

## 實驗二 基本電學 I

### 實驗目的：

簡述三用電表原理、構造與使用方式，藉以學習使用三用電表測量交流電 (Alternating Current, AC) 訊號與直流電 (Direct Current, DC) 訊號。

### 實驗儀器：

三用電表，電源供應器，訊號產生器，免焊電路板(俗稱麵包板)，電阻

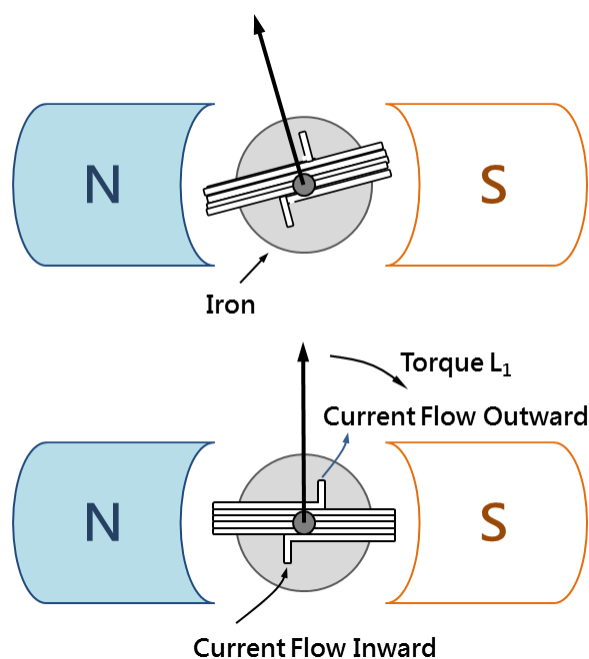
### 實驗原理：

在實驗中，經常會藉由不同功用的精密儀器來測量並取得物理量的數值，而最常測量的訊號為電壓與電流。三用電表是一種多用途的電子測量儀器，可視為安培計、伏特計、電阻器與整流器的結合，其設計原理源自於達松發爾檢流計。

#### A. 達松發爾檢流計的原理

圖一為達松發爾檢流計簡圖，當電流  $I$  流入可動線圈時，會受磁鐵所產生之磁場作用，進而產生順時針方向力矩  $L_1$ ，其大小與電流  $I$  成正比，而此關係式可表示為

$$L_1 = K_1 I \quad K_1 \text{ 為比例常數}$$



圖一 達松發爾檢流計構造示意圖。

此力矩會使內部線圈轉動，同時受到上下兩控制彈簧的扭力影響而產生逆時針方向的力矩  $L_2$ ，使線圈轉至  $\theta$  角後停止，而此關係式可表示為

$$L_2 = K_2\theta \quad K_2 \text{ 為比例常數}$$

當力矩  $L_1$  與  $L_2$  達平衡時，即表示

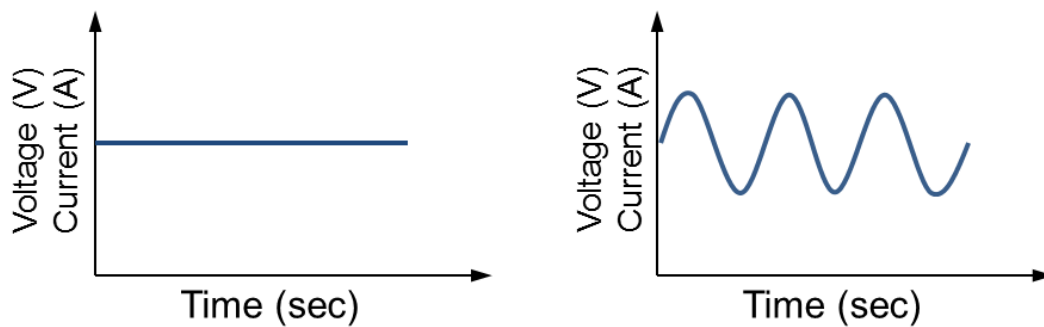
$$L_1 = L_2 \text{ 或 } K_1 I = K_2\theta$$

令  $K = \frac{K_2}{K_1}$ ，則可得

$$I = K\theta$$

因此，電流大小可經由線圈偏轉角度  $\theta$  取得。

如圖二所示，電訊號輸出模式主要可分為直流(DC)訊號與交流(AC)訊號兩種模式。直流訊號其電壓與電流值均為穩定常數，即不隨時間而變化；而交流訊號其電壓與電流值非為穩定常數，其值會隨時間呈現週期性變化。



圖二 直流與交流訊號對時間關係圖。

因此，若將直流與交流訊號電訊號分別附加於電路上時，電路就會呈現不同的反應。在此，我們以電功率為例，來說明兩者間的差異。

#### (a) 直流訊號 (DC)

將電流為  $I$  的直流電附加於電阻為  $R$  的電路上，此時電路輸出平均功率  $P$  可表示為

$$P = I^2 R$$

### (b) 交流訊號 (AC)

將電流為  $I = I_m \sin(2\pi t/T)$  的交流電附加於電阻為  $R$  的電路上，此時電路輸出功率  $P$  可表示為

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T R \left( I_m \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \right)^2 dt = \frac{RI_m^2}{T} \int_0^T \left( \frac{1 - \cos\left(\frac{4\pi t}{T}\right)}{2} \right) dt$$
$$= \frac{RI_m^2}{T} \left( \frac{t}{2} - \frac{T \sin\left(\frac{4\pi t}{T}\right)}{8\pi} \right) \Bigg|_0^T = \frac{RI_m^2}{T} \cdot \frac{T}{2} = \frac{RI_m^2}{2} = R(I_{rms})^2$$

其中， $I_m$  為峰值電流， $T$  為週期， $I_{rms}$  為有效電流值，用以說明交流電的淨效應。

如圖三所示，日常生活中所使用的電壓(或電流)並非交流訊號最大或最小值，而是有效值，又稱為方均根(root-mean-square value, r.m.s.)值。

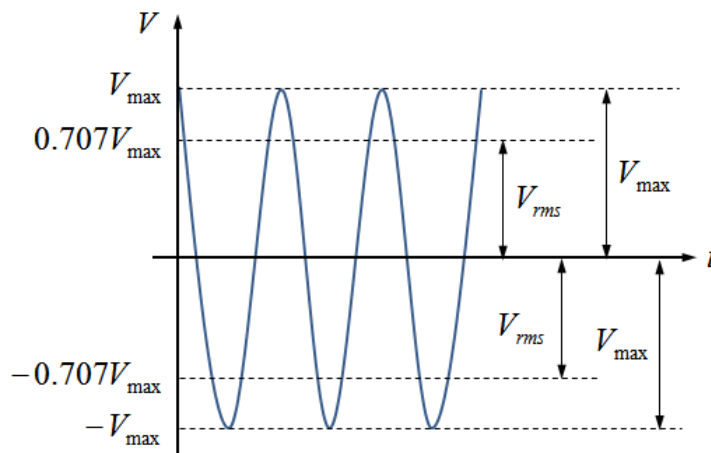
方均根值所代表的物理意義為『交流電源接在某電阻上所產生的熱量與某直流電源接在相同電阻上所產生的熱量相同』。

若以三用電表測量交流電壓或電流時，電表上所顯示的數值均為方均根電壓  $V_{rms}$  或方均根電流  $I_{rms}$ 。

$$\text{方均根電壓} \quad V_{rms} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} = 0.707V_{\max}$$

$$\text{方均根電流} \quad I_{rms} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = 0.707I_{\max}$$

其中， $V_{\max}$  代表最大電壓值(即電壓振幅)， $V_{rms}$  代表方均根電壓值。



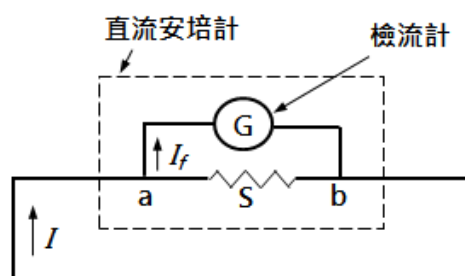
圖三 方均根電壓示意圖。

## B. 安培計—電流的測量

如圖四所示，直流安培計是由檢流計  $G$  與一低電阻  $S$  並聯所構成。 $R_g$  為檢流計內電阻， $I$  為通過直流安培計之電流值與  $I_f$  為通過檢流計最大電流值。由歐姆定律可知，分流電阻  $S$  應滿足下述關係

$$R_g I_f = (I - I_f) S \Rightarrow S = \frac{I_f}{I - I_f} \times R_g$$

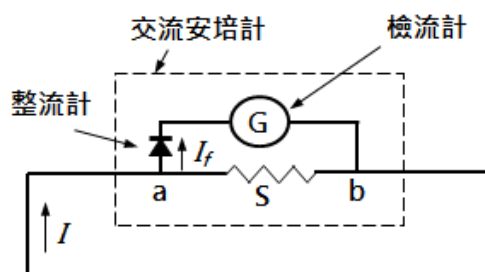
因此，直流安培計測定範圍，可藉由調整分流電阻  $S$  值來取得。



圖四 直流安培計內部構造示意圖。

交流安培計則是由檢流計  $G$ 、低分流電阻  $S$  及整流器所構成。因達松發爾檢流計只對直流電有效，故應於電路上加整流器使得交流電訊號成直流電訊號。

若於圖五 a 點左側線路加上整流器即可當作交流安培計使用，應注意交流安培計的刻度是以  $0.707 \left( = \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$  倍之交流電峰值加以刻劃。



圖五 交流安培計內部構造示意圖。

### C. 伏特計—電壓的測量

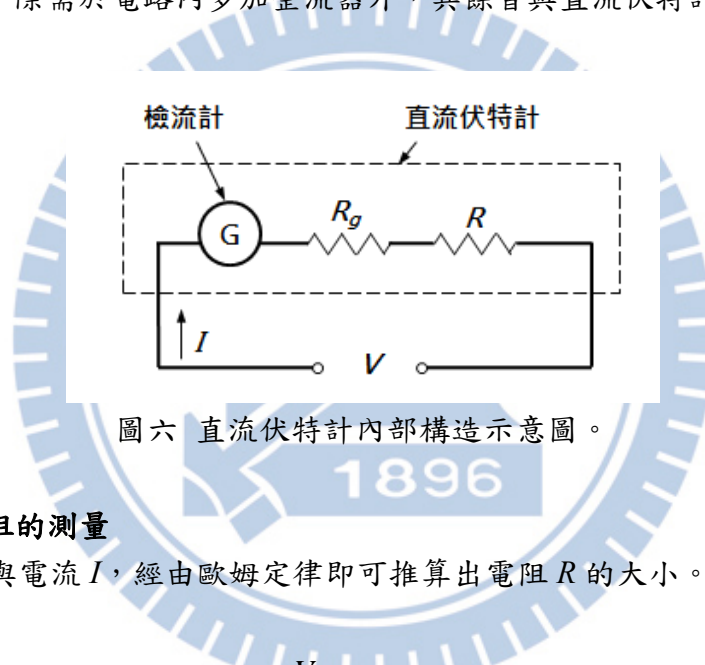
如圖六所示，直流伏特計是由檢流計  $G$  與一高電阻  $R$  串聯所構成。令檢流計可測量最高電壓值為  $V_m$ 、最高電流值為  $I_m$  且檢流計內電阻為  $R_g$ 。假設欲測量電路內最高電壓為  $V(=V_m N)$ ，則所需串聯之高電阻為  $R$  可經由下列關係式求得。

$$V_m = R_g I_m$$
$$V = N V_m = (R + R_g) I_m$$

則

$$N R_g I_m = (R + R_g) I_m$$
$$R = (N - 1) R_g$$

交流伏特計，除需於電路內多加整流器外，其餘皆與直流伏特計相同。



圖六 直流伏特計內部構造示意圖。

### D. 歐姆計—電阻的測量

已知電壓  $V$  與電流  $I$ ，經由歐姆定律即可推算出電阻  $R$  的大小。

$$R = \frac{V}{I} \quad (\text{歐姆定律})$$

### 注意事項：

1. 使用三用電表時，轉盤應轉至正確檔位且量程由大至小測量。避免因電路短路或電流/電壓超過負荷而造成儀器損壞。
2. 以三用電表作伏特計測量電壓時，三用電表應與電路並聯。
3. 以三用電表作安培計測量電流時，三用電表應與電路串聯。
4. 千萬不要以電流檔位來測量電壓，嚴重者會造成電線走火而使自身或同學被灼傷。
5. 為避免器材損壞，電源供應器所輸出電壓不可超過 10.0 V。

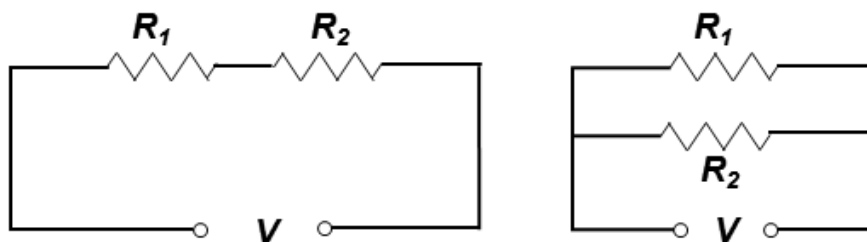
## 實驗步驟：

### ➤ 實驗前準備

1. 請先了解電源供應器、免焊電路板(麵包板)、訊號產生器使用方式。
2. 使用三用電表時，轉盤應轉至正確檔位且量程由大至小測量。
3. 使用完畢後，確實關閉三用電表，避免電池消耗殆盡而影響測量結果。

### A. 直流電壓、電流與電阻測量

1. 任選兩電阻  $R_1$  與  $R_2$ ，再由色碼表計算  $R_1$  與  $R_2$  電阻值。
2. 將三用電表轉至電阻檔位，以探測棒直接碰觸電阻兩端，記錄兩電阻測量值。
3. 依序於免焊電路板上完成串聯與並聯電路，如圖七所示。
4. 分別以電源供應器提供直流電壓( $< 10.0\text{ V}$ ) 至串聯與並聯電路。
5. 開啟三用電表，再按切換鍵(藍色按鍵)，使其切換至直流(DC)模式。
6. 將三用電表轉至電壓檔位，再以並聯方式測量總電壓與分電壓。
7. 將三用電表轉至電流檔位(量程應由大到小測量)，再以串聯方式測量總電流與分電流。
8. 以歐姆定律計算電路總電壓、分電壓與總電流、分電流，並計算百分誤差



圖七 串聯與並聯電路示意圖。

表一 色碼表

黑	棕	紅	橙	黃	綠	藍	紫	灰	白	金	銀
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$

### B. 交流電壓測量(ACV)

1. 開啟三用電表，再按切換鍵(藍色按鍵)，使其切換至交流(AC)模式。  
[註] 螢幕左下方會顯示 AC 字樣。
2. 選取 BNC-香蕉接頭訊號線，BNC 端與訊號產生器輸出端連接；紅色香蕉接頭端插入電表電壓(+)端而黑色香蕉接頭端插入電表接地 COM(-)端。
3. 開啟訊號產生器，再由訊號產生器輸出 60 Hz 的正弦波，調整輸出電壓大小(轉動振幅 AMPL 旋鈕)，觀察方均根電壓值是否隨輸出電壓大小不同而改變。
4. 固定輸出電壓大小(即不轉動振幅 AMPL 旋鈕)，改變訊號產生器輸出頻率 60 Hz ~ 1 MHz，記錄不同頻率所對應方均根電壓值。

### 實驗問題：

1. 直流電測量實驗中，計算值與測量值是否相同？試說明之。
2. 交流電測量實驗中，固定訊號輸出電壓僅改變輸出頻率時，所得電壓測量值是否相同？試說明之。

