

# 電子學實習（上）

## --二極體與電晶體電路



# 課程簡介

**第一部份 電子實習之準備工作**

**第二部份 二極體電路**

**實習一**  $pn$  接面二極體之特性分析

**實習二** 二極體整流電路

**實習三** 二極體倍壓電路

**實習四** 二極體截波電路

**實習五** 肖特基二極體之特性分析

**實習六** 電壓調節電路



## **第三部份 雙載子接面電晶體電路**

**實習七 雙載子接面電晶體之特性分析**

**實習八 雙載子接面電晶體偏壓電路**

**實習九 雙載子接面電晶體交流小訊號放大電路(一)**

**實習十 雙載子接面電晶體交流小訊號放大電路(二)**

**實習十一 雙載子接面電晶體交流小訊號放大電路(三)**

**實習十二 雙載子接面電晶體交流小訊號放大電路(四)**



## **第四部份 單載子場效電晶體電路**

**實習十三 單載子場效電晶體之特性分析**

**實習十四 單載子場效電晶體偏壓電路**

**實習十五 單載子場效電晶體交流小訊號放大電路**



# 第一部份

## 電子實習之準備工作與注意事項



# 概 述

- ◆ 進行電子實習前，必須建立對**電子電路**的初步認識，然後再進一步了解實習所需各種**電阻器** (Resistor)、**電容器** (Capacitor) 與**電感器** (Inductor) 等基本被動元件，接著再學習**麵包板** (Breadboard)、**三用電表** (Multimeter)、**電源供應器** (Power Supply)、**示波器** (Oscilloscope) 與**訊號函數產生器** (Function Generator) 等電子實習常用之電子儀器設備的使用方法，如此才能使電子實習工作達到事半功倍之功效。
- ◆ 本實習將分 2 個部份，以討論電子實習之準備工作，首先介紹電阻器與電容器等常用**被動元件的規格與電氣特性**後，接著說明一些常用電子儀器設備之**使用方法與注意事項**。



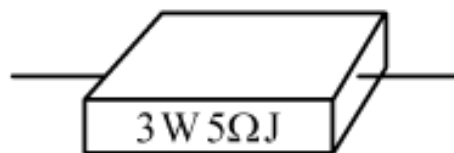
# 電阻器與電容器之認識

- ◆ **電阻器** (Resistor)、**電容器** (Capacitor) 與**電感器** (Inductor) 是構成電子電路之 3 種基本電子元件，因這些電子元件僅**消耗或暫時儲存能量**，而無法**提供能量或功率放大**之功能，因此亦可稱為**被動元件**。
- ◆ 電阻器用來**阻止電流流動**之元件，即當加入適當之電壓或電流於電路後，藉由選用適當大小之電阻，以產生符合實際電子電路所需之**電壓或電流**。
- ◆ 選用電阻器必須特別注意**電阻值** ( 需留意容許誤差 )，**功率散逸能力** ( 瓦特數 ) 與**包裝型式** ( 種類 )，使電子電路可達安全運作，以符合實際之需求。
- ◆ 大致上電阻器可分為**固定電阻器** (Fixed Resistor) 與**可變電阻器** (Variable Resistor) 等兩大類。



# 固定電阻器

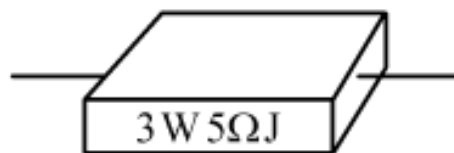
- ◆ 當電阻器製造完成後，電阻值便**不會再改變**之電阻器，稱為**固定電阻器** (Fixed Resistor)。
- ◆ 依構成電阻之材料來分類，固定電阻器大致可分為**碳膜電阻**、**線繞電阻**與**金屬氧化膜電阻**等 3 種。
- ◆ 依包裝型式來分類，大致上可分為**水泥**、**陶瓷**與**色碼電阻器**，前者通常製造消耗功率**大於 1 瓦特**(Watt) 以上之固定電阻器，而後兩者通常製造功率消耗**小於 1 瓦特**之固定電阻器。
- ◆ 線繞電阻與金屬氧化膜電阻之價格較高，因此常被用來製造**較大功率散逸能力**之電阻器，導致此種電阻器通常需**較大之面積**，通常可將電阻器之電阻值與容許誤差值，直接標示於**電阻器之外殼**上，因此使用者可在電阻器上，直接選用適當電阻值之電阻器來使用。
- ◆ 水泥電阻器亦有較大之面積，因此亦可將瓦特數 ( 消耗功率 )、電阻值與誤差量直接標示在電阻器上，而一個 **3 瓦、5 歐姆、 $\pm 5\%$  之水泥電阻器**示意圖，如下圖所示。





# 固定電阻器

- ◆ 當電阻器製造完成後，電阻值便**不會再改變**之電阻器，稱為**固定電阻器** (Fixed Resistor)。
- ◆ 依構成電阻之材料來分類，固定電阻器大致可分為**碳膜電阻**、**線繞電阻**與**金屬氧化膜電阻**等 3 種。
- ◆ 依包裝型式來分類，大致上可分為**水泥**、**陶瓷**與**色碼電阻器**，前者通常製造消耗功率**大於 1 瓦特**(Watt) 以上之固定電阻器，而後兩者通常製造功率消耗**小於 1 瓦特**之固定電阻器。
- ◆ 線繞電阻與金屬氧化膜電阻之價格較高，因此常被用來製造**較大功率散逸能力**之電阻器，導致此種電阻器通常需**較大之面積**，通常可將電阻器之電阻值與容許誤差值，直接標示於**電阻器之外殼**上，因此使用者可在電阻器上，直接選用適當電阻值之電阻器來使用。
- ◆ 水泥電阻器亦有較大之面積，因此亦可將瓦特數 ( 消耗功率 )、電阻值與誤差量直接標示在電阻器上，而一個 **3 瓦、5 歐姆、 $\pm 5\%$  之水泥電阻器**示意圖，如下圖所示。



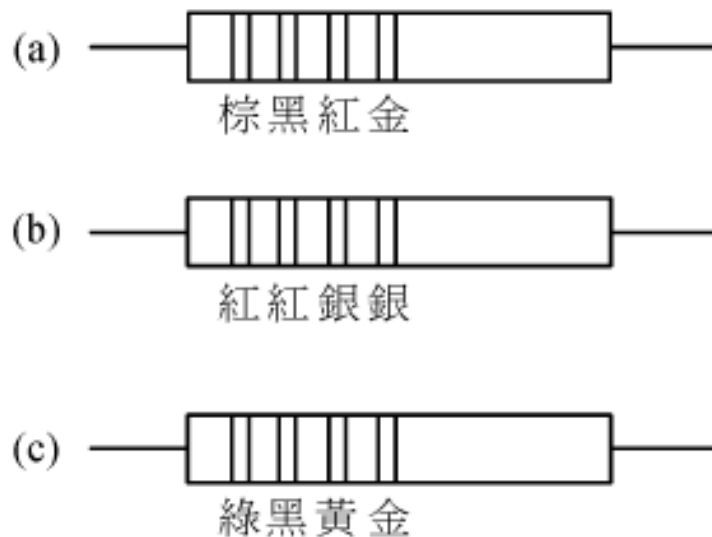
# 4 色 ( 5 色 ) 色碼電阻器之各個色帶顏色所代表的數值

色帶 顏色	第 1 色帶	第 2 色帶	第 3 色帶	第 4 色帶	第 5 色帶
	十位數	個位數	十的次冪	容許誤差	可靠度
黑	0	0	$10^0$		
棕	1	1	$10^1$	$\pm 1\%$	1%
紅	2	2	$10^2$	$\pm 2\%$	0.1%
橙	3	3	$10^3 = 1 K$		0.01%
黃	4	4	$10^4 = 10 K$		0.001%
綠	5	5	$10^5 = 100 K$	$\pm 0.5\%$	
藍	6	6	$10^6 = 1 M$	$\pm 0.25\%$	
紫	7	7	$10^7 = 10 M$	$\pm 0.1\%$	
灰	8	8	$10^8 = 100 M$	$\pm 0.05\%$	
白	9	9	$10^9 = 1 G$		
金			$10^{-1}$	$\pm 5\%$	
銀			$10^{-2}$	$\pm 10\%$	
無色				$\pm 20\%$	



## 例題 1

如下圖所示之色碼電阻器，試求每個 4 色色碼電阻值為何？



解：

(a) 所求 4 色色碼電阻器所代表之數值如下：

第 1 個色帶：十位數 → 棕 → 1

第 2 個色帶：個位數 → 黑 → 0

第 3 個色帶：十的次幂 → 紅 →  $10^2$

第 4 個色帶：容許誤差 → 金 →  $\pm 5\%$

所求 4 色色碼電阻所代表之電阻值為

$$10 \times 10^2 \pm 5\% = 1 \text{ K}\Omega \pm 5\%$$

(b) 同理，所求 4 色色碼電阻所代表的電阻值為

$$22 \times 10^{-2} \pm 10\% = 0.22 \Omega \pm 10\%$$

(c) 同理，所求 4 色色碼電阻器所代表的電阻值為

$$50 \times 10^4 \pm 5\% = 500 \text{ K}\Omega \pm 5\% = 50 \times 10^4 \Omega \pm 5\%$$



## 例題 2

如下圖所示之 5 色色碼電阻器之電阻值為何？



解：觀察所求之 5 色色碼電阻器所代表的數值如下：

第 1 個色帶：十位數 → 棕 → 1

第 2 個色帶：個位數 → 黑 → 0

第 3 個色帶：十的次冪 → 橙 →  $10^3$

第 4 個色帶：容許誤差 → 金 →  $\pm 5\%$

第 5 個色帶：可靠度 → 紅 → 0.1%

由以上之討論可知，所求 5 色色碼電阻器的電阻值為  $10 \times 10^3 \pm 5\% = 10 \text{ K}\Omega \pm 5\%$  可靠度為 0.1%。

◆ 此表示所求 5 色色碼電阻器的規格為  $9.5 \text{ K}\Omega$  至  $10.5 \text{ K}\Omega$  之間，且在使用 1000 小時後，可能有千分之一之機率不在此範圍內。

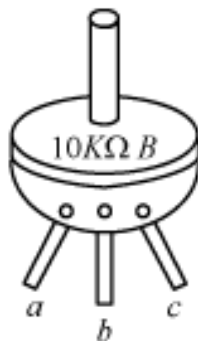


# 可變電阻器

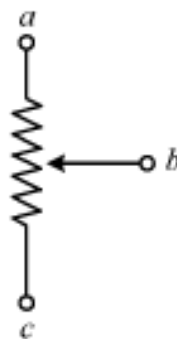
- ◆ 可透過**手動旋轉控制**，以調整出**不同電阻值**之電阻器，稱為**可變電阻器** (Variable Resistor; VR)。
- ◆ 目前市面上比較容易找到之可變電阻器，通常是使用**碳膜**或**金屬材料**所製造的，因此種可變電阻器之面積較大，大部份皆將電阻值與型式**直接印在外殼**上。
- ◆ 使用**碳膜**製造之可變電阻器，**功率散逸較差** ( 瓦特數較小 )，因此較適合**小功率**之電子電路使用；而使用**金屬**製造之可變電阻器，**功率散逸較佳** ( 瓦特數較大 )，因此較適合**大功率**之電子電路使用。
- ◆ 可變電阻器之**電路符號**、**外觀**與**端子對應之電阻值**，如下圖所示。



(a) 電路符號



(b) 外觀

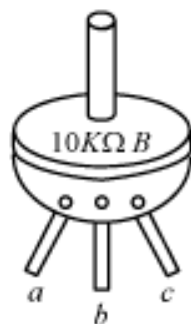


(c) 端子對應之電阻值

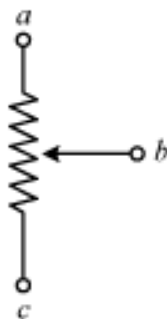




(a) 電路符號



(b) 外觀



(c) 端子對應之電阻值

- ◆ 觀察左圖可知，外殼所標示之「 $10\text{ K}\Omega$ 」之涵義，此表示該可變電阻器之  $a - c$  接腳間為**固定電阻值**  $R_{ac} = 10\text{ K}\Omega$ （此為這個可變電阻器之最大電阻值）。

- ◆ 若  $a - b$  接腳與  $b - c$  接腳間之電阻值，分別用為  $R_{ab}$  與  $R_{bc}$  來表示，若藉由轉動手動旋轉控制柄，以改變  $a - b$  接腳與  $b - c$  接腳間之電阻值時，則  $a - b$  接腳間之電阻值，會隨著**手動旋轉控制柄之轉動而變化**，相對於  $b - c$  接腳間之電阻值恰好相反，即可變電阻器會保持  $R_{ab} + R_{bc} = R_{ac} = 10\text{ K}\Omega$ 。
- ◆ 若往**順時針旋轉**導致  $R_{ab}$  **增加**，則  $R_{bc}$  便會**減少**；反之，若往**逆時針旋轉**導致  $R_{ab}$  **減少**，則  $R_{bc}$  便會**增加**，而  $R_{ac}$  之電阻值永遠不會改變。
- ◆ 可變電阻器之形式有相當多種，而最常用之形式為  $A$  型與  $B$  型兩種，其中「 $A$ 」型表示轉動手動旋轉控制柄，導致  $R_{ab}$  相對  $R_{bc}$  之電阻值成**指數函數**變化；而「 $B$ 」型表示轉動手動旋轉控制柄，導致  $R_{ab}$  相對  $R_{bc}$  之電阻值成**線性**變化。





# 電容器

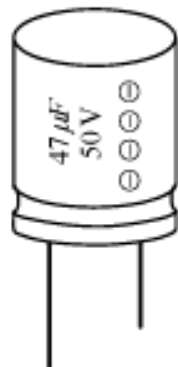
◆ 在兩塊可導電之平行金屬板間放入絕緣材料，即可構成可儲存電荷之電容器 (Capacitor)，其中絕緣材料亦可稱為介電質 (Dielectrics)，而電容器之電氣特性與容量，大部份取決所使用之介電質的材料而定，即電容器之種類，大部份皆以所使用之介電質來區分為主。

◆ 電子實習常使用之電容器種類、電氣特性與規格如下：

1、電解電容器 (介電質為電解質)：由於可使用相當薄之氧化層作介電值，因此可大量增加金屬板之面積，因此電解電容可提供較高電容值與低成本之優點，但具較大漏電電流與較低崩潰電壓之缺點。

◆ 為增加電容之面積，以提高電解電容之電容量，大部份皆使用捲軸方式製作，導致其外觀皆為圓桶狀，因此可將電容值、耐壓與極性直接標示在外殼上，以方便使用者辨識，如右圖所示。

◆ 電解電容較適合製造較大容量之電容器，但須注意此種電容器有一定之極性，即電解電容之正、負極切不可接反，否則可能造成電容器之損毀。



2、**陶瓷電容器、鉭電容器與塑膠電容器**：這些電容之介電係數之變化範圍相當廣，導致此種電容之電氣特性與規格，受到介電值之影響相當大。

- ◆ 上述之電容器佔用**較小之面積**，因此無法直接將電阻容直接標示於電容器上，通常在製造時，使用氧化物或絕緣層覆蓋在這些電容器上，再於包裝上印一些**數字**（一般為 3 個數字，其中第 1 個數字表示十位數、第 2 個數字表示個位數、第 3 為述表示十的次冪）與**符號**（使用英文字母表示耐壓與容許誤差之等級），以標示這些電容器之**電容量**、**耐壓**與**容許誤差**等相關規格，如下表所示。





### 電容器之電容量表示法

位數 \ 數值 電容量	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第一位數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第二位數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第三位數	$10^0$	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$	$10^9$

電容量之單位  $pF$

### 電容器之耐壓值表示法

倍率 \ 符號 耐壓	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8
1	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
2	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
3	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000

耐壓單位為  $V$

### 電容器之容許誤差表示法

符 號	B	C	D	F	G	J	K	M	N	V	X	Y	P
容許誤差 (%)	$\pm 0.1$	$\pm 0.25$	$\pm 0.5$	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 5$	$\pm 10$	$\pm 20$	$\pm 30$	+20 -10	+40 -20	+80 -20	+100 -0



### 例題 3

試列出下圖所示之電容器所標示之數字與符號，所代表之電容量、耐壓與容許誤差。

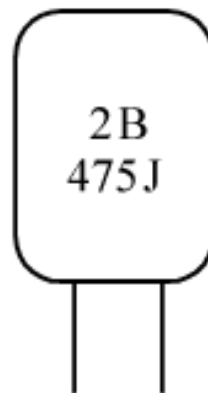
解：

- (a) 分別對照上頁之 3 個表，即可得所求電容器之電容量、耐壓與容許誤差分別為

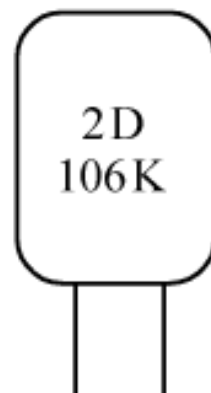
耐壓值  $2B \rightarrow 125V$

電容量  $475 \rightarrow 47 \times 10^5 pF = 4.7 \times 10^6 pF = 4.7 \mu F$

容許誤差  $J \rightarrow \pm 5\%$



(a)



(b)

- (b) 分別對照上頁之 3 個表，即可得所求電容器之電容量、耐壓與容許誤差分別為

耐壓值  $2D \rightarrow 200V$

電容量  $106 \rightarrow 10 \times 10^6 pf = 10^7 pf = 10 \mu f$

容許誤差  $K \rightarrow \pm 10\%$



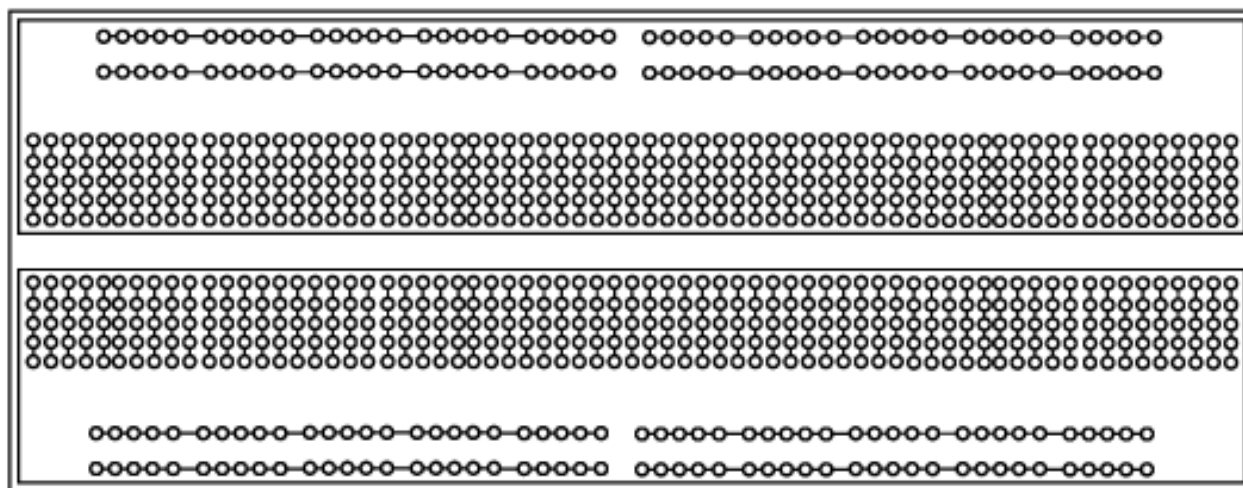
# 電子儀器設備之使用方法與注意之事項

- ◆ 進行電子實習之前必須準備一些儀器設備，諸如一般電子電路實驗室，通常有**直流電源供給器** (DC Power Supply)、**函數波形產生器** (Function Generator) 和**示波器** (Oscilloscope) 等 3 項儀器設備，以提供電子電路所需之直流電源、交流輸入訊號與測量輸入、輸出波形之用。
- ◆ 除了上述之基本的實習設備外，尚需準備**麵包板** (Breadboard) 與**三用電表** (Multimeter)，以便進行電路連接與測量電阻、電壓與直流電流之用途。
- ◆ 接著分別介紹這電子實習常用儀器設備之**配置圖**、**用途**、**使用方法**與**注意事項**。



# 麵包板

- ◆ **麵包板** (Breadboard) 是由**多組垂直共通連接的 5 個插孔**與**幾組水平共通連接 25 插孔**，以做為組裝與連接電子零件之用，而 SK-10 麵包板之外觀與示意圖，如下圖所示。



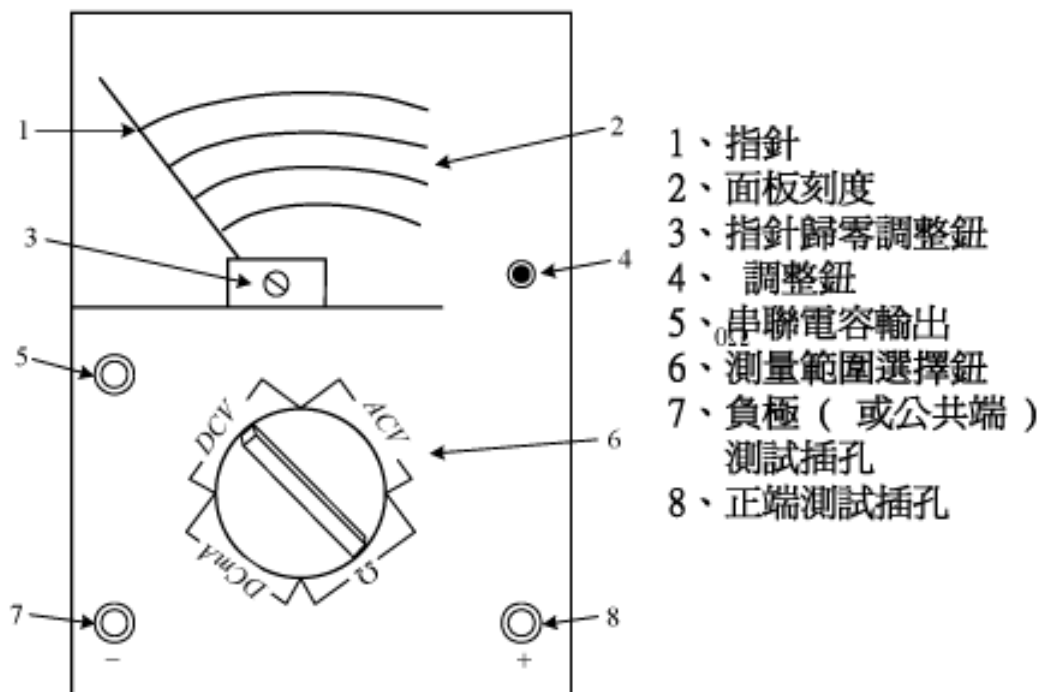
- ◆ 一般而言，多組垂直共通連接的 5 個插孔可用來作為**連接電路或電路測試點**之用；而水平共通連接 25 插孔是用來做為**共同信號之接點**，如電源正端 ( $V_{CC}$  或  $V_{DD}$ )、電源負端 ( 接地點 ) 或任何需要超過 5 點共同連接信號點之用。



# 三用電表

◆ **三用電表** (Multimeter) 主要用來測量**電阻** (Resistance)、**電壓** (Voltage) 與**電流** (Current) 之儀器，而目前市面可買到之三用電表可分為**類比式** ( 使用指針來顯示測量值 ) 與**數位式** ( 使用數字來顯示測量值 )。

◆ 對電子實習而言，**類比式三用電表**較適合作為測量之用，因此僅討論類比式三用電表之配置圖、用途、使用方法與注意事項。而常見之類比式三用電表之**外觀與配置圖**，如右圖所示。



# 使用三用電表應注意之事項

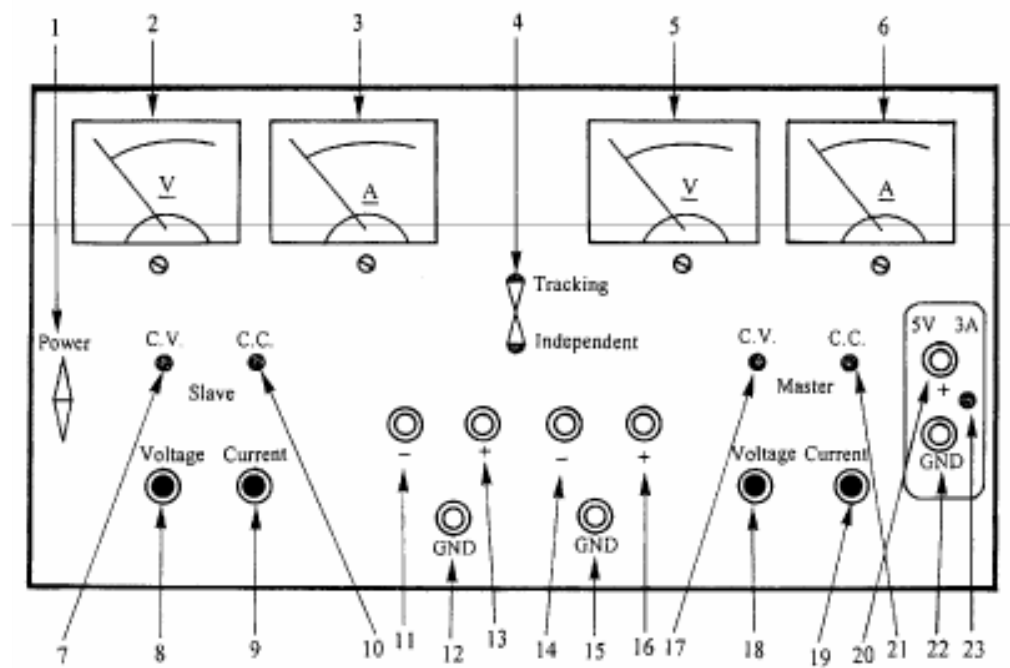
- ◆ 當「測量範圍選擇鈕」放置於「 $\Omega$ 」之檔位時，應視待測電阻值慎選適當之倍率 ( $\times 1$ 、 $\times 10$  或  $\times 1K$ )，再將正、負兩端測試棒**短路**，並使用  $0\Omega$  調整鈕，以調整指針置於右邊  $0\Omega$  之位置，即進行**歸零調整**。
- ◆ 當「測量範圍選擇鈕」放置於「 $\Omega$ 」之檔位時，由電表內部電池供應電力，**切不可用來測量電壓**，以免燒毀電表內部電路。另外，當電表**不使用**時，不要將「測量範圍選擇鈕」放置於「 $\Omega$ 」之檔位上，以免浪費內部電池之電力。
- ◆ 當「測量範圍選擇鈕」放置於「**DCmA**」之檔位，必須將正、負兩端測試棒與待測之分支**串聯**，以測量流過該分支之直流電流。
- ◆ 利用三用電表來測量電壓( 電流 ) 時，若**無法預估待測電壓 ( 電流 ) 之大小**，可先將「測量範圍選擇鈕」之檔位，調整至該**測量範圍之最大值**，若指針無大之偏轉，再逐次降低測量檔位，直到指針有**較大之偏轉**，以降低測量之誤差值。
- ◆ 利用三用電表來測量**交流電壓**時，則不必考慮電壓正、負極性之問題；而測量**直流電壓或電流**時，必須注意**電壓正、負極性或電流方向**之判別，若在測量直流電壓或電流時，指針**反向偏轉**，則表示電壓之正、負極性接反或電流方向相反，則可將**正、負對調**後，即可測得正確之直流電壓或電流值。





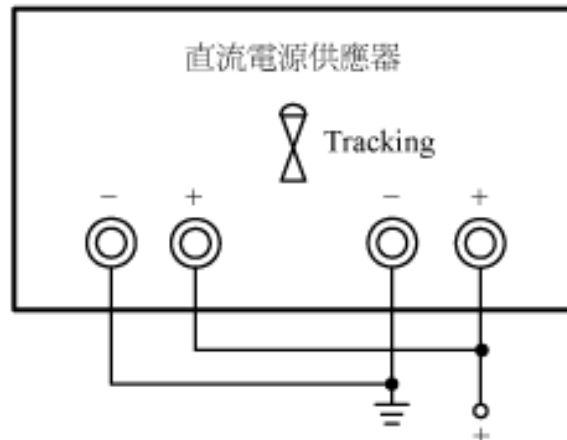
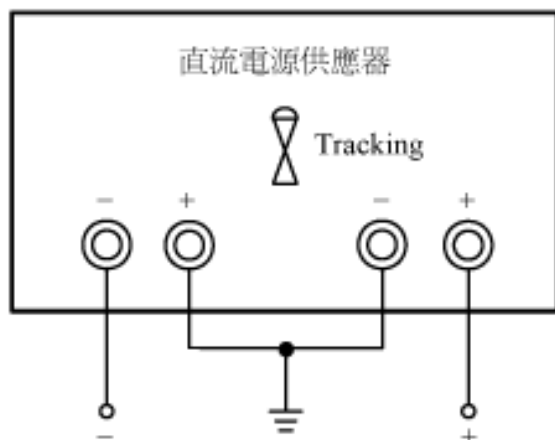
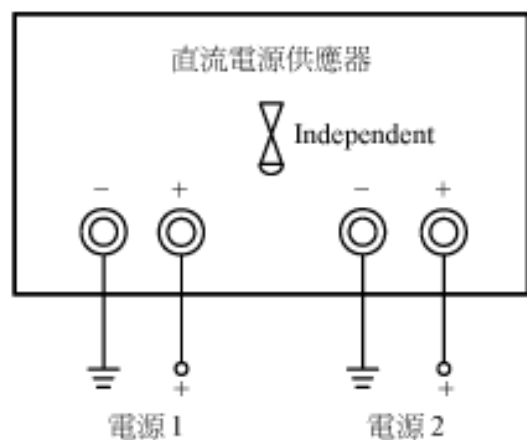
# 直流電源供給器

- ◆ **直流電源供應器**(DC Power Supply)可提供電子電路所需之**直流電源**，即提供電子電路所需之**能量**。
- ◆ 目前市面上之直流電源供應器，可分為**類比與數位**式兩種，而這兩種直流電源供應器，皆以提供**兩組 0~30V (3~5 A)** 可調式直流電壓為主。而**類比直流電源供應器**之配置圖，如下圖所示。



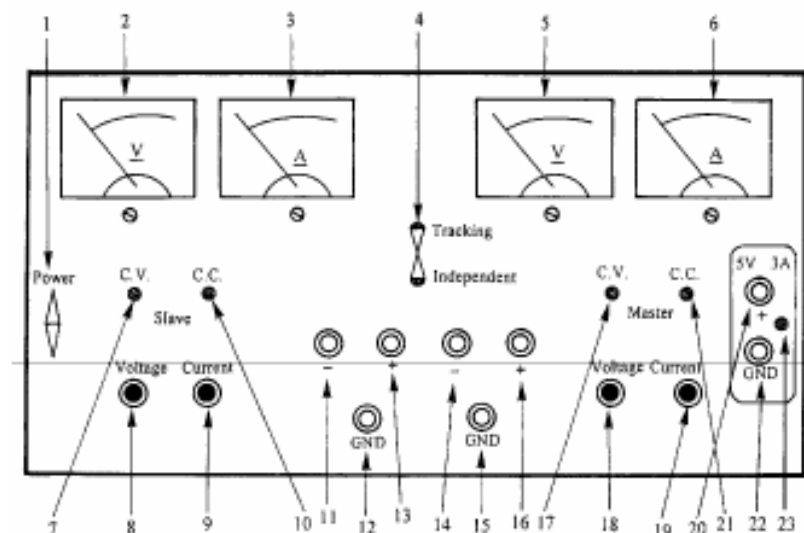
# 『Tracking/Independent』之切換開關的使用方法

- ◆ 若將『Tracking/Independent』之切換開關擺置於「Independent」時，則直流電源供應器可提供兩組獨立之單極性電源，如左下圖所示。當調整電源之輸出電壓與電流大小，僅可分別由「Master」與「Slave」之電壓與電流調整鈕來獨立控制。
- ◆ 若將『Tracking/Independent』之切換開關擺置於「Tracking」時，則直流電源供應器可提供雙極性輸出電壓或雙倍輸出電流之等 2 種不同之電源，分別如中下與右下圖所示。當調整電源之輸出電壓與電流大小，僅可由「Master」之電壓與電流調整鈕來控制。



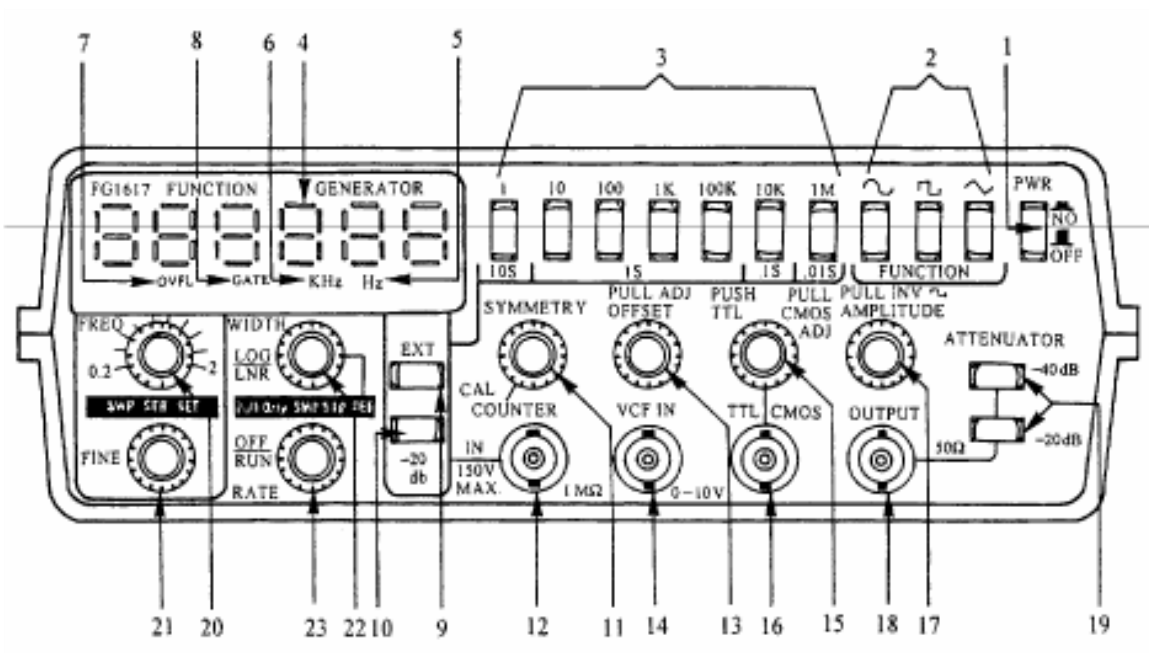


- ◆ 當「C.C.」( 配置上 10 與 21 之位置)之**指示燈亮**時，表示直流電源供應器之**輸出電流不足**(負載過大)，可轉動電流調整鈕，以適當**加大輸出電流**，使改變為「C.V.」(配置圖上 7 與 17 之位置)之**指示燈亮**。若將電流調整鈕轉動至**最大**，仍無法使「C.C.」之指示燈熄滅，則表示待測電路**短路** ( 請檢查電路，以排除短路之原因 ) 或電源供應器**無法供應此大負載** ( 更換可提供較大輸出電流之電源供應器 )。
- ◆ 若將『Tracking/Independent』之切換開關擺置於「**Independent**」時，切不可將兩組獨立之單極性電源相互**並接或與其他電源供器並聯**，否則輸出電壓不平衡時，則可能**燒毀**電源供應器，造成不可彌補之損失。



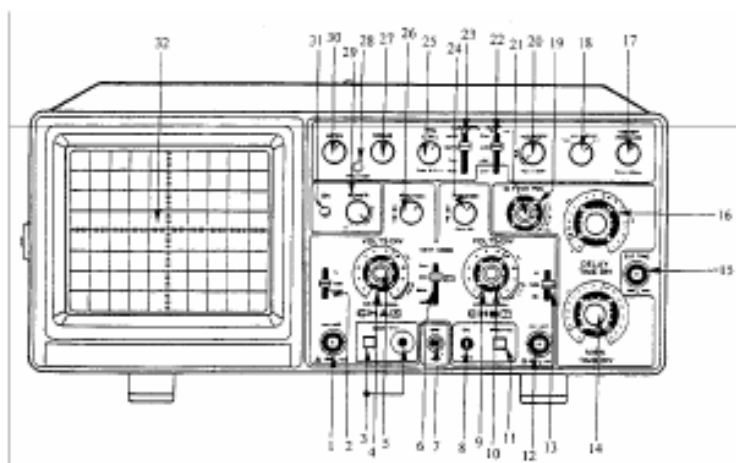
# 函數波形產生器

- ◆ **函數波形產生器** (Function Generator) 可提供電子電路所需之**交流訊號**，以作為電子電路交流輸入訊號之用。目前市面上之函數波形產生器而言，只要適當的選擇與調整相關旋（按）鈕，皆可提供不同輸出**頻率與電壓**（振幅）之**正弦波、方波與三角波**等 3 種交流訊號。
- ◆ 本書僅介紹 **FG1617 型**之函數波形產生器的**面板配置圖**，如下圖所示。



# 示波器

- ◆ **示波器** (Oscilloscope) 可用來測量**電壓訊號**之**波形** (Wave)、**振幅** (Amplitude)、**相位** (Phase)、**頻率** (Frequency)、**週期** (Period) 與**電路之轉移函數** (Transfer Function) 等電氣特性，以分析電子電路中每一節點之工作狀態。
- ◆ 一般電子實習室較常使用皆為**雙軌跡示波器** ( 可同時測量**兩組電壓訊號** ) 的配置圖，如下圖所示。
- ◆ 使用者只要打開電源，依照下圖之每個**控制開關**、**旋鈕**與相關顯示裝置，便可使用示波器於電子實習上，以測量各種**交、直流電壓**之電氣特性。



# 電子儀表之基本操作

◆ 利用三用電表與示波器測量電阻、電壓與電流

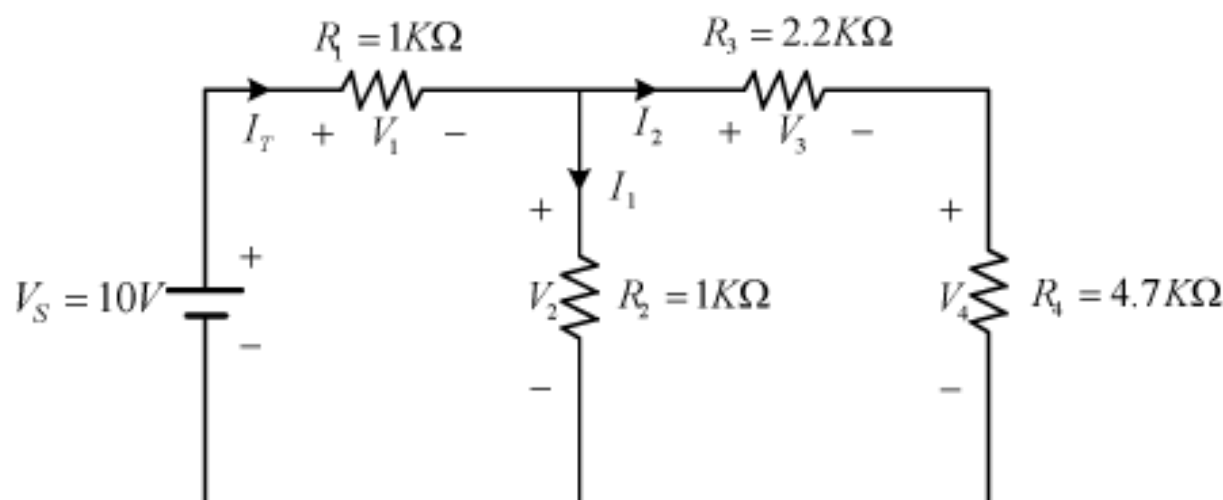


表 6 各個電阻之理論值與測量值

待測電阻	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
理論值	$1K\Omega \pm 5\%$	$1K\Omega \pm 5\%$	$2.2K\Omega \pm 5\%$	$4.7K\Omega \pm 5\%$
測量值	981 $\Omega$	992 $\Omega$	2.22K $\Omega$	4.6K $\Omega$

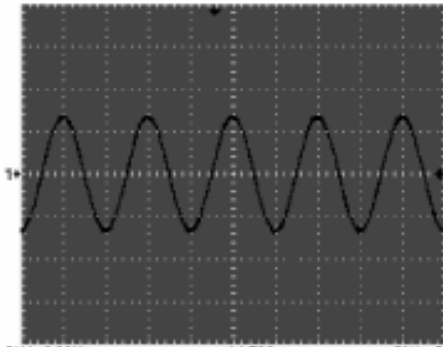
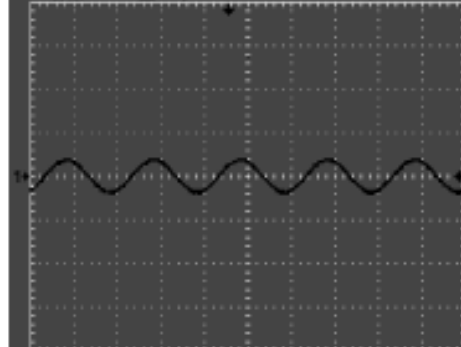
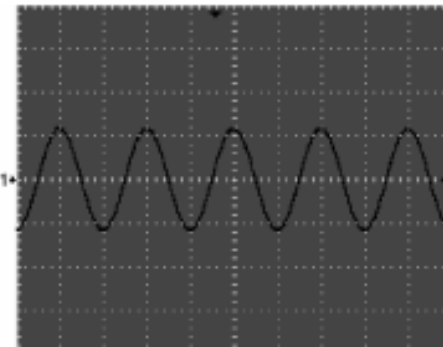
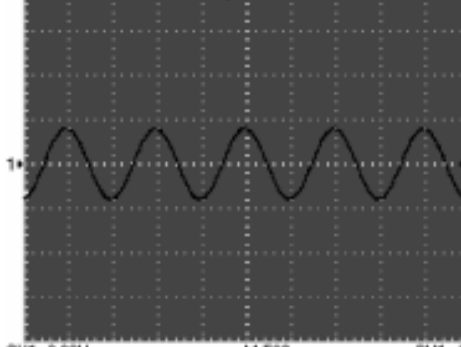


表 7 各分支之直流電流與各個電阻之直流壓降

待測量	$I_1$	$I_2$	$I_T$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_S$
理論值	4.67mA	0.68mA	5.35mA	5.35V	4.65V	1.48V	3.17V	10V
測量值	4.6mA	0.7mA	5.3mA	5.3V	4.7V	1.5V	3.2V	10V



表 8 各個電阻的交流電壓波形

 <p>CH1 2.00V M 500.0us CH1 /</p>	<p><u>2</u> Volts/DIV            峰值電壓：<u>24</u> V  <u>0.5msec</u> Time/DIV            週期：<u>1m</u> sec            頻率：<u>1K</u> Hz</p>	 <p>CH1 2.00V M 500.0us CH1 /</p>	<p><u>2</u> Volts/DIV            峰值電壓：<u>0.5</u> V  <u>0.5msec</u> Time/DIV            週期：<u>1m</u> sec            頻率：<u>1K</u> Hz</p>
 <p>CH1 2.00V M 500.0us CH1 /</p>	<p><u>2</u> Volts/DIV            峰值電壓：<u>2.2</u> V  <u>0.5msec</u> Time/DIV            週期：<u>1m</u> sec            頻率：<u>1K</u> Hz</p>	 <p>CH1 2.00V M 500.0us CH1 /</p>	<p><u>2</u> Volts/DIV            峰值電壓：<u>1.6</u> V  <u>0.5msec</u> Time/DIV            週期：<u>1m</u> sec            頻率：<u>1K</u> Hz</p>



# 利用示波器測量轉換特性曲線

表 9 電阻、電容兩端之交流電壓波形

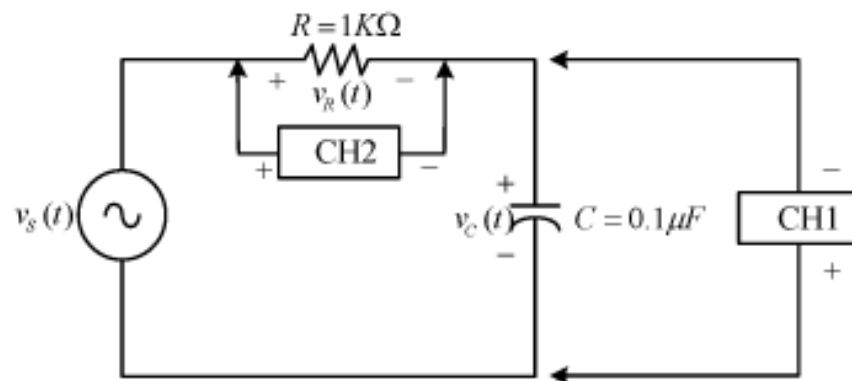
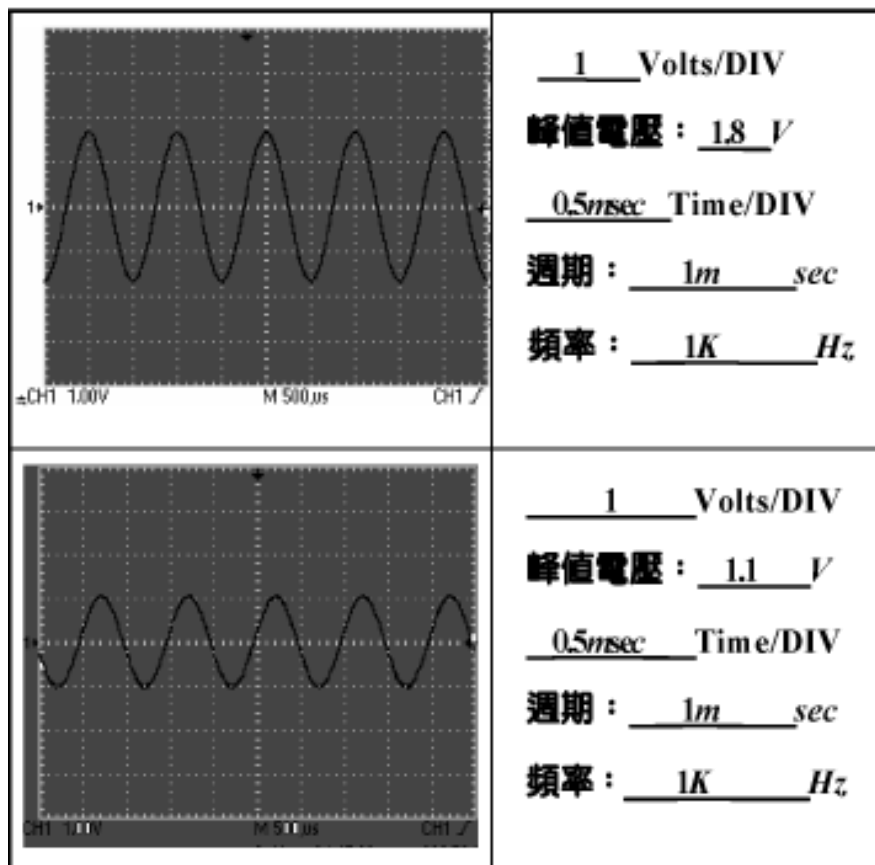


表 10  $v_C(t) - v_R(t)$  之轉換特性曲線

