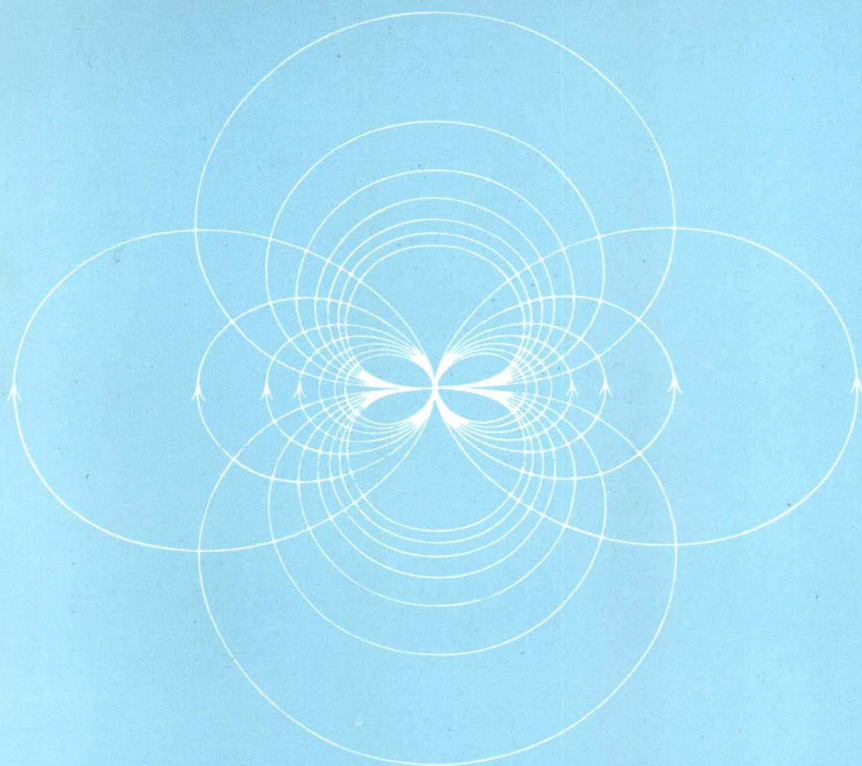


科技用書

電 路 實 習

許瑞銘 編著

本書依據教育部最新頒佈課程標準編輯



復 文 書 局

電 路 實 習

著作權執照台內著字第 號

版權所有



翻印必究

中華民國六十九年九月初版發行

平裝特價 94.元

著 作 者： 許 瑞 銘

發 行 者： 吳 主 和

發 行 所： 復 文 書 局

地址：臺南市東門路421巷28號

電話：(062)370003號

郵政劃撥帳戶32104號

No.28. LANE421 DONG-MEN
ROAD TAINAN TAIWAN REPUBLIC
OF CHINA

TEL:(062)370003

本書局經行政院新聞局核准登記發給
出版事業登記證局版台業字第0370號

序 文

近年來我國工業突飛猛進，尤其是電機，電子方面更為發達，而且引起社會各階層廣泛重視及應用。諸如工廠、機關、學校、百貨公司、遊樂場所、餐廳、醫院無不充分採用其產品。因此電機、電子方面之科學知識與技能已激起求知者之興趣。

目前大部份機械之動力均由電力來供給，如果要使電力有效運轉及安全保養起見，那麼工作人員均需懂得各類測試儀表，保護儀表，電磁開關及控制電路之原理與應用。

本書提供關於電路上許多基本原理與測試方法，除了在校學生必修之外，亦可作用電機、電子、化工、機械從業人員進修及參考之用。

許瑞銘 謹序

編輯大意

- (一) 本書係依據教育部頒佈電機科五專第二學年下學期電工實習課程標準來編輯。
- (二) 本書除供電機科教學用之外，亦可作為電子科、化工科、機械科等電工原理輔助教材之用。
- (三) 本書共分為十六個實驗，實驗一為伏特計、安培計之認識與使用，實驗二為電源使用方法，實驗三為歐姆定律，實驗四歐姆計之認識與使用，實驗五為電阻之串並聯組合，實驗六瓦特計之認識與使用，實驗七為電流之熱效應，實驗八為電流之磁效應，實驗九為電磁感應定律，實驗十日光燈之認識，實驗十一為電流之光效應，實驗十二為渦電流及瓦時計實驗，實驗十三為熱動電驛之認識，實驗十四為電容器串並聯電路，實驗十五為交流電路諧振實驗(一)，實驗十六為交流電路之諧振實驗(二)。
- (四) 本書內容參考各種書籍，著重於實際應用，盡量避免高深之理論與繁雜之計算。
- (五) 本書對於各種實驗用儀表，均附多幅插圖，而且各個實驗操作要領均有詳細敘述，如此一方面避免操作錯誤而損毀儀表，另一方面亦可養成正確操作方法。
- (六) 本書屢經謹慎編撰及詳細校對，如有疏漏之處，懇請不吝指正。

許瑞銘 謹識

目 錄

實驗 一	伏特計，安培計之認識與使用·····	1
實驗 二	電源使用方法·····	19
實驗 三	歐姆定律·····	48
實驗 四	歐姆計之認識與使用·····	65
實驗 五	電阻之串並聯組合·····	85
實驗 六	瓦特計之認識與使用·····	102
實驗 七	電流之熱效應·····	118
實驗 八	電流之磁效應·····	135
實驗 九	電磁感應定律·····	149
實驗 十	日光燈之認識·····	166
實驗十一	電流之光效應·····	176
實驗十二	渦電流及瓦時計實驗·····	187
實驗十三	熱動電驛之認識·····	208
實驗十四	電容器串並聯電路·····	214
實驗十五	交流電路之諧振實驗(一)——串聯諧振·····	237
實驗十六	交流電路之諧振實驗(二)——並聯諧振·····	260

實驗一 伏特計，安培計之 認識與使用

【目的】

由本實驗可學得：

- ① 儀表之設計原理與使用。
- ② 伏特計倍增器之應用。
- ③ 安培計分流器之應用。
- ④ 多用電表之應用。

【原理】

(A) 達松發 (D'arsonval)

幾乎所有的電指示儀表，都利用電流所產生機械力量來操作。因此儀表大都是利用電流來測量之儀器。並不是真正的測量電壓值，而是測量某一特殊電壓在一固定元件（電阻）上所產生的電流。因為此電流值與所出現的電壓成正比。電表指針之偏轉，是與電流所產生的電磁力成正比。這個電磁力量是用來推動指針偏轉於已刻好刻度之面盤上，以指示電壓及電流。

D'arsonval 電表之構造示於圖 1 - 1 中，內包含一永久磁鐵，以產生磁場，而於磁場中有安裝一作為可轉動之線圈。當線圈內通有電流時，便產生一磁場與永久磁場相互作用，因此線圈便會轉動，此轉動力量決定於線圈中之電流量，而此轉動力量最後是由阻礙線圈轉動之彈簧張力來克服。對於轉動線圈中電流所產生磁場分佈與永久磁鐵磁場之相互作用方向示於圖 1 - 2 中。

於圖 1 - 3 中，顯示出可動線圈上，下端有以反方向繞製之兩彈簧，此兩個彈簧分別由線圈之轉動來繞圈或反繞圈（uncoiled），固定在軸上的指針，可於刻度盤上指出其旋量。

因為彈簧之阻礙力量正比於轉的轉動力量，因此線圈會轉至磁場

2 電路實習

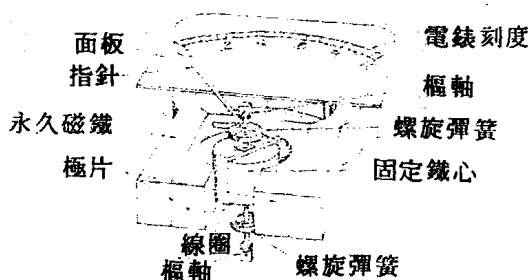


圖 1-1 達松發移動式電表之構造

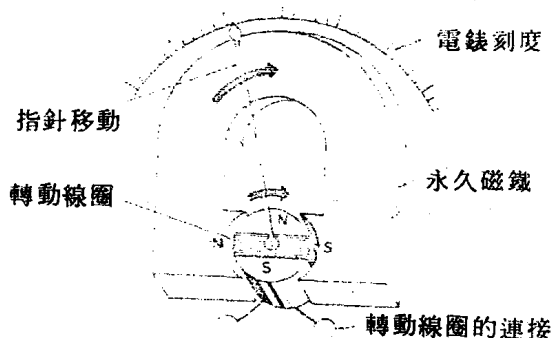


圖 1-2 達松發電表內線圈電流產生磁場與永久磁鐵磁場相互作用之方向。

作用在線圈上的力與彈簧所施之力相平衡之位置。因此軸上指針之旋轉幅度，是正比例於線圈內所通過電流值的大小。

達松發式電表，因磁路內空氣隙小及磁通密度大，因此達松發式電表可說是很靈敏之電表，祇要 20 萬分之一安培，即 20×10^{-6} 微安之電流，便能使指針偏轉 60° 。

由於磁場是從一永久磁鐵分佈出來，而其極性亦不能反轉，因此線圈所產生的磁場祇能以一個方向來作用。因此達松發式電表之指針不能反偏。

假使把電流通入一個沒有阻尼的電表，其指針便會很快地移動到最大刻度，再回到最小的刻度，如此來來回回反覆振盪，最後才靜止下來，但需花費一段很長之時間。為了使指針快速地達到其指示位置

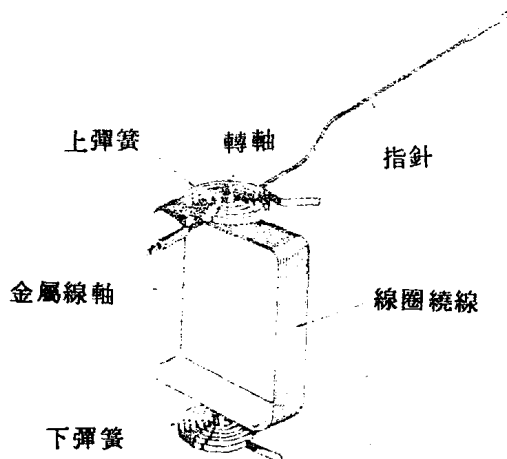
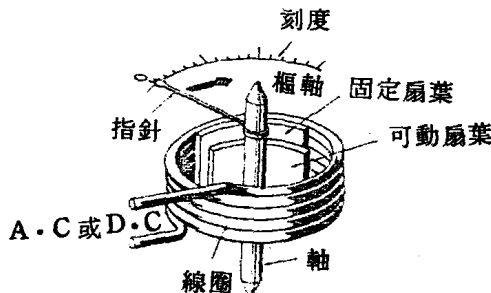


圖 1—3 電錶線圈繞在一很輕的繞線軸上，樞軸 (pivot)、彈簧與指針 (pointer) 都固定在此繞線軸上。

，便需加裝一阻尼裝置。達松發式電表其阻尼作用是把轉動線圈繞在一非磁性金屬的線筒上。當線圈在磁場中轉動時，線圈所繞的線筒切割磁力線，於線筒上產生一感應電壓，而產生一磁場，其方向是反應線筒的轉動。使得線圈轉動慢下來，一但線筒停止運動，阻尼作用便消失。這個阻尼系統對於指針最後之指示不會有任何影響。

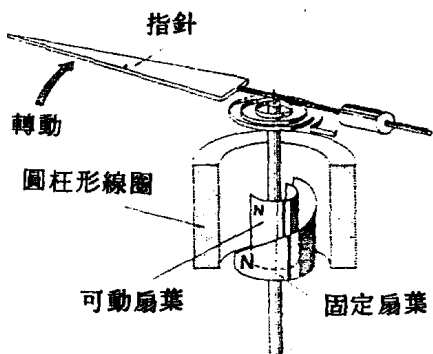
(B) 鐵葉式儀表 (IRON - VANE instruments)

其原理為利用兩相同磁極間斥力來作測量之根據。其轉動線圈固



(A) 可動鐵葉儀表，包含有兩個扇葉。當直流或交流加於線圈時，兩鐵葉互相排斥。

4 電路實習



(B) 可動鐵葉儀錶的簡化圖，其固定扇葉做為一特別形狀，使產生指針的轉動與外加電流為正比的關係。

圖 1—4

定於一位置上。所欲測的電流加在線圈上，於線圈中便產生一磁場。

兩扇鐵葉裝於線圈內中央處，如圖 1—4 所示。一葉扇固定於一位置，另一葉扇則固定於軸上以移動指針。

當線圈內通電流產生磁力線，其大部份集中於兩葉扇上，因為兩葉扇由線圈所獲得的磁力相同，它們的極性亦相同。因此兩相同葉扇互相排斥，固定葉扇是不能移動的，故可動葉扇便開始旋轉。而可動葉扇之轉動略受彈簧的阻礙，其真正的移動量，主要是決定於兩扇葉間斥力之大小。

由於使指針轉動指示電流大小之磁力是由兩磁場所產生的。一個是固定葉扇的另一為可動葉扇的磁場。每一磁場都正比於線圈中電流，因此總磁力便正比於電流的平方。因此於電流值很小時，刻度便擠在一起，而電流值較大時刻度便散開。此種電表測量大電流值較方便。

(C) 安培計

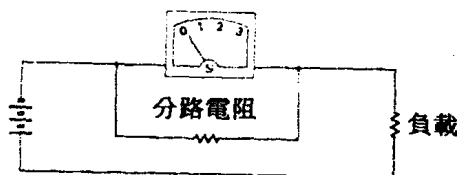
安培計為任意電流值之指示儀表，它可以用來測量安培，毫安培或微安培。

安培計包含一基本電表轉動部份，而其電表線圈通常祇能通過一被限制下的電流量。

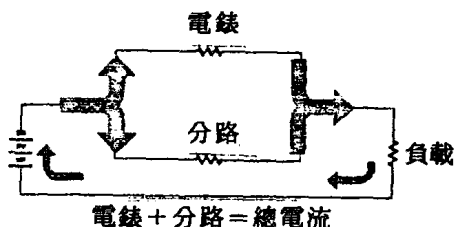
至於達松發電表之轉動部份，其線圈都設計成限制 100 毫安以下電流，不適合來測量大電流。因此要測量較大之電流時，便需加裝分

流器。

於圖 1 - 5 (A) 一電阻跨於電表之兩端，被稱為分路。這個分路通過了電表中部份之電流。此電流路徑示於圖 1 - 5 (B) 中。電表之電阻，與分路之電阻需經選擇，才能產生合適之電流比。



(A) 電阻跨於電錶兩端作為分路。



(B) 電流經過電錶電阻與分路的路徑。

圖 1 - 5 一分路與電錶並聯，以供給某些電流之另一路徑。

決定分路電阻之因素為

所欲測量之電流量 I_r 與電表轉動部份之電阻。

例 1 - 1：若某電表其滿刻度偏轉為 1 毫安，電表之電阻為 105 歐。

若欲使電表滿刻度偏轉指示改為 1 安培，需如何設計之。

解：先繪出圖 1 - 6 之電路，因電表所通過最大電流固定為 0.001 安培，因此分流器之電流便為 0.999 安培。

電表二端之電壓 E_m 為

$$\begin{aligned} E_m &= I_m R_m \\ &= 0.001 \times 105 \\ &= 0.105 \text{ (伏)} \end{aligned}$$

而分路器電阻 R_s 為

6 電路實習

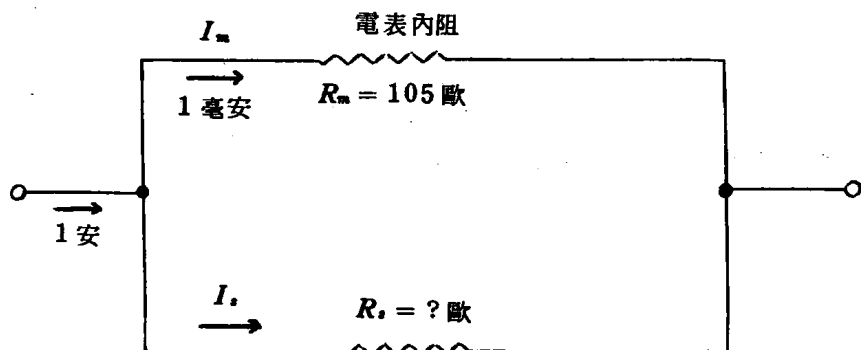


圖 1 - 6 例 1 - 1 分流電路

$$R_s = \frac{E_s}{I_s}$$

$$R_s = \frac{0.105}{0.999}$$

$$= 0.1051 \text{ (歐)}$$

在使用安培計時，需串聯於電路中，如圖 1 - 7 所示之接法，切勿把安培計跨於電源兩端或有電壓元件之兩端，如此會把電表燒壞。

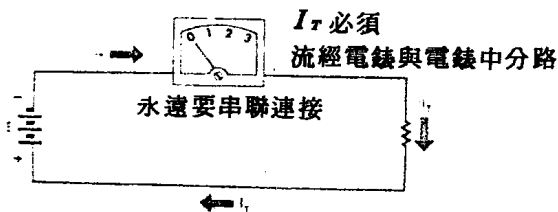


圖 1 - 7 永遠把一安培計與負載相串聯，不可把安培計跨於電源兩端。

(D) 伏特計

伏特計為一種高電阻之電壓表，當電路中其電流值與電阻值為已知時，由歐姆定律可求出其電壓值。伏特計之電阻值為已知，於此電阻上所通過之電流是以指針之偏轉來指示。而求電壓時，祇要把電表

刻度標成伏特便可，即能直接讀出。

伏特計之使用為直接跨於電源之兩端，或線路元件之兩端，而且應儘量少吸收電流。由於此原因，伏特計應盡量包含一靈敏的電表與一高電阻。

於圖 1 - 8 中，伏特計與一稱為倍增器之高電阻相串聯，於此電路中，伏特計用來測量燈泡 2 電壓所需通過之電流必需很小才可。因為伏特計本身是高靈敏度且此支路上串聯一高電阻，因此伏特計測量所吸收的電流一定是很小，便能忽略。

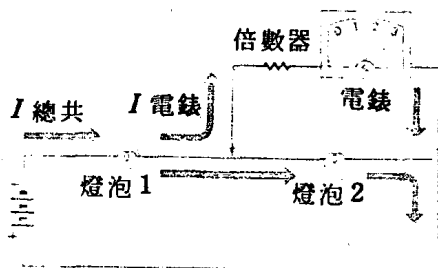


圖 1 - 8 電壓計的電阻值應該很大，所以電錶所經過的電流不會嚴重地影響線路電壓。

例 1 - 2：若我們把一安培計改成伏特計來使用，安培計之滿刻度為 1 毫安，其轉動部份之電阻為 105 歐，應如何決定倍增器之電阻值。

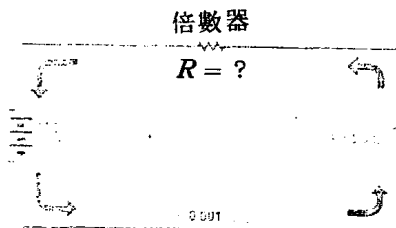


圖 1 - 9 假如整個線路中的總電阻知道時，倍增器的電阻，可以很容易地求出。

解：於圖 1 - 9 中電路之總電阻

8 壓路實習

$$\begin{aligned} R &= \frac{E}{I} \\ &= \frac{100}{0.001} \\ &= 100,000 \text{ (歐)} \end{aligned}$$

而總電阻 R 爲

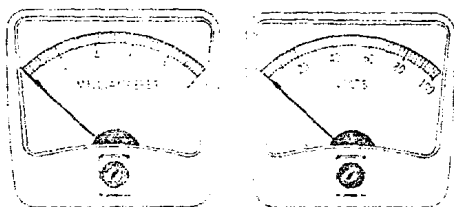
$$R = R_{\text{倍增器}} + R_{\text{電表}}$$

因此

$$\begin{aligned} R_{\text{倍增器}} &= R - R_{\text{電表}} \\ &= 100,000 - 105 \\ &= 99,895 \text{ (歐)} \end{aligned}$$

當一 99,895 歐電阻與電表相串聯，100 伏特外加電壓會使電表產生一滿刻度之偏轉。假如 50 伏特電壓加於電路上，便只有一半之電流，即電表偏轉一半之刻度。

於圖 1-10 (A) 中爲 0 至 1 毫安之安培計，可以被設計成伏特計，祇要把它們的刻度改成伏特便可，如圖 1-10 (B) 中所示，與使用一倍已計算好之倍增器（99,895 歐），則原來於安培計上 0~1 刻劃可以留在電表上，但需把安培計之指示數字乘以 100 才行。即安培計最大刻度 1 乘以 100，便能測量到 100 伏特之電壓值。



(A) 0 至 1 毫安培計 (B) 電壓刻度之 0 至 1 毫安培計

圖 1-10 一個 0-1 的毫安培計可以用作爲一電壓計，只加上一串聯電阻，並改變電錶面板。

(E) 伏特計靈敏度

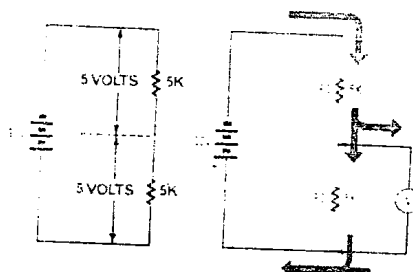
當伏特計用來測量電路中之電壓時，便吸收電流而影響其測量值。一高靈敏度之伏特計，需吸取很小之電流。

伏特計之靈敏度表示為歐姆—伏特。假若電表滿刻度偏轉為 10 伏特，而電表之總電阻為 10,000 歐姆，那麼其靈敏度為 1000 歐姆/伏特。

例 1 - 3：於圖 1 - 11 (A) 中電路為兩 5 仟歐電阻串聯，而跨於 10 伏特電源兩端，因此兩電阻相等，故每一電阻上之電壓亦相等。若一個靈敏度為 1000 歐姆/伏特跨於電阻 R_2 上，如圖 1 - 11 (B) 所示。而電表本身之電阻 R_m 為

$$\begin{aligned} R_m &= 10 \times 1000 \\ &= 10,000 \text{ (歐)} \end{aligned}$$

其等值電路示於圖 1 - 12 中。於圖 1 - 12 中， a 、 b 間電阻 R_{ab} 為



(A) 兩相等值的電阻將有相同的壓降 (B) 電流在 5K 歐姆電阻中分所兩路。

圖 1 - 11 當電錶跨於串聯電阻中之一時，串聯電路變為串—並聯電路。

$$R_{ab} = \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m}$$

10 電路實習

$$= \frac{(5000) \times (10,000)}{5000 + 10,000}$$

$$= 3333 \text{ (歐)}$$

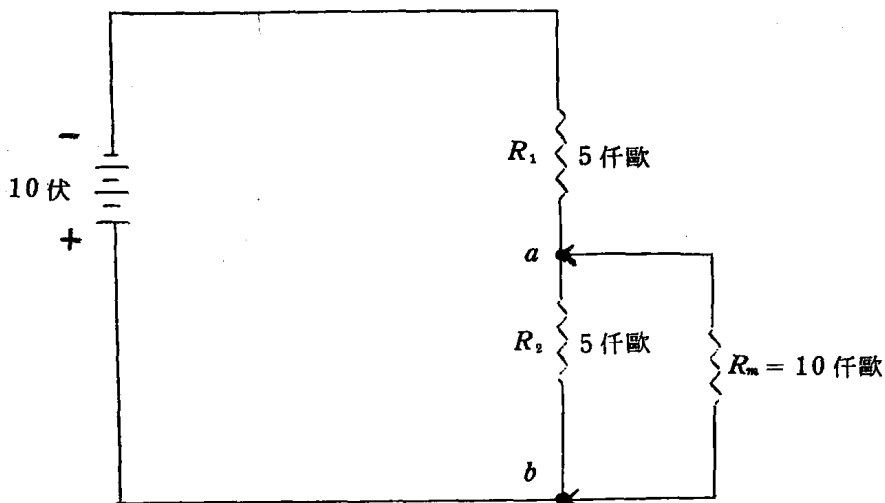


圖 1 - 12 圖 1 - 11 (B) 之等值電路。

因此電路之總電阻 R 為

$$R = R_{ab} + R_1$$

$$R = 3333 + 5000$$

$$= 8333 \text{ (歐)}$$

電路中電流 I 為

$$I = \frac{E}{R}$$

$$= \frac{10}{8333}$$

$$= 0.0012 \text{ (安培)}$$

因而電表上之電壓 E_m 爲

$$\begin{aligned} E_m &= I \times R_{ab} \\ &= (0.0012) (3333) \\ &= 3.999 \\ &\doteq 4 \text{ (伏特)} \end{aligned}$$

而實際 R_2 電阻上之壓降爲 5 伏特，因此電表所測得值之誤差爲 1 伏特。

【所需儀器】

- ① 直流伏特計 V 。
- ② 直流安培計 A 。
- ③ 可變電阻箱 R 。
- ④ 開關。
- ⑤ 乾電池。

【實驗步驟】

(A) 伏特計之使用

① 首先把伏特計平放於實驗桌上，觀察指針是否歸零，若無歸零則以起子調零歸零螺絲直到指針歸零爲止。

② 直流伏特計使用時需注意其正、負端，正端應接電源之正極，負端接電源之負極，且應先置於大範圍刻度，再逐漸減少之，直到指針指示值位於適宜之位置。

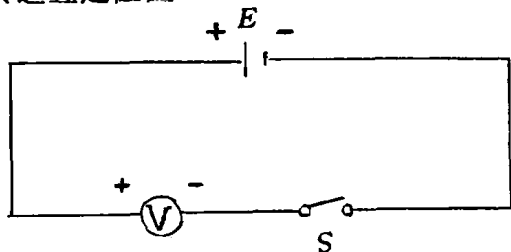


圖 1-13 電池電勢之測量。

12 電路實習

③ 依照圖 1 - 13 接線，量取各類電池之電勢。

④ 依照圖 1 - 14 接線，量取串聯電池之電勢。查驗串聯後之電勢是否等於串聯前各電勢之和。

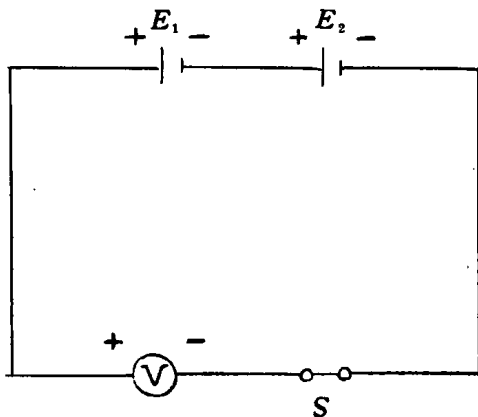


圖 1 - 14 串聯電池組

若有 n 個電池串聯，則伏特計所測得之值 E ，應等於各電池電勢之和，即

$$E = E_1 + E_2 + \cdots + E_n$$

⑤ 依照圖 1 - 15 接線，兩電池相反連接，觀察伏特計之讀值是否為兩電池電勢之差，即

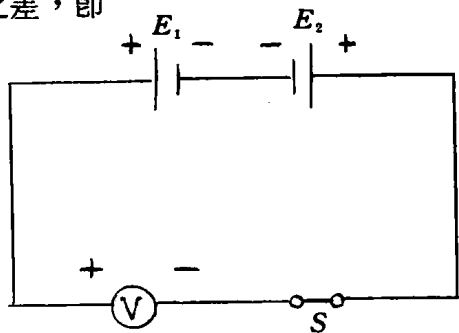


圖 1 - 15 兩電池反向連接