

變壓器裝修能力本位訓練教材 電壓表使用

編號：PEM-TDM0201

編著者：陳英雄

審稿者：徐永寬

主辦單位：行政院勞工委員會職業訓練局

研製單位：中華民國職業訓練研究發展中心

印製日期：九十年十二月

單元 PEM-TDM0201 學習指引

當你學習本單元前，你必須熟悉交流、直流、串聯、並聯、有效值、平均值、最大值、波形因數、單相、三相、相電壓、線電壓等電機名詞定義，同時對歐姆定律、克希荷夫電壓定律等基本公式計算皆能熟練正確計算，假如自認無法勝任則請按下列之指示進行學習：

- (1) 你全部無法用你的話說出上列相關電機名詞定義，請將本教材放回原位，並取出編號 PEM-TDM0101 教材開始學習，或請教你的老師。
- (2) 你不會歐姆定律、克希荷夫電壓定律等基本公式之計算法則，則請從編號 PEM-TDM0102 教材開始學習，或請教你的老師。

引言

電壓是讓一切電機正常運轉的原動力，電壓的高低影響電機設備品質、壽命、電機安全甚巨，為了瞭解線路電壓是否正常，你必須學習選用正確的電壓表去測量實際的電壓值；而要測量電壓的大小，必須使用伏特計。伏特計又稱為電壓表，乃是用來測量電壓高低的電儀表，伏特計依測定電源可分成(一)直流伏特計：以動圈式電表組成(二)交流伏特計：以動鐵式或電流力測式電表(三)交、直流兩用伏特表：以整流型、靜電型或熱電型電表構成，本單元將分別敘述較常見的動圈式、動鐵式、電流力測式、整流式電表的結構、原理、正確使用方法；電壓表的靈敏度、電壓表的負載效應以及各種電表的特色。

定義

歸零

電壓表未測量以前指針應指示在零位置，若沒有歸零請拿一字起子旋轉零位調整鈕，使指針指示在“0”位置，而且歸零的動作需指針與反射鏡的指針，上、下重疊才算正確。

靈敏度

一個電壓表的靈敏度高低是由通過電壓表滿刻度電流大小決定。滿刻度電流值愈低靈敏度愈高，反之由每一伏特的電阻值愈高靈敏度愈高。例如：20kΩ/V 比 8kΩ/V 的靈敏度高。

負載效應

電壓表測量時需跟被測物兩端並聯，若被測負載兩端電阻很高，而電壓的靈敏度低時，則一並聯會降低待測電阻上的分壓。一般電壓表所量得的電壓比實際值低，這種現象稱為電壓表的負載效應。

分壓定理

根據克希荷夫電壓定律，封閉迴路電壓昇等於電壓降 $E=V_1+V_2+V_3+\dots+V_n$ 。

學習目標

- 一、不使用參考資料，你能夠以你自己的話正確地說明可動線圈式表頭之構造、轉動原理及特點。
- 二、不使用參考資料，你能夠以你自己的話正確地說明(一)可動鐵片式、(二)電流測式、(三)整流型電表之構造、轉動原理及特點。
- 三、不使用參考資料，你能夠以你自己的話正確地說明電壓表的擴展方法、電壓靈敏度及負載效應。
- 四、不使用參考資料，你能夠選擇正確的電壓表檔位去測量直流電壓、交流電壓其誤差率不得超過 $\pm 5\%$ 。

學習活動

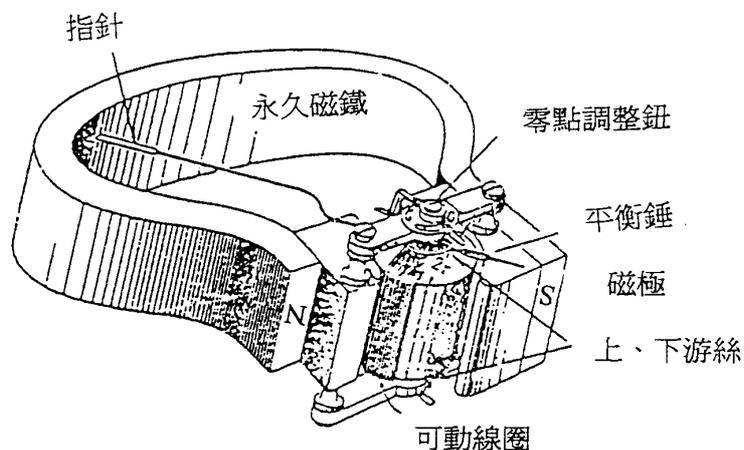
本講義之學習活動分二部份：(1)相關知識，(2)實際操作測量。在實際測量之前，我們必須學習交、直流電壓表的構造轉動原理、電壓表靈敏度以及負載效應等有關之知識，你可以由下列之二條途徑中選擇一途徑去學習。

- 一、閱讀本教材之第 6 頁至第 38 頁。
- 二、閱讀 游福照著 80 年出版 電儀表學 全華圖書股份有限公司 P₃₅~P₈₀
- 三、閱讀 郭塗注、黃錦華編著 71 年出版 電工儀表實習與應用 標高圖書儀器公司 P₁₄~P₅₇
- 四、閱讀 謝志定、鄭龍華主編 84 年出版 電儀表實習教材 泰山職訓中心編印 P₂~P₂₁

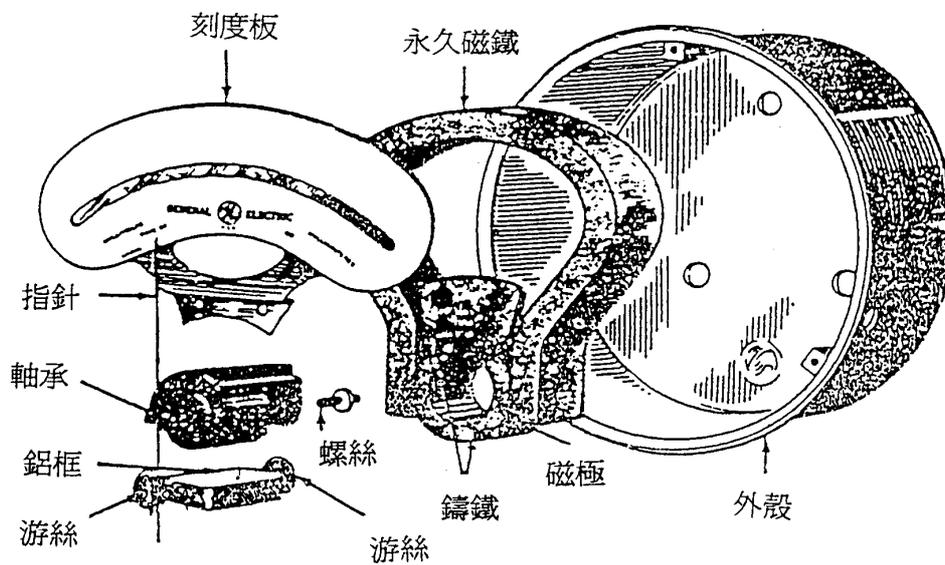
本教材的第一個學習目標是

不使用參考資料，你能夠以你自己的話正確地說明可動線圈式型表頭之構造及轉動原理：

一、可動線圈式表頭之構造及分解圖如圖 1 所示：



(a)可動線圈式表頭之構造



(b) 可動線圈式表頭之分解圖

圖 1 可動線圈式表頭之構造及分解圖

主要部份名稱功能

- (一) 永久磁鐵：歷久不變磁力強之永久磁鐵用來產生一固定磁場。
- (二) 鐵心：永久磁鐵發出之磁力線通過→外邊套著可動線圈之轉動鐵心，使通過磁力極中間之磁力均勻，進而使電表指示穩定。
- (三) 可動線圈：以 3/100mm 之漆包線繞上數百匝左右在鉛框上。
- (四) 指針：鋁質輕金屬材料製成，指針常因加大電流流過線圈而彎曲之故障較多。
- (五) 彈簧(游絲)：上、下兩個彈簧用來控制線圈的轉動，即產生一制動轉矩限制線圈之偏轉而與外加電磁驅動轉矩相同時，指針就停止不動了。
- (六) 平衡錘(Balance weight)：使指針不論停止於何處皆能保持平衡。
- (七) 刻度盤：分別印上電壓、電流、電阻等之指示刻度。
- (八) 零位調整：調整電表游絲張力在不通電情形下之指示應在零位置，因電表易受溫度、位置及平衡不良致使指針偏離零位置，因此常需調整歸零。
- (九) 止停器(Stoper)：防止外加測量電壓、電流及電阻測量(短路時)之過大偏轉，使停止於適當位置而不損電表之指針。

二、轉動原理：當可動線圈通以電流產生磁場與永久磁鐵磁場合成產生一作用力，使指針偏轉，偏轉角度大小與流入電流成正比。

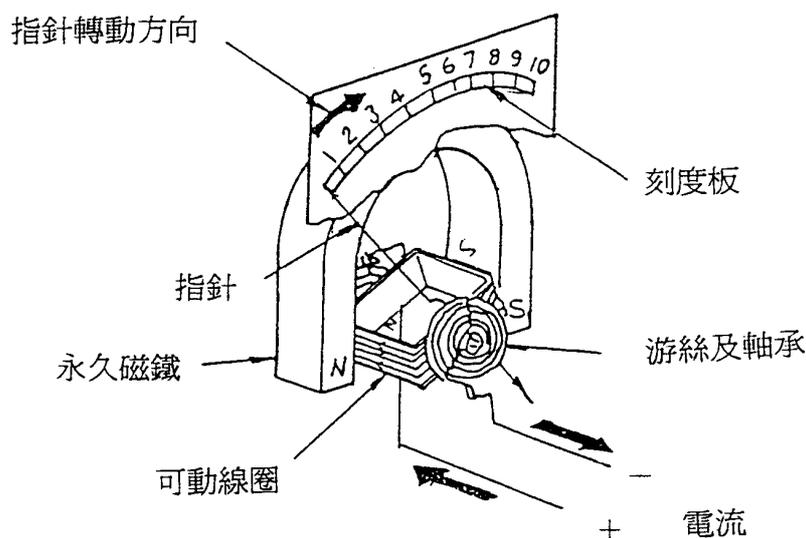


圖 2 可動線圈轉動原理

三、可動線圈轉動有三個裝置：(一)驅動裝置、(二)制動裝置、(三)阻尼裝置。

(一) 驅動裝置

可動線圈式電表是根據電磁效應原理，當可動線圈通以直流電壓、則電流 I 流入線圈，依電動機定則，線圈所產生的電磁力則與永久磁鐵的固定磁場產生一作用力，使可動線圈轉動某一個角度 θ ，轉動角度大小與流入的電流成正比 $\theta = KI$ 如圖 3，根據佛來銘左手定則知，每根導線所受力為 $F = BIL$ 線圈之驅動轉矩大小計算公式如下：

$$T_M = f \times 2R \times N$$

將 $f = BIL$ 代入

$$T_M = BIL \times 2R \times N$$

$$= BANIL \text{ (牛頓-米)}$$

T_M ：可動線圈驅動轉矩(牛頓-米)

B ：永久磁鐵空氣隙內之磁通密度(韋伯/米²)

A ： $2RL$ 為圓柱形軟鐵心面積(米²)

N ：繞於可動線圈上的匝數

I ：流過線圈之瞬間電流值(安培)

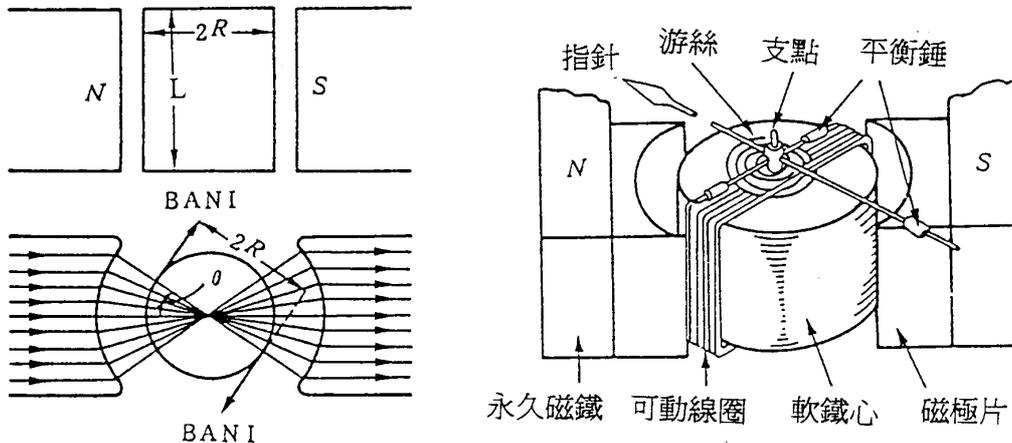


圖 3 可動線圈驅動轉矩

註：佛來銘左(右)手定則：左手代表馬達(電動機)係指求導線運動方向。

右手代表發電機一係指求線圈感應電流方向。

手指代表方向順序為：拇指—導線運動方向

食指—磁場方向

中指—感應電流方向

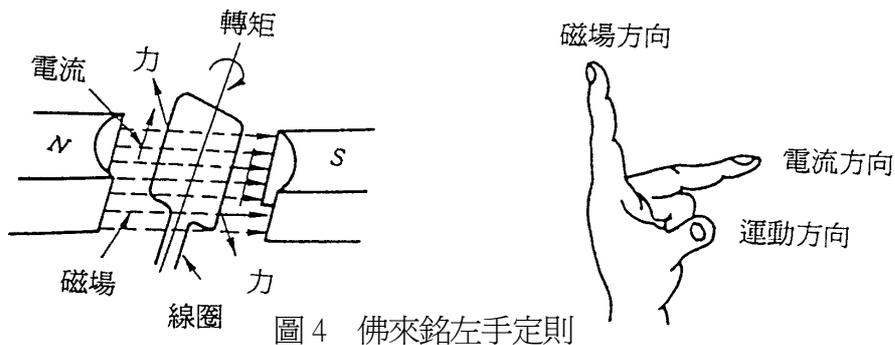


圖 4 佛來銘左手定則

(二) 制動裝置：

如圖 5 所示，線圈之上下方各有一個彈簧(游絲)，此兩彈簧之繞製方向相反，以保彈性之平衡及避免溫差引起之誤差。當線圈有電流流過時，產生驅動轉矩使指針發生偏轉，而此時兩彈簧被旋緊產生反抗線圈作用，使指針偏轉至某一正確角度。當電流消失時，彈簧所產生之反動轉矩使指針不論停在何處，皆能保持平衡。

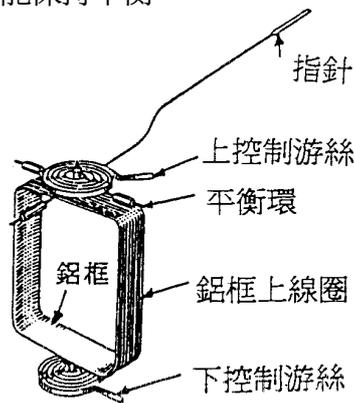


圖 5 制動裝置

設反動轉矩之大小為 T_r ， K_2 為彈簧之彈性係數， θ 為偏轉角度，則 $T_r = K_2 \theta$ ，若 $T_d = T_r$ ，則動圈即靜止於偏轉角 θ 的位置，即 $K_1 i = K_2 \theta \therefore \theta = \left(\frac{K_1}{K_2}\right) \times i$

即動圈偏轉之角度 θ (彈簧位移) 與欲測之電流值成正比，彈簧之位移即相當於電表刻度板上之指示。

(三) 阻尼裝置

阻尼(Damping)裝置的主要目的，在於防止指針偏轉時所產生的不必要的振動與搖擺，表頭之阻尼方法有下列三種：

1. 電磁阻尼：把線圈繞於一輕鋁框上，當動圈在磁場中旋轉時，在鋁框上感應一渦流。渦流產生與動圈轉動方向相反的轉矩而達到阻尼的目的。三用電表將線圈繞於鋁框上即可產生阻尼作用。
2. 空氣阻尼：在動圈轉軸平行的兩端各加裝一薄鋁片，使動圈轉動時，兩薄鋁片與空氣中之空氣作用而使空氣產生一反作用力於鋁薄片上，產生阻尼作用。
3. 分流電阻阻尼：在動圈兩端加裝一分流電阻而成。當動圈在磁場中旋轉時，感應一電動勢，此電動勢經分路電阻構成一電流回路，使動圈產生反轉而達到阻尼的功用。

阻尼過大則延遲偏轉時間，過小則指針在偏轉靜止前產生擺動，均不適當。

四、可動線圈式的表頭另有下列兩項主要裝置：

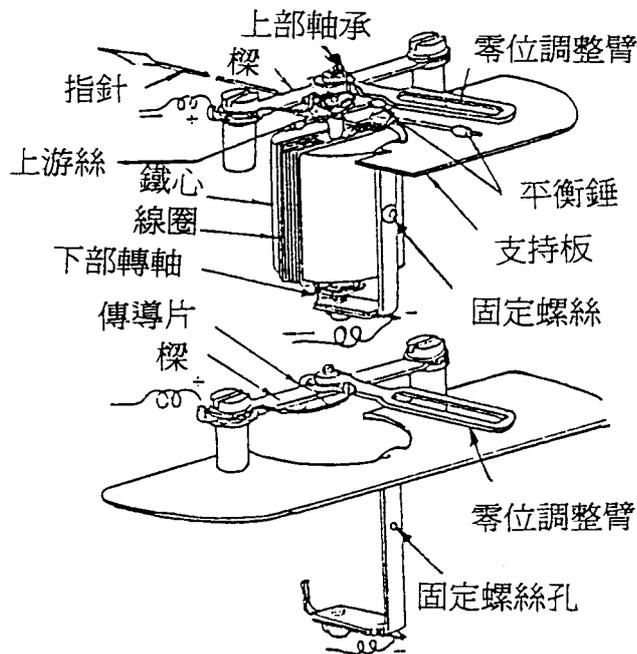
(一) 軸與軸承：

動圈、彈簧、指針等裝置均是由軸與軸承支持著，為了減少摩擦，及增加抗壓力，軸承用寶石材料做成。附著於線圈中心之上下尖軸，用堅硬高碳鋼合金製成。

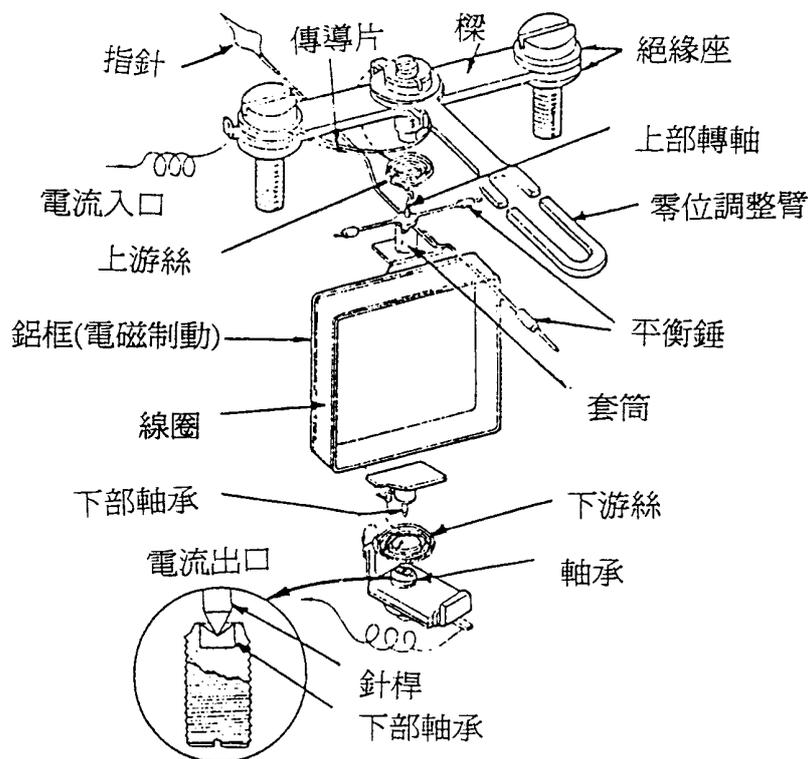
(二) 零位調整裝置：

如圖 6 所示，動圈之上端游絲有零位調整裝置，電表易受溫度、位置及振動致使指針偏離零位，調整外殼上之機械零位調整鈕，即可調整彈簧之張力，使指針靜止於零位。圖 6 係可動線圈部之圖解。

此種表頭，其線圈轉動的角度和電流成正比例，所以其刻度甚為均勻，又可動線圈的制動力係利用可動線圈的銅或鋁框在永久磁鐵磁場內轉動時，所產生的渦流而得制動效果。



(a) 可動線圈表頭機構裝置



(b)可動線圈表頭機構裝置之分解圖

圖 6 可動線圈表頭機構裝置

五、可動線圈型計器的特長

- (一) 靈敏度良好。
- (二) 準確度高。
- (三) 標度甚為均一。
- (四) 測量範圍變更較易。
- (五) 電力消費小。
- (六) 因可動部份的重量小，故軸承摩擦的影響少，又溫度、外部磁場的影響較小。

學習評量一

- 一、不參考任何資料，請以你的話正確說明可動線圈式電錶的主要構造名稱及功能。
- 二、不參考任何資料，請以你的話正確說明可動線圈之轉動需那三個主要裝置，請式述其名稱及功能。
- 三、不參考任何資料，請以你的話正確說明可動線圈型電表的特點。

筆記欄

請翻至下一頁。

學習評量一答案

一、可動線圈式電表之主要構造名稱及功能：

- (一) 永久磁鐵：歷久不變磁力強之永久磁鐵用來產生一固定磁場。
- (二) 鐵心：永久磁鐵發出之磁力線通過→外邊套著可動線圈之轉動鐵心，使通過磁力極中間之磁力均勻，進而使電表指示穩定。
- (三) 可動線圈：以 3/100mm 之漆包線繞上數百匝左右在鋁框上。
- (四) 指針：鋁質輕金屬材料製成，指針常因加大電流流過線圈而彎曲之故障較多。
- (五) 彈簧(游絲)：上、下兩個彈簧用來控制線圈的轉動，即產生一制動轉矩限制線圈之偏轉而與外加電磁驅動轉矩相同時，指針就停止不動了。
- (六) 平衡錘(Balance weight)：使指針不論停止於何處皆能保持平衡。
- (七) 刻度盤：分別印上電壓、電流、電阻等之指示刻度。
- (八) 零位調整：調整電表游絲張力在不通電情形下之指示應在零位置，因電表易受溫度、位置及平衡不良致使指針偏離零位置，因此常需調整歸零。
- (九) 止停器(Stoper)：防止外加測量電壓、電流及電阻測量(短路時)之過大偏轉，使停止於適當位置而不損電表之指針。

二、可動線圈式表頭轉動之主要裝置名稱及功能

- (一) 驅動裝置：可動線圈通以直流電所產生的磁場與永久磁鐵產生之固定磁場這兩個磁場相互作用，而使可動線圈轉動某一角度，其轉動角度大小與流入的電流成正比 $\theta = KI$ 。
- (二) 制動裝制：當永久磁鐵產生之固定磁場和可動線圈通以電流後產生指針發生偏轉需靠兩只游絲(裝於可動線圈上、下方各一個)此兩游絲之繞製方向相反，當指針發生偏轉，此時一游絲被旋緊產生反抗作用，使指針偏至某一正確角度。當電流消失，另一游絲之反轉之轉矩使指針又回復原來位置，游絲需保持平衡及避免溫差引起誤差。
- (三) 阻尼裝置：為了防止指針偏轉時產生不必要的振動與搖動，表頭需加阻尼裝置，一般阻尼裝置可分為電磁阻尼、空氣阻尼和分流電阻阻尼三種。可動線圈乃用電磁阻尼。

三、可動線圈型電表之特點有六說明如下：

- (一) 靈敏度良好。
- (二) 準確度高。
- (三) 標度甚為均一。
- (四) 測量範圍變更較易。
- (五) 電力消費小。
- (六) 因可動部份的重量小，故軸承摩擦的影響少，又溫度、外部磁場的影響較小。

假如你的答案與上述之重點相似，請翻至下一頁，假如你的答案不與上述之重點相似，則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻至第 5 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處，並將第 12 頁上的錯誤改正，然後請翻至下一頁。

本教材的第二個學習目標是

不使用參考資料，你能夠以你自己的話正確地說明(一)可動鐵片式電表、(二)電流力測型計器、(三)整流型電表之構造及轉動原理及特點：

一、可動鐵片式電表之構造與原理：

動鐵式電表包含的兩鐵葉裝在線圈裡面如圖 7 所示。一葉固定，另一葉附裝指針，可自由轉動，電流流經線圈，在兩葉片中感應極性相同的磁場，因此，可自由轉動的一葉片受到固定葉片的排斥，轉動的距離由磁場的強度決定，亦即是由電流的強度決定，動葉上的指針也跟著轉動，指示電流的值。

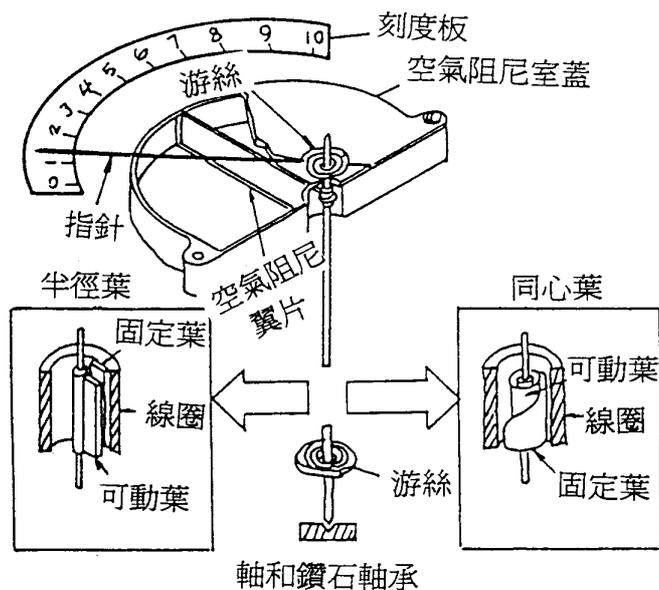


圖 7 可動鐵片型計器的構造

動鐵式計器的構造簡單牢固、價廉，因而用途甚為普遍，依發生驅動轉矩的方法，可分吸引、排斥及傾斜線圈型三種。

(一) 吸引型

如圖 8 所示 I 為可動鐵片，因受線圈 C 中電流所產生磁場之作用，將向線圈中心移動而發生驅動轉矩，因此指針 P 隨之轉動。

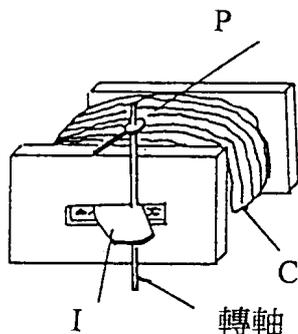


圖 8 吸引型

(二) 排斥型

如圖 9 所示於固定線圈 C 內，裝置固定鐵片 FI 及可動鐵片 MI，當線圈通過電流時，FI 和 MI 被磁化為同一極性，故兩者間發生排斥力 MI 聯繫之指針 P 亦隨之而轉動。

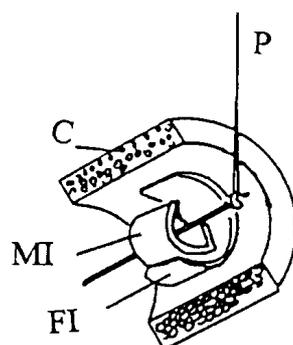


圖 9 排斥型

(三) 傾斜線圈型

如圖 10 所示

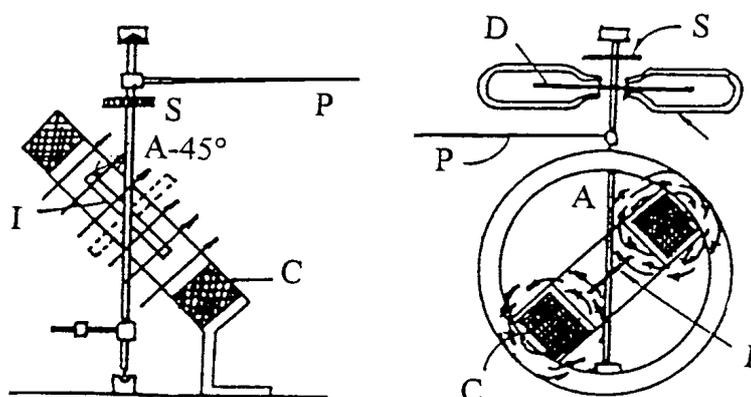


圖 10 傾斜線圈型

固定線圈 C 裝在與水平成 45° 之方向，在線圈內裝在 A 軸上之鐵片 I，平常與線圈傾斜成一角度，指針在零位，當線圈有電流通過時，磁場方向如箭頭所示，鐵片 I 則有轉至與磁場一致之趨勢，於是發生驅動轉矩使指針轉動。

此型電表之標度，在零點附近狹窄而後漸次增廣。但在實用上，適當調整線圈及鐵片之形狀或兩者相關位置等，可使標度除在零附近小部份狹窄外，其餘大部份為均勻。

特點：

1. 交直流通用—但用於直流時，因鐵之磁滯現象，電流在增加或減少時，對於同一指示可能不同，又於排斥型，因剩磁關係，電流切斷後指針可能不回到零位，因此動鐵型電計不適用於直流精密測量用。
2. 因可動部份不需通電流，故構造簡單、堅固、價廉。
3. 線圈可直接通以較大電流。
4. 在交流電路受頻率及波形影響。
5. 溫度變化引起之誤差較大。
6. 受外界磁場影響較大。

二、電流力測式表頭：

(一) 構造：

如圖 11 所示，就是電流力測式表頭的構造，FF 為固定線圈，M 為可動線圈 M 附有渦狀彈簧 S 及指針 P，整個可動部份以軸承支持之，M 和 F 兩線圈串聯連接經過高電阻而接於端子上。

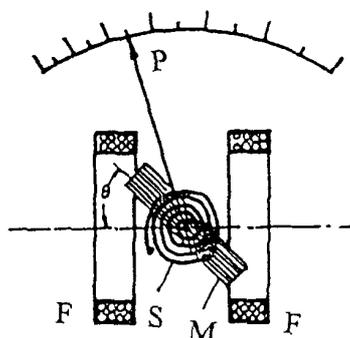


圖 11 電流力測式表頭構造

(二) 原理：

此種計器所依據之原理，係利用固定線圈與可動線圈間電流之相互作用而產生驅動轉矩。

此型電計與前述動圈型計器類似；所不同者，前者用永久磁鐵所產生的磁場，後者則用於固定線圈之電流所形成之磁場。

今 I_F 與 I_M 分別表示固定線圈與轉動線圈的電流， θ 為指針 P 的轉動角度，則與電流之關係如下：

$$\theta = KI_F I_M \cos \theta$$

式中 K 為常數，若固定線圈與可動線圈相串聯，則因 $I_F = I_M = I$ 。

$$\text{故 } \theta = KI^2 \cos \theta$$

當 θ 不大時， $\cos\theta$ 略大近於1，上式變為

$$\theta = KI^2$$

即指針轉動角約與電流之平方成正比。以上係就直流而言，若用於交流則當 I_F 及 I_M 間有相位差 ϕ 角時，轉角 θ 則與 $(I_F \cdot I_M \cdot \cos\phi)$ 成正比，即

$$\theta = KI_F I_M \cos\phi$$

式中 I_F 及 I_M 均為有效值，當 I_F 及 I_M 為同相，即 $\cos\phi = 1$ 時， θ 僅與各電流有效值之乘積成正比，此時指針之轉動與直流情形相同，故此型電計可用於直流亦可用於交流。

此型電計之阻尼裝置多為空氣型。

(三) 用於伏特計時：

係電流力測型計器伏特計之構造，其中可動線圈與固定線圈相串聯後，再串聯一錳鎳銅合金之無感高電阻，各線圈均屬圓形，其連線至端子途中設有電鍵平時打開，當測量時間關閉電鍵，即有電流通過線圈。

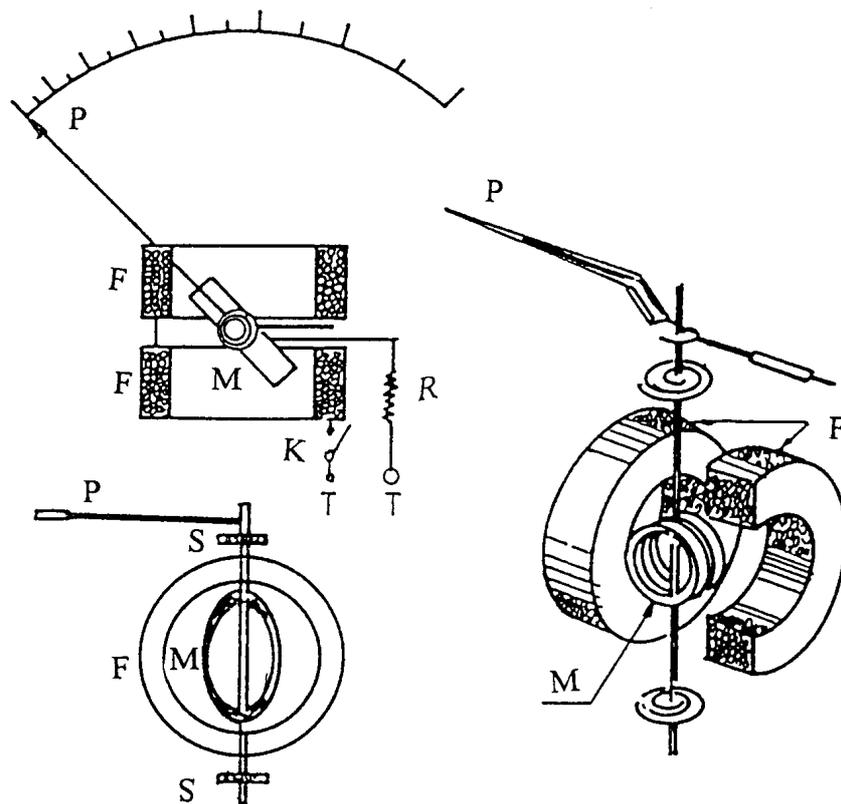


圖 12 電流力測型伏特計

三、整流型電表之構造與原理：

(一) 構造：

由動圈式電表、橋式整流裝置及倍增器組合而成，如圖 13 所示。整流裝置目前已採用整片積體電路(IC)，共有四個端子，兩端為直流輸出(正、負已採用)，另兩端為交流輸入。

(二) 原理：

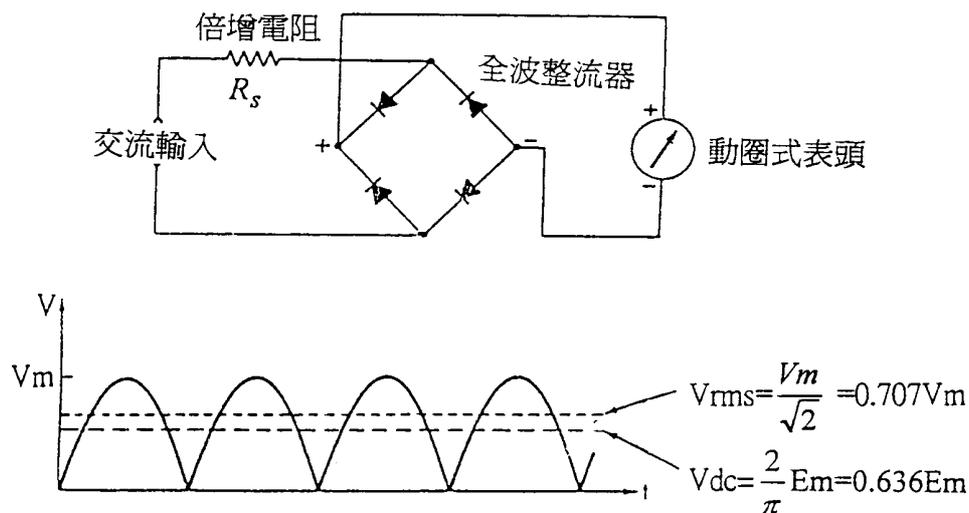


圖 13 整流裝置

待測交流經橋式整流後，產生一脈動直流。由於可動線圈之慣性，基本表仍依交流平均值(等效直流)同向穩定偏轉。電表之指示值為交流之有效值(rms)由電工學知，交流之波形因數(Form Factor)為

$$\text{波形因數(F.F)} = \frac{\text{有效值 } E_{rms}}{\text{平均值 } E_{av}}$$

對正弦波電壓而言，波形因數為

$$F.F = \frac{E_{rms}}{E_{av}} = \frac{\frac{E_m}{\sqrt{2}}}{\frac{2E_m}{\pi}} = \frac{0.707E_m}{0.636E_m} = 1.11$$

$$E_m : \text{最大值} = \sqrt{2} E_{rms} = 1.414E_{rms}$$

$$E_{rms} : \text{有效值} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707E_m$$

$$E_{av} : \text{平均值} = \frac{2}{\pi} E_m = 0.636E_m$$

例 1：如圖 13 所示整流電路基本表之內阻 R_m 為 500Ω ，滿載電流為 $100\mu A$ ，若二極體為理想二極體，試求(1)外加 $100V$ 交流正弦波時，欲得滿載偏轉之倍增電阻 R_s 值(2)靈敏度。

$$\text{解：(1)全波整流中 } E_{dc} = \frac{2}{\pi} E_m = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} E_{rms} = 0.9E_{rms}$$

$$\text{故 } E_{dc} = 0.9 \times 100 = 90V$$

設二極體為理想二極體，即 $R_f = 0\Omega$ ， $R_r = \infty\Omega$ (開路)

$$\text{故電表總電阻為 } R_t = R_s + R_m = \frac{90V}{100\mu A} = 900k\Omega$$

$$\text{則 } R_s = 900k - 500\Omega = 899.5k\Omega$$

$$\text{(2)靈敏度 } S = \frac{899.5k\Omega}{100V} = 8.995k\Omega/V$$

學習評量二

- 一、不參考任何資料，請以你的話正確地說出可動鐵片式表頭之構造名稱及原理。
- 二、不參考任何資料，請以你的話正確地說出可動鐵片式表頭之特點。
- 三、不參考任何資料，請以你的話正確地說出電流力測式表頭之構造名稱及原理。
- 四、不參考任何資料，請以你的話正確地說出整流型電表之構造及原理。

筆記欄

請翻至下一頁。

學習評量二答案

一、可動鐵片式表頭之構造名稱及原理：

可動鐵式表頭的構造簡單牢固、價廉，因而用途甚為普遍，依發生驅動轉矩的方法，可分吸引、排斥及傾斜線圈型三種。

(一) 吸引型

可動鐵片因受線圈 C 中電流所產生磁場之作用，將向線圈中心移動而發生驅動轉矩，因此指針 P 隨之轉動。

(二) 排斥型

固定線圈 C 內裝置固定鐵片 FI 及可動鐵片 MI，當線圈通過電流時，FI 和 MI 被磁化為同一極性，故兩者間發生排斥力 MI 聯繫之指針 P 亦隨之而轉動。

(三) 傾斜線圈型

固定線圈 C 裝在與水平成 45° 之方向，在線圈內裝在 A 軸上之鐵片 I，平常與線圈傾斜成一角度，指針在零位，當線圈有電流通過時，磁場方向如箭頭所示，鐵片 I 則有轉至與磁場一致之趨勢，於是發生驅動轉矩使指針轉動。

此型電表之標度，在零點附近狹窄而後漸次增廣。但在實用上，適當調整線圈及鐵片之形狀或兩者相關位置等，可使標度除在零附近小部份狹窄外，其餘大部份為均勻。

二、可動鐵片式表頭之特點。

(一) 交直流通用—但用於直流時，因鐵之磁滯現象，電流在增加或減少時，對於同一指示可能不同，又於排斥型，因剩磁關係，電流切斷後指針可能不回到零位，因此動鐵型電計不適用於直流精密測量用。

(二) 因可動部份不需通電流，故構造簡單、堅固、價廉。

(三) 線圈可直接通以較大電流。

(四) 在交流電路受頻率及波形影響。

(五) 溫度變化引起之誤差較大。

(六) 受外界磁場影響較大。

三、電流力測式表頭之構造名稱及原理。

(一) 你回答的內容應包括構造。

(二) 你回答的內容應包括原理。

四、整流型電表之構造及原理。

(一) 你回答的內容應包括可動線圈式表頭構造。

(二) 你回答的內容應包括整流電路原理。

假如你的答案與上述之重點相似，請翻至下一頁，假如你的答案不與上述之重點相似，則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻至第 16 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處，並將第 22 頁上的錯誤改正，然後請翻至下一頁。

本教材第三個學習目標是

不使用參考資料，你能夠以你自己的話正確地說明電壓表之擴展方法、電壓表靈敏度、負載效應。

一、電壓表之擴展方法

(一) 直流電壓表與倍率電阻

一般電壓表直接並聯於待測電路負載兩端即可測量電壓，但當其待測電壓超過滿載電壓 $V_{FS} = I_{FS} \times R_m$ ，則必須加一倍率電阻以免超過 I_{FS} 。如圖 14 所示。

n: 放大倍率

V: 待測電壓

V_{FS} : 電壓表滿載電壓

R_S : 串聯倍率電阻

R_m : 電壓表內阻

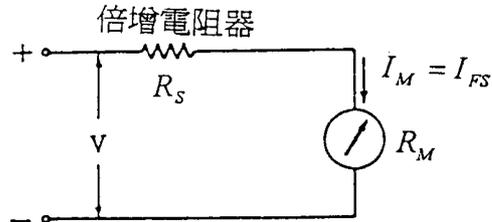


圖 14

$$\text{所串加倍率電阻為 } R_S = \frac{V}{I_{FS}} - R_m \quad n = \frac{V}{V_{FS}} = \frac{V}{I_{FS} \times R_m} \quad nR_m = \frac{V}{I_{FS}}$$

$$\text{由 } R_S = \frac{V}{I_{FS}} - R_m = nR_m - R_m = (n - 1)R_m$$

$$\text{得串聯倍率電阻 } R_S = (n - 1)R_m$$

例一：有一內阻為 $20K\Omega$ 之 $50V$ 電壓表，欲擴展為 $250V$ 之電壓表需串聯多大倍率電阻？

解：

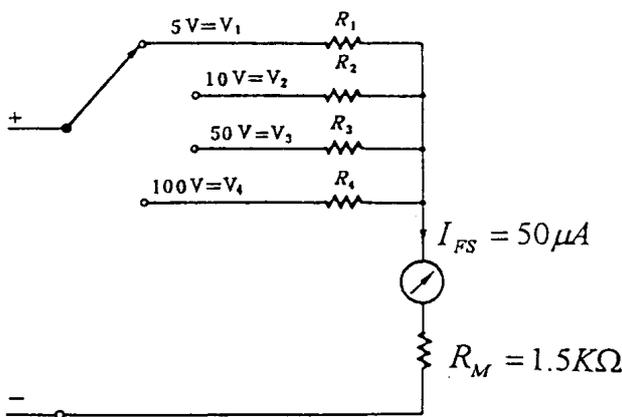
$$(1) n = \frac{250}{50} = 5$$

$$(2) R_S = (n - 1)R_m = (5 - 1)20 = 80K\Omega$$

原來內阻為 $20K\Omega$ 的電壓表只能測 $50V$ ，經串聯 $80K\Omega$ 倍率電阻即可測 $250V$ 。

例二：電壓表內阻 $1.5 K\Omega$ ， $I_{FS} = 50 \mu A$ ，欲測量 $5V$ 、 $10 V$ 、 $50V$ 、 $100V$ ，請分別計算下

圖各倍率電阻如下：



$$\text{由公式 } R_S = \frac{V}{I_{FS}} - R_m$$

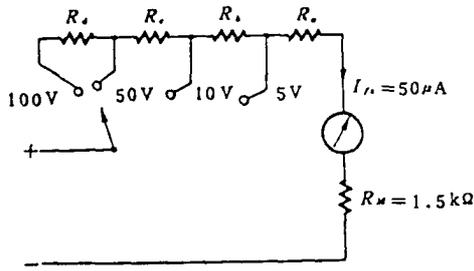
$$R_1 = \frac{5V}{50\mu A} - 1.5K\Omega = 98.5K\Omega$$

$$R_2 = \frac{10V}{50\mu A} - 1.5K\Omega = 198.5K\Omega$$

$$R_3 = \frac{50V}{50\mu A} - 1.5K\Omega = 998.5K\Omega$$

$$R_4 = \frac{100V}{50\mu A} - 1.5K\Omega = 1998.5K\Omega$$

圖 15 倍增電阻計算



由公式 $R_s = \frac{V}{I_{FS}} - R_m$

$$R_a = \frac{5V}{50\mu A} - 1.5K\Omega = 98.5K\Omega$$

$$R_b = \frac{10V}{50\mu A} - 1.5K\Omega - 98.5K\Omega = 100K\Omega$$

$$R_c = \frac{50V}{50\mu A} - 1.5K\Omega - 98.5K\Omega - 100K\Omega = 800K\Omega$$

圖16 倍增電阻計算 $R_d = \frac{100V}{50\mu A} - 1.5K\Omega - 98.5K\Omega - 100K\Omega - 800K\Omega = 1M\Omega$

(二) 交流電壓表之擴展：

要測量高電壓電路需利用比壓器(Potential transformer)簡稱 PT 將高電壓變成低電壓，以維護測試人員與電表之安全。而電壓表是利用比壓器以擴展其測試範圍。

1. 比壓器原理：

比壓器工作原理與一般變壓器完全相同當比壓器的一次側線圈 N_1 接於

電源，而二次側線圈 N_2 接電壓表，則其電壓與匝數成正比 $\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = a$

則 $V_1 = aV_2$ ，故電壓表的讀數 V_2 乘以 a 倍即為一次側之電壓 V_1 。

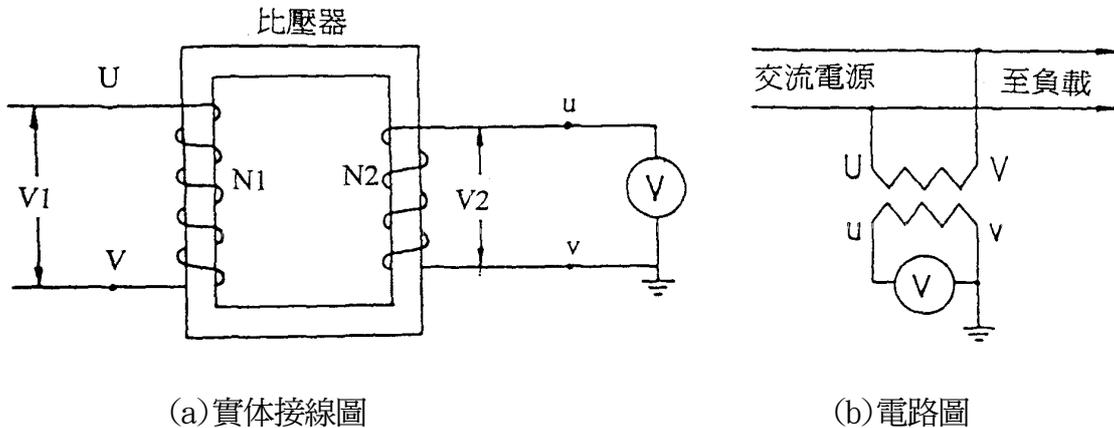


圖 17 比壓器接線圖

註：一般的比壓器皆在其一次側標有 $U \cdot V$ 在二次側標有 $u \cdot v$ 這表示一、二次側間之極性關係，當比壓器做並聯運用時應注意極性。

一次側之電壓	二次側之電壓	額定容量	頻率
220V、440V、2.2KV、3.3KV	110V	15VA	50Hz、60Hz
3.3KV、6.6KV	110V	50VA、100VA、200VA	50Hz、60Hz

圖表 18 比壓器常用規格

2. 使用比壓器時應注意事項：

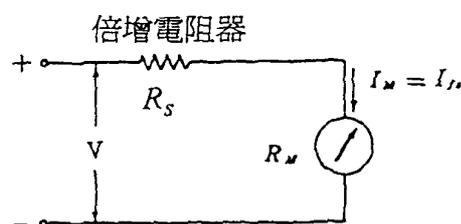
- (1) 為了防止發生短路故障時因電流過大而燒燬比壓器，因此比壓器應該接上保險絲作保護。
- (2) 為安全起見，比壓器的二次側應接地。
- (3) 比壓器應用於三相電路時，需注意極性。
- (4) 比壓器不能使用於直流電路。

二、電壓表靈敏度

當電壓表外接最大偏轉電壓時，電表到達了最大容許電流 I_f 。在同一個電表中，無論電壓範圍如何，其電表線路總電阻 (R_t) 與電壓之比值都是相同，這一個比值通常稱為電壓表的靈敏度 (S)，該靈敏度也就是儀表的最大偏轉電流之倒數，因此

$$S = \frac{1}{I_{FS}} (\Omega/V) = \frac{R_t}{V} (\Omega/V)$$

利用靈敏度來計算電壓表中串聯電阻 R_s 值是非常方便的，比如在圖 19 中，



- S：電壓表靈敏度
- V：最大偏轉電壓值
- R_m ：基本電表之內阻
- R_s ：串聯之倍率電阻
- R_t ：線路總電阻

圖 19 電壓表中串聯電阻 R_s 值

則： $R_t = S \times V$ 又 $R_t = R_s + R_m$ 所以 $R_s = R_t - R_m = S \times V - R_m$

不同電壓檔間之倍率電阻為 $R_b = R_{T2} - R_{T1} = S V_2 - S V_1 = S (V_2 - V_1)$

利用電壓靈敏度方法求下圖串聯倍率電阻 R_a 、 R_b 、 R_c 、 R_d

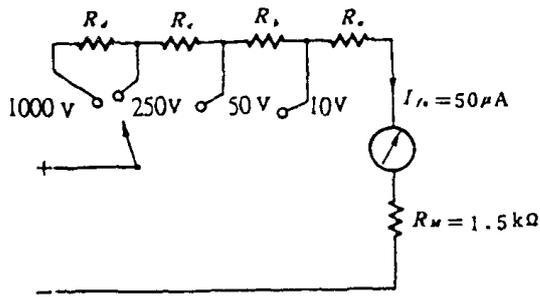


圖 20 艾耳頓倍增電阻

$$S = \frac{1}{I_{FS}} = \frac{1}{50 \times 10^{-6}} = 2 \times 10^4 \Omega/V = 20 K\Omega/V$$

$$R_a = (S \times V) - R_m = 20 K\Omega \times 10 - 1.5 K\Omega = 198.5 K\Omega$$

$$R_b = S(V_2 - V_1) = 20 K\Omega (50 - 10) = 800 K\Omega$$

$$R_c = S(V_3 - V_2) = 20 K\Omega (250 - 50) = 4 M\Omega$$

$$R_d = S(V_4 - V_3) = 20 K\Omega (1000 - 250) = 15 M\Omega$$

一般三用電表刻度盤左下方標有 DC $20 K\Omega/V$ 表示直流電壓表靈敏度，AC $8 K\Omega/V$

表示交流電壓表靈敏度，一般來說電壓表內阻愈大測量時愈不會引起負載效應。接下來讓我們來探討電壓表的負載效應問題：

三、電壓表負載效應：

使用電壓表測量電壓時，由於電壓表有內阻的存在，因此會造成誤差現象的發生，所以電壓表的靈敏度就顯得非常重要；若用一個低靈敏度電壓表測低電壓電路時，還可得到相當接近的讀值，但在測高壓電路時，則誤差就相當大，其原因乃為電壓表之內阻所致，當欲測量一高電阻兩端之電壓時，電壓表的內電阻就直接並聯於待測電阻兩端，將如同是電路的分流器，減少流過待測電阻的電流，如此就降低了待測電阻上之分壓。因此一般電壓表所測得的讀值皆低於實際電壓值，這種現象就稱為電壓表的負載效應。

例：以 $S=1 K\Omega/V$ 和 $S=20 K\Omega/V$ 之電壓表測量圖 21 中 $R_x=50 K\Omega$ 的電壓。電壓檔

用 50 伏特檔，求(1)正確電壓值(2)電壓表讀值(3)誤差百分率。

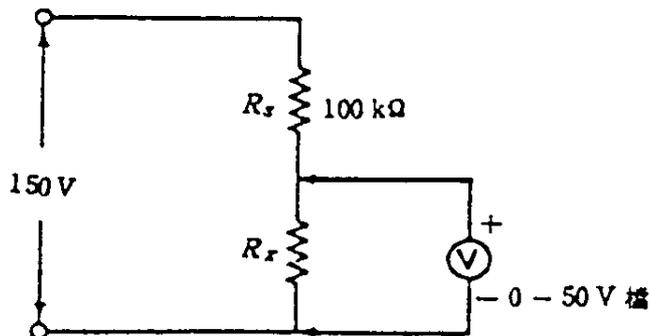


圖 21 電壓表負載效應

解：

$$(1) \text{由圖示知 } 50\text{K}\Omega \text{ 兩端之電壓值} = \frac{50\text{K}}{100\text{K} + 50\text{K}} \times 150 = 50\text{V}$$

$$(2) S=1 \text{ K}\Omega/\text{V} \text{ 撥在 } 50\text{V} \quad R_{V1}=1 \text{ K}\Omega/\text{V} \times 50\text{V}=50\text{K}\Omega \quad 50\text{K}\Omega \text{ 和 } 50\text{K}\Omega \text{ 並聯}$$

$$= \frac{50\text{K}\Omega}{2} = 25\text{K}\Omega \quad \text{則跨於 } 50\text{K}\Omega \text{ 兩端之電壓值 } V_1 = \frac{25\text{K}\Omega}{100 + 25} \times 150 = 30\text{V}$$

$$S=20 \text{ K}\Omega/\text{V} \text{ 撥在 } 50\text{V} \quad R_{V2}=20 \text{ K}\Omega/\text{V} \times 50\text{V}=1000\text{K}\Omega=1\text{M}\Omega \quad 50\text{K}\Omega \text{ 和 } 1\text{M}\Omega \text{ 並聯}$$

$$= \frac{50\text{K} \times 1\text{M}}{50\text{K} + 1\text{M}} = 47.6\text{K}\Omega \quad \text{則跨於 } 50\text{K}\Omega \text{ 兩端之電壓值}$$

$$V_2 = \frac{47.6}{100 + 47.6} \times 150 = 48.37\text{V}$$

$$(3) S=1 \text{ K}\Omega/\text{V} \quad \text{誤差百分率}$$

$$\varepsilon \% = \frac{\text{測量值} - \text{真實值}}{\text{真實值}} \times 100\% = \frac{30 - 50}{50} \times 100\% = -40\%$$

(負號表示測量值比真實值少 40%)

$$S=20 \text{ K}\Omega/\text{V} \quad \text{誤差百分率}$$

$$\varepsilon \% = \frac{\text{測量值} - \text{真實值}}{\text{真實值}} \times 100\% = \frac{48.37 - 50}{50} \times 100\% = -3.26\%$$

(負號表示測量值比真實值少 3.26%)

結論：選用靈敏度高的電表，負載效應減低，測量值接近實際值， $S=20 \text{ K}\Omega/\text{V}$ 比

$S=1 \text{ K}\Omega/\text{V}$ 準確。

學習評量三

一、選擇題 40%

- () 1. 如一基本電流表滿刻度之電流 $I_{FS}=50 \mu A$ ，內阻 $R_m=2K \Omega$ ，欲擴展為 10V 之範圍電壓表，應串接之電阻器值應為 (1)198K Ω (2)200K Ω (3)20K Ω (4)19.8K Ω
- () 2. 相同靈敏度的表頭，若電壓檔位愈高，則電壓表輸入阻抗 (1)愈高 (2)愈低 (3)一樣 (4)不一定。
- () 3. 一只三用表的靈敏度為 $5 \frac{K\Omega}{V}$ ，請問撥在 DC 50V 檔，其內阻為 (1)10K Ω (2)25K Ω (3)100K Ω (4)250K Ω 。
- () 4. 滿刻度 1mA，內阻為 100 Ω ，電流表欲改為 0~100V 電壓表，需串聯多少阻值電阻？(1)100 (2)99 (3)10 (4)99.9 Ω 。
- () 5. 對於兩電壓表靈敏度之比較，下列何者之敘述為正確，可由 (1)最小電流檔 (2)最大電流檔 (3)最小電阻檔 (4)負載電流檔看出。
- () 6. 理想之電壓表，理論上其內阻應 (1)愈大愈好 (2)愈小愈好 (3)等於零 (4)無關。
- () 7. 伏特計之靈敏度定義為 (1)滿刻度偏轉時所需電流值之倒數 (2)歐姆伏特之比 (3)可測之最低伏特值 (4)可測之最高伏特值。
- () 8. 一電表之靈敏度為 $20 \frac{K\Omega}{V}$ ，表頭內阻 2K Ω ，則此表頭滿偏轉電流值為 (1)20 μA (2)40 μA (3)50 μA (4)100 μA 。
- () 9. 相同靈敏度的表頭，若電壓檔位愈高，則電壓表之輸入阻抗 (1)愈高 (2)愈低 (3)相同 (4)不一定。
- () 10. 若有一基本電流電壓表的滿刻度電流 $I_{FS}=1mA$ ，則電壓靈敏度 S 為 (1)10000 $\frac{\Omega}{V}$ (2)100 $\frac{\Omega}{V}$ (3)1000 $\frac{\Omega}{V}$ (4)50 $\frac{\Omega}{V}$ 。

二、問答&計算題 60%

- 試述電壓表與倍率器配合使用的基本理論。
- 一個基本電表滿載電表為 250 μA 之 DC 電流表，若和 1.5V 之乾電池和未知電阻串接，測得 200 μA 之電流，求其未知電阻值？

3. 一內阻為 $125\ \Omega$ ，滿載電流為 $250\ \mu\text{A}$ 之 DC 電流表，若和 1.5V 之乾電池和未知電阻串接，測得 $200\ \mu\text{A}$ ，內電阻為 $1.5\text{K}\ \Omega$ ，試計算電表的靈敏度。
4. 設計一定額為 25V 、 10V 、 50V 、 250V 、 1000V 的電壓表，採用的可動裝置之滿刻度電流為 $100\ \mu\text{A}$ ，內阻為 $1.5\text{K}\ \Omega$ ，試計算電表的靈敏度。

筆記欄

請翻至下一頁。

學習評量三答案

一、選擇題

1. (1) 2. (1) 3. (4) 4. (4) 5. (1)
6. (1) 7. (2) 8. (3) 9. (1) 10. (3)

二、問答&計算題

1. 由圖 22 中知 $E=V_S+V_m$ $n=\frac{E}{V_m}$ $R_T=\frac{E}{I}=R_S+R_m$ $I=\frac{V_m}{R_m}$

$$\frac{E}{V_m} \times R_m = R_S + R_m \rightarrow nR_m = R_S + R_m \quad \therefore R_S = (n-1)R_m \quad n \text{ 為倍率}$$

2. $V_{FS} = I_{FS} \times R_m = 250 \mu A \times 125 \Omega = 31.25 \text{ mV}$

3. $R_S = \left(\frac{1.5}{250 \times 10^{-6} \times 125} - 1 \right) \times 125 = 5875 \Omega$

4. $S = \frac{1}{I_{FS}} = \frac{1}{10 \times 10^{-6}} = 100 \text{ K}\Omega/\text{V}$

2.5V 檔： $R_1 = (S \times V) - R_m = 100 \times 2.5 - 1.5 = 23.5 \text{ K}\Omega$

10V 檔： $R_2 = S(V_2 - V_1) - R_m = 100(10 - 2.5) - 1.5 = 73.5 \text{ K}\Omega$

50V 檔： $R_3 = S(V_3 - V_2) - R_m = 100(50 - 10) - 1.5 = 3998.5 \text{ K}\Omega = 3.9985 \text{ M}\Omega$

250V 檔： $R_4 = S(V_4 - V_3) - R_m = 100(250 - 50) - 1.5 = 19998.5 \text{ M}\Omega$

1000V 檔： $R_5 = S(V_5 - V_4) - R_m = 100(1000 - 250) - 1.5 = 74998.5 \text{ M}\Omega$

假如你的答案與上述之重點相似，請翻至下一頁，假如你的答案不與上述之重點相似，則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻至第 26 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處，並將第 31 頁上的錯誤改正，然後請翻至下一頁。

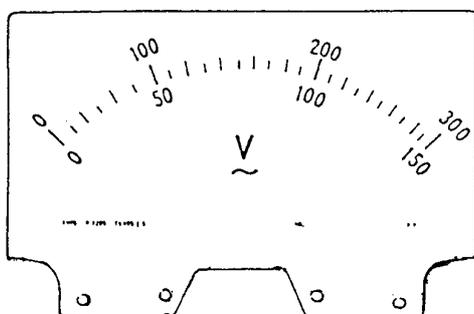
本教材第四個學習目標是

不使用參考資料，你能夠選擇正確的電壓表檔去測量直流電壓、交流電壓。

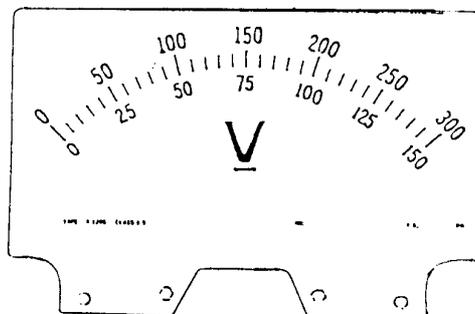
一、電壓表使用準備：

(一) 電壓表面板符號認識：

1. 電壓板面認識：



交流電壓表面板



直流電壓表面板

2. 電壓表的放置及符號：

符號	電表放置法及觀察方向	
┌	垂直型	←---→ 電表
└	水平型	↑ ↓ 電表
/	傾斜型	↗ ↘ 電表

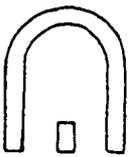
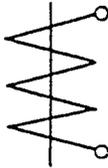
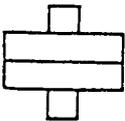
3. 適用之電路種類與符號：

電路的種類	符號
直流用	—
單相交流用	~
平衡三相交流用	≡
不平衡三相交流用	≡

4. 電表的等級與容許誤差：

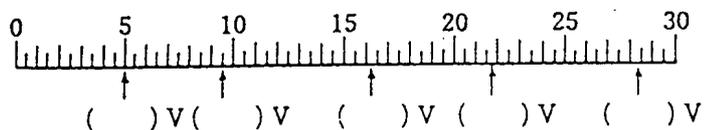
電 表	等級分級	容許誤差	用 途
電壓表 電流表	2 級	額定值之 $\pm 0.2\%$	副標準器用
	0.5 級	額定值之 $\pm 0.5\%$	精密測定用
	0 級	額定值之 $\pm 1.0\%$	普通測定用
	1.5 級	額定值之 $\pm 1.5\%$	工業用、普通測定用
	2.5 級	額定值之 $\pm 2.5\%$	不電重精密度的測定用

(二) 電壓表動作原理：

種類	符 號	動 作 原 理	特 點
可 動 線 圈 型(動 圈式) 電 表		可動線圈通過電流而產生之磁場，與永久磁鐵所產生的強力磁場相互作用而使指針偏轉。	<ul style="list-style-type: none"> • 靈敏度甚高，縱然待測電壓或電流甚小，亦可測出。 • 刻度均勻，易看易懂。 • 指示值為平均值，故只適於測量直流而不適於測量交流。 • 接線時正負極不能反接。
動 鐵 型 電 表		固定線圈所產生之磁場，令磁場中之二鐵片被磁化而互相排斥，帶動指針偏轉。	<ul style="list-style-type: none"> • 交直流兩用。 • 刻度不均勻。 • 靈敏度差，不適於測量微小的電壓或電流。 • 結構簡單成本低。
電 流 力 測 型 電 表		利用固定線圈與可動線圈兩者所生之磁場相互作用，而使指針偏轉。	<ul style="list-style-type: none"> • 交直流兩用。 • 精確度佳，但價格昂貴。
整 流 型 電 表		利用二極體將交流電整流為直流電，然後加於動圈式電表而成	<ul style="list-style-type: none"> • 具備上述動圈型電表的所有優點，但用來測量 10KHz 以下之交流電。

(三) 電壓表面板刻度的讀法：

若使用之測試範圍為 30V 檔而指針偏轉如下圖位置，請試值各值。



(四) 量值與容許誤差計器測量皆允許誤差。例如等級：1.0 電壓表，使用測試範圍額定值 30V，測得 20V 指示值。在此情形下其真實值為：

$$20 \pm 30 \times \frac{1.0}{100} = 20 \pm 0.3V$$

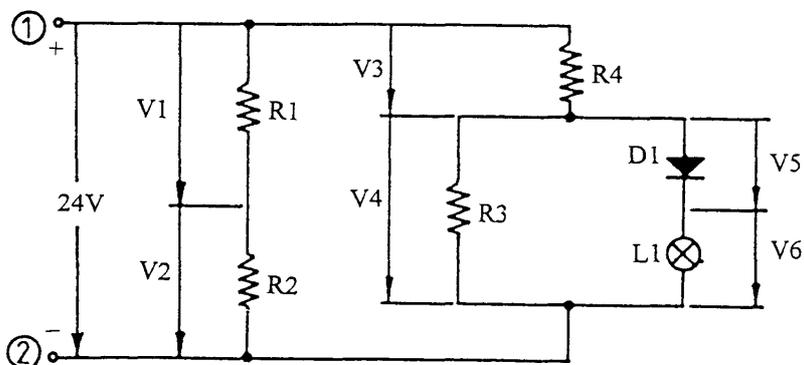
即真實值在 19.7~20.3V 之範圍內。

二、直流電壓表使用：

(一) 使用器材：

名稱	規格	數量
電阻值	220Ω，330Ω，470Ω，680Ω，1KΩ， 1.5KΩ，2.2KΩ，3.3KΩ 以上均 2W/5%	各 1 只
二極體	1N4001	1 只
燈泡	12V/0.05A 附插座	1 只
直流電壓表	0 ~ 30V	1 只

(二) 接線圖：



(三) 測試組別：

測 試 組			
組別 元件	1	2	3
R1	680 Ω	330 Ω	220 Ω
R2	330 Ω	1K Ω	470 Ω
R3	2.2K Ω	1.5K Ω	3.3K Ω
R4	330 Ω	220 Ω	330 Ω

(四) 測試步驟：

1. 依表所列第 1 測試組之電阻值，完成圖電路之裝配。
2. 先將電壓表置於最大之測量範圍。
3. 電源接入點間，正極電源線應先接在電路之"1"點。
4. 將電壓表與各測試點相並聯連接，慢慢調整電表至最適當之測量範圍。
5. 測量電壓 $V_1 \sim V_6$ ，並記錄之。
6. 交換電源之極性，使正極接於電路之點。
7. 再測量電壓 $V_1 \sim V_6$ ，並記錄之。
8. 換裝第 2 測量組之電阻值，依原電路所示之連接。
9. 重覆步驟 2~7，並記錄之。
10. 再換裝第 3 測量組之電阻值，重覆步驟 2~7 步驟之測量，並記錄之。

(五) 記錄測量結果：

電壓表型號：						
電 壓	正極接測量點 1			正極接測量點 2		
	測量組別			測量組別		
	1	2	3	1	2	3
V1						
V2						
V3						
V4						
V5						
V6						

(六) 注意事項：

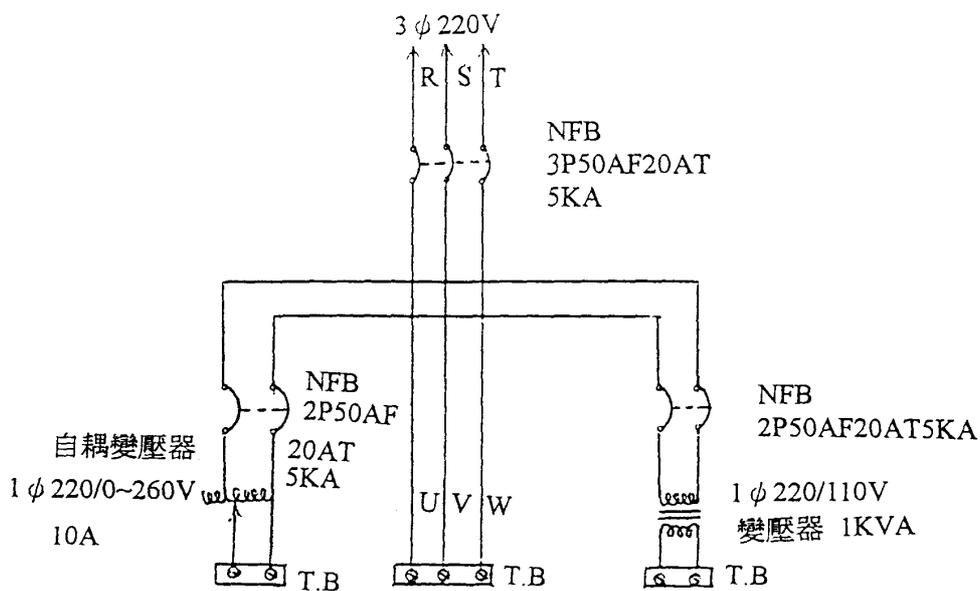
1. 按圖接線要正確，並且測試步驟逐漸實作，測試直流電壓值。
2. 直流電壓測試要注意極性。
3. 完成測量並且正確填入測試表內。

二、交流電壓表使用：

(一) 使用器材：

名稱	規格	數量
交流電壓表	AC 0 ~ 300V	1 只
三相電源	3 ϕ 220V	1 只
無熔絲開關	3P 50AF 30AT 5KA	1 只
無熔絲開關	2P 50AF 20AT 5KA	2 只
自耦變壓器	1 ϕ 220V/0-260V V 10A	1 台
端子台	3P 20A	3 只

(二) 接線圖：



(三) 測試步驟：

1. 依上圖所列器材名稱及接線圖完成接線。
2. 測試三相電源電壓。
3. 測試變壓器二次側電壓。
4. 測試自耦變壓器二次側電壓由 0~260V，每 10V 測量一次。

(四) 計錄測量結果

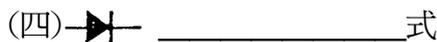
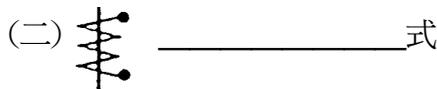
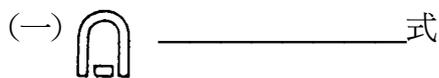
三相電源電壓	$V_{RS} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{ST} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{TR} : \underline{\hspace{1cm}} V$
單相電源電壓	$V_{0-110} : \underline{\hspace{1cm}} V$
可調自耦變壓器電壓	$V_{0-10} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{0-20} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{0-30} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{0-40} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{0-50} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{0-60} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{0-70} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{0-80} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{0-100} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{0-150} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{0-220} : \underline{\hspace{1cm}} V, V_{0-260} : \underline{\hspace{1cm}} V$

五、注意事項：

- (一) 接線時，器具一定要先排放整齊然後確實將線頭接妥。
- (二) 測量電壓時注意檔位要選擇正確。
- (三) 正確讀取數值並且記錄之。

學習評量四

一、填寫有下列符號的電表之種類。

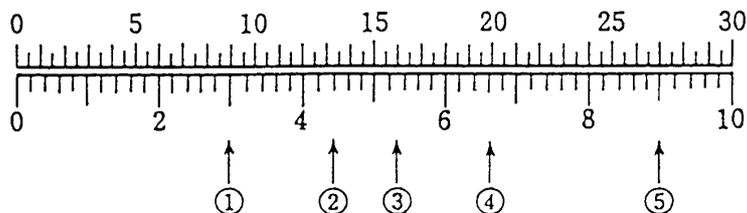


二、以直線連接下列意義相同者之符號。

(一) DC 直流—

(二) AC 交流~

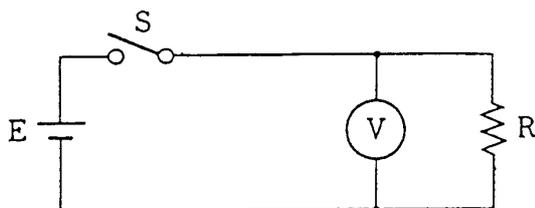
三、讀取下列電壓表的各偏轉值。



偏轉位置 使用接頭	①	②	③	④	⑤
10V 接頭					
30V 接頭					

四、以 1.0 等級的電壓表使用 30V 接頭，測量電壓時獲得 10 伏特的指示值，此時的真實值應在多少伏特的範圍內？

五、繪出下面電路的實體接線圖。



筆記欄

請翻至下一頁。

學習評量四答案

一、

- (一)可動線圈式 (二)可動鐵片式
(三)電流測式 (四)整流式

二、(一)DC 直流—

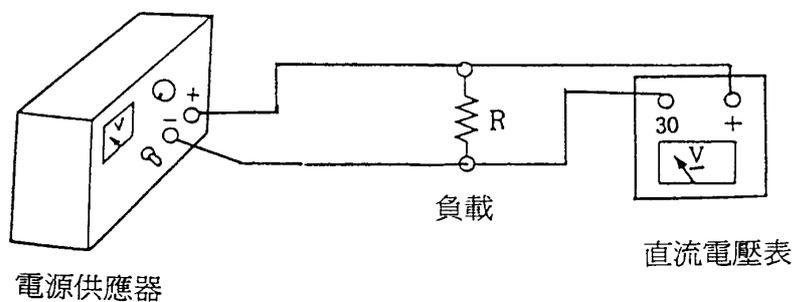
(二)AC 交流~

三、

偏轉位置 使用接頭					
10 V 接頭	3V	4.4V	5.3V	6.6V	9V
30 V 接頭	10V	13.5V	16V	20V	27V

四、真實值 $10 \pm 30(V) \times \frac{1.0}{100} = 10 \pm 0.3 = 9.7 \sim 10.3(V)$

五、



假如你的答案與上述之重點相似，請翻至下一頁，假如你的答案不與上述之重點相似，則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻至第 33 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處，並將第 39 頁上的錯誤改正，請翻至下一頁。

學後評量

- 一、不參考任何資料，請以你的話正確說明可動線圈之轉動需那三個主要裝置，請式述其名稱及功能。
- 二、不參考任何資料，請以你的話正確地說出電流力測式表頭之構造名稱及原理。
- 三、不參考任何資料，你能夠拿交、直流電壓表測量，交流電壓、直流電壓。

我的工作計劃

設計圖：_____

工作開始日期：_____ 完成日期：_____

工作時間：_____小時 教師認可：_____

我測量上列工作所需工具

1. _____ 4. _____
2. _____ 5. _____
3. _____ 6. _____

我所需要之器具及材料

項目	名稱	說明	規格	數量	備考
1					
2					
3					
4					
5					

我對我作業之評分

項目	評 審 標 準	扣分標準	扣 分
功 能	1. 未能於規定時間內完成者	每處 50 分	
	2. 未裝保護電路造成短路者	每處 50 分	
	3. 電表不動作或未按電路圖接線者	每處 50 分	
	4. 指示值記錄錯誤或超過±10%以上者	每處 50 分	
	5. 作弊者	每處 50 分	
裝、 置 配 與 線 量 度	6. 電表、器具排列零亂者	每處 5 分	
	7. 配線零亂者	每處 5 分	
	8. 裝置方向錯誤者	每處 5 分	
	9. 固定螺絲鬆動不緊者	每處 5 分	
	10. 電表指示值，記錄誤差±5%以上者	每±1%處 5 分	
		扣分總數	

總分=100 - 扣分總數= 分

※附註：未能於規定時間內完成者，包括接線、測試記錄值填寫者，以不合格計。

參考文獻

- 一、游福照著 80 年出版 電儀表學 全華圖書股份有限公司 P₃₅~P₈₀
- 二、郭塗注、黃錦華編著 71 年出版 電工儀表實習與應用 標高圖書儀器公司 P₁₄~P₅₇
- 三、謝志定、鄭龍華主編 84 年出版 電儀表實習教材 泰山職訓中心編印 P₂~P₂₁