

181087

無線電測量術

姚肇亭 編著
梁毅堅 校訂

14
30

大東書局出版

自序

是書之纂，在民二十八年，二月而竣事，顧人事碌碌，未及付印。今春以假期之暇，始得整理舊稿，並增添若干新式測量之線路。本書注重基本學理，對於歐美無線電廠出品之測量儀器，似不必一一由本書介紹。初學者苟能明乎基本測量術，對於新穎儀器之結構，當亦不難索解。惟編者才識有限，簡陋必多，加以忽忽付印，舛誤難免。尙希博學通才，賜以匡正。

本書承劉同康先生趙振鐸先生及梁毅堅先生隨時校正並多方幫助，特此致謝。

三十一年四月肇亭寫於滬上

目 錄

- 1 概說
- 2 直流電流表
- 3 直流電壓表
- 4 交流電表
- 5 熱電安培表
- 6 電阻（耗阻）之測量
- 7 電位器
- 8 誘導率之測量
- 9 儲電器之測量
- 10 電工率之測量
- 11 真空管電壓表
- 12 輸出電表（輸出指示器）
- 13 真空管測驗器
- 14 收音機分析器
- 15 測週及測波器
- 16 校驗用發訊器（振盪器）
- 17 多用及特種測驗器

無線電測量術

第一章 概說

(1-1) 測量儀器之需要

欲使電之運用，確當不妄，不可不知電壓電流及電阻等。惟電之爲物，既無聲色，又無臭味，不能以耳目口鼻直接體驗，須藉其發生之現象，加以測量始可。

電之現象，最著者有三，即熱電電磁及電化是也。此三種效用之強弱，全視電流之大小爲斷，電流大則效用強，否則反是。無線電應用測量儀器，多根據電熱或電磁原理而製成，至根據電化作用而製成者，除實驗室應用外，殊不多見。

(1-2) 測量之方法

電之測量法，可分二種，一爲直接法，一爲間接法。由測量儀器直接讀知未知值者爲直接法，由測量儀器讀得之數值，代入公式，再依數算法求得未知值者爲間接法。二能各有其適用之所在，可以交換應用，亦可以混合使用。

(1-3) 單位及標準之需要

在測量上所必需者爲單位及標準，若無單位或標準，則測量無所用矣。所謂單位，系大衆公認之定量，俾同類之量，有所比較而辨其大小，單位雖可任意選定，但須有確切之定義，並須顧及應用上之便利，例如電流之單位安培（或曰盎配），1安培之電流，規定爲硝酸銀溶液內每秒能析銀.001118克之電流強度。

又如耗阻之單位爲歐姆，1歐姆之耗阻，規定爲一長106.8公分，質量14.921克，全段截面積均等之水銀柱，在融冰溫度時對一恆定不變之直流電流所呈之耗阻。其餘電學上之單位，亦各有其定則，非隨意取用也。

所謂標準（Standard），乃爲單位之具體代表物，由觀點上之不同可分原標準（Primary standard）及副標準（Secondary standard）。原標準爲直接符合實用單位定義之用器，如上述板

銀器及水銀柱等。副標準爲由精工製造而與原標準校核而得之用器，如錳銅鎳合金(Manganin)製成之標準耗阻器等。通常測量上所用者，均以副標準爲基礎。

(1-4) 錯誤百分率

測量儀器之製造與校核難求絕對準確，而測量時又因各儀器所處之環境，及接入電路之位置，對於所示讀數，均有影響，且測量者亦有視察上之失當，是以測量結果，終不免有錯誤之存在。測量上之錯誤可分爲有定則(Systematic)與偶然(Accidental)二種。有定則之錯誤，常發生於測量儀器及所用標準器之本身。偶然之錯誤，則由於測量者佈置儀器之失當以及讀錯示數等意外錯誤。有定則之錯誤可用校核法使錯誤減至微小，至於偶然之錯誤，必須竭力避免，(參閱下節)。

測量上之錯誤，雖不易避免，惟應使錯誤減至甚小之程度。欲達此目的，必須先知錯誤之程度，錯誤程度常用錯誤百分率(Percentage of error)爲表示。例如測量同一電路之電工率，因測量儀器佈置上之不同而得到兩個讀數(參閱電工率之測量節)，假定第一次測得之電工率爲 $P_1 = 42$ 瓦特，第二次爲 $P_2 = 41.1$ 瓦特，於是：—

$$\text{錯誤百分率} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 = \frac{42 - 41.1}{42} \times 100 = 2.12\%$$

在實用測量上，作極精細之測量時，其容錯度不可超過萬分之五。通常之測量容錯度應維持在百分之一以下。在某種精細測量之場合，則容錯度須維持在十萬分之一以下，但在應用若干種儀器時，如自動繪出曲線之電流計及絕緣測量等，則測量錯誤可高至百分之五。

(1-5) 測量錯誤之減免

測量上之錯誤，雖不能絕對除去，但能設法使之減免，下列數則，可作參考之用：—

(1) 變換測量方法或增多測量次數：

例如測量電工率，除應用電壓表及電流表外，若再用瓦特表測量之，即可有所比較。又如測量耗阻，可應用多種方

法測量之，亦可應用同一方法，作多次之測量，而每次則使用不同之電壓，以免發生定則之錯誤。

- (2) 在可能範圍內應用測量範圍較小之電表：

若能應用測量範圍較小之電表，一則表面度數清晰，容易讀得最近似之數值，再則不致發生看錯度盤格數之弊，即或有之則每格差值亦可較小。

- (3) 將測量儀器加裝磁力隔離之設施：

測量儀器如正切電流表之類，最忌感受遊離磁場 (Stray magnetic field) 之干擾。運用時最好加裝磁感性之匣套，作為隔離罩。檢驗有無遊離磁場之法。可將測量儀器旋轉 180° 度而按置之，如讀數有變更，則週圍有遊離磁場之存在。

- (4) 勿使測量儀器受溫度上之變更：

作精細之測量時，所用儀器每因溫度之變更而引起錯誤。此種情形大抵由於二種不同之金屬，在接觸點處發生熱電動力所致。故測量時，勿以手掌按着儀器或將儀器曝露於強烈日光之中。

- (5) 避免靜電感應作用：

勿以布類等物擦拭儀器之玻璃罩或橡皮套或膠木壳，否則即能引起靜電而偏移指針，使讀數不能準確。

- (6) 測量高電壓須避免靜電吸力：

電壓在 500 伏脫以上時，靜電吸力漸顯著，測量時可將儀器外壳通地而免除之。

習 題

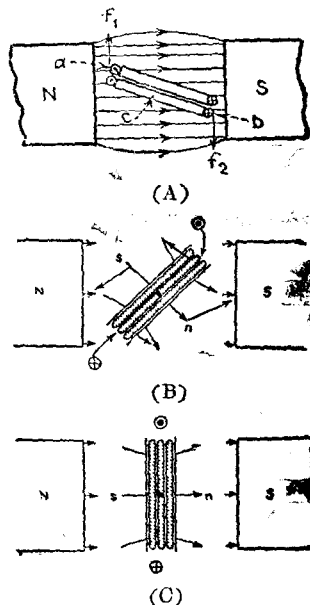
1. 電之測量法，可分幾種，試說明之。
2. 何謂“單位”及“標準”？
3. 試解釋錯誤百分率之意義。
4. 如何減免測量上之錯誤？

第二章 直流電流表

(2-1) 直流電表工作原理

以通有電流之導線，置於磁場內，必受磁力之作用而移動。若以線圈C置於永久磁鋼之磁場內，而通以電流，右邊流進左邊流出，如第1圖(A)所示，(圖中a與b為剖截線圈後所見導線之頂端)。依右手規則，可知導線a受有作用力 f_1 而向上移動；同時導線b受有作用力 f_2 而向下移動，二力之結果，適使線圈C依時針轉向而轉動。若通以反向之電流，即電流由線圈右邊流進，而自線圈左邊流進，如圖(B)所示，則線圈必依反時針之轉向而轉動。若(A)(B)二圖之線圈，所通電流之方向不變，同時假定線圈能自由旋轉而不受牽制，則二者均旋至如第2-1圖(C)之地位而停止。此時由線圈所生之磁線與永久磁極NS所生之磁線，適為同向，磁場強度達最高點。

動圈式電流表，即根據上述電磁作用而製成，惟線圈之移動，另用游絲等物以牽制之，故線圈轉動度數之大小，係依所通電流之強弱而決定。



(第 2-1 圖)

(2-2) 電流表及其類別

測量電流之儀器，統稱電流表(Current meter)。電流表之測量範圍，並不一律，所測之電流，亦不止一種，故電流表又分為若干種，以爲區別。

靈敏之電流表，能檢測微弱之電流者，曰檢流表(Galvanometer)。

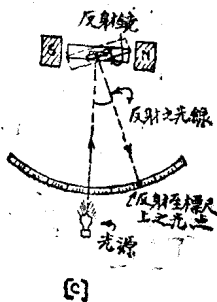
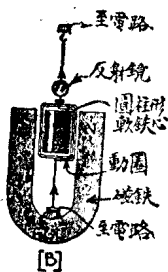
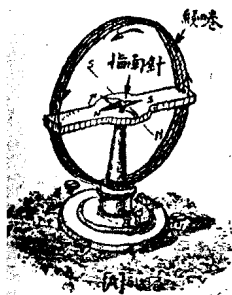
電流表表面之計數，以安培為單位者，曰安培表 (Ammeter)；以毫安培為單位者，曰毫安培表 (Milliammeter)；以微安培為單位者，曰微安培表 (Micro-ammeter)。

上述各種電流表，又可分為直流式 (D. C. Type) 與交流式 (A. C. Type) 二種，前者用以測量直流電流，後者用以測量交流電流。

(2-3) 正切檢流表

正切檢流表之結構及其作用

檢流表之最簡單者，為正切檢流表 (Tangent galvanometer)，如第2-2圖(A)所示。圖中線圈係直立，可左右轉移。圈心為指南針，水平支於樞軸上，可自由旋轉，平時此針常指地磁之南北向。使用此表時，先使線圈平面與指南針平行，再使電路內



(第 2-2 圖)

電流通過此圈，圈之內外即生磁線，於是圈心指南針受電磁影響而偏移。其偏移程度，當視線圈之電磁力與地磁力之合力而定。電磁力愈大，則偏愈甚。故根據偏角之正切值，即可知電流之強弱，此即正切檢流表之由取名。若預先校對此表，在指南針偏移度盤上，刻以相當之刻度值，則使用時，可以直接讀出所測電流之數值矣。

正切式檢流表之缺點

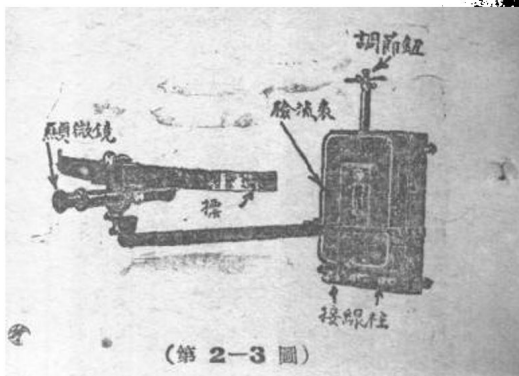
此種檢流表之缺點甚多，其主要者有六：(一)不便攜帶又不堅實。(二)易受鄰近磁場之影響。(三)不能測小電流且電磁在空

氣中損失極大。(四)須水平放置，使用不便。(五)指南針偏移時有顫動之弊。(六)各處地磁強弱不同，且受磁潮及太陽黑點之影響，故測驗結果極不正確。

(2-4) 第阿孫伐兒檢流表

第阿孫伐兒檢流表(D'Arsonval Galvanometer)爲正切檢流表之改進式，係將長形線圈用磷銅絲或鋼絲，懸掛於馬蹄形磁鐵之兩極間。見第 2-2 圖(B)。圈下用銅質游絲支持，鋼絲與游絲的均作導電之用。當線圈通有電流時，線圈即向左或右偏轉，視電流之方向而定。惟線圈與游絲及懸絲之牽連，故偏轉程度受節制，通電愈強，則轉度愈大。視轉度之大小，即可辨知電流之大小。此一線圈，因可以轉動，故稱動圈(Moving Coil)，動圈之蕊，可用軟鐵，亦可用鋁質，用鋁質者，則在轉動時圈蕊上發生渦流，能抑止線圈發生左右顫動不止之弊，故又稱止擺檢流表(Dead beat Galvanometer)。

在線圈之上，裝有反射鏡，光源由集光器照射於反射鏡面時，即被反射至分度極細之標尺上，此尺距鏡面約一公尺。當線圈偏轉時，反射鏡隨之偏轉，於是被反射之光線，即自標尺之小心點移至他點，與光源成一角度，如第 2-2 圖(c)所示。因反射角之關係，線圈偏轉度雖極微，然光點於標尺上移動之距離可較大，普通檢驗 0.000,000,001 安培之電流，光點在標尺上可移動 1 公厘，故檢流工作極靈敏。第 2-3 圖爲實體形，檢視光點係利用顯微鏡。此表所用動圈及反射鏡，均置於鐵壳之內，故不受外界磁場之干擾。此表雖極靈敏，但因過於重大及精細，亦僅適合於實驗室之用。

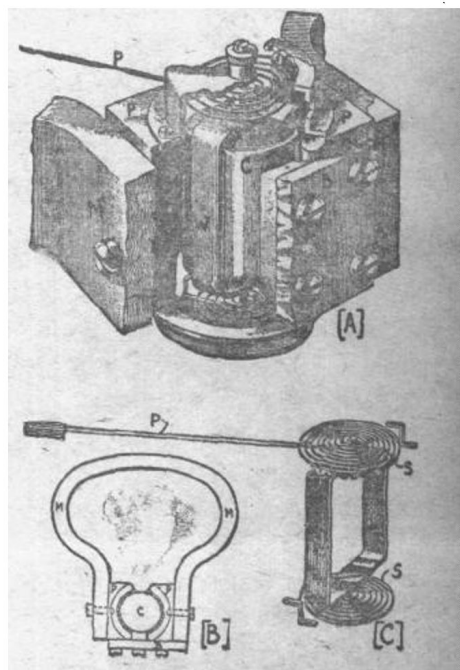


(2-5) 振盪檢流表

振盪檢流表(Ballistic galvanometer)與第阿孫伐兒檢流表相似，惟表內動圈較多而重，有相當慣性。專用以測驗瞬息之電流，例如儲電放電時之電流及誘導圈內之誘導電流等。在測量時，所通電流雖倏忽而止，但線圈之偏動則甚緩，結果光點在標尺上之移動亦甚緩，觀察較易。當通電 0.003 姆庫倫時，光點可移動 1 公厘，而光點自原處開始移動，以至復回原處。所占之時間，約為五秒鐘，故觀察較易。若以尋常份安培表測驗之，則因指針動作太速，不克讀知其指數矣。

(2-6) 韋斯登動圈表

韋斯登動圈表(Weston movement)為第阿孫伐兒檢流表之改進式(西曆 1885 年韋斯登博士(Dr. Weston)所改造)。體積小巧，便於攜帶。現代通用之直流測電儀器，多屬此式。其結構見第 2-4 圖(A)。M 為強磁性永久馬蹄形磁鐵，P 為軟鐵計兩塊，各用螺釘固定於 M 之兩極上，P 與 P 間留有圓柱形空間，在此空間內置有圓柱形軟鐵 C，其直徑較空間略小，故在 PC 之間，有狹小之空隙見圖(B)，C 為動圈 W 之鐵芯，但不與 W 緊貼，而用螺釘固定於銅片 B 上，銅片 B 則架於磁鐵 M 兩極極端之間(圖 A)。動圈 W 係用甚細之銅絲，繞於極輕之鋁質(合金)圈架上，如圖(C)所示。動圈之上下均裝有鋼質樞軸(Pivot)，支於杯狀寶石質之軸承上，使動圈能旋轉於 PC 間之空隙內。在動圈之上下，又有二游絲 S (圖(C))，其功用有三：一為通導電流，二為穩定動圈之旋



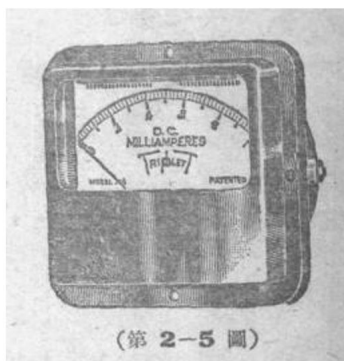
(第 2-4 圖)

轉，三爲在無電流時，能拉回動圈至原來位置，即使指針回復至零值之位置，指針係與圈牽連。惟二游絲須反向裝置，蓋二游絲受溫度變化而伸縮時，由於動圈上之推力及力拉，上下適相抵消，指針可不因溫度之變化而移動其位置。指針爲極輕鉛質製成，其位置可以校正。

(2-7) 電表之靈敏度

商製電表之表面，均經校準，刻有指數。第 2-5 圖所示之表面，刻有 0 至 1 份安培之指數，意即此表通以 1 份安培之電流，其指針即能偏動滿度盤，若通以 0.5 份安培，則指針約偏動度盤之半。按電表通電較小，而指針偏度愈大者，則電表愈靈敏。凡電流表指針偏移滿度盤時所需之電流值即爲該電表之靈敏度(Meter sensitivity)。附圖所示電表之靈敏度，即爲 0-1 份安培。現代所製的電表，其靈敏度有 0-50 毫安培者。與電表靈敏度有關之各點如下：

- (1) 永久磁鐵愈強，靈敏度愈高。
- (2) 空隙愈狹，靈敏度愈高。
- (3) 動圈愈輕，靈敏度愈高。
- (4) 動圈用線愈細而圈數愈多，靈敏度愈高。
- (5) 游絲愈穩定，靈敏度愈高。



(第 2-5 圖)

(2-8) 精細電流表之校準

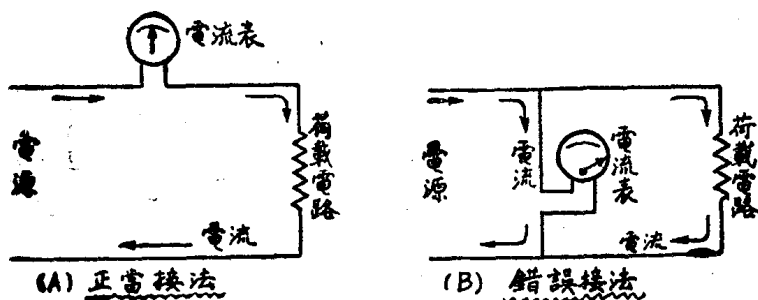
法拉特氏於 1834 年發現不論何種溶液，在一定時間內通過一定之電流，則所積液間單質之量恆不變。例如以 1 份安培之電流，通流一小時，則不論其電解物爲硝化銀或氯化銀或其他質銀化物，所積之銀恆爲 4.025 克。其他如在 1 小時內，1 安培電流可積 1.181 克銅，或 1.203 克之鋅等。此種測驗，頗屬確然，故在一定時間內，以測某解質所積之某量，即可求知其電流值。且可

藉此以校準精良之電流表。法以欲校準之電流表，與鍍銀器之電極串接，隨後以通電時間與 4.025 之乘積，除積銀之重數，即為某值之電流，此時可於電流之表面校準其偏移度。

$$I = \frac{\text{積銀總量}}{t \times 4.025} \quad (t\text{之單位為小時})$$

(2-9) 如何使用電流表

(一) 不論安培表或吩安培表，皆用以測量荷載電路內之電流。故一切電流表，均須與欲測之荷載電路串連，蓋按串連電路之原理，知在串連電路各點上之電流，均相等，故通過電流表內之電流，即為通過荷載電路上之電流。第 2-6 圖 (A) 為正當接法，(B) 則錯誤，因圖 (B) 之電流表乃與荷載電路並聯，通過電表之電流，決不為荷載電路內之電流。



(第 2-6 圖)

(二) 裝接電流表時，須預先估計荷載電路內之電流，是否超過所用電流表之限度(即最大指數)。若已超過限度，則不能應用此表，須換用指數較大者，否則電流表必致燒毀。

(三) 電流表既須與荷載電路串連，則電流表本身之阻值，須愈小愈佳，否則一俟電流表接入電路，電路內電流將因電阻增加而減小，測量結果不能正確。故使用電流表，應選擇內阻愈小者為佳。又電流表內阻既甚小，若照圖 (B) 之接法，非特不能測量荷載電路內之電流，且因直接跨接於電源電壓上(普通電源電壓均在 1 伏脫以上)。所通電流必致甚大，電表及電源兩皆受害。

使用者當審慎之。

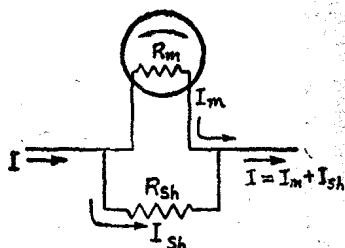
(2-10) 電流表測量範圍之擴大

電流表不宜用較粗導線之動圈

電流表之測量範圍，在數個安培以上者，稱曰安培表 (Ammeter)。以前述檢流表測量較大之電流，則因動圈用線甚細，將不勝耐熱而燒毀。若加粗動圈之用線，則電表之動作將過於滯笨而不靈敏。實用之法，係應用岔流器。使欲測電流之一部份，經岔流器而不經電表之動圈，如此不致減低靈敏度，又能測量較大之電流。

加接岔流器可以增高電流表測量範圍。

岔流器之接法見第2-7圖， R_{sh} 爲岔流器 (Shunt resistance) 之電阻， R_m 爲電表之內阻。若 $R_{sh} = R_m$ ；則通過岔流器上之電流 I_{sh} ，必等於通過動圈之電流 I_m ，即 I_{sh} 及 I_m 各等於荷載電流 I 之半，換言之荷載電流二倍於動圈上之電流。由是可知：若 0—1 份表加接與內阻相等之岔流器後，可測量 0 至 2 份安培之電流。同理若岔流器之阻值等於電表內阻半數時，測量範圍可增至三倍；若等於內阻三分之一時，測量範圍可增至四倍。



(第 2-7 圖)

電流表加接岔流器後，表面指數當與測量範圍增高同等倍數。製造電表者，已將倍增後之指數，刻印於表面上，使用者可直接讀知之，毋庸再費計算手續。

岔流器之裝置

用作岔流器之電阻線，須有極低之溫度係數，俾通電時不致因溫度增高而變其阻值。岔流器之通電量亦須充份大，俾免發熱燒毀而損及動圈。製造岔流器之質料，普通爲銅鎳鎳合金。岔流器通電在 30 安培以下者，大率封置於電表內部；超過此數者，則分別裝置，俾易發散熱力。

(2-11) 岔流器應需電阻之求法

數 算 法

由上所述，可知岔流器之阻值，對於擴大電流表之測量範圍，極為重要。岔流器既與電表內阻並聯，則其應需之阻值當可根據並聯電路之原理而求得之。按各並聯電阻上之電流，係與各並聯電阻之阻值成反比例，參閱第 2-7 圖可知：

$$R_m : R_{sh} = I_{sh} : I_m$$

$$R_{sh} = R_m \frac{I_m}{I_{sh}}$$

因：

$$I_{sh} = I - I_m$$

於是：

$$R_{sh} = R_m \frac{I_m}{I - I_m} \dots\dots\dots (2-1)$$

式中： R_m = 電流表之內阻。

I_m = 電流表原來能測之最大電流值。

I = 擴大電流表測量範圍所定之最大電流值。

R_{sh} = 岔流器應需之阻值。

式中各電流值及各電阻值須為同單位。

例題：設有一 0—1 份安培表，內阻為 27 歐姆。茲欲擴大其測量範圍為 0—10 份安培，求：

- (1) 所用岔流器應需之阻值？
- (2) 岔流器最低安全（不發熱）電流量？
- (3) 電流表指數應擴大若干倍？

解：(1) $R_{sh} = R_m \frac{I_m}{I - I_m} = 27 \times \frac{1}{10 - 1} = 3$ 歐姆。

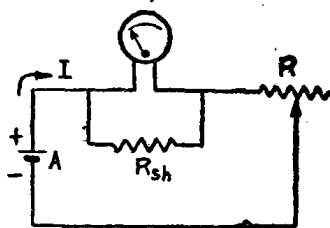
(2) $I_{sh} = I - I_m = 10 - 1 = 9$ 份安培。

(3) $\frac{I}{I_m} = \frac{10}{1} = 10$ 倍。

割 試 法

應用上式以計算岔流器之阻值，必須預知電流表之內阻。電表內阻或已註明於表面，或須詢問製造者。如不能知其內阻時，則可應用割試法，裝接應需之岔流器：一

例如 0—10 份安培表，欲擴大至 0—50 份安培（即擴大五倍）但不知其內阻，可將此電流表，與一約 200 歐姆之可變電阻 R ，串連於 1.5 伏脫之電瓶 A 之兩端，如第 2—8 圖。調節 R 使電表指數為 10 份安培，乃取一電阻線（即 R_{sh} ），與電表並聯，此時電表指數必減小，於是增減此電阻線之長度，使電表指數恰為 2 份安培為度。此時電阻線之阻值，即為擴大至 50 份安培時所需分流器之阻值。因此時 R_{sh} 上流去之電流為 8 份安培，總電流 I 為 $2+8=10$ 份安培，較電表所指者，大五倍，適為所欲擴大之倍數，以後測量時僅須將所得指數乘五即得。此種割試法 (Cut and try method) 頗正確而切實用。

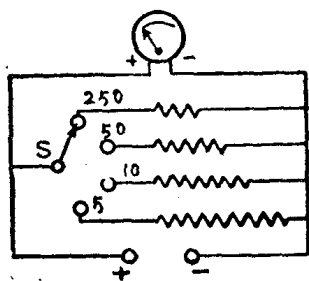


(第 2—8 圖)

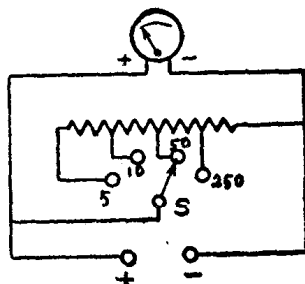
（註：上述割試法，當將電阻線並接至電表時，全電路之電阻隨之改小，故電流 I 並不仍為 10 份安培，必大於 10 份安培，故電表指針在 2 份安培時，而以為電路電流為 10 份安培者，並不十分正確。惟在實用上，電流表所測量之電路，其阻值甚高，電表內阻不足與之比擬，故並接分流器後，影響於總電阻為值極微，測量結果，仍屬可靠。總之在應用割試法時，若 R 之阻值愈大， A 之電壓愈高，則結果亦愈正確。例如 R 可用 5000 歐姆， A 可用 4.5 伏脫。）

(2-12) 多組測量範圍之組合法

將一電流表，接用多個分流器，而以分線箱管理之如第 2-9



(A)



(B)

(第 2—9 圖)

圖(A)(B)所示，則得多組測量範圍，其功效無異購置多個測量範圍不同之電流表。圖示二種接法，運用相同，惟(B)圖因各分流器串連，設其中有一斷路或短路時，即能影響測量正確度，或甚至失效，故普通多依A圖而連接。參閱第17—6圖。

習 題

1. 何以電流表不可跨接電池兩端？
2. 何以電流表必須與電路串連，方能指示電路電流之強度？
3. 何以直流電表不能測量交流電流？
4. 若將電流表跨接於某段電路上，因所通電流較小而不致燒毀電表，問此時電流表所示之指數為何一電路內之電流值？

第三章 直流電壓表

(3-1) 電壓表及其類別

電壓表 (Voltmeter) 係用以測量任何電源之電動力 (E. M. F.) 或端電壓 (Terminal Voltage)，亦可用以測量電路內任何二點間之電位差或電壓降。混統言之，電壓表乃測量電壓 (Voltage) 之儀器。

電壓表亦有多種，測量直流電壓者，曰直流式；測量交流電壓者，曰交流式。根據電壓表之測量範圍而言，則有微伏脫表 (Micro-voltmeter)；份伏脫表 (Milli-voltmeter) 以及伏表 (Voltmeter) 等等，此外尚有多種名稱，當隨時提及。

(3-2) 何以電流表不能測量電壓

設以一電流表跨接於電源間（或電路任何二點間），若電壓高，則通過電表之電流大，電表之指數亦大；反之：若電壓低，則電流小，指數亦小。由此觀之，似乎電流表可用以測量電壓。其理甚屬確當。惟有二點流弊，不可不知：

(一) 實用上吾人欲測之電壓，常超出一般電流表之規定耐壓值。故若以電流表測量電壓，電表必致不勝耐壓而損壞。例如以 0—1 份安培表測量 100 伏脫之電源電壓，電表之內阻為 27 歐姆。則通過電表之電流將為：

$$I = \frac{E}{R} = \frac{100}{27} = 3.7 \text{ 盎配} = 3700 \text{ 份安培，}$$

此電流值，超出電表應有最大通電量至 3700 倍，電流表必致燒毀，可無疑義。

(二) 即使電流表不致燒毀，然因電流表內阻甚小，則以甚小之電阻跨接於電源時，或與荷載電路任何一段並接時，必致改變電路內原有之電流值，使內外電路上之降壓情形隨之改變，測量結果，已失真實。

(3-3) 電壓表之結構