

## 實驗 13：安培計、伏特計和歐姆計



安培計、伏特計和歐姆計設計實驗

關鍵詞(keywords)：達松發可動線圈(D' Arsonval movement)、歐姆定律(Ohm's law)

### 一、目的

1. 了解檢流計、安培計、伏特計和歐姆計的基本構造。
2. 利用自製的簡易安培計、伏特計和歐姆計，分別測量電路中的電流、電壓和電阻。

## 二、原理

電壓和電流通常使用一種稱為「達松發可動線圈(D'Arsonval movement)」的裝置[1~4]進行測量。如圖 1 所示，此裝置內包括一個能在磁場中因電磁力的作用而繞著固定軸轉動的線圈組，及一個用來阻止線圈繼續轉動的螺線型彈簧(spiral spring)。線圈旋轉達到平衡位置時，所轉動的角度與流經線圈的電流大小有關，因此可用以測量電流量的大小。

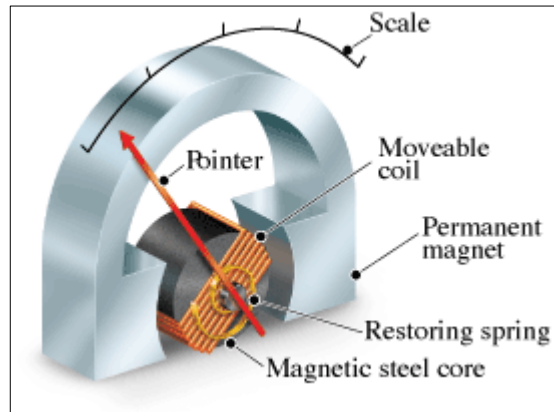


圖 1、達松發可動線圈內部構造示意圖：(1)刻度，(2)指針，(3)轉動線圈，(4)永久磁鐵，(5)螺線彈簧(6)軟鐵心。

(from: <http://myphlip.pearsoncmg.com/altproducts/demo/ab2iobjects.cfm?vbookid=724&vbcid=10687>)

當電流  $I$  經過線圈時，磁場  $B$  施一個與電流  $I$  成正比的力矩，而使線圈產生角位移  $\theta$ ，直到磁場力矩與彈簧的恢復力矩平衡為止。因角位移  $\theta$  與恢復力矩  $\tau$  成正比，而恢復力矩的大小  $\tau$  又與電流  $i$  成正比[1~4]，

$$\theta \propto \tau \propto I$$

此即一般普通物理或電學實驗室中常用之檢流計(galvanometer)的工作原理。以下的說明，假設檢流計線圈的電阻為  $1200 \Omega$ ，流過  $50 \mu\text{A}$ (微安培)的電流會產生滿刻度偏轉，即最大電流為  $50 \mu\text{A}$ 。通常因檢流計的規格不同，故檢流計內的線圈電阻及最大滿檔時的最大電流值也會不同。

### (一)電流計：或稱安培計，測量電流量用的裝置

要量測電路中的電流，必須將電流計與待測電路串聯，使欲測量的電流全部流過電流計裝置。若使用的檢流計所能測量的最大電流值為  $50 \mu\text{A}$ ，並假設檢流計的內電阻為  $R_c = 1.2 \text{ k}\Omega$ ，則如果要擴大檢流計測量電流的範圍，則可以將一個較低的電阻  $R_p$  與轉動線圈並聯，如圖 2 所示。根據歐姆定律得：

$$V_{ab} = I_c R_c = I_p R_p \quad (1)$$

$$I = I_c + I_p \quad (2)$$

故待測的電流  $I$  為：

$$I = I_c + I_p = I_c + I_c R_c / R_p = I_c \left( 1 + \frac{R_c}{R_p} \right) \quad (3)$$

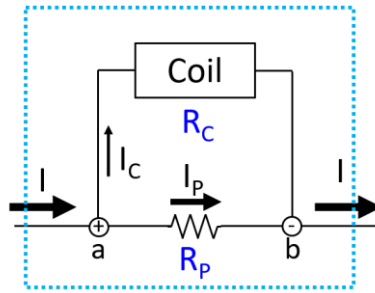


圖 2、電流計內部結構圖

在設計時，常將電流計測量範圍定為“原標刻度”的  $10^n$  倍。例如在實驗中要測某電路的電流值，經估計約為  $2\sim 3\text{ mA}$ ，則可以設定測量範圍為  $5\text{ mA}$ ，即  $I=5\text{ mA}$ 。則在(3)式中，將滿檔的  $I_c$  最大值和檢流計的內電阻  $R_c$  代入，即可以估算出適當的  $R_p$  值。

在本例中，假設需要的滿檔  $I_c=50\text{ }\mu\text{A}$ ，檢流計的內電阻  $R_c=1.2\text{ k}\Omega$ ，則經(3)式計算，可得  $R_p=12\text{ }\Omega$ 。找出阻值為  $R_p=12\text{ }\Omega$  的電阻器，並將之並聯在檢流計的兩輸入端，即可以將檢流計變成可量測  $0\sim 5\text{ mA}$  範圍之間的電流計。這種設計在測量時比較方便，可以不必再經(3)式換算，只要讀取指針所指示的刻度位置，即可知電流值大小。

### (二)電壓計(或伏特計)

要量測電路中兩點的電位差，必須把伏特計與待測物兩端點並聯。假設檢流計所能測量的最大電位差範圍為  $V=I_c * R_c=50\text{ }\mu\text{A} * 1200\text{ }\Omega=60\text{ mV}$ 。若要測量較高電壓，則需將一個高電阻  $R_s$  與線圈串聯如圖 3 所示，以擴大其測量範圍。a、b 兩端的電位差為：

$$V_{ab} = I_c (R_c + R_s) \quad (4)$$

$R_s$  之大小視待測電壓之範圍來決定，設計原則請參考電流計部分。

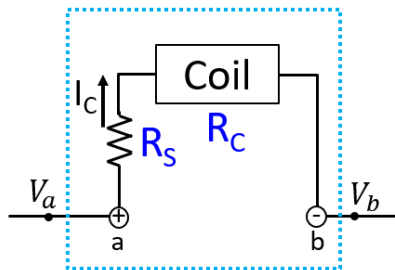


圖 3、電壓計內部結構圖

### (三)歐姆計

歐姆計雖然不是很精確，卻是一種迅速測量電阻的簡便儀器。歐姆計是由檢流計、電阻和電源(乾電池)串聯而成，如圖 4 所示。

選擇串聯電阻  $R_{so}$  的原則是當 x、y 兩端點為短路( $R=0$ )時，使檢流計指針作滿刻度偏轉；而當 x、y 兩端點為斷路( $R=\infty$ )時，檢流計指針不偏轉( $I=0$ )。如此，當我們在 x、y 之間串聯任意電阻  $R$  時，由所量到的電流值  $I$  可以算出電阻值的大小。

$$I_c (= 50\text{ }\mu\text{A}) = \frac{\varepsilon}{R_c + R_{so}}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_c + R_{so} + R} = \frac{(R_c + R_{so}) I_c}{R_c + R_{so} + R} \quad (5)$$

故

$$R = \frac{(R_c + R_{so})(I_c - I)}{I} \quad (6)$$

式中  $I_c = 50 \mu A$ ， $R_c = 1.2 k\Omega$ 。由於  $R$  與  $I$  不是線性關係，故每測一個電阻，均需將讀得的對應  $I$  值與各已知值代入(6)式計算而求出  $R$  值。商用三用表則另外標一非線性刻度在儀表板上，可以直接讀取  $R$  值。

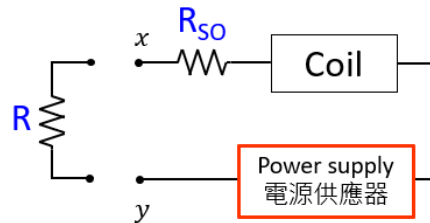


圖 4、歐姆計內部結構圖。

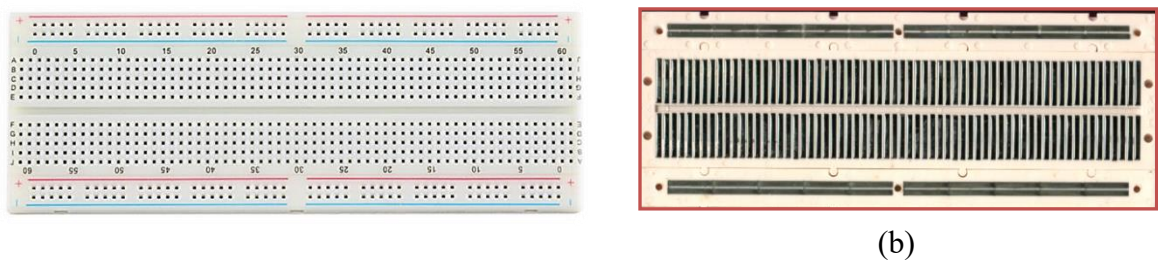
### 三、儀器

檢流計、低電壓直流電源供應器及三用電表各一個，電阻器若干個，連接線數條，麵包板(如圖 5)，麵包板結構如圖 6 所示。

注意：檢流計的內電阻  $R_c$  的值不可用三用電表直接去測量。測量方式於實驗一。



5、實驗儀器圖



(a)

(b)

圖 6、麵包板(a)正面 (b)內部連接線。

#### 四、步驟

注意：實驗所用的電阻器，可由其色環讀出電阻的大小(參考附錄 A)，然在接入線路之前均以三用電表量其電阻值，避免因接錯電阻而燒壞檢流計。三用電表不用時，請調到 OFF 檔。

##### (一) 內電阻量測

1. 將檢流計與電源供應器串接，及並聯三用電表測量電壓(先切至直流電壓 2000 mV 檔位，視情況切換檔位，以較小檔位，但勿超出檔位測量極限較佳)，如圖 7。
2. 電源供應器的電壓輸出從 0.01 V 慢慢往上調整直到電流接近檢流計滿檔位。
3. 當檢流計的讀值接近滿檔位時，記錄三用電表的電壓值  $V$  與檢流計的電流值  $I$ 。
4. 利用歐姆定律  $V=I \cdot R$ ，計算出檢流計的內電阻值  $R_c$ 。

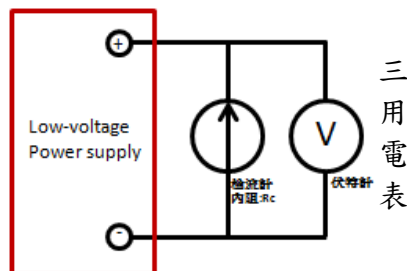
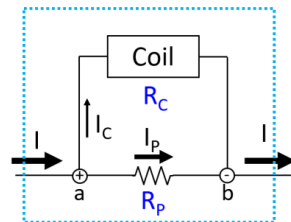


圖 7、內電阻測量示意圖。

##### (二) 安培計

1. 將檢流計設計成最大可量電流為 50 mA 的安培計，利用式(3)計算  $R_p$  的大小，然後找出阻值為  $R_p$  的電阻，如圖 2 裝接好。



2. 將自製的安培計串聯於圖 8 的電路中，調整其輸出電壓為 5 V 左右(注意：電壓不要調得太大)，讀取電流值  $I$ 。
3. 以實驗室常用的三用電表代替上述自製的安培計，測量電流。比較步驟 2、3 的結果。  
注意：為了保護實驗儀器，實驗中測量電流時，請先以 10 A 檔位測量，確認輸入端的位置是否正確。當待測電流小於 2000 mA 時，才可用較低檔位測量。
4. 改變安培計的測量範圍，重新計算  $R_p$  的大小，使最大測量電流為 5 mA。將圖 8 中的 150  $\Omega$  電阻器改為 300  $\Omega$ ，調整電源供應器的輸出電壓約為 1 V，重複步驟 1~ 3。

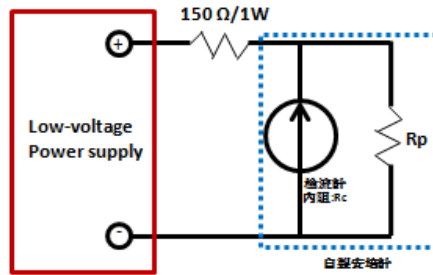
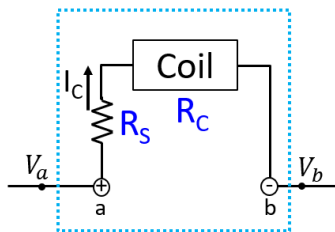


圖 8、利用自製安培計測量電路中的電流

### (三) 伏特計

1. 將檢流計設計成滿刻度範圍為 10 V 的伏特計，利用(4)式算出  $R_s$  值，找出阻值為  $R_s$  的電阻器，如圖 3 裝接好。



2. 把此自製伏特計並聯於圖 9 的電路中，電源供應器輸出電壓約為 5~8 伏特，記錄電壓讀數。
3. 以三用電表代替自製伏特計測量電壓，並比較自製伏特計、三用電表與電源供應器上所附伏特計之讀數。
4. 改變  $R_s$ ，使滿刻度範圍為 2.5 V，並將電源供應器輸出電壓改為 1.5~2 V，重覆步驟 1~3。

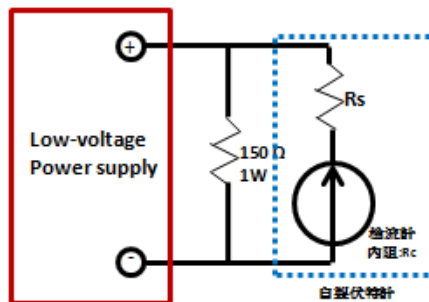
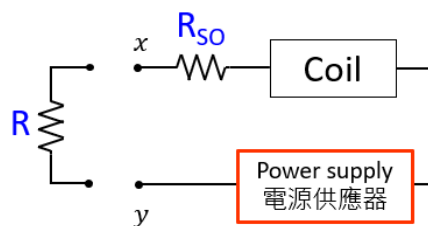


圖 9、利用伏特計測量電路中任意兩點的電位差

### (四) 歐姆計

1. 按照(5)式，直流電源電壓定在 2 V 左右，算出  $R_{so}$ ，將檢流計依圖 4 裝接成歐姆計。



2. 以自製歐姆計測量待測電阻器( $\sim 39 \text{ k}\Omega$ )之電阻值。

3. 使用三用電表直接測量該電阻值，並與自製歐姆計量得的值作比較。
4. 以自製歐姆計測量  $390\ \Omega$  或  $390\ \text{k}\Omega$  電阻時，其準確性如何？

## 五、問題

1. 在圖 8 中，以自製電流計測量流過  $150\ \Omega$  電阻器的電流。試比較該電表兩端的電壓降與電阻器兩端的電壓降。
2. 在圖 9 中，以自製伏特計測量  $150\ \Omega$  電阻器兩端的電壓。流過該表的電流之數量級為何？
3. 在圖 10 的裝置中，將檢流計與三個電阻器  $R_1$ 、 $R_2$  及  $R_3$  連接而成多範圍安培計，使其滿刻度偏轉時的電流分別為 1 安培、0.1 安培及 0.01 安培，試求電阻器  $R_1$ 、 $R_2$  及  $R_3$  的數值。

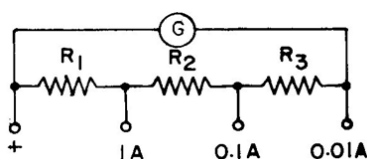


圖 10、多範圍安培計的內部網路

4. 在圖 11 的裝置中，將檢流計裝接三個電阻器，而成多範圍伏特計。欲使滿刻度分別為 2.5 伏特、10 伏特及 50 伏特，試求電阻器  $R_1$ 、 $R_2$  及  $R_3$  的數值。

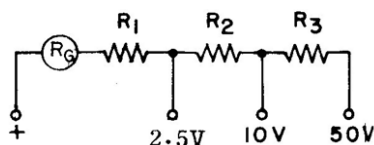


圖 11、多範圍伏特計的內部網路

5. 按色環標示法(參考附錄 A)，本實驗所用的電阻誤差為何？以此估計本實驗的儀器誤差(估計時須依照實驗 1 所講的誤差傳遞計算)。

## 六、參考資料

1. Halliday & Resnick：Fundamentals of Physics，6th ed.，Chapter 28-7，Chapter 29-8，Chapter 29-9
2. 林益海：三用電表與數位三用電表(文星書局，台北，民國六十九年三月版)
3. 姚力仁：三用電表基本操作法，音響技術高傳真視聽，第 122 期，128 頁(民國七十五年二月)
4. H. Benson：University Physics，Chapter 28-5，Chapter 29-3～Chapter 29-4

## 附錄 A：電阻器電阻值的色環標示法

電阻器的歐姆數值通常以色環標示。圖 A-1 中，電阻值的讀法如下：

a 環：表第一位數。

b 環：表第二位數。

c 環：表第二位數後所加“0”的個數(即 $\times 10$ 的幾次方)。

d 環：表百分誤差。

即電阻的大小為：

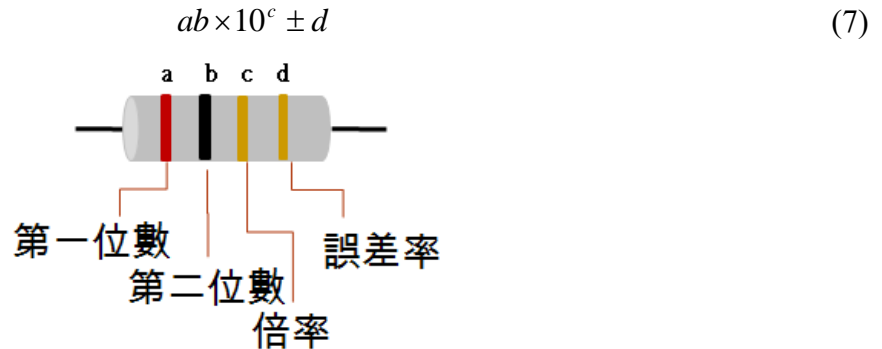


圖 A-1、電阻器上的色環示意圖

各顏色所代表的數值如下：

色碼	黑	棕	紅	橙	黃	綠	藍	紫	灰	白	金	銀	透明
Color	Black	Brown	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Violet	Gray	White	Gold	Silver	None
代表數字	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-	-	-
倍率 (Multiplier)	$10^0$	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$	$10^9$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	-
誤差 (Tolerance)	-	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	-	-	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.05\%$	-	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

例：新式精密電阻增加一位有效數字，即共用五個色環標示。請參看圖 A-3，

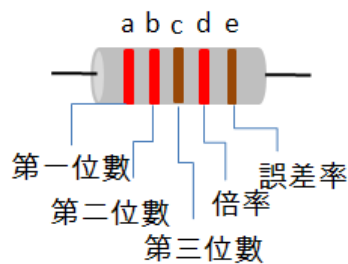


圖 A-2、這支電阻器的 a、b、c、d 及 e 色環的顏色依次為：紅紅棕紅棕

電阻值的大小為：

$$abc \times 10^d \pm e \quad (8)$$

有時還有另一個色環表示溫度係數。圖 A-3 所示之電阻值為：

$$R = (221 \times 10^2) \Omega = 22.1 \text{ k}\Omega$$

誤差

$$\varepsilon = 1\%$$