

## 實驗二 二極體

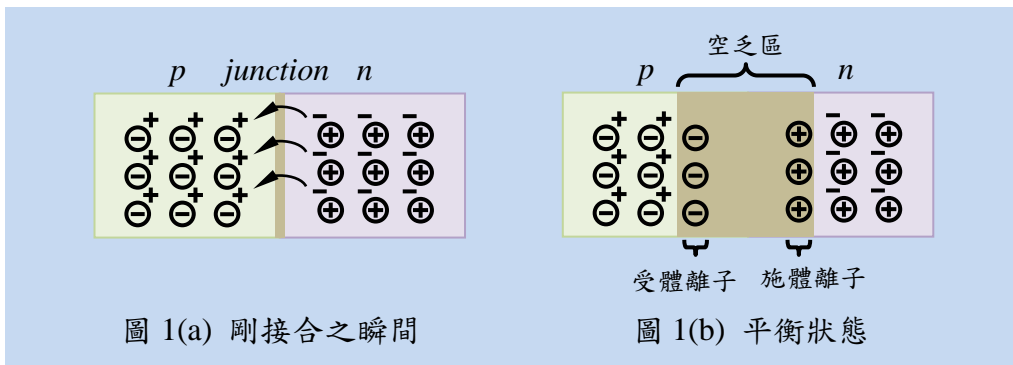
### 一. 實驗器材

名稱	數量	名稱	數量
二極體	4	電阻 10 kΩ	1
變壓器 PT-12	1	電容 47 μF	1
可變電阻 10 kΩ	1	電容 100 μF	1
電阻 1 kΩ	1		

### Part I 二極體之基本特性

#### 1. $p$ - $n$ 接合 (junction)

- (1) 當  $p$  型半導體或  $n$  型半導體單獨使用時，其導電性不如金屬，但比絕緣體好，因此我們可將其視為一個電阻器。

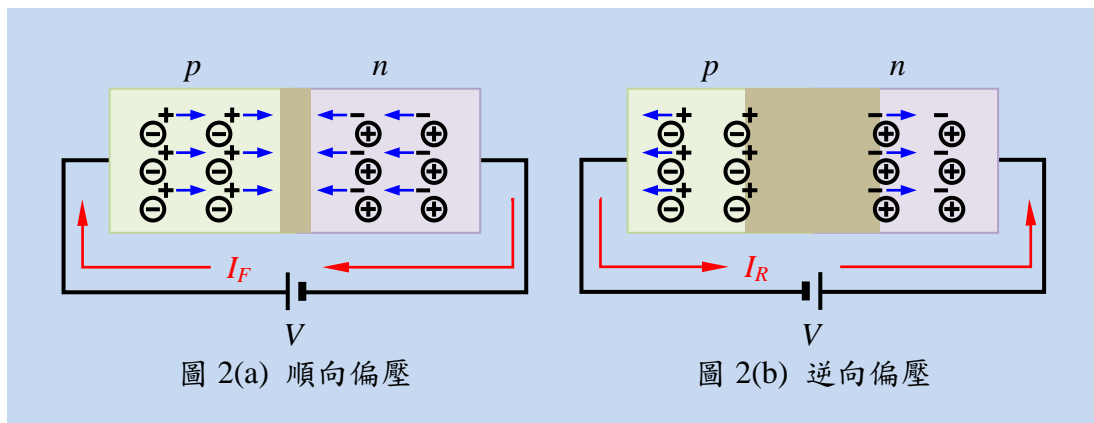


- (2) 當一塊  $p$  型半導體和  $n$  型半導體剛被結合在一起時，如圖 1(a) 所示，由於  $p$  型半導體中有很多電洞，而  $n$  型半導體中有許多電子，所以接合面附近的電子擴散進入  $p$  型區與電洞結合，於是靠近接合面的  $n$  型半導體原子失去電子後就變成正離子， $p$  型半導體減少了一些電洞以後就變成負離子，如圖 1(b) 所示。此時正離子會排斥電洞，負離子會排斥電子，因而阻止了電子、電洞的繼續結合，而產生平衡之狀態。
- (3) 在  $p$ - $n$  接合面附近沒有電子或電洞，只有離子之區域稱為空乏區 (depletion region)。

- (4) 空乏區的離子所產生之電位阻止載子繼續通過接合面，稱為位障 (potential barrier)。  
其值視摻雜程度而定，一般而言，Ge 的位障為 0.2~0.3 V，而 Si 約為 0.6~0.7 V。

## 2. 順向偏壓 (Forward Bias)

- (1) 若把電池的“+”接  $p$  型半導體，而把“-”接  $n$  型半導體，如圖 2(a) 所示，則此偏壓型式稱為“順向偏壓”。
- (2) 若外加電源足夠克服位障，此時  $n$  型半導體中的電子會越過  $p-n$  接合面而進入  $p$  型導體與電洞結合，同時，電洞也會通過接合面而進入  $n$  型半導體內與電子結合，造成很大的順向電流 ( $I_F$ )。



## 3. 逆向偏壓 (Reverse Bias)

- (1) 電池的“+”接  $n$  而“-”接  $p$ ，則載子將受電池極性之吸引而遠離接合面，空乏區增大，而不會有載子越過接合面產生結合，如圖 2(b) 所示，此種偏壓稱為逆向偏壓。
- (2) 當加上逆向偏壓時，理想的情形應該沒有逆向電流 ( $I_R=0$ ) 才對。但由於溫度產生了少數的電子-電洞對，因此有少許載子存在。 $n$  型半導體中的少數電洞和  $p$  型半導體中的少數電子恰可以通過  $p-n$  接合面而結合，因此有一“極小”之電流存在。此電流稱為漏電電流，在廠商的資料中多以  $I_R$  表之。

【註】：在實際應用時多將  $I_R$  忽略，而不加以考慮。

- (3)  $I_R$  與逆向偏壓之大小無關，卻與溫度有關。無論鍺或矽，每當溫度升高  $10^\circ\text{C}$ ， $I_R$  就增加為原來的兩倍。

#### 4. 崩潰 (Breakdown)

- (1) 當我們不斷把逆向電壓加大時，少數載子將獲得相當大的能量而撞擊、破壞共價鍵，而產生大量的電子-電洞對。此新產生之電子及電洞又從這大逆向偏壓中獲得相當大的能量去破壞其他共價鍵，這種過程不斷重覆的結果，逆向電流將大量增加，此種現象稱為崩潰。
- (2)  $p-n$  接合因被加上“過大”的逆向電壓而大量導電時，若不設法限制通過之逆向電流，則  $p-n$  接合將會燒毀。

#### 5. 二極體之 $V-I$ 特性

二極體的電路符號與實體圖如圖 3 所示，圖 4 則為二極體之順向偏壓電路及順向偏壓  $V-I$  特性曲線。由順向  $V-I$  特性曲線可看出二極體所加之順向偏壓低於臨限電壓 (threshold voltage) 時，電流很小，一旦超過此電壓，電流  $I_F$  即急速上昇。矽二極體之臨限電壓為 0.7 V，鍺二極體之臨限電壓為 0.3 V。

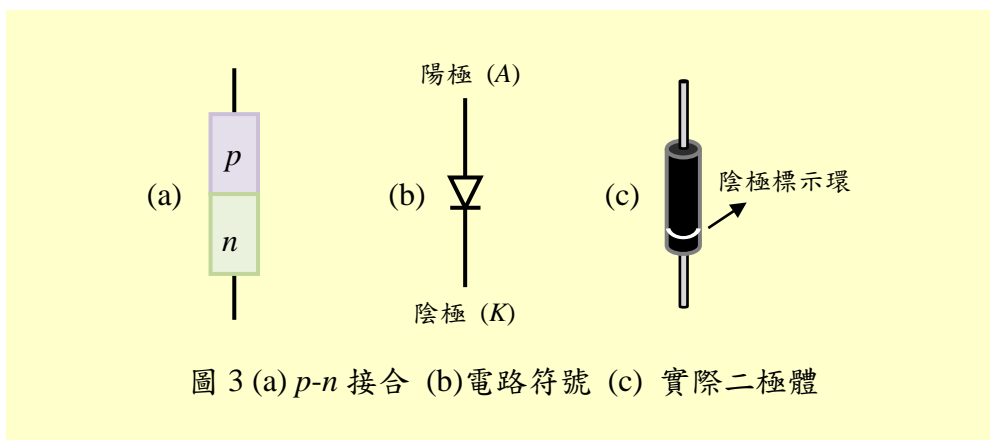


圖 3 (a)  $p-n$  接合 (b) 電路符號 (c) 實際二極體

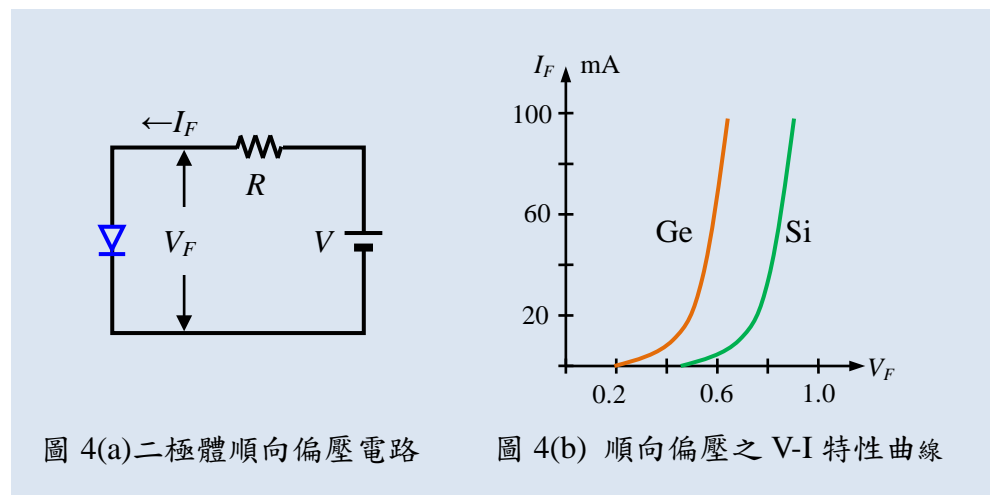


圖 4(a) 二極體順向偏壓電路

圖 4(b) 順向偏壓之  $V-I$  特性曲線

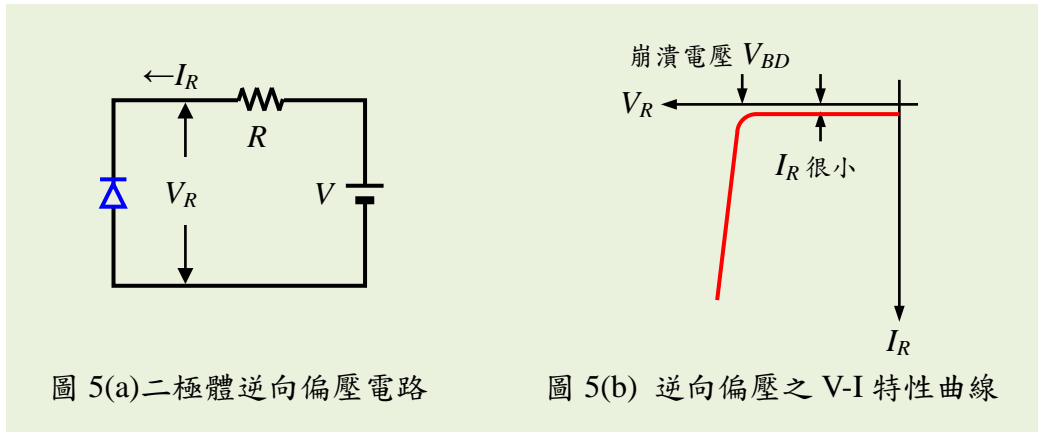


圖 5 則為二極體之逆向偏壓電路及逆向偏壓 V-I 特性曲線，由圖 5(b) 可得知二極體在未崩潰前，逆向電流  $I_R$  為固定值，不隨逆向電壓而變動。

- (1)  $I_R$  甚小，通常小於  $10\ \mu\text{A}$ 。
- (2) 當逆向偏壓達到崩潰電壓  $V_{BD}$  後，電流會迅速增加，此時必須由外加電阻  $R$  (限流電阻) 限制  $I_R$ ，否則二極體會燒毀。

## 6. 以三用表鑑別二極體

(1) 二極體好壞之判別：

- (a) 三用電表置於  $R \times 10$  檔，如圖 6 所示，圖 6(a) 中指針應大量偏轉，圖 6(b) 時指針應不偏轉。(三用電表紅棒接“+”：輸出負電壓，黑棒接“-”：輸出正電壓)

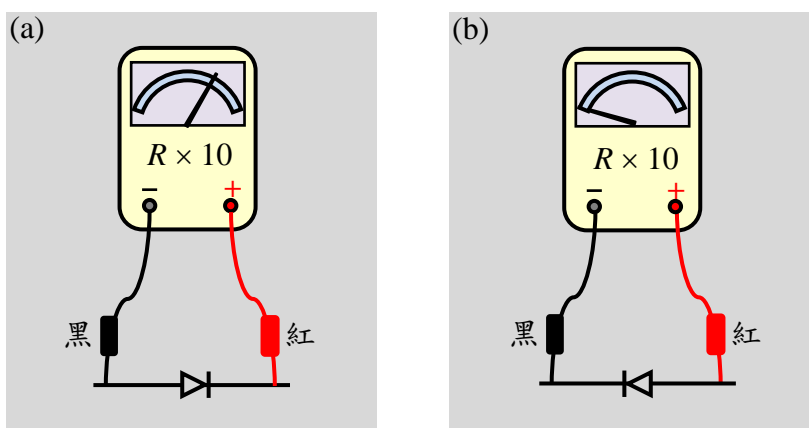


圖 6 以三用電表判斷二極體之好壞

- (b) 以上之測試，若無論紅黑棒如何調換三用電表的指針均不偏轉，則該二極體為開路（斷路）之不良品。

- (c) 若無論紅黑兩棒如何調換，三用電表的指針均大幅度偏轉，表示該二極體短路了。
- (2) 矽、鍺之鑑別：
- (a) 三用電表置於  $R \times 1k$  檔，先做  $0 \Omega$  調整。
- (b) 如圖 6(a) 所示測量，若為矽質，則三用電表上之 LV 值應為  $0.4 \sim 0.75 V$ ，LV  $= 0.1 \sim 0.3 V$  則為鍺質)。

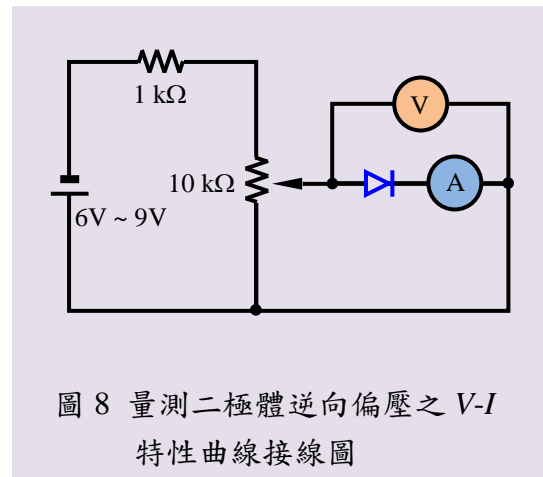
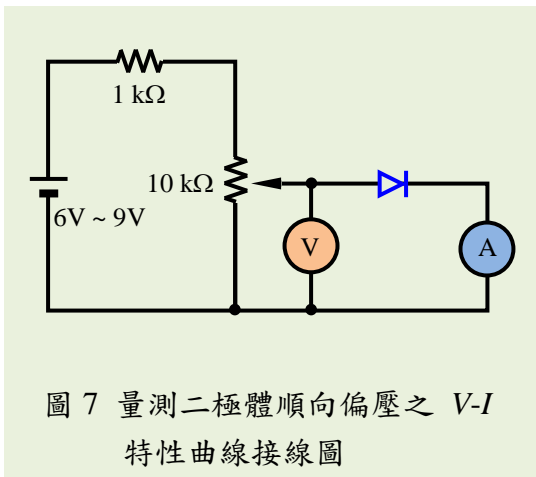
## 二·實習項目

### 工作一：二極體之良否與材質之判別

1. 所用之二極體編號為 \_\_\_\_\_。
2. 以  $R \times 10$  檔如圖 6 測量二極體其順向電阻 = \_\_\_\_\_  $\Omega$ ，逆向電阻 = \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。(逆向電阻越大越好。)
3. 利用三用電表上之 LV 刻度得知此二極體之 LV = \_\_\_\_\_ V，是為 \_\_\_\_\_ (鍺或矽?) 二極體。(註：若三用電表上無 LV 刻度，可將 LI 讀數乘上電阻值即是 LV 值。)

### 工作二：二極體 $V-I$ 特性之量測

1. 順向偏壓  $V-I$  特性
  - (1) 照圖 7 接線。
  - (2) 電壓表使用三用電表 DCV 檔，電流表使用三用電表的 DC 3 mA 檔。
  - (3) 調整 10 k $\Omega$  可變電阻器，完成表 1 之記錄。



2. 逆向偏壓  $V-I$  特性
  - (1) 照圖 8 接線。
  - (2) 調整 10 k $\Omega$  可變電阻器，完成表 2。
  - (3) 依表 1, 2 之結果，繪出二極體  $V-I$  特性曲線。

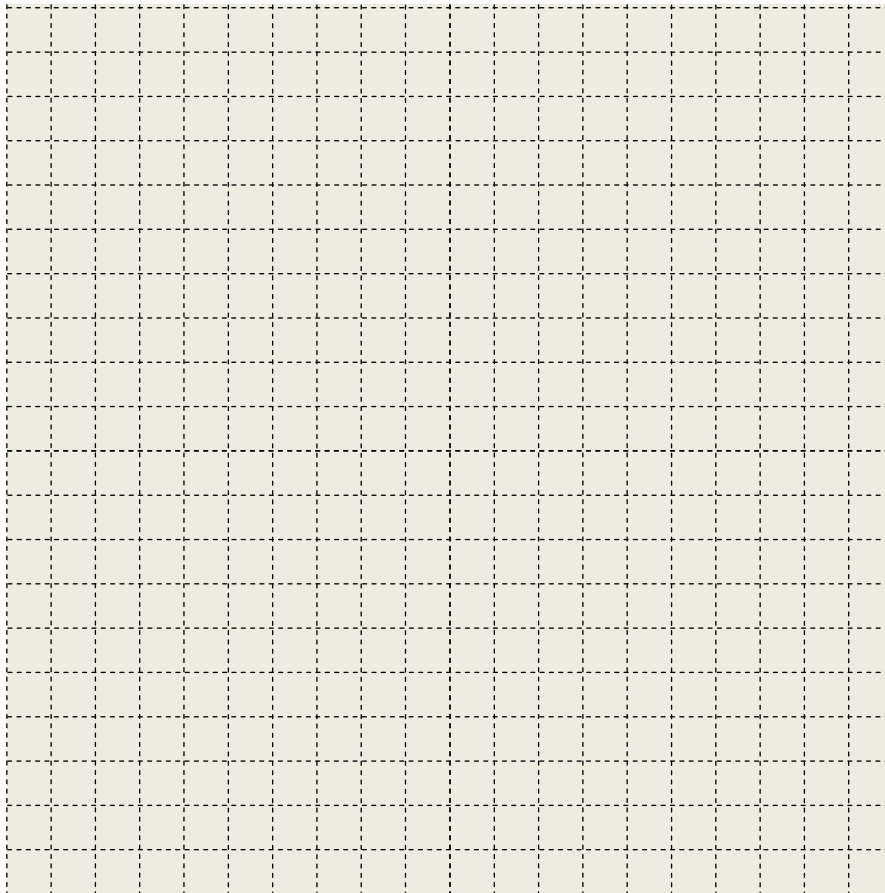
表 1 順向  $V-I$  特性

順向電壓 (V)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	_____ V
順向電流 ( $\mu\text{A}$ )								2 mA

表 2 逆向  $V-I$  特性

逆向電壓 (V)	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
逆向電流 ( $\mu\text{A}$ )							

$V-I$  特性曲線：



討論：

## Part II 二極體之應用：整流電路

### 一. 整流電路

目的：將交流電轉變成直流電

#### 1. 半波整流電路 (Half-wave rectifier circuit)

##### (a) 二極體類比於開關之概念

在分析整流電路時，將二極體視為一個開關。**理想二極體**在順向偏壓時，有電流通過而兩端無電壓差，可類比於開關關上 (ON) 之狀態，如圖 9(a) 所示，反之，逆向偏壓時，則類比開關打開 (OFF) 之狀態，如圖 9(b) 所示。

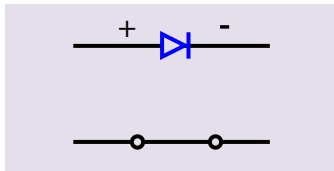


圖 9(a) 二極體順向偏壓 (ON)

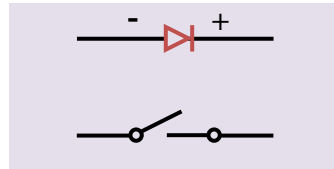


圖 9(b) 二極體逆向偏壓 (OFF)

(b) 半波整流是二極體最簡單的一種整流電路應用，電路如圖 10 所示。當交流電源  $V_{AC}$  為正半週時，二極體導通，因此負載  $R_L$  電壓即為正半週電壓， $V_{AC}$  為負半週時二極體不導通，所以  $V_{AC}$  沒有輸出。

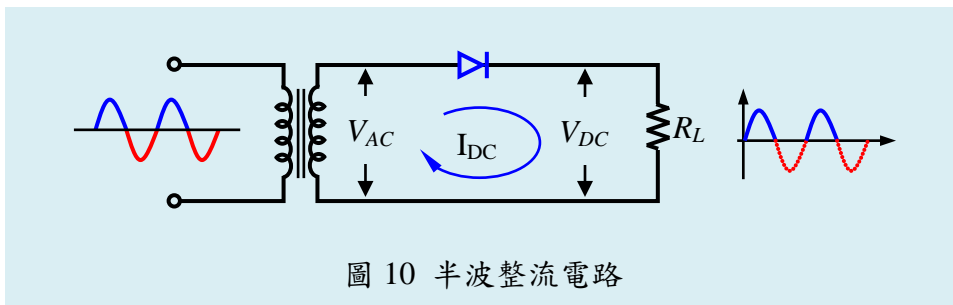


圖 10 半波整流電路

輸出之直流電壓  $V_{DC}$  就是輸出電壓的平均值，由於電路加給負載之電壓只有半週，所以

$$V_{DC} = \frac{V_{max}}{\pi} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_{rms} = 0.45 V_{rms} = 0.45 V_{AC}。$$

而流過  $R_L$  之直流電流則為

$$I_{DC} = V_{DC} / R_L。$$



## 2. 全波整流電路 (Full-wave rectifier circuit)

全波整流電路如圖 11 所示，使用有中心抽頭的變壓器 (center-tapped transformer) 以使  $V_{AC1} = V_{AC2}$ 。

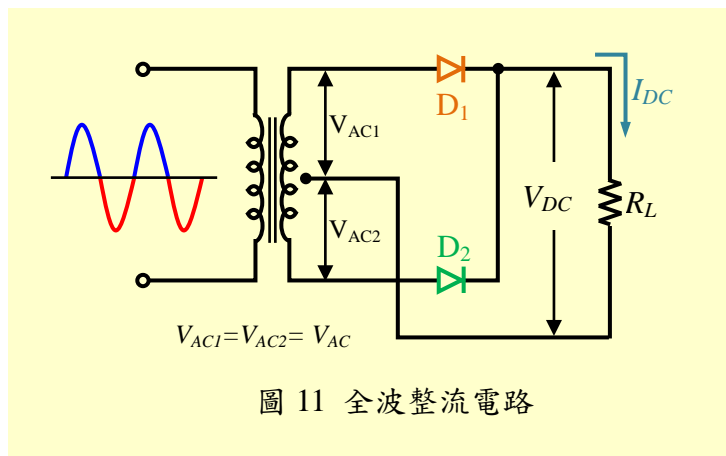


圖 11 全波整流電路

全波整流電路之工作原理：

- (1) 當電流為正半週時， $V_{AC1}$  的上端為正， $V_{AC2}$  的下端為負，故  $D_1$  導通， $D_2$  截止， $R_L$  之電壓由  $V_{AC1}$  供應。
- (2) 電流為負半週時， $V_{AC1}$  的上端為負， $V_{AC2}$  的下端為正，故  $D_1$  截止， $D_2$  導通，負載  $R_L$  上之電壓由  $V_{AC2}$  供應。
- (3) 由於  $D_1$  和  $D_2$  交替導通，故  $R_L$  上之波形為全波。
- (4) 全波整流電路之各部份波形如圖 12 所示。

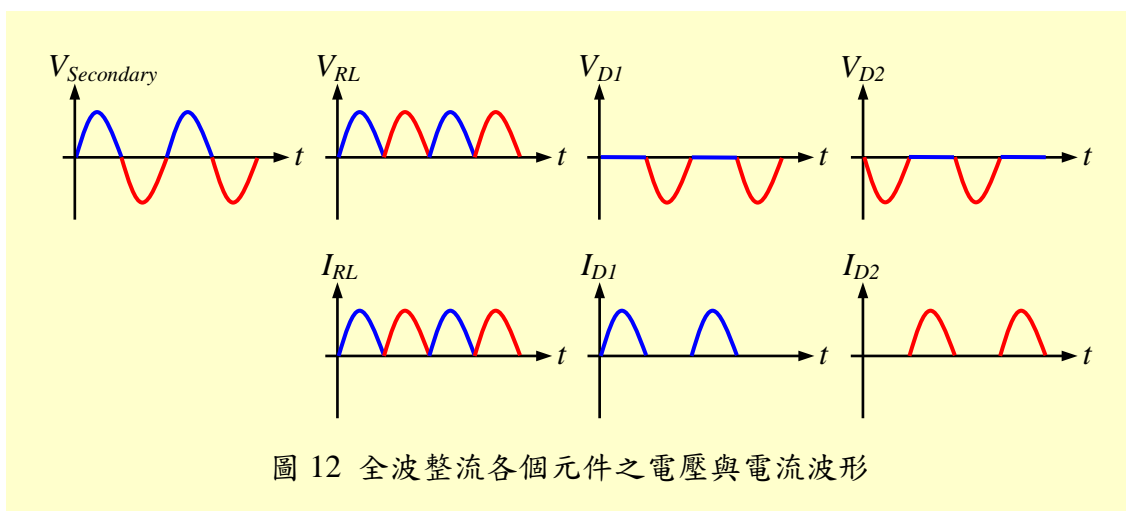


圖 12 全波整流各個元件之電壓與電流波形

- (5) 由於輸出為全波，故  $V_{DC} = 0.9V_{AC}$ 。

### 3. 橋式整流電路 (Bridge-rectifier Circuit)

橋式整流電路如圖 13 所示。其輸出至負載  $R_L$  之波形亦為全波，但與圖 12 之全波整流電路有兩大相異處：(1) 全波整流電路需要一個有中心抽頭之變壓器，橋式整流電路則不需要。(2) 全波整流電路只需兩個二極體，橋式整流電路則需要四個二極體。

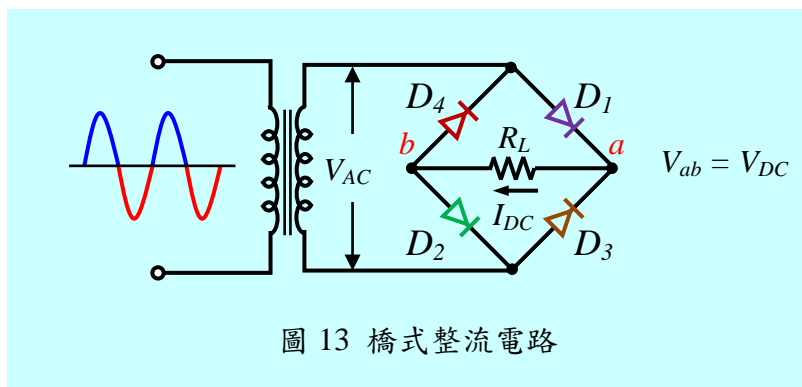


圖 13 橋式整流電路

圖 13 中，當  $V_{AC}$  之正半週時， $D_1$  與  $D_2$  導電，電流路徑  $D_1 \rightarrow R_L \rightarrow D_2$ ，如圖 14(a) 所示，負載  $R_L$  之右端為正，左端為負。 $V_{AC}$  之負半週時， $D_3$  與  $D_4$  導電，電流路徑為  $D_3 \rightarrow R_L \rightarrow D_4$ ，如圖 14(b) 所示，負載  $R_L$  的右端亦為正，左端為負。

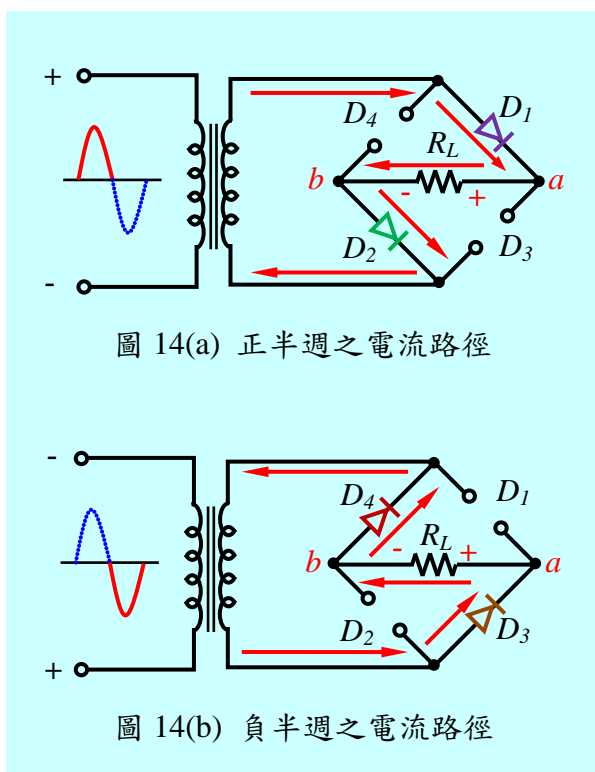


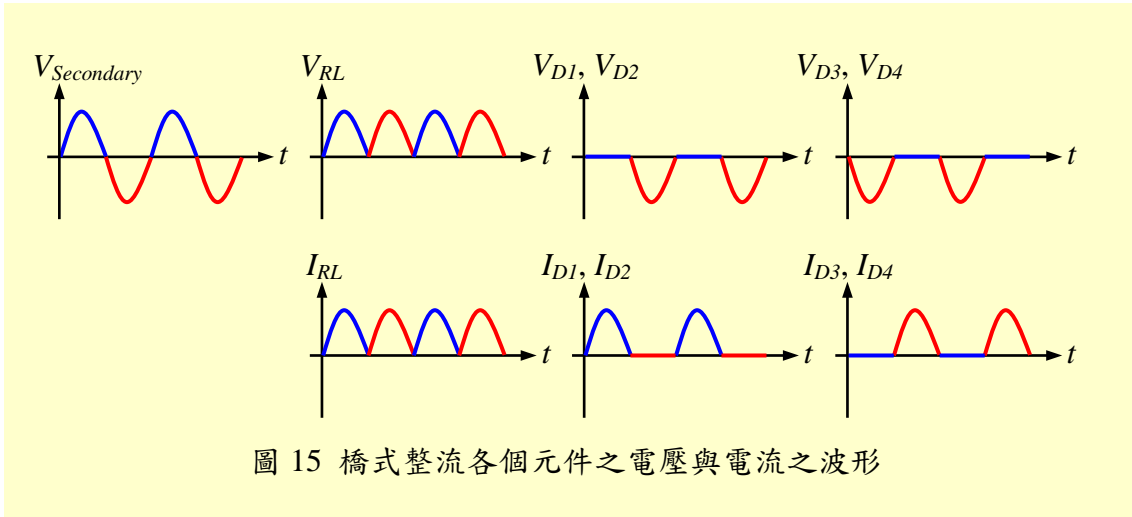
圖 14(a) 正半週之電流路徑

圖 14(b) 負半週之電流路徑

圖 14 橋式整流電路正、負半週之電流路徑

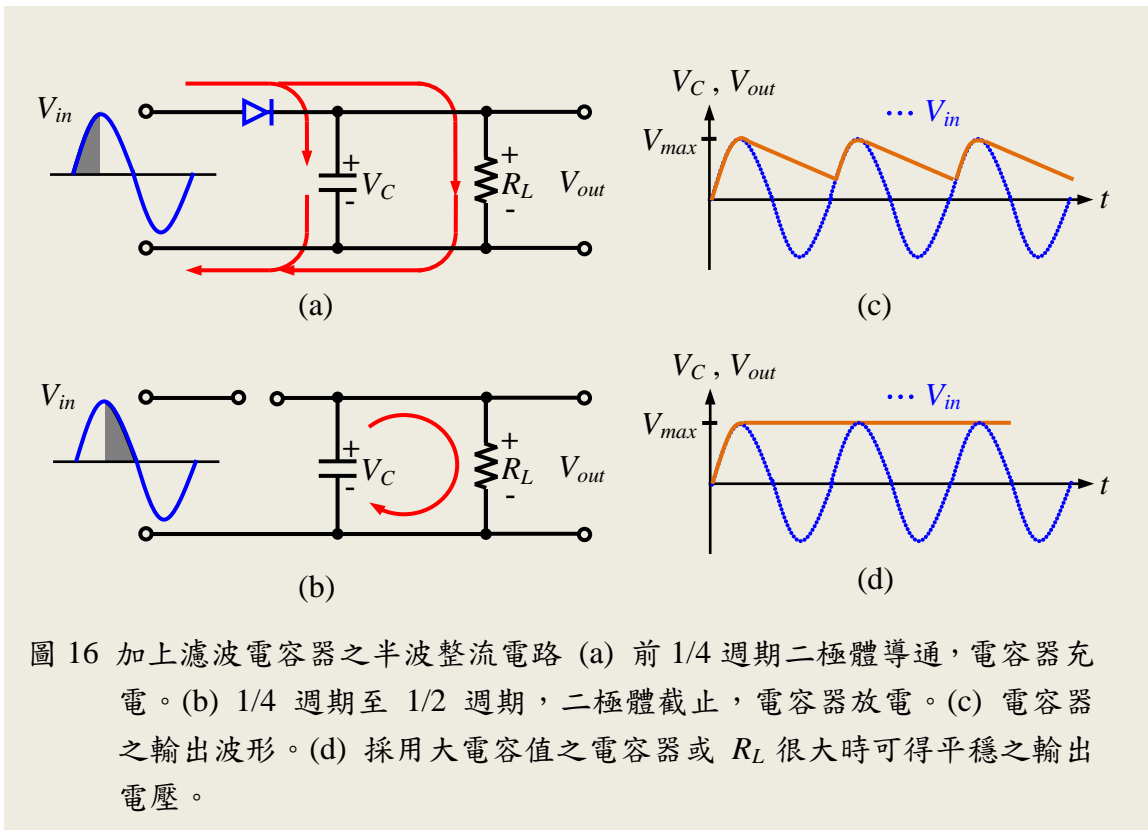
圖 15 為橋式整流電路中各部份之波形。橋式整流電路之輸出直流電壓

$$V_{DC} = 0.9 \times V_{Secondary} \circ$$



#### 4. 加上濾波電容器之整流電路

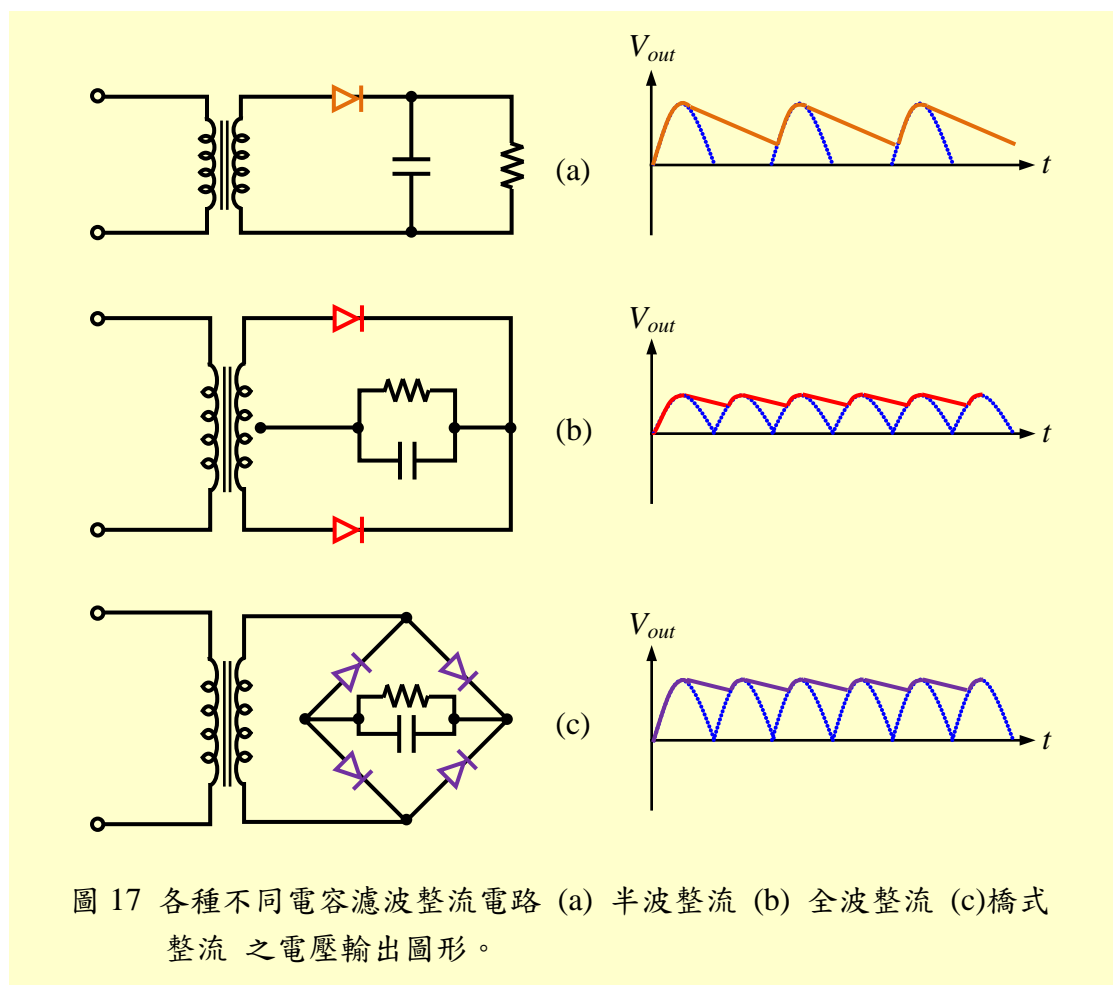
至目前為止，整流電路之輸出雖然是極性固定不變之直流，但並不是良好的直流，而是電壓變化很大之直流電。我們必需設法使上述各種整流電路的輸出電壓之變化減小，以供應



較平穩之直流電壓。為達成此目的，我們在整流電路加進電容器，利用電容器之充放電來緩和輸出電壓之變化，此電容器稱之為濾波 (filter) 電容器。

現在我們來看圖 16(a)，在通電的最初 1/4 週期時，二極體導通， $V_{in}$  不單供給負載  $R_L$  電能，同時也對電容器  $C$  充電。由於二極體在導通時電壓很小 ( $\sim 0.7\text{ V}$ )，故電容器可充電至  $V_{in}$  的最大值  $E_{max}$ 。當  $V_{in}$  達到最大值後，如圖 16(b)，電壓即開始下降，此時由於  $V_{in}$  小於電容器兩端之電壓，因此二極體因逆向偏壓而截止，此時電容器對  $R_L$  放電，直到  $V_{in}$  的下一個半週， $V_{in}$  的電壓大於電容器兩端之電壓時，二極體再度導電，此時  $V_{in}$  供給  $R_L$  電能，並再度對電容器充電，故輸出電壓  $V_{out}$  (等於電容器兩端之電壓  $V_c$ ) 之波形如圖 16(c) 所示。電容器之容量若愈大，則所儲存之能量愈多，放電時電壓下降較小。若使用容量較小之電容器，放電時電壓下降較多，因此欲得較平穩之輸出電壓，需採用較大的電容器，如圖 16(d) 所示。

三種不同型式的整流電路，加上濾波電容器後之輸出波形如圖 17 所示。



由圖 17 可看出全波整流和橋式整流電路因電容器充電之次數為半波整流電路的兩倍，因此在相同電容量時，輸出電壓  $V_{out}$  的變化較小。

不接負載 ( $R_L = \infty$ ) 時，由於電容器充電至最大值後不會放電，所以  $V_{out} = V_C$  將保持於最大值，亦即  $V_C = V_{max} = \sqrt{2}V_{in}$ ，如圖 16(d) 所示。

## 5. 漣波 (Ripple)

整流電路輸出電壓之波動成份稱為漣波 (ripple)。圖 18 中， $\Delta V = V_{max} - V_{min}$ ， $\Delta V$  是漣波電壓的峰對峰值。假如增大濾波電容器的電容量，漣波電壓就會減小。

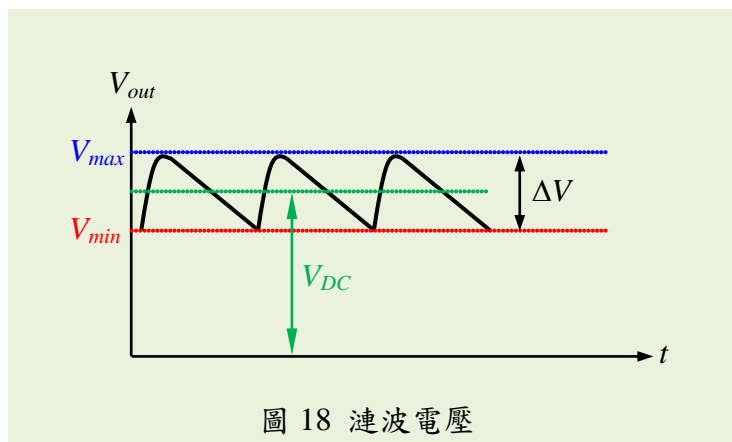


圖 18 漣波電壓

欲比較直流電源供應器之優劣，必需使用漣波因數 (ripple factor)。漣波因數  $K_r$  之定義為：

$$K_r = \frac{\text{漣波電壓的有效值}}{\text{直流電壓 (平均值)}} = \frac{V_{ripple}}{V_{DC}}$$

雖然漣波的波形不是正弦波，為了計算的方便，人們常將漣波假設為正弦波，而令  $V_{ripple} = \frac{\Delta V}{2\sqrt{2}}$ 。直流電壓  $V_{DC}$  為輸出電壓之平均值，近似於漣波的上下峰值之中點。假如把漣波因數乘以 100%，所得之數值稱為百分漣波 (percent ripple)。

測量漣波因數的方法有二：

- (1) 使用示波器：由示波器可測出如圖 18 所示之波形，只要把  $\Delta V$  及  $V_{DC}$  代入公式即可算得漣波因數。
- (2) 使用三用電表：
  - a. 三用表置於 DCV 檔，所測得之值即為  $V_{DC}$ 。

- b. 三用表置於 ACV 檔，但紅棒改插於三用表上之 OUTPUT 插孔，所測得之交流電壓即為漣波電壓的有效值  $V_{ripple}$ 。(但漣波電壓若過小，則以三用表不容易測出，此時宜改用示波器測量)。
- c. 將上述數值代入公式即可算得漣波因數。

## 二、實習項目

### 工作一：半波整流電路

- (1) 裝置圖 10 之半波整流電路。圖中之變壓器 = 110V : 6V，可使用 PT-12。二極體為整流二極體 (IN4001 ~ IN4007 皆可)。  $R_L = 1\text{ k}\Omega$ ，1/2W 電阻器。
- (2) 以三用表 ACV 檔測得變壓器二次線圈之電壓  $V_{AC} = \underline{\hspace{2cm}}$  V。
- (3) 以三用表 DCV 檔測得  $R_L$  兩端之直流電壓  $V_{DC} = \underline{\hspace{2cm}}$  V。
- (4) 上述測試值  $\frac{V_{DC}}{V_{AC}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
- (5) 以示波器分別測量  $V_{AC}$  及  $V_{DC}$ ，並繪於圖 19 中。【註】示波器的選擇開關需置於 DC 之位置。

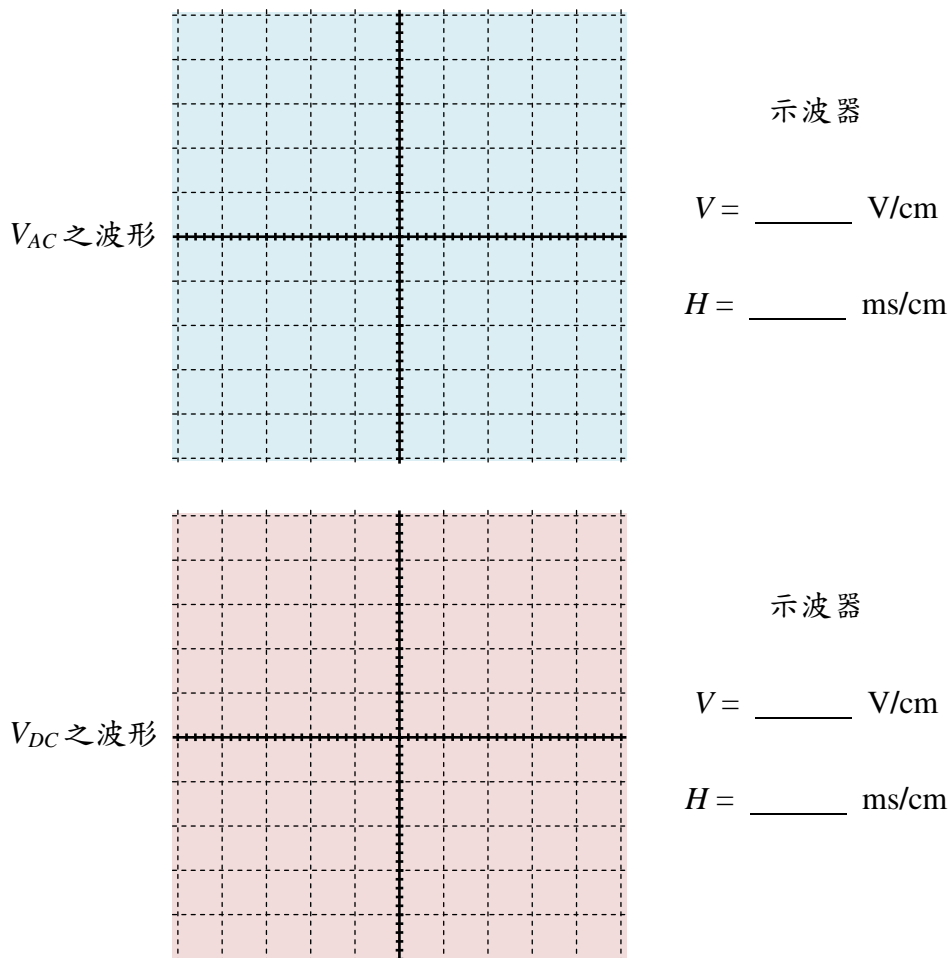


圖 19

(6) 在  $R_L$  兩端並聯一個  $100\ \mu\text{F}$  的電容器，成為圖 17(a)之電路。

(7) 以三用電表 DCV 量得  $R_L$  兩端之直流電壓  $V_{DC} = \underline{\hspace{2cm}}$  V。

(8) 以三用電表 ACV 量  $R_L$  兩端(紅棒需插於 OUT 插孔)，測量漣波電壓  $V_{ripple} = \underline{\hspace{2cm}}$  V。

(註：若三用電表無此功能時，改以示波器觀察測量。)

(9) 漣波因素  $K_r = \frac{V_{ripple}}{V_{DC}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(10) 以示波器測量  $R_L$  兩端之波形，繪於圖 20 中。

(11) 若電容器改為  $47\ \mu\text{F}$ ，亦將  $R_L$  兩端之波形繪於圖 20 中。

(12) 由以上實驗可知濾波電容愈小時，漣波電壓愈  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

(13) 半波整流電路之漣波頻率 =  $\underline{\hspace{2cm}}$  Hz。

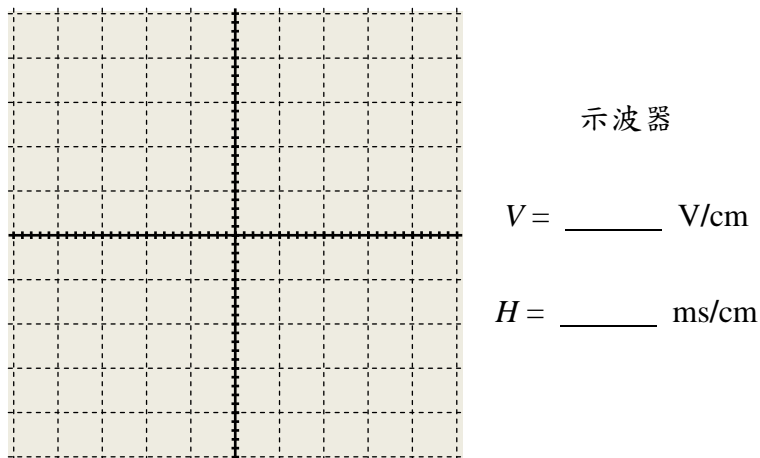


圖 20

## 工作二：全波整流電路

(1) 裝置圖 11 之全波整流電路。圖中：

變壓器 = PT-12，使  $V_{AC1} = V_{AC2} = 6\text{V}$ 。 $R_L = 1\ \text{K}\Omega$ ， $1/2\text{W}$  電阻器。

(2) 以三用表 ACV 檔量得  $V_{AC1} = \underline{\hspace{2cm}}$  V， $V_{AC2} = \underline{\hspace{2cm}}$  V。 $V_{AC1} = V_{AC2}$  嗎？  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

(3) 以三用表 DCV 檔量得  $R_L$  兩端之直流電壓  $V_{DC} = \underline{\hspace{2cm}}$  V。

$$\frac{V_{DC}}{V_{AC1}} = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \frac{V_{DC}}{V_{AC2}} = \underline{\hspace{2cm}}。$$



- (4) 以示波器測量  $R_L$  兩端之波形，繪於圖 21 中。
- (5) 在  $R_L$  兩端並聯一個  $100\ \mu\text{F}$  之電容器成為圖 17(b) 之電路。
- (6) 以三用表 DCV 檔量得  $R_L$  兩端之直流電壓  $V_{DC} = \underline{\hspace{2cm}}$  V。
- (7)  $\frac{V_{DC}}{V_{AC1}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $\frac{V_{DC}}{V_{AC2}} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
- (8) 以三用表測得漣波電壓  $V_{ripple} = \underline{\hspace{2cm}}$  V。(註：可改以示波器觀察測量。)
- (9) 漣波因數  $K_r = \frac{V_{ripple}}{V_{DC}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
- (10) 以示波器測量  $R_L$  兩端之波形，並繪於圖 21 中。
- (11) 漣波頻率 =  $\underline{\hspace{2cm}}$  Hz。

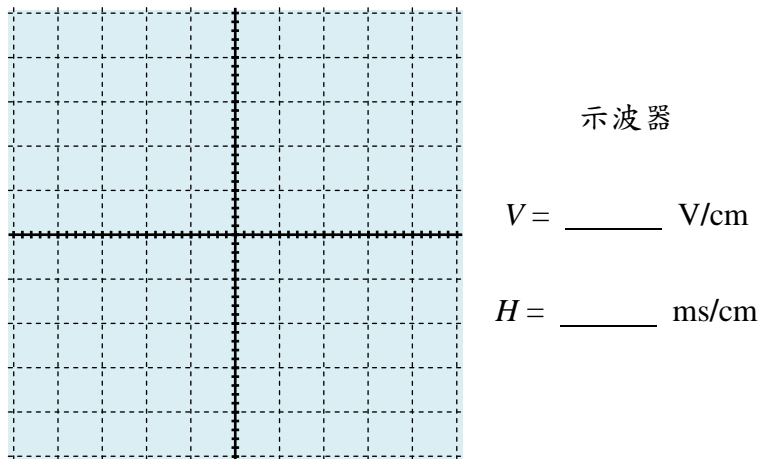


圖 21

### 工作三：橋式整流電路

- (1) 裝置圖 13 之橋式整流電路。圖中：

變壓器 = 110V : 6V (可用 PT-12)，使  $V_{AC} = 6\ \text{V}$ 。 $R_L = 1\ \text{k}\Omega$ ， $1/2\text{W}$  電阻器。

- (2) 以三用電表 ACV 檔量得  $V_{AC} = \underline{\hspace{2cm}}$  V。
- (3) 以三用電表 DCV 檔量得  $R_L$  兩端之直流電壓  $V_{DC} = \underline{\hspace{2cm}}$  V。

$$\frac{V_{DC}}{V_{AC}} = \underline{\hspace{2cm}}。$$

- (4) 以示波器測量  $R_L$  兩端之波形，並繪於圖 22 中。
- (5) 在  $R_L$  兩端並聯一個  $100\ \mu\text{F}$  之電容器成為圖 17(c) 之電路。
- (6) 以三用表 DCV 檔量得  $R_L$  兩端之直流電壓  $V_{DC} = \underline{\hspace{2cm}}$  V。
- $\frac{V_{DC}}{V_{AC}} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
- (7) 以示波器測量  $R_L$  兩端之波形並繪於圖 22 中。
- (8) 漣波頻率 =  $\underline{\hspace{2cm}}$  Hz。

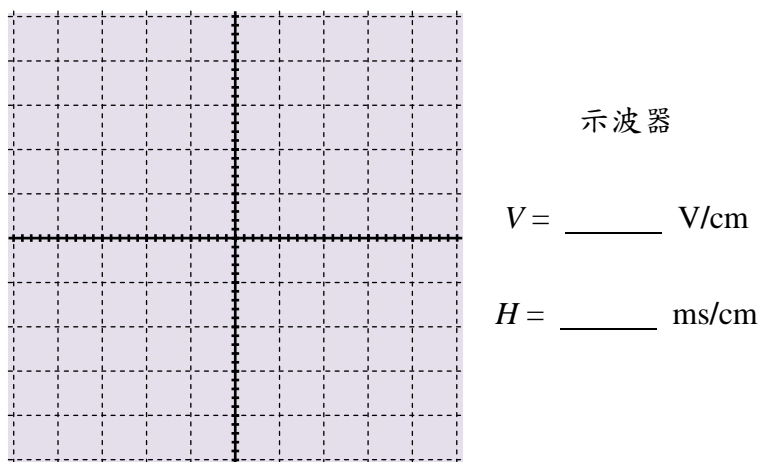


圖 22