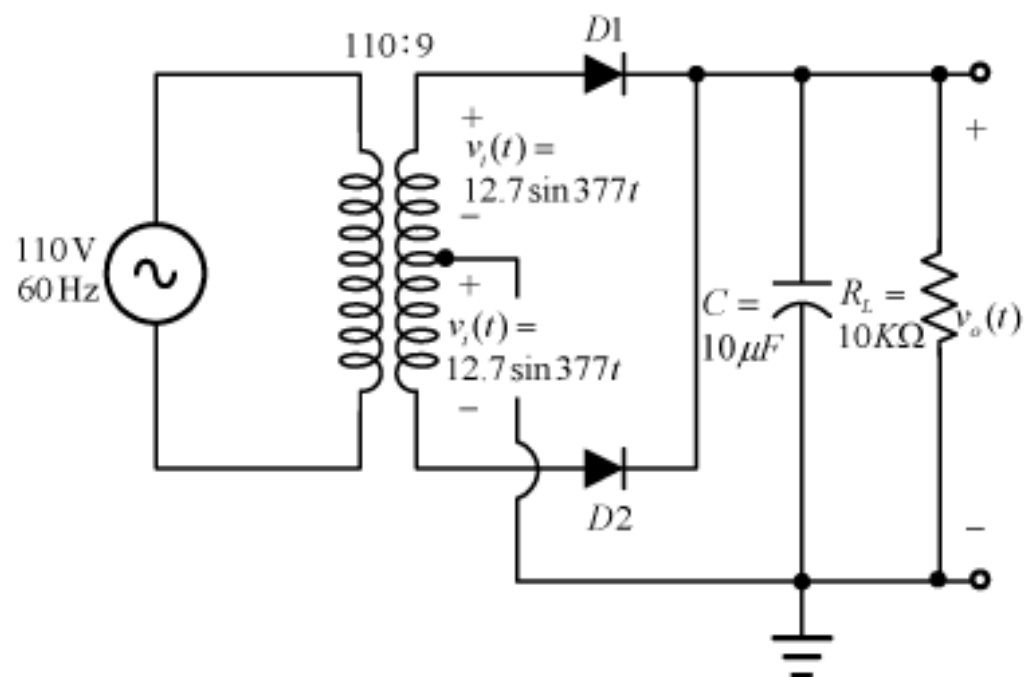


表 2-11 含電容濾波之全波整流器的輸入與輸出電壓波形

$$C = 1\mu F$$

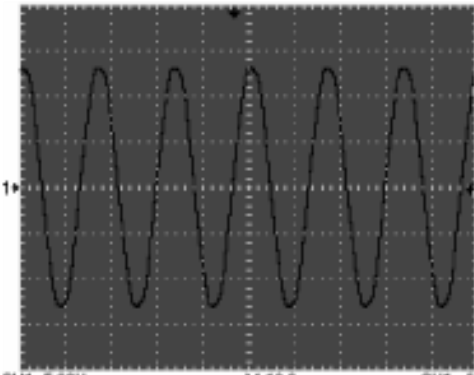
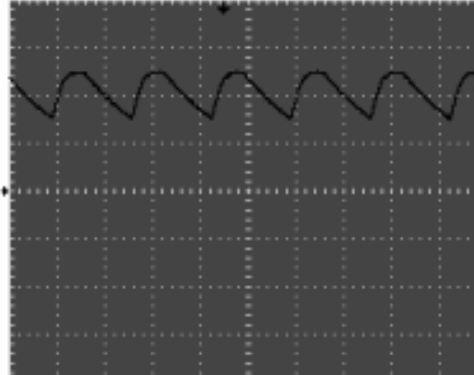
 <p>CH1 5.00V M 10.0ms CH1 √</p>	<p><u>5</u> Volts/DIV 峰值電壓：<u>13</u> V <u>10m</u> Time/DIV 週期：<u>1.68m</u> sec 頻率：<u>60</u> Hz</p>
 <p>CH1 5.00V M 5.00ms CH1 √</p>	<p><u>5</u> Volts/DIV 峰值電壓：<u>13</u> V <u>10m</u> Time/DIV 週期：<u>1.68m</u> sec 頻率：<u>60</u> Hz</p>



表 2-12 含電容濾波之全波整流電路之輸入與輸出電壓值

$$C = 1\mu F$$

特 性 \ 種 類	測 量 值	理 論 值
峰值電壓 V_m (V)	13	12.7
直流電壓 V_{dc} (V)	12.46	12.17
漣波均方根值電壓 $V_{r(rms)}$ (V)	0.31	0.3



表 2-13 含電容濾波之全波整流器的輸入與輸出電壓波形

$$C = 100 \mu F$$

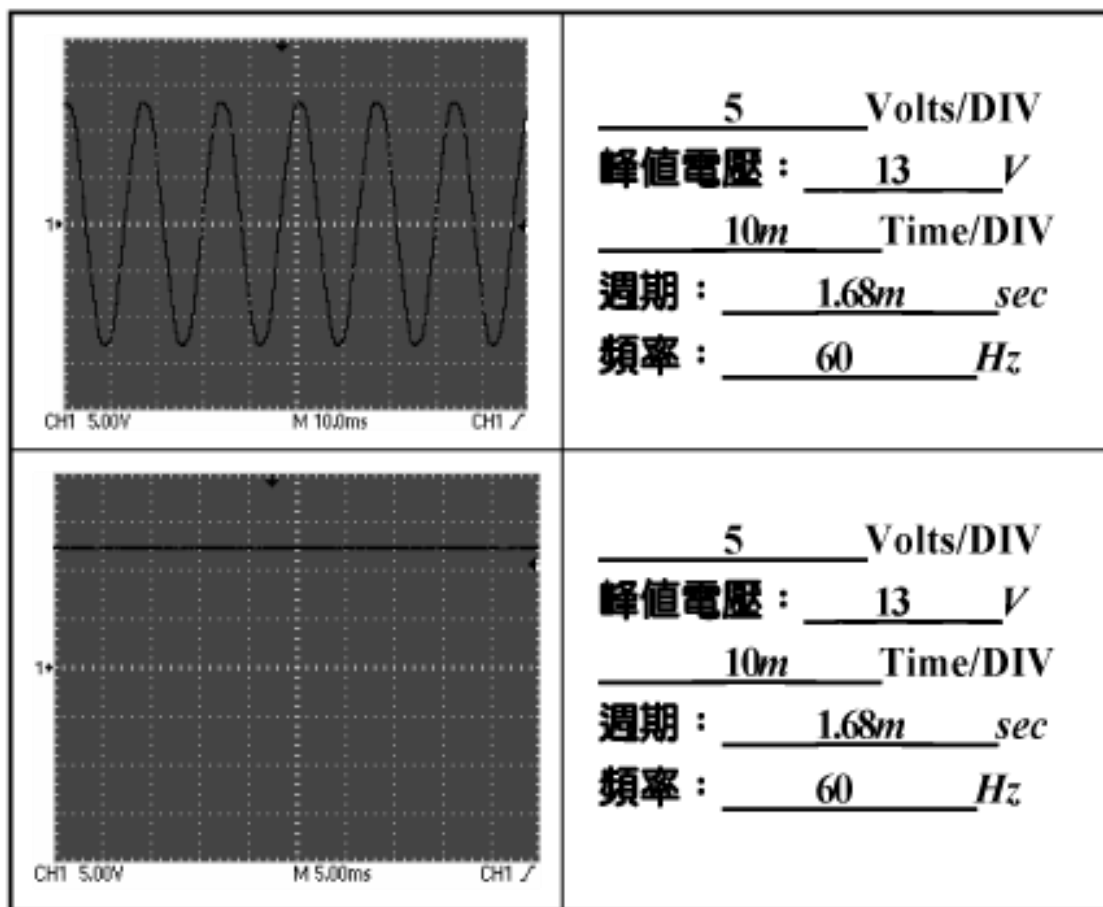


表 2-14 含電容濾波之全波整流電路之輸入與輸出電壓值

$$C = 100 \mu F$$

特 性 \ 種 類	測 量 值	理 論 值
峰值電壓 V_m (V)	13	12.7
直流電壓 V_{dc} (V)	12.95	12.65
漣波均方根值電壓 $V_{r(rms)}$ (V)	0.03	0.03



(五) 無濾波電路之橋式全波整流器

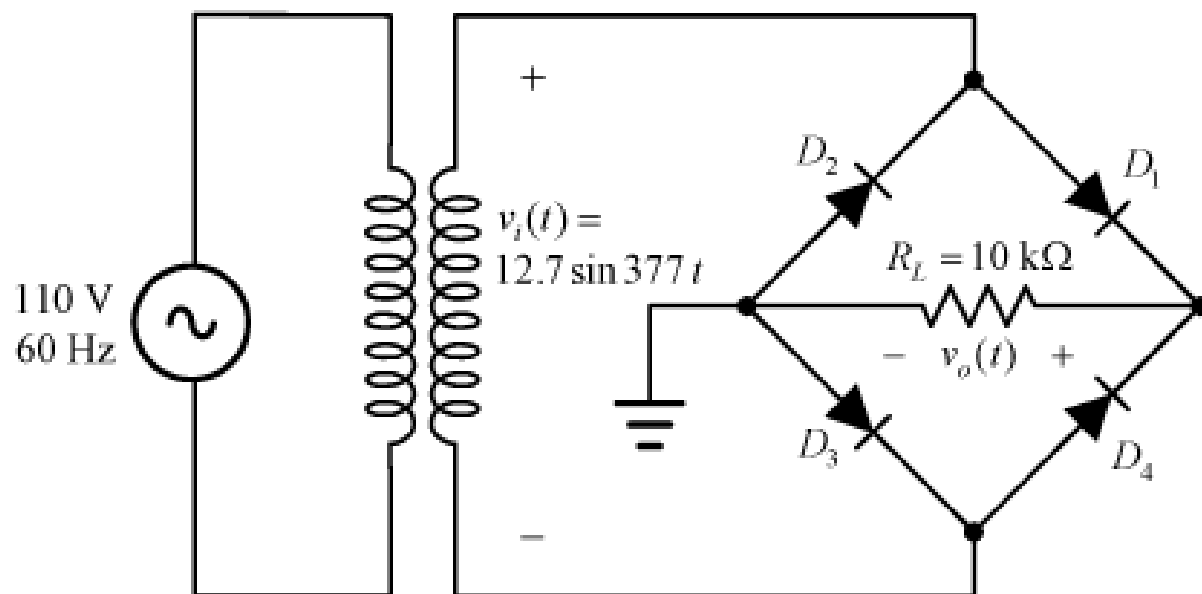


表 2-15 橋式全波整流器之輸入與輸出波形

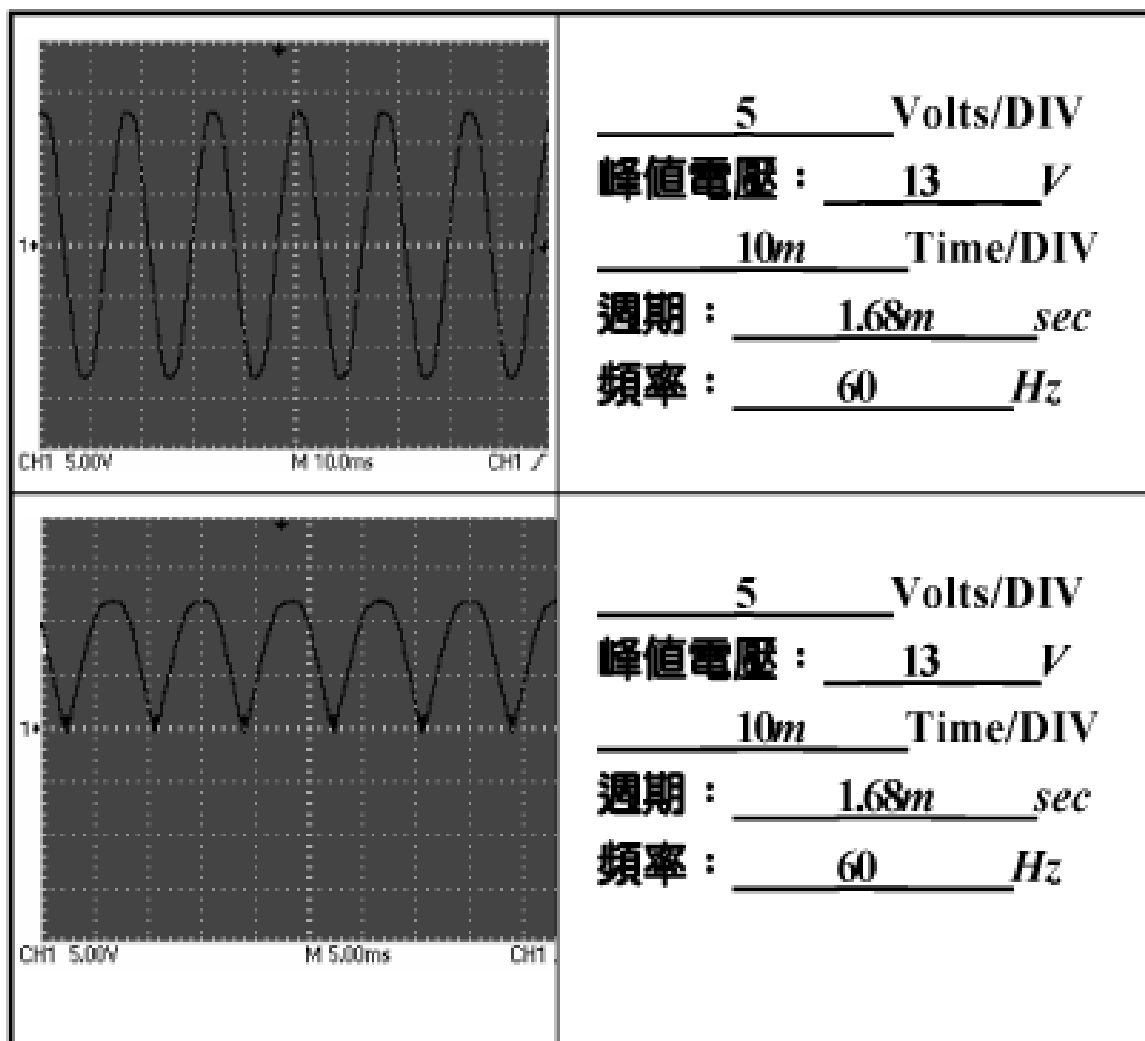


表 2-16 全波整流電路之輸入與輸出電壓值

特 性 \ 種 類	測 量 值	理 論 值
峰值電壓 V_m (V)	13	12.7
直流電壓 V_{dc} (V)	8.27	8.08
漣波均方根值電壓 $V_{r(rms)}$ (V)	9.19	8.98



(六) 具濾波電路之橋式全波整流器

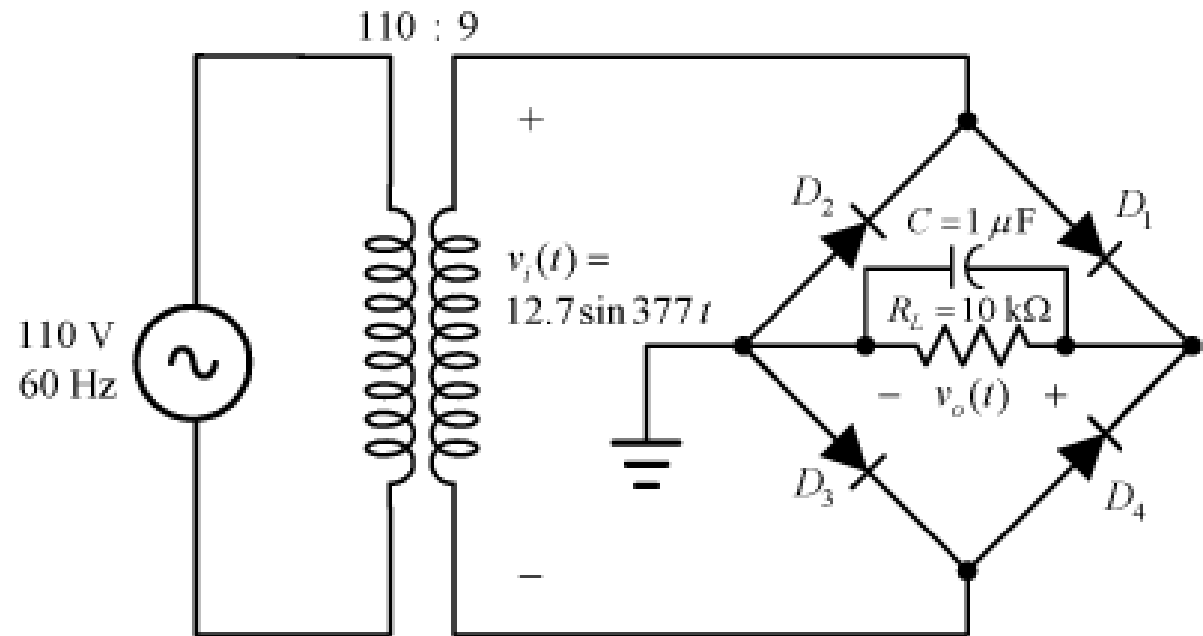


表 2-17 橋式全波整流器之輸入與輸出波形

$$C = 1\mu F$$

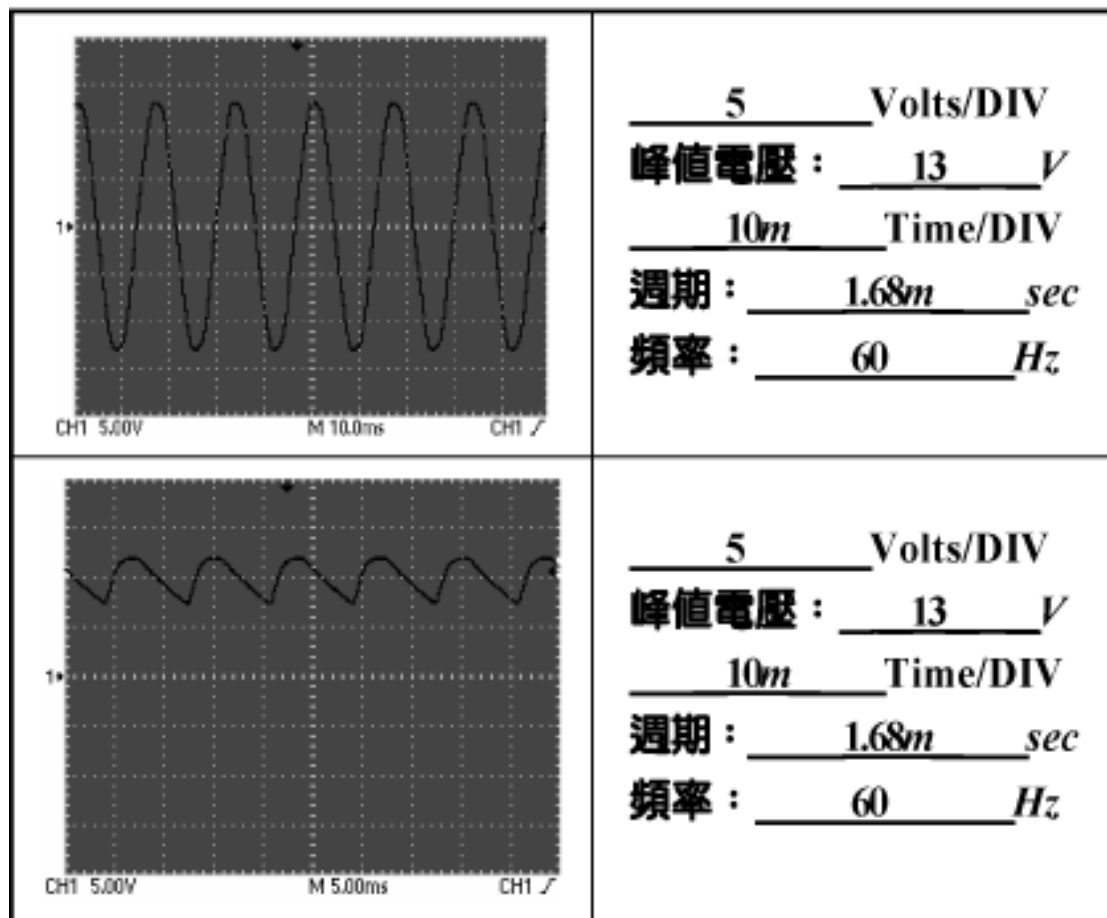


表 2-18 全波整流電路之輸入與輸出電壓值

$$C = 1\mu F$$

特 性 \ 種 類	測 量 值	理 論 值
峰值電壓 V_m (V)	13	12.7
直流電壓 V_{dc} (V)	12.46	12.17
漣波均方根值電壓 $V_{r(rms)}$ (V)	0.31	0.3



表 2-19 橋式全波整流器之輸入與輸出波形

$$C = 100 \mu F$$

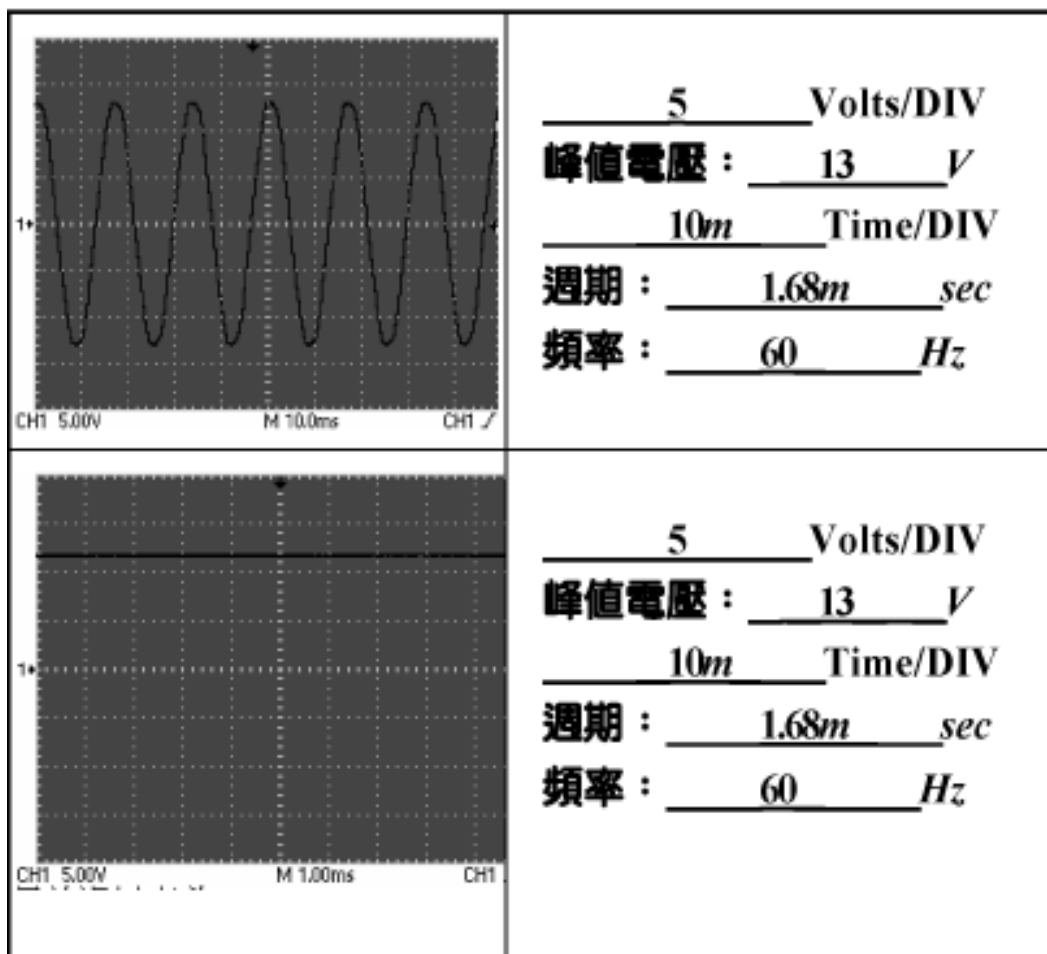


表 2-20 全波整流電路之輸入與輸出電壓值

$$C = 100 \mu F$$

特 性 \ 種 類	測 量 值	理 論 值
峰值電壓 V_m (V)	13	12.7
直流電壓 V_{dc} (V)	12.95	12.65
漣波均方根值電壓 $V_{r(rms)}$ (V)	0.03	0.03

