

最新部訂專科課程標準

電工儀表實習教材

(上)

編著者 林粵生



要有牛一般的精神

苦幹、實幹、耐勞、無怨

672768

TM93-43

L637

版權所有
不准翻印
盜印抄錄
應負刑責

最新儀表實習教材

編著者兼：林粵生

發行人

地址：台北市廈門街147巷1-3號

郵撥：0119954-3

定價：100元

印刷者：建發印刷廠

地址：台北市大理街116巷2號

出版日期：中華民國73年9月

13.00

目 錄

	頁次
實習應注意事項.....	1
儀表實習之認識.....	3
實習 1 惠斯登電橋之應用.....	6
實習 2 凱爾文雙比電橋之應用.....	10
實習 3 用伏特計及安培計測電阻.....	15
實習 4 測燈泡之電阻變化.....	18
實習 5 分壓器、加倍器之原理.....	21
實習 6 分流器原理及加倍器原理.....	26
實習 7 高阻計之認識及使用.....	30
實習 8 接地電阻之測量.....	34
實習 9 直流功率之測定.....	39
實習 10 交流單相功率之測定.....	43
實習 11 功因計之認識及交流測定.....	47
實習 12 數位複用表之認識與使用.....	51
實習 13 示波器之認識與使用.....	57
實習 14 函數產生器之認識與使用.....	66

實習應注意事項

實習教室內絕對要保持肅靜

，不得喧譁、任意走動、嬉戲、吵鬧、打架。

1. 事前準備

- a 每個人都要在上課之先，把本次應作之實習的教材，仔細閱讀，不明瞭時即須請教老師，不得邊做邊看書。
- b 檢查所發給之各種器材是否足夠、儀表之性能是否良好。如有不足或性能不良者，應申請補足或更換。

2. 實習時應注意事項

- a 將電路接線完畢後，應仔細檢查、核對，並請教師檢驗。無誤後方可送電。
- b 電路之各接點，需有妥善之絕緣，以防漏電、觸電。
- c 使用工具要特別小心，不可作不適當之使用。例用以鉗子當作鐵鎚、烙鐵燙到人或把物燒壞、電鑽亂鑽等都應避免。
- d 測定阻抗值時，元件必須單獨受測，不可接在電路上測，尤應避免在供電時測阻抗值。如有必要，需切斷電源，將阻抗之一端從電路中拆下，使其孤立，然後再作測定。
- e 記錄需詳盡，例如儀表之規格、編號、廠牌等，必要時，時間、氣候、濕度、氣壓、溫度等，都需記錄。

3. 實習畢應注意事項

- a 工作台保持清潔、排列整齊。

- b 整理工具、儀表，並檢查有無損壞、遺失。如有，應即報告及記載。
- c 詳細書寫報告，如果發現結果反常，應將反常之數據剔除，如果不合理現象嚴重。則該實驗須重作，看看是否操作過程發生錯誤，或儀表發生故障。

電儀表實習之認識

前言——儀表之本質

最基本的儀表是指示型的儀表，通常是利用指針在刻度盤上偏轉，觀察其刻度，而判斷所欲測定之物理量。在電儀表中如何使指針偏轉呢？通常是利用兩個磁場之交互作用。當然也可以利用其他的物理性質。例如熱能、靜電、作用力等，但是以利用磁場之作用力者為最普遍。

最基本之直流動圈式（PMMC）儀表就是利用外部一個永久磁鐵作為一個磁場的源；再在磁鐵的磁極空處安放一個可旋轉之圓筒，筒外再繞以線圈，成為一個繞組。當繞組通以電流時，就產生第二個磁場，此兩個磁場之間就有力的作用，要使磁場之方向排成為一直線。通常因磁鐵較重，而圓筒設計得很輕，所以設計為磁鐵不動而有繞組之圓筒受力後在磁極空處轉動。如果在圓筒轉動時，我們對它加一反方向之力，當兩個力相等時，圓筒就不動了。這種反方向之力，通常利用彈簧來擔任，其反作用之力的大小，我們是假設它與彈簧之位移成比例。而磁場之作用力則與電流之大小成比例。如果在圓筒上安裝一根指針，我們就可用指針偏轉度的大小來定出繞組中所通過的電流大小。如果我們將繞組與所要測的負載串聯，則負載中的電流與繞組中的電流相等，我們就可以由指針之偏轉度測知負載中的電流了。這也就是電流計的基本原理。

由於任何一種材料都有電阻性。所以上述儀表之繞組也一定有電阻存在。當有電流 I 流過此繞組之電阻 r 時，就消耗了 $V = Ir$ 之電壓了。換一句話說，該電表兩端之電壓降是 V ，而 V 與 I 成比例。如此一來，我們只要將繞組中之電流，乘以繞組之電阻，就可知道電表兩端之電壓降。因此也可以將電表之刻度盤上電流值，改為電壓值，其

本質是不變的。現在如果將此改裝後之電壓表兩端跨接於任何電源或負載，我們可以看出此時電表兩端之電壓降。但是由於電學之基本原理，我們知道，電路中任何兩點間之各分路，不管電流大小如何，其兩端之端電壓（即電位差）必定相同。故此時電表之端電壓也就是所跨接之電源或負載之此兩端間的電壓。

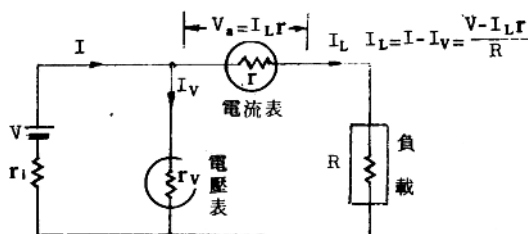


圖 0-1

因此在使用上我們必須將電流表與負載串聯，將電壓表與負載或電源並聯。接線圖如圖 0—1 所示。由圖中可知，因電源本身也有內電阻，當接上電表後，負載中之電流及端電壓都會變動，因此引起誤差。例如以電流表來講，設電源之電阻為 r_i ，電流表之電阻為 r ，負載之電阻為 R ，則沒有接電流表時，負載之電流為 $I_0 = V / (r_i + R)$ ， V 為電源電壓；但接上電流表後，負載之電流為 $I = V / (r_i + r + R)$ ，所以如果要減少誤差，或說減少負載因接上電流表所遭受之影響，則電流表之電阻要愈小愈好。

同樣道理，在電壓表的電路中，電源將流一分路電流 I_v 進入電壓表，因此負載之端電壓變為 $V - I_v r_i$ ，而不是 V 了。但 $I_v = V / r_i$ ，所以如果要想使負載所受之影響較小，則必須 I_v 小，亦即要 r_v 大。故電壓表之電阻要愈大愈好。

以上僅就單個電表來考慮，如果電流表與電壓表同時應用，則影響更大，誤差也更大。此外如果再考慮功率的問題，即電源內阻、電流表內阻、電壓表內阻，都要消耗功率，則問題更嚴重。因而對電表

之要求——電流表內阻愈小愈好，電表壓內阻愈大愈好，也就更迫切了。

我們已經曉得如何測電流與電壓，那麼是不是可以測電阻呢？當然可以。根據上列測值，將 V 除以 I ，就可以求得 R 值了。但是這樣一來須要在工作時才能測，而且需要兩個電表。如果我們要知道任一元件的電阻，那麼要怎麼樣來測呢？這時我們只要準備一個已知端電壓為 V 的電源，則將電源、電流表及負載串接成一封閉之迴路，則將 V 除以電流表之指示值 I ，就可得到元件的電阻值 R 了。而電流 $I = V/R$ ，或 $R = V/I$ 。所以由指針任一偏轉度（即 I 值）就可知道它所對應之 R ，因此我們可直接將刻度用 R 來標示，這樣就構成一種電阻計。不過因為 R 由 V/I 來決定，所以在刻度上不是均勻的。在串聯式電阻計中高電阻處刻度很密，不容易讀出準確值來。

電流、電壓、電阻是三種電學上最基本的物理量，我們現在已經知道測定的基本原理，其他的也這可以舉一反三了。同時我們也應該記住，電流表是一切儀表的基礎。換句話說，各種儀表，在本質上都是電流表，只不過刻度不同而已。當然這不是指全部的儀表，而是指大多數的儀表是如此。

實習 1 惠斯登電橋之應用

一、目的：

使學子了解惠斯登電橋之原理、操作及適用性，並用以測定中值電阻及伏特計之內電阻。

二、原理：

在前言中已經介紹過電流表為一切儀表之基礎，但因電流表有內阻、有功率消耗，所以在測定時一定會引起誤差。但是現在所介紹之惠斯登電橋却為一切精密儀表之基礎，它將理論上的誤差降低至幾近於零。它的基本原理即在於使通過電流表（檢流計）中之電流降至於零，因此也不引起電壓降問題及功率消耗問題。現將其原理介紹如下：

如圖 1-1 所示，當電源接通後，各支路應該有電流流通。但是如果我們調節支路之電阻，可使 ab 支路之電壓降等於 ad 支路之電壓降。當然這時 bc 支路的電壓降也與 dc 支路者相等。

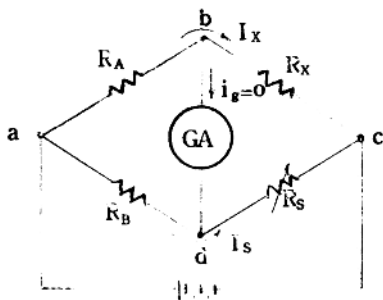


圖 1-1

因此 bd 兩端之間的電位差便爲零。於是檢流計中之電流 $i_g = 0$

。此時使得

$$V_{ab} = V_{cd} \quad R_A I_X = R_B I_S \quad (1-1)$$

$$V_{bc} = V_{dc} \quad R_X I_X = R_S I_S \quad (1-2)$$

將式 (1-1) 除式 (1-2) 使得

$$R_X / R_A = R_S / R_B \quad R_X = (R_A / R_B) R_S \quad (1-3)$$

如果我們想辦法使 R_A / R_B 成爲簡單之比率，例如：0.1, 1.0, 10.0 等，而 R_S 係爲精密電阻所組成，則 R_X 之值將甚準確，其準確度由 R_A, R_B, R_S 等電阻的準確度所決定。

三、構造：

惠斯登電橋之構造通常已定好 R_A / R_B 之比例臂。其比值示精密度之範圍而定。通常爲 0.001-1000。選擇的方式：老式者用插梢插入梢孔來決定，新式者則用旋鈕開關 R_X 部份通常由四組電阻器結合而成。四組之電阻器分別擔任個位、十位、百位、千位之數值。每組十個值分別代表 0-9 之數值。所以將四組串聯後可得一種四位數值的電阻值。再乘以倍率，便是實際數值。

此外電橋上有兩個端子標明爲 R_X ，即將待測之電阻器接於此處。

四個電阻的問題都解決了，剩下來就是檢流計。通常檢流計都用一個按鈕開關來控制。按下電鍵，檢流計才接入電路，平常是斷路的。爲了控制靈敏度，檢流計又常串接一可變電阻或用階級串接電阻之方式。電阻大時，靈敏度變低。較新式之高靈敏度檢流計，則採用電子放大電路方式以提高靈敏度。此外，一般電橋也備有可採用外界檢流計之接線端子。

至於電源方面，多數用乾電池數個串聯以備用。此電源也用一個開關來串聯，以控制電路之供電。通常須先接通電源開關，才可以按檢流計之開關。否則如檢流計先接通，再送電，檢流計

中可能有過大之電流通過，使檢流計受損。一般電橋也備有可使用外界電源之接線端子。

四、方法：

- 1 將待測電阻器逐次地接至 R_x 端子。
- 2 若待測電阻有標稱值，定下比例臂之倍率，可參考表 1-1

表 1-1 惠斯登電橋比例臂倍率選擇表

R_x	倍 率
小於 10Ω	0.001
$10\Omega \sim 100\Omega$	0.01
$100\Omega \sim 1K\Omega$	0.1
$1K\Omega \sim 10K\Omega$	1.0
$10K\Omega \sim 100K\Omega$	10
$100K\Omega \sim 1M\Omega$	100
$1M\Omega \sim 10M\Omega$	1000

如果待測電阻無標稱值，比例臂暫置於 '1' 之倍率。

3 將 R_s 之電阻盤設為 5555。

4 接通電源。

5 檢流計開關旋鈕置於靈敏度最低處，然後按下檢流計開關。
。如果指針偏轉太急烈，應改變比例臂之比值。

6 若指針偏向為正轉，可增加 R_s 之值。若指針偏向為反轉，可減少 R_s 之值。直調整至檢流計不偏向為止。

7 增加檢流計靈敏度，按下檢流計開關，看看指針有否偏轉，如有偏轉，再調整 R_s 。依此方式，逐次加大檢流計靈敏度而調整之，直至檢流計之靈敏度用到最大值為止。最後之 R_s 值乘

以倍率即 R_x 值。

8 待測電阻器如係電壓表之內阻，測定時尚應注意電壓計指針有否偏轉，有偏轉時，是否逆轉。如為逆轉，則應調換電壓表之接線端子。如係正轉，看看偏轉度有無超過滿刻度。如超過，則想辦法將電源串接一高電阻，或使用較低電壓之電源。

五、結果與記錄：

1 所用器材：

2 數據與結果：

待測電阻	倍率(m)	R_s 值	R_x 值(= mR_s)	誤差 = $\frac{R - R_x}{R_x}$ (R 為標稱值)
R_1				
R_2				
R_3				
⋮				

六、注意事項：

1 R_s 必須用到 $\times \times \times \times$ ，不可用到 $\bigcirc \times \times \times$ 、 $\bigcirc \bigcirc \times \times$ 、 $\bigcirc \bigcirc \bigcirc \times$ 。

2 檢流計之開關不可一直按着，按一下，看到指針偏轉後，即須放開。調整 R_s 後再按一下……，如此逐次調整。

3 測畢，電源與檢流計開關即須置於 OFF 之位置。

七、問題與討論：

1 寫出實習過程中所遭遇之問題與情況。

2 惠斯登電橋何以只適用於測中電阻？（ $0.1\Omega - 10M\Omega$ ）

3 討論。

實習 2 雙比電橋之應用

一、目的：

使學子了解凱爾文雙比電橋之原理、操作及適用性，並用於測定低值電阻及電流計內電阻之方法。

二、原理：

惠斯登電橋在測低電阻時（電阻低於 0.1Ω 者），常因連線之電阻、接點之接觸電阻，所佔之比例較大而引起嚴重之誤差。因此要想測得低值電阻之精密值，必需另想辦法。此法因凱爾文將惠斯登電橋加以修改而獲得成功。其修改後之電橋稱雙比電橋；原理如下：

圖 2-1 係雙比電橋之簡圖

。設 R_Y 代表 R_X 與 R_3 之連接電阻。因此檢流計之接點可以是 R_Y 中之任意一點。先假設檢流計之接點是在 D 點，則測定值當為 $R_X + R_Y$ 。若檢流計之接點在 C 點，則 $R_Y + R_3$ 之值代表標準電阻之值，將使測值

偏低。現假設檢流計之接點係在 DC 間之某一點 P，而此點能滿足 $R_{CP}/R_{DP} = R_1/R_2$ ，則依電橋之平衡關係式得

$$R_X + R_{CP} = (R_1/R_2)(R_3 + R_{DP}) \quad (2-1)$$

$$\therefore \frac{R_{DP}}{R_{CP}} = \frac{R_2}{R_1} \quad \therefore \frac{R_{CP} + R_{DP}}{R_{CP}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{R_Y}{R_{CP}}$$

$$\therefore R_{CP} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} R_Y \quad \text{同理 } R_{DP} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} R_Y \quad (2-2)$$

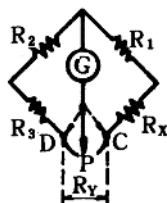


圖 2-1

將(2-2)代入(2-1)得

$$R_x + \frac{R_1}{R_1 + R_2} R_y = \frac{R_1}{R_2} (R_3 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} R_y) \quad (2-3)$$

$$R_x + \frac{R_1}{R_1 + R_2} R_y = \frac{R_1}{R_2} R_3 + \frac{R_1}{R_2} (\frac{R_2}{R_1 + R_2} R_y)$$

$$\therefore R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3 \quad (2-4)$$

由上式可知，把檢流計接到 P 點，即可消除 CD 點間之連接電阻。此即凱爾文雙比電橋之基本原理。

現在我們如果把電橋之組態造成圖 2-2 之型態，即加上了另一個比例臂，此比例臂用以連接檢流計，其接合點相當於圖 2-1 之 P 點，若 $a/b = R_1/R_2$ 時，即可消除 R_y 電阻之效應。現證明之。

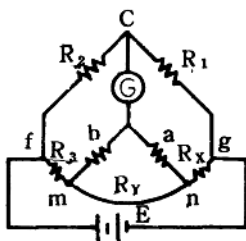


圖 2-2

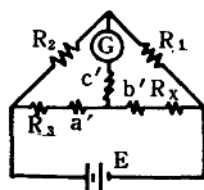


圖 2-3

將圖 2-2 中 R_y, a, b 三電阻之網路，利用 $\Delta-Y$ 之互換，使其變成圖 2-3 之電路。其中 $a' = bR_y / (a + b + R_y)$, $b' = aR_y / (a + b + R_y)$, $c' = ab / (a + b + R_y)$ 。由平衡條件 $R_x + b' = (R_1/R_2)(R_3 + a')$ 。故得 $R_x = (R_1/R_2)R_3 + (R_1/R_2)a' - b'$

$$\begin{aligned} &= \frac{R_1}{R_2} R_3 + \frac{R_1}{R_2} [bR_y / (a + b + R_y)] - \frac{aR_y}{a + b + R_y} \\ &= \frac{R_1}{R_2} R_3 + \frac{bR_y}{a + b + R_y} (\frac{R_1}{R_2} - \frac{a}{b}) \end{aligned}$$

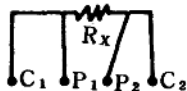


圖 2-4

若 $a/b = R_1/R_2$ ，則得

$$R_x = (R_1/R_2) R_3 \quad (2-5)$$

三、構造：

雙比電橋之結構，在板面上與惠斯登電橋不大一樣。以 YEW 2769 為例，在板面之左上角為接 R_x 處，但此處有四個端子即 C_1, P_1, P_2, C_2, R_x 接在 P_1 與 P_2 之間，但 C_1 與 P_1 及 C_2 與 P_2 也要短接起來。此外在右上角有 P_{1s}, P_{2s}, C_{2s} 及 + 等端子，則為測極低電阻時接標準電阻之用（標準電阻為該公司出品之 YEW2771）。倍率之選擇，用插梢插入適當之孔，插入時要緊密，以減少接觸電阻。左下方為電流表端子。電源可由內藏之乾電池供應也可用外接電源（右上角）。往右邊看，則為電池開關及檢流計開關。再過來就是標準電阻 R_3 了。不過此 R_3 只利用一個轉盤來調整。所以有效數位較少。

四、方法：

1. 置 BA 開關和 GA 按鈕開關在 OFF 位置。
2. 撥 GA 靈敏度旋鈕至 CH 位置，檢查指針是否偏轉至藍色區。
如果沒有，表示電力不足，要換電池。
3. 撥 GA 至 G_2 位置（靈敏度最低者）。
4. 檢查 INT BA 端子是否短路或用一電流表接通，如未通，應將其接通。 P_{1s}, P_{2s} ，端子亦應短路。
5. 將 R_x 接入 R_x 端子，使連接如圖 2-4。
6. 根據測量之範圍，將插梢插入倍率插孔內，可參考表 2-1。
7. 將 BA 開關撥至 ON 一方面調整刻度盤，一方面按下 GA 按鈕，觀察檢流計指針之偏轉，使其為零。
8. 將檢流計靈敏度鈕依次撥至 G_1 與 G_0 重覆調整刻度盤以求最後之精確值。
9. 測完將 BA 開關撥至 OFF 位置。

表 2-1 倍率與適用電阻範圍

倍 率	適 用 電 阻 值
10	10 ~ 110Ω
1	1Ω ~ 11Ω
0.1	0.1Ω ~ 1.1Ω
0.01	0.01Ω ~ 0.11Ω
0.001	1mΩ ~ 11mΩ
0.0001	0.1mΩ ~ 1.1mΩ

10. 以倍率乘刻度盤之值即 R_x 之值。

11. 如欲使用倍率為 0.0001 者，須將 YEW2771 之標準電阻接成圖 2-5 之形式，而不使用倍率插梢。

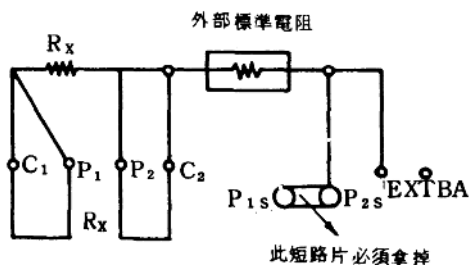


圖 2-5

12. 欲測電流計內阻時，應注意電流計指針之偏向是否正轉，以及有否超過滿刻度。

五. 結果與記錄：

1 所用器材：

2 數據與結果

待測電阻	倍率(m)	R_s 值	R_x 值 ($=mR_s$)	誤差 = $\frac{R - R_x}{R_x}$ R_x 為標稱值
R_1 R_2 $\vdots$				

六、注意事項：

- 1 此電橋在使用時耗電甚大，故在使用前一定要先檢查電池之電能是否充足。所測之電阻愈低，耗電愈多。故操作時速度要快，每操作一次應給予休息時間。
- 2 若使用外部電源供電時，為防止過載，電路中須串聯安培計，隨時注意其讀值。
- 3 通電時間不可過久，以防電阻值因熱而變發生誤差。

七、問題與討論：

- 1 寫出實習過程中所遭遇之問題。
- 2 連接電阻包括那些？
- 3 何以要預防電阻因熱而變值？
- 4 安培計在本實習中有何功用？
- 5 討論。