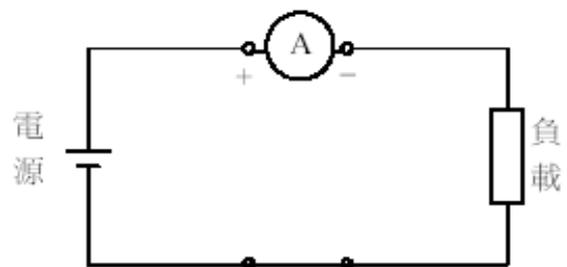


第五章

- 量度
 - 安培計 (電流表)
 - 伏特計 (電壓表)
 - 電阻表
- 電儀表
 - 指針式儀表 (動圈式, 動鐵式, 電動式)
 - 數字式儀表
 - 準確性
 - 靈敏度
 - 負載效應

安培計

- 作用是量度電流
- 它的內電阻數值通常是很低的
- 量度時，安培計必須與電路中的負載串聯連接
- 量度直流電流時，安培計的正接線端應接至電路的高電位，負接線端應接至低電位



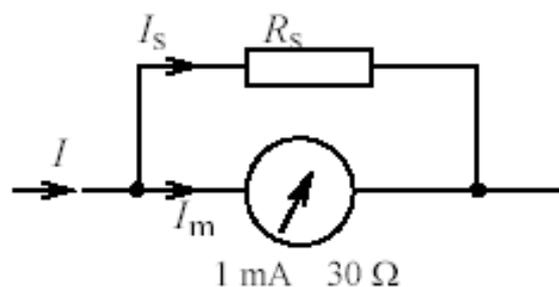
安培計 - 分流器

- 將量程小的安培錶改裝成可量度較大的電流時，方法是將一電阻器與電錶並聯連接；此一電阻器叫做分流器，作用是使電流分路，電路的電流按比例地流過電錶，祇需更改錶面的數字，電錶便可成為一個能量度大電流的安培錶。

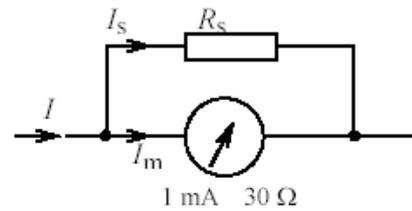
安培計 - 分流器

例題一

將一個滿載偏轉電流是1 mA，內電阻是30Ω的電錶改裝成5A 安培錶，計算分流器的電阻值。



安培計 - 分流器



答案 - 例題一

電錶的滿載偏轉電流是 $I_m = 1 \text{ mA} = 0.001 \text{ A}$

內電阻是 $R_m = 30 \Omega$

改裝後電錶的量程是 $I = 5 \text{ A}$

分流器的電流 $I_s = I - I_m = 5 - 0.001 = 4.999 \text{ A}$

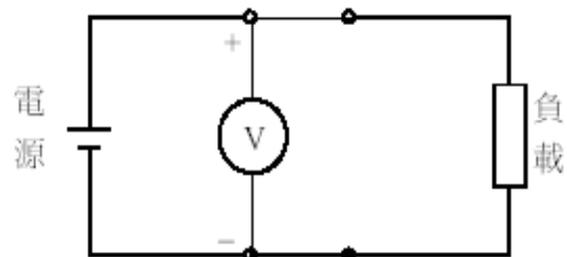
因分流器是與電錶並聯連接，所以分流器的電壓等於電錶的電壓 $\longrightarrow I_s R_s = I_m R_m$

分流器的電阻

$$R_s = \frac{I_m R_m}{I_s} = \frac{0.001 \times 30}{4.999} = 0.006001 \Omega$$

伏特錶

- 作用是量度電壓
- 它的內電阻通常是很高的
- 量度電壓時，伏特錶須與電路中的負載並聯連接
- 量度直流電壓時，伏特錶的正接線端應接至電路的高電位，負接線端應接至低電位



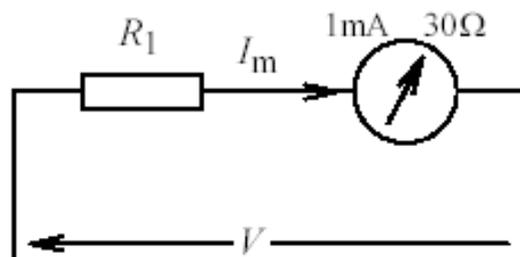
伏特錶 - 擴程器

- 將低壓的伏特錶或安培錶改裝成可量度較高的電壓時，方法是將一電阻器與電錶串聯連接；此一電阻器叫做擴程器，作用是分壓，電路的電壓按比例地橫跨電錶，祇需更改錶面的數字，電錶便可成為一個能量度高電壓的伏特錶。

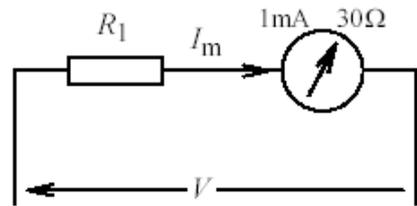
伏特錶 - 擴程器

例題二

將一個滿度偏轉電流是1 mA，內電阻是30 Ω的電錶改裝成250V伏特錶，計算擴程器的電阻值。



伏特錶 - 擴程器



答案 - 例題二

電錶的滿度偏轉電流是 $I_m = 1 \text{ mA} = 0.001 \text{ A}$

內電阻是 $R_m = 30 \Omega$

改裝後電錶的量程是 $V = 250 \text{ V}$

當量度的電壓是 250 V 時，電錶的電流應是它的滿度偏轉電流，電路的電流等於電錶的滿度偏轉電流 $I_m = 0.001 \text{ A}$

電路的總電阻

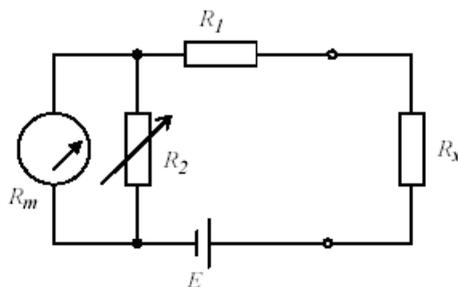
$$R = \frac{V}{I_m} = \frac{250}{0.001} = 250000 \Omega$$

因擴程器與電錶串聯連接，擴程器的電阻等於總電阻減以電錶的內電阻

$$R_1 = R - R_m = 250\,000 \Omega - 30 \Omega = 249\,970 \Omega$$

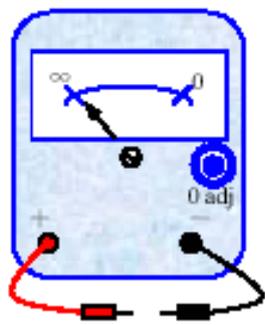
歐姆錶

- 據歐姆定律直流電路的公式 $R = E/I$ ，當電動勢不變時，電路的電流與電阻成反比，電阻愈大，電流愈少。

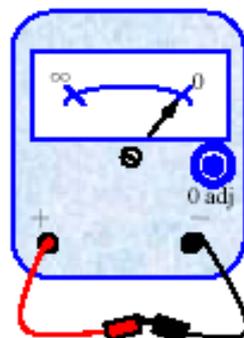


- 歐姆錶內是裝有電池，其錶頭通常是採用靈敏度高的**永磁動圈式**儀錶，待測試的電阻經接線棒與錶頭串聯後接至錶內的電池。

歐姆錶

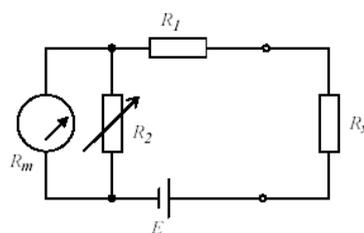


- 當電錶的兩接線棒是空接時，測試電路成開路，沒有電流流經錶頭，指針不動和指示電阻值無限大的位置



- 當電錶的兩接線棒是短接時，即測試電阻的阻值是 0Ω ，電路的電流最大，指針偏轉至滿度的位置

歐姆錶



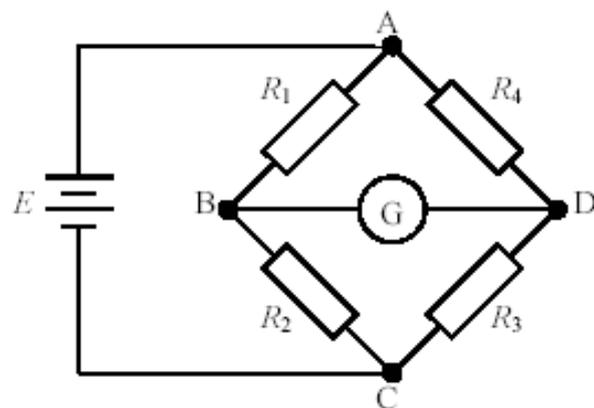
- 為避免電路出現過大的電流，而將電錶燒毀，有一電阻器 R_1 加入電路中和錶頭串聯連接，作用是限流，限制電錶的電流使其不會超越滿度偏轉電流的數值。
- 當待測試的電阻接至歐姆錶接線端時，電路閉合，電池 E 推動電流流經電錶、限流電阻器 R_1 和待測試的電阻 R_x ，電錶的電流取決於 R_x 的大小，當 R_x 的阻值較大時，電路的電流較弱，電錶指針的偏轉角度較少，當 R_x 的阻值較小時，電路電流較強，電錶指針的偏轉角度較大。

歐姆錶

- 由於電池電壓的高低直接影響歐姆錶的電流，繼而影響其量度電阻時的讀數，一個可變電阻器 R_2 加入電路與電錶並聯連接，以平衡電池電壓的變化。
- 當將歐姆錶的接線棒短接時，即 R_x 等於0，在此情況下，調節的 R_2 阻值，使電錶有一滿載偏轉電流，指針指示0的刻度上。

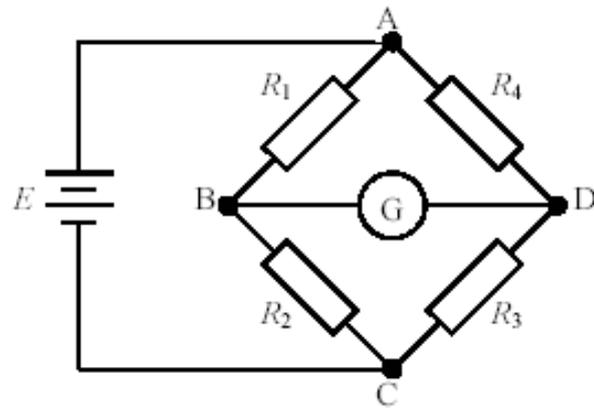
惠斯登電橋 Wheatstone Bridge

- 將四個電阻器首尾相接，連成一個迴路，在其一的對角接點接入電源，另外的一對角接點連接一個中間零位的檢流計，便組成一個電橋。這樣的電橋，叫做惠斯登電橋。



惠斯登電橋 Wheatstone Bridge

- B點的電位高於D點電位時，有電流由B點經檢流計G流向D點，檢流計會給出電流的讀數。
- D點的電位高於B點電位時，則電流會由D點經檢流計流向B點，檢流計給出反向電流的讀數。
- 當B點的電位等於D點電位時，電橋被稱為平衡。



惠斯登電橋 Wheatstone Bridge

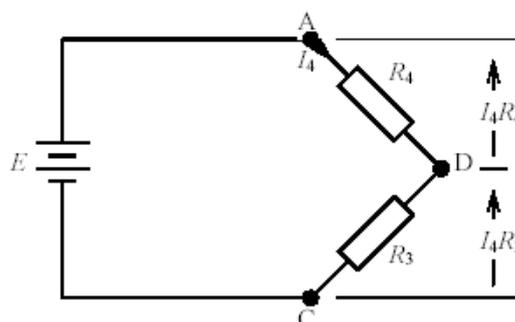
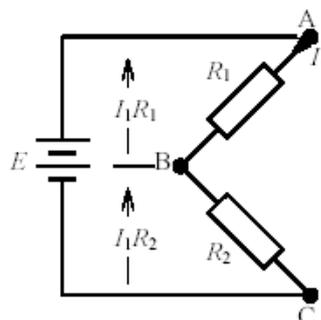
電橋平衡時：

$$R_1 \text{ 的電壓} = I_1 R_1$$

$$R_2 \text{ 的電壓} = I_1 R_2$$

$$R_4 \text{ 的電壓} = I_4 R_4$$

$$R_3 \text{ 的電壓} = I_4 R_3$$



惠斯登電橋 Wheatstone Bridge

電橋平衡時：

B 點的電位等於D 點電位時，沒有電流流經BD 兩點間， R_2 的電壓等於 R_3 的電壓。

$$I_1 R_2 = I_4 R_3 \quad \text{同樣地，} \quad I_1 R_1 = I_4 R_4$$

R_1 與 R_2 間的電壓比等於 R_4 與 R_3 間電壓比，

$$\frac{I_1 R_1}{I_1 R_2} = \frac{I_4 R_4}{I_4 R_3} \longrightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

惠斯登電橋 Wheatstone Bridge

應用

利用三個已知阻值的電阻器與一個不知阻值的物體組成惠斯登電橋，便可量度該物體的電阻值。當電橋平衡時，被測物體電阻值的測量誤差是取決於電橋中電阻的比例，**不受電源穩定性和電錶準確度的影響**，採用惠斯登電橋量度電阻，可以有較闊的量程，適用於量度很高或很低的電阻值。

惠斯登電橋 Wheatstone Bridge

例題三

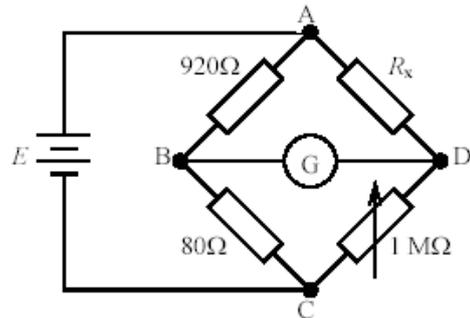
920 Ω 和 80 Ω 的電阻器與一個可變電阻器及 R_x 組成惠斯登電橋，當調較可變電阻器至沒有電流流經檢流計 G 時，可變電阻器的阻值是 1 MΩ。計算 R_x 的電阻值。

答案

電橋平衡時，

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3} \longrightarrow \frac{920}{80} = \frac{R_x}{1M}$$

$$R_x = 11.5M\Omega$$



惠斯登電橋 Wheatstone Bridge

例題四

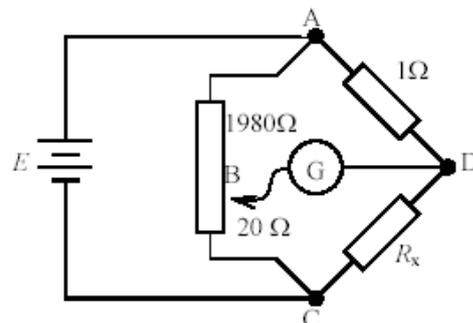
2k Ω 的可變電阻器、1 Ω 電阻器與 R_x 組成惠斯登電橋，當連接可變電阻器與檢流計的觸點移至 B 點位置時，AB 兩點間的電阻是 1980 Ω，BC 兩點間的電阻是 20 Ω，電橋取得平衡，計算 R_x 的電阻值。

答案

電橋平衡時，

$$\frac{1920}{20} = \frac{1}{R_x}$$

$$R_x = 0.0101\Omega$$



惠斯登電橋 Wheatstone Bridge

例題五

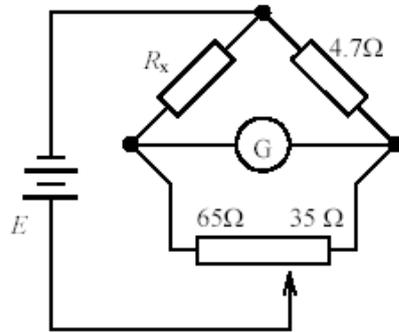
利用一個 $4.7\ \Omega$ 電阻器和一個 $100\ \Omega$ 的可變電阻器量度 R_x ，當調較可變電阻器至電橋平衡時，電路中各部份的電阻值如右圖所示。計算 R_x 的電阻值。

答案

電橋平衡時，

$$\frac{R_x}{4.7} = \frac{65}{35}$$

$$R_x = 8.7286\ \Omega$$

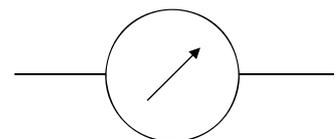


練習題

例題六 (04-05 補考 第20題)

下圖的原電表之內阻值為 $500\ \Omega$ ，滿載刻度電流為 5mA ，將它設計為下列讀數的三用儀表。並繪出電路圖。

- 電流表 (i) 2mA (ii) 1A
- 電壓表 (i) 20V (ii) 100V
- 並聯式電阻表 (內置電池電壓為 9V)
 - 限流電阻 (R_s)
 - 半刻度電阻 (R_H)



$$R_m = 500\ \Omega$$
$$I_m = 5\text{mA}$$

練習題

堂課 (04-05 補考 第20題)

答案

a. 電流表

(i) 2mA

$$V_m = I_m \times R_m = 2.5V$$

$$I_1 = I - I_m = 0.02 - 0.005 = 0.015A$$

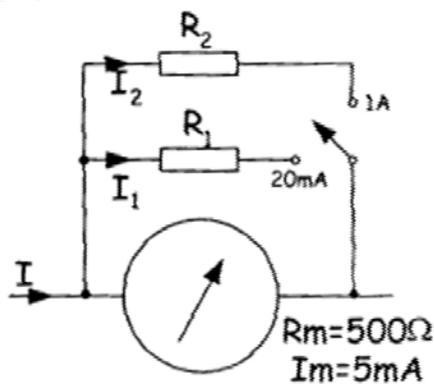
$$R_1 = V_m / I_1 = 2.5 / 0.015 = 166.67 \Omega$$

(ii) 1A

$$V_m = I_m \times R_m = 2.5V$$

$$I_2 = I - I_m = 1 - 0.005 = 0.995A$$

$$R_2 = V_m / I_2 = 2.5 / 0.995 = 2.51 \Omega$$



練習題

堂課 (04-05 補考 第20題)

答案

b. 電壓表

$$V_m = I_m \times R_m = 2.5V$$

$$I_3 = I_4 = I_m = 0.005A$$

(i) 10V

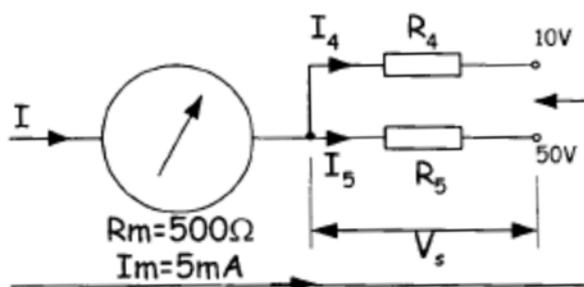
$$V_s = V - V_m = 10 - 2.5 = 7.5V$$

$$R_3 = V_s / I_3 = 7.5 / 0.005 = 1.5k\Omega$$

(ii) 50V

$$V_s = V - V_m = 50 - 2.5 = 47.5V$$

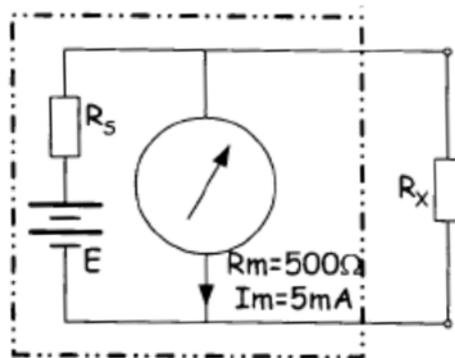
$$R_4 = V_s / I_4 = 47.5 / 0.005 = 9.5k\Omega$$



練習題

堂課 (04-05 補考 第20題)

答案



c. 並聯式電阻表 (內置電池電壓為9V)

(i) 限流電阻 (R_s)

$$\begin{aligned} R_s &= (E / I_m) - R_m = (9 / 0.005) - 500 \\ &= 1.3\text{k}\Omega \end{aligned}$$

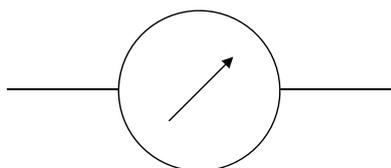
(ii) 半刻度電阻 (R_H)

$$\begin{aligned} R_H &= (R_s^{-1} + R_m^{-1})^{-1} = (1300^{-1} + 500^{-1})^{-1} \\ &= 361.11 \Omega \end{aligned}$$

練習題

堂課 (07-08 第12b題)

下圖的原電表之內阻值為 100Ω ，滿載刻度電流為 1mA ，將它設計為下列讀數的三用儀表。



$$\begin{aligned} R_m &= 100\Omega \\ I_m &= 1\text{mA} \end{aligned}$$

電錶

- 常用的測量儀錶有電流錶，電壓錶，電功率錶，電阻錶，兆歐錶等。
- 儀錶可分為指針式及數字式兩種
 - 指南針式大致可分為下列三大類：
 - 動圈式
 - 動鐵式
 - 電動式
 - 數字式多由電子電路組成，讀數較精確容易，但價錢較貴，亦有由指計式改裝，價錢較平。

指針式儀錶

- 電錶的作用是量度訊號、它應要準確和能快速及平穩地給出讀數。電錶有三個主要的部份：
 - 偏轉裝置 (Deflecting device)
 - 控制裝置 (Controlling device)
 - 阻尼裝置 (Damping device)

偏轉裝置 Deflecting device

- 電錶以偏轉裝置分類，最常見的電錶有永磁動圈式電錶、動鐵式電錶和電動式電錶。電流流經電錶的偏轉裝置，產生動力，帶動指針偏轉。
- 一般的指針式儀錶的偏轉方向是順時針偏轉，最大偏轉角度約90度。
- 但用作測量微弱電流的靈敏電流錶 (Galvanometer)，其指針正常時在中間位置，根據電流的極性作左右偏轉。

控制裝置 Controlling device

- 控制裝置的作用是平衡偏轉裝置所產生的動力，使指針停在適當的度上。
- 常用的控制裝置有游絲(圓盤式彈簧)和重力。
- 應用重力作為控制裝置的電錶，錶面會印有「 \perp 」的標記，電錶須要垂直地放置，例如掣櫃上的電錶。

阻尼裝置 Damping device

- 在指針得到動力產生偏轉和仍未受到控制裝置所平衡前，指針會出現擺動。阻尼裝置的作用是減少指針擺動的幅度和讓指針能盡快給出讀數。
- 阻尼裝置可分為下列兩大類
 - 空氣盒阻尼 (Air Damping)
 - 渦流阻尼 (Eddy Current Damping)

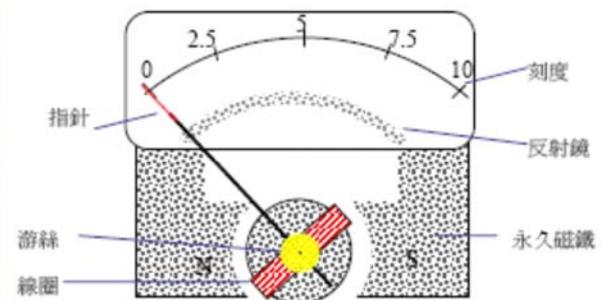
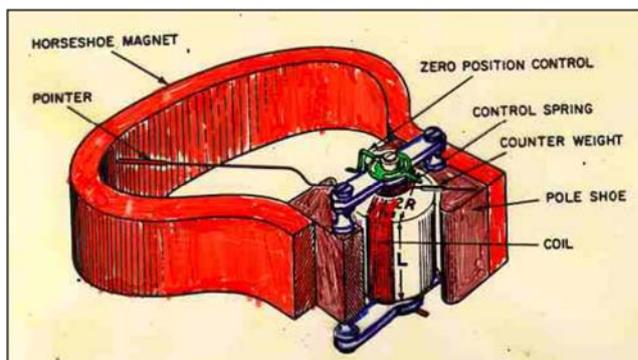
空氣盒阻尼 Air Damping

- 將一塊金屬薄片(稱為空氣阻尼片)，固定於儀錶的轉軸上，部份使用小盒包裹，當指針偏轉時，由於阻尼片兩側的壓力差而形成了阻尼力矩，使指針可在讀數位置停下來，一般在動鐵式及電動式儀錶中使用。

渦流阻尼 Eddy Current Damping

- 將活動線圈繞於一個鋁框上，當鋁框偏轉時，切割永久磁場的磁力線，鋁框感應出渦流，根據楞次定律，這個電流將造成一個阻止線圈運動的轉矩，主要用於動圈式儀錶。

永磁動圈式電錶



工作原理：訊號電流流經動圈產生的磁場，與永久磁鐵的磁場交互下，產生作用力，推動動圈，帶動指針偏轉。動圈的偏轉角度和電流成正比。訊號電流愈強，指針的偏轉角度愈大。訊號電流方向逆向，動圈反向偏轉。電錶不適用於量度交流電。

永磁動圈式電錶

偏轉裝置：永久磁鐵和動圈

控制裝置：圓盤形彈簧

阻尼裝置：動圈架內的渦流

適用範圍：直流電流和電壓

永磁動圈式電錶 - 優點及限制

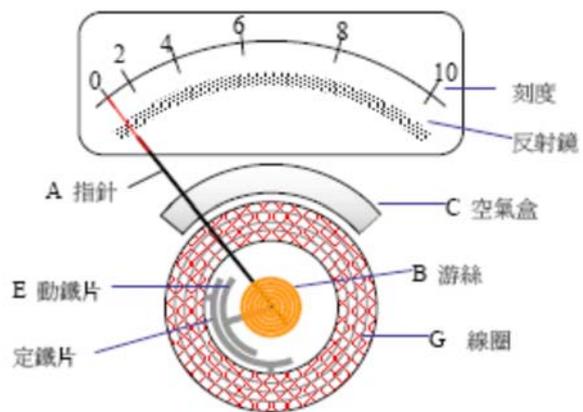
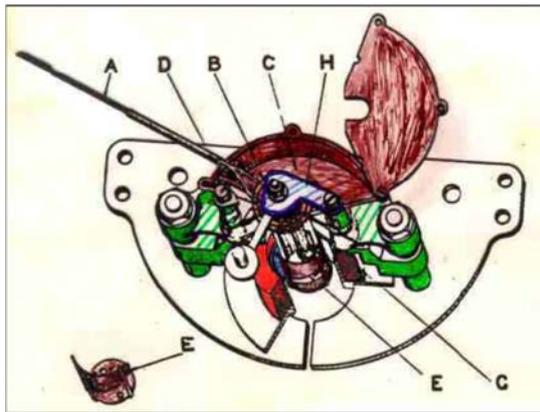
優點

1. 靈敏度高
2. 刻度均勻
3. 良好阻尼
4. 低功率消耗
5. 不受外來磁場影響

限制

1. 只適用於直流電
2. 較昂貴
3. 過載能力差

動鐵式電錶



工作原理：電流流經線圈，使線圈內的固定鐵片和動鐵片一起充磁，且極性相同，在同性磁極相拒的作用下，動鐵片帶動指針偏轉；偏轉角度與電流的平方成正比。線圈電流方向逆向，固定鐵片和動鐵片的磁極一同反轉，且極性相同，動鐵片同樣受到排斥，帶動指針偏轉。電錶的偏轉不受電流方向的影響。

動鐵式電錶

- 偏轉機構：線圈，固定鐵片，活動鐵片
- 控制機構：游絲或重力
- 阻尼機構：空氣盒
- 適用範圍：直流及交流電壓和電流

動鐵式電錶 - 優點及限制

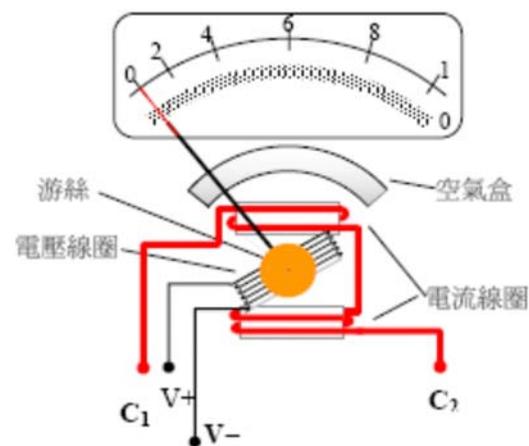
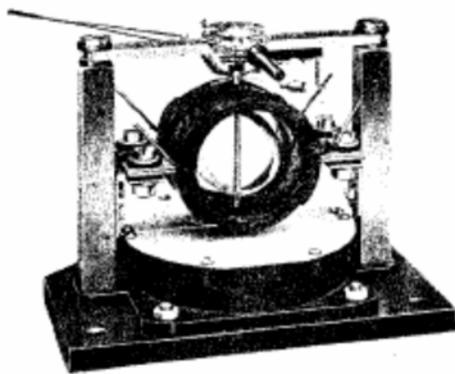
優點

1. 結構簡單和結實
2. 造價較便宜
3. 量度有效值
4. 低功率適用於交流電和直流電的量度
5. 過載能力較佳
6. 不受外來磁場可無需輔助設備而直接測量大電流

限制

1. 刻度不均勻
2. 易受外磁影響
3. 易受溫度影響
4. 定鐵片和動鐵片的磁滯影響準確度

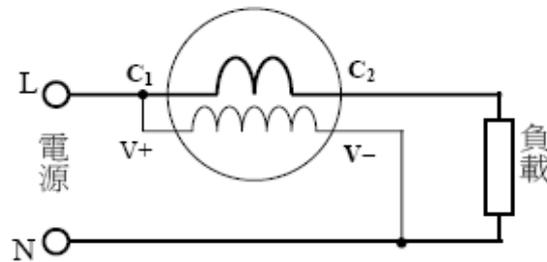
電動式電錶



工作原理：由固定線圈取代永磁動圈式儀錶的永久磁鐵；當固定線圈(電流線圈)通以電流時產生磁場，又當動線圈(電壓線圈)加有電壓時，電壓會推動電流流經動圈，繼而產生另一的磁場；在兩磁場的交互作用下產生作用力，推動動圈使指針偏轉。偏轉角度與固定線圈和動線圈的電流乘積成正比。

電動式電錶

- 偏轉裝置：電流線圈和電壓線圈
- 控制裝置：游絲
- 阻尼裝置：空氣盒
- 適用範圍：交流電和直流電的電壓、電流和功率。



瓦特錶電路圖

電動式電錶 - 優點及限制

優點

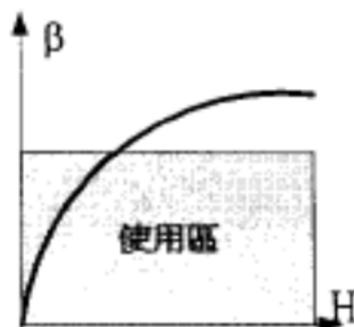
1. 適用於交、直流電
2. 可測量非正弦波的有效值
3. 靈敏度和準確度比用於交流的其他儀錶為高

限制

1. 刻度不均勻
2. 易受外磁影響
3. 過載能力差

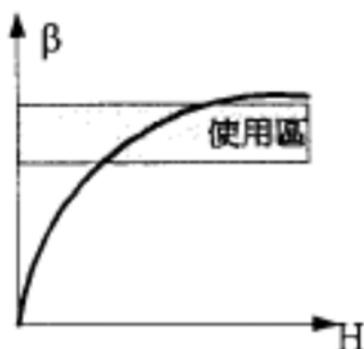
保護變流器

- 保護變流器 (Protection Current Transformer) 主要工作於磁滯曲線底部較接近直線的位置，由於磁場強度與電流成正比，初級電流增大的同時，次級電流同時增加，保護系統因而工作於最佳狀態。



量度變流器

- 保護變流器 (Measuring Current Transformer) 主要工作於磁滯曲線接近靜止點 (Saturation Point) 的位置，因此，若量度電流過大時，由於已處於靜止點，儀錶的電流亦不會提升，損毀儀錶。



電的測量儀器 (Electrical measuring instruments)

當電路在工作時，我們可能需要知道某點的電流，某端的電壓，或某電路的電功率，這時便需要用儀錶來測量；而常用作測量的儀錶有電流錶，電壓錶、電功率錶、頻率錶、電阻錶、兆歐錶等等。

現代儀錶更可分為數字式及指針式兩種，數字式多由電子電路組成，讀數較精確容易。但價錢較貴；指針式主要是靠電磁原理的推斥力造成，讀數較麻煩及精確度較差，但價錢較平。基本上大多數的指針式儀錶都是由電流錶原理改裝而成的，而電流錶大致可分為下列三大類：

1. 動圈式
2. 動鐵式；
3. 電動式

一般的指針式儀錶的偏轉方向通常是順時針，最大偏轉角度是90度旋轉，但一些靈敏電流錶(Galvanometer)，專用來測量微弱的電流，其指針正常時在中間，可根據其極性左右偏轉。

動圈式儀錶 (Moving coil instrument)

動圈式儀錶有一線圈處於由永久磁鐵產生的磁場氣隙中，被測電流將輸入這線圈，當線圈中有被測電流流過時，通有電流的線圈在磁場中受作用力，相對磁場產生推斥力，由於線圈與主軸相連，指針裝於主軸上，所以帶動指針偏轉。指針的主軸頂部及底部分別裝有不同方向繞出的彈簧游絲。

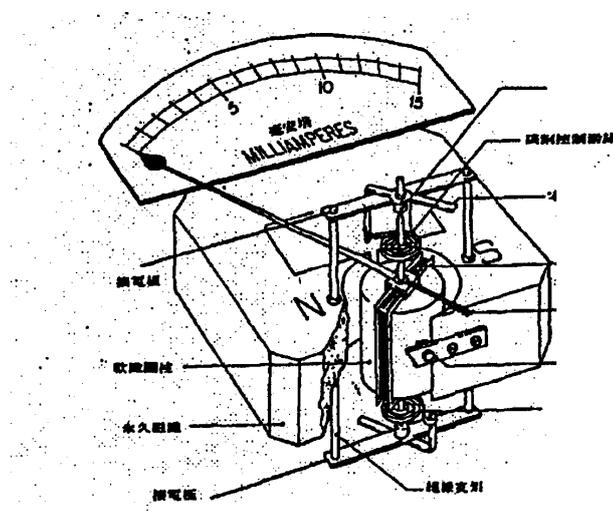
因為適樣可保償熱膨脹效應；游絲更可穩定動圈的左右旋轉及產生一彈簧力矩，而動圈的電流一般都利用游絲作輸入及輸出；當偏轉力短與彈簧力短相等時，指針便停止循轉並得到讀數；偏轉角度與線圈電流成正比；當電流停止，游絲利用慣性將線圈牽回原位；由於指針偏轉由線圈帶動，所以叫動圈式。

優點

1. 指示度均勻
2. 靈敏度及準確度較高
3. 讀數受外界磁場影響小

缺點

1. 錶頭本身只能用來測量直流
2. 過載能力差



動鐵式儀錶 (Moving iron instrument)

動鐵式儀錶有一安裝於固定位置線圈，被測電流同樣輸入這線圈，在線圈內有一塊固定鐵片和一塊裝在轉軸上的動鐵片，彈簧游絲及指針裝在主軸頂部，作用與動圈式一樣。

當線圈中有被測電流流過時，使固定線圈產生磁場，定鐵片 and 動鐵片同時被磁化，並呈同一極性；由於同性相斥的緣故，動鐵片便帶動轉軸一起偏轉，當與游絲彈簧反作用力矩平衡時，便獲得讀數。若通過的電流愈大，則電磁場亦較強，斥力也強，故偏轉角度也大。當電流停止，游絲利用慣性將主軸牽回原位。由於指針偏轉由動鐵片帶動，所以叫動鐵式。

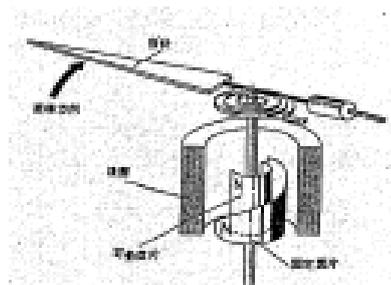
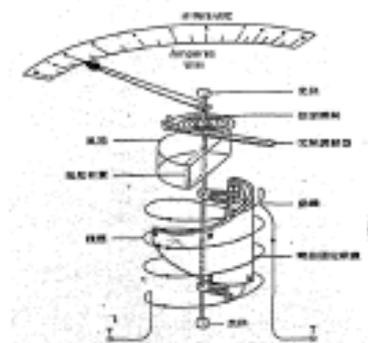
測試電流如換為交流電，結果也同理產生推斥力，只是被磁化的方向不停地改變，但動片與定片仍產生相對的推斥力，這種電錶磁化擺動角度和通過電流強度平方成正比，對電流變化方向沒有關係，所以也適用於交流測量。

優點：

1. 適用於交流及直流測量
2. 過載能力強
3. 可無需輔助設備而直接測量大電流
4. 可用來測量非正弦量的有效值

缺點：

1. 指示度不均勻
2. 靈敏度及準確度不高
3. 讀數易受外界磁場影響



電動式儀錶 (Dynamometer type instrument)

電動式儀錶一般用作量度功率，故稱為 (Watt meter) 功率錶，可直接讀出直流電路功率及交流電路的平均功率。它主要由固定線圈和活動線圈所組成，固定線圈也稱為電流線圈，用粗線少線圈繞成，和測試電路串聯，位置永遠沒有變動；活動線圈是電壓線圈，用幼線及較多線圈繞成再串聯一無感降壓電阻，裝於指針主軸上，主軸頂部及低部同樣裝有不同方向的彈簧游絲，當固定線圈及活動線圈通有電流後，由於載流導體磁場間的相互作用，因而使活動線圈偏轉，偏轉角度與電流線圈電流及電壓線圈電壓成正比，當偏轉力矩與彈簧反作用力矩平衡時，便獲得讀數。

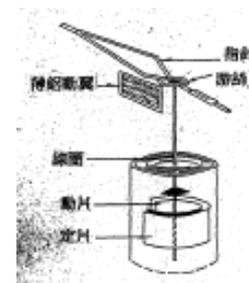
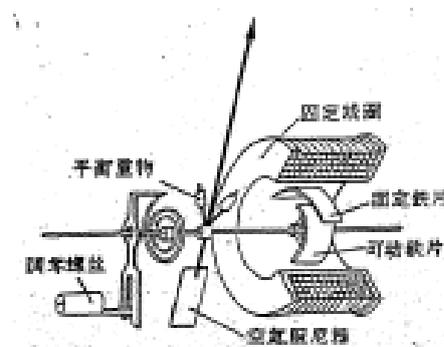
當這種儀錶用於交流電路測量時，動圈由於存在慣性，而取一個週期內的平均偏轉力矩，為游絲的回復力矩平衡的位置，所以儀錶能以讀取交流電路的平均功率來刻度。此種儀錶除可量度功率外，將兩線圈並聯後可作電流錶使用；將兩線圈及無感電阻串聯也可量度電壓。

優點：

1. 適用於交流及直流測量
2. 靈敏度及準確度比用於交流其他型式儀錶為高
3. 可用來測量非正弦量的有效值

缺點：

1. 指示度不均勻
2. 過載能力差
3. 讀數易受外界磁場影響



阻尼裝置 (Damping device)

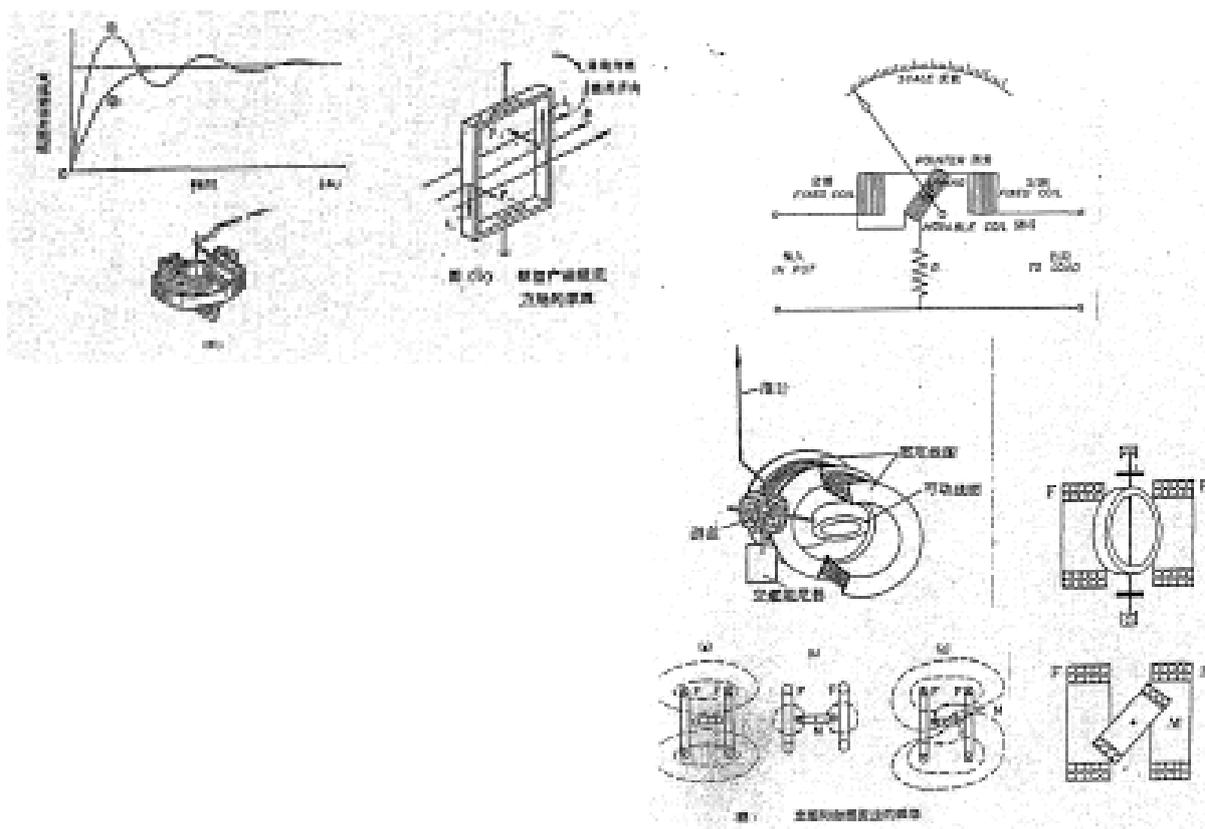
在各類型的電流錶中，為了防止偏轉指針因慣性，而在指示平衡點位置附近來回擺動，如圖 (a) 曲線 (1)，使之得以迅速達到最終位置而靜止下來，如圖 (a) 曲線 (2)，一般都加裝了阻尼系統，它的主要作用在消耗偏轉系統的能量，阻尼裝置可分為二大類；

1. 渦流阻尼 (Eddy current damping)

渦流阻尼主要用於動圈式儀錶，它將活動線圈繞於一個鋁框上，當鋁框偏轉時，切割永久磁場的磁力線，便在鋁框當中感應出電流，如圖(b)，這種電流叫渦流，根據楞次定律，這種電流將造成一個阻止線圈運動的轉矩。

2. 空氣阻尼 (Air damping)

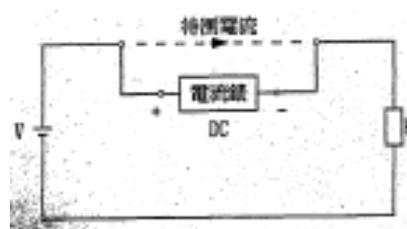
空氣阻尼通常用於動鐵式及電動式儀錶中，它將一塊金屬薄片，叫空氣阻尼片，固定於儀錶的轉軸上，一些更用小盒包裹，如圖(c)當指針偏轉時，由於阻尼片兩側空氣的壓力差而形成了阻尼力矩，使指針可在讀數位置停下來。



電流錶的測量 (Measurement of ammeter)

若要量度一電路的電流，必須知道電源是屬於交流或直流，通常電流錶會註明可量度的電源，動圈式有可量度AC及DC，但使用時兩者不能互換，必須接適當電源，否則讀數可能不準或沒有讀數；但動鐵式則兩者都可以量度，除此之外，更要留意下列各項：

1. 根據電源的類別，選擇交流或直流的電流錶。
2. 估計電路的最大電流，選擇適當量程的電流錶，否則可能令電流錶損毀。
3. 量度直流時，必須根據正負極性接駁，否則電流錶會反方向偏轉少許便停止。
4. 接駁電流錶時，要與測量電流的電路接成(串聯)，並聯接駁會使電流錶燒毀。

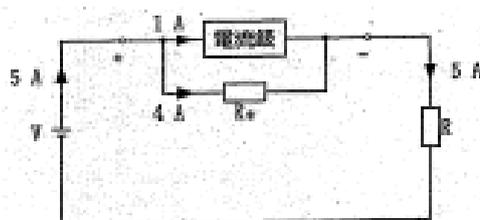


電流錶的分流器 (Shunt of ammeter)

一個電流錶可量度多少電流量的大小，往往視乎電流錶內的線圈粗幼而定，但由於線圈不能造得太重，所以通常都是用較幼線圈繞成，其錶頭內阻十分低，而設計電流錶時，便會根據線圈阻值所承受的最大電流而設計出錶頭產生滿幅度偏轉的電流，使用時應以這電流為限，這個電流更可表示線圈的靈敏度，滿幅度電流愈小，表示靈敏度愈高，相反則表示愈低。

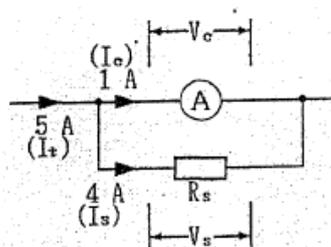
由於量度電流時，電流錶的接法與電路串聯，若電流錶的滿幅度電流為1A，則電路最大的電流應同樣為1A，否則過大的可使電流錶燒毀；若測試電流為5A，可用加裝分流器的方法，使1A錶頭改裝為5A甚至更大的電流量。

分流器為電阻器，與錶頭並聯，所以構成分流電路，只要計算阻值使分流器得到4A之電流，其餘的1A仍然流向錶頭，便可量度5A之電流。



根據上電路圖，若已知錶頭的線圈內阻為 $R_0 = 5\Omega$ ，流向錶頭的電流 $I_0 = 1\text{A}$ ，更改後的滿偏轉電流 $I_t = 5\text{A}$ ，流往分流器的電流為 $I_s = 4\text{A}$ ，根據歐姆定律，電流流過錶頭的電壓降 V_0 ，應等於電流流過分流器 R_s 的電壓降 V_s ，所以若要計算分流器阻值時，我們可得到以下關係：

$$\begin{aligned} I_s &= I_t - I_0 \\ V_0 &= V_s \\ I_0 \cdot R_0 &= I_s \cdot R_s \\ R_s &= (I_0 \cdot R_0) / I_s \\ &= (1 \times 5) / 4 \\ &= 1.25\Omega \end{aligned}$$



並聯一 1.25Ω 分流器於錶頭，便可量度5A電流。

一般可量度大電流的量度，都是使用加分流器的方法，但它必須為誤差甚低及可承受大電流的低阻電阻器，在實際應用中，整個錶頭的內阻也甚低，否則測量電流時，由於串聯的關係，會在錶頭產生一電壓降，這樣便會影響電路的工作狀態，靈敏度高的電流錶，在接駁電路時，可看成短路，內阻為零，這樣才不會影響被測的電路。

V_0 = 錶頭的電壓降

V_s = 分流器的電壓降

I_t = 更改後可量度的滿偏轉電流

I_0 = 錶頭的滿偏轉電流

I_s = 分流器的電流

R_0 = 錶頭的電阻

R_s = 分流器的電阻

例：一動圈式電流錶滿幅度電流為15mA，若動圈的電阻為 5Ω ，求

a. 量程改為1A的電流錶的分流器阻值及接線圖 (R_{s1})

b. 量程改為5A的電流錶的分流器阻值及接線圖 (R_{s2})

已知 $I_0 = 15\text{mA}$

$R_0 = 5\Omega$

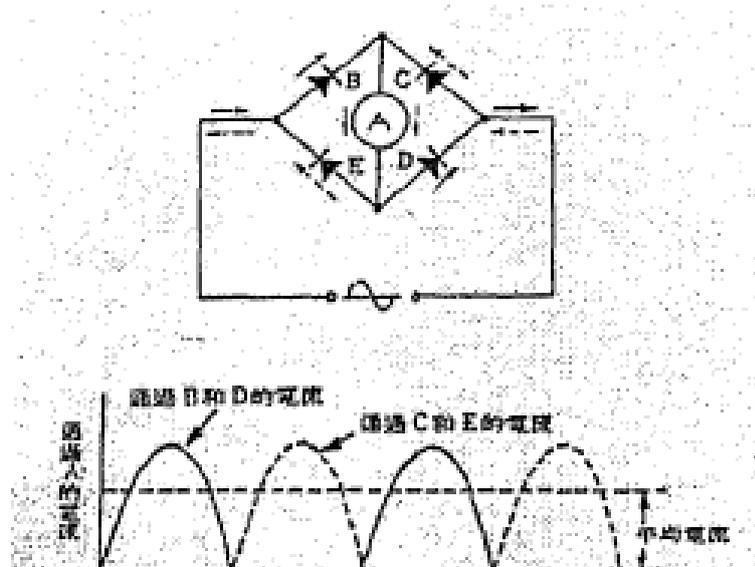
整流式電流錶和電壓錶 (Rectifier ammeter & voltmeter)

由於動圈式儀錶只適用於直流使用，不能用於交流，雖然動鐵式可量度交流，但它的靈敏度又較差，所以實際應用多使用整流式電流錶和電壓錶，以量度交流，基本上它們是整流器與動圈式儀錶配合而成。

整流式儀錶通常使用橋式全波整流電路將交流變成直流，接線圖如下圖示，它主要利用四隻二極管的單向導電特性，使電流只能從二極管的箭頭方向流入，反向便沒有電流。

圖中實線表示交流電正半波時的電流方向，此時只有B，D二極管導通工作；虛線表示交流電負半波時的電流方向，此時為C，E二極管導通工作，我們可看到錶頭的電流方向在正負半波都一致，所以輸入為直流電。

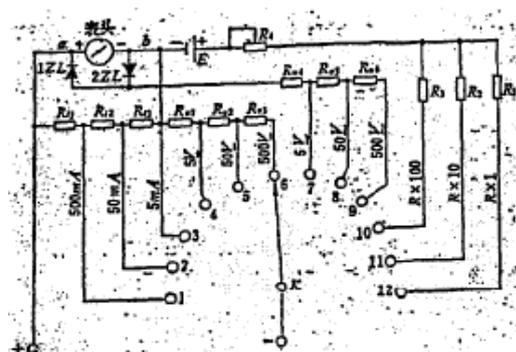
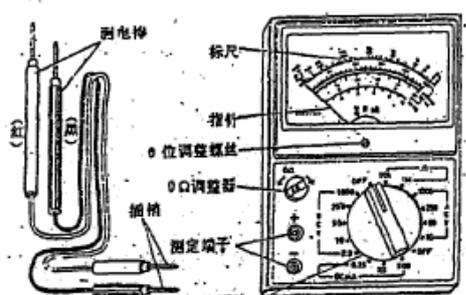
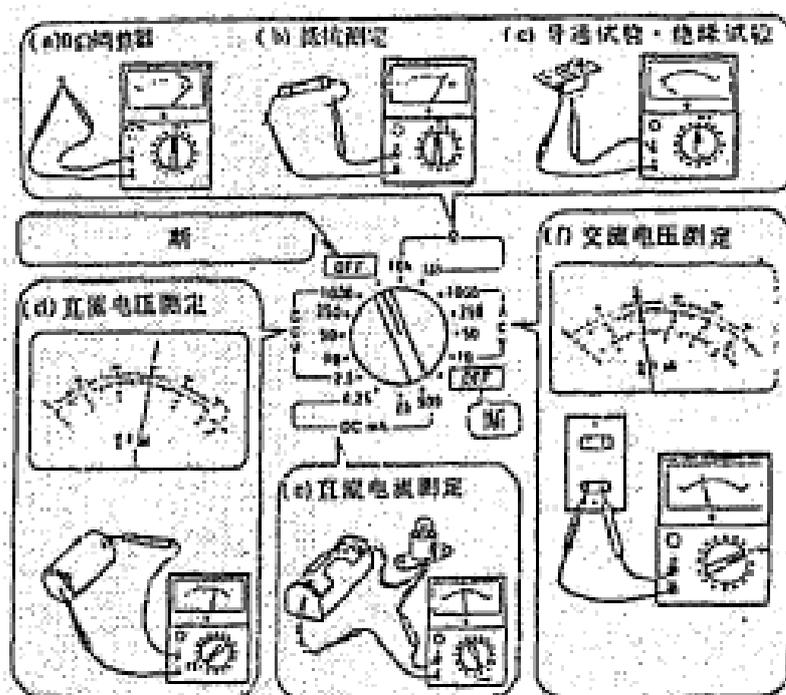
除全波橋式整流外，更可用半波整流電路使交流電轉變成脈動的直流，這種接法多用於三用萬用電錶內，它只用一隻二極管，所以較簡單經濟，但輸出平均直流電壓較橋式整流為低。



萬用電錶 (Multitester)

萬用電錶是一種多用途和多量程的測量儀錶，一般可以測量直流電流、直流電壓、交流電壓和直流電阻，而且每一測量項目都有幾個不同的量程，比較好及價錢貴一些的品種更可測量交流電流、音頻功率、音頻電平、阻抗、電感、電容以及晶體管的某些參數等。由於萬用電錶的用途廣，使用方便，所以在電機行業廣泛使用

萬用電錶主要利用一個靈敏度高的動圈式錶頭作指示器，它的靈敏通常以測量電壓時，每伏需用多少歐的電阻值 Q/V 來衡量，其數值愈大表示靈敏度愈高；再利用精密電阻，電池，測試錶棒及選擇制的不同組合接法，便可得到不同測量功能，下圖 (a) 為一萬用電錶的測量用途圖，線路圖及外形圖。

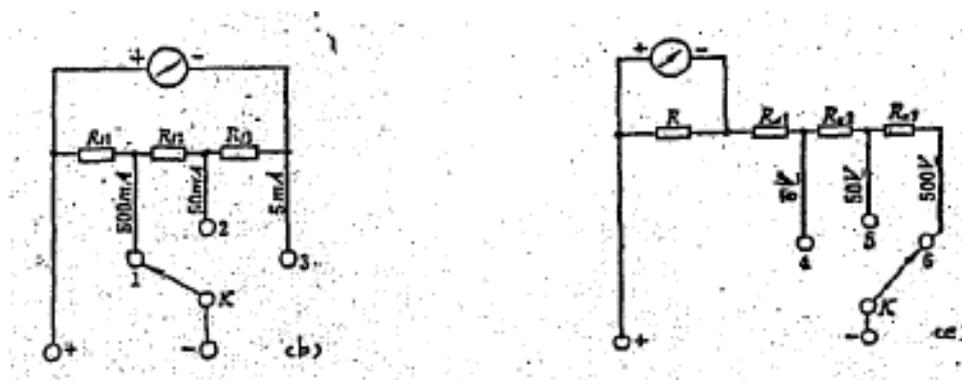


1. 直流電流的測量

萬用電錶在測量直流電流時，主要利用不同的分流器，從而得到不同的量程，如圖 (b) 示，測試時要分極性及與電路接成串聯，若不能估計電流量時，應選用最大電流的量程，再慢慢調細，則比較安全。

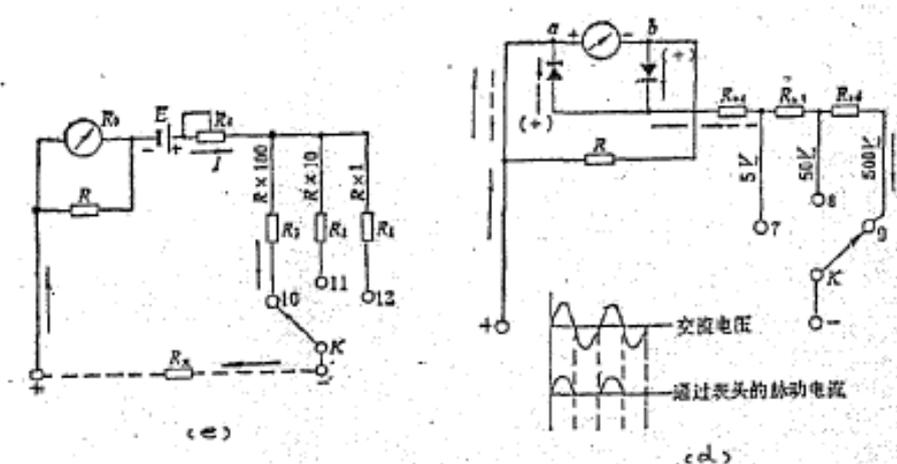
2. 測量直流電壓

萬用電錶在測量直流電壓時，主要利用不同的倍壓器，從而得到不同的電壓量程，如圖 (c) 示，測試時也要分極性及與電路接成並聯，若不能估計電壓大小時，也應選用最大電壓的量程，再慢慢調細，直至指針容易讀出讀數。



3. 測量交流電壓

萬用電錶在測量交流電壓有效值時，工作原理基本上與測量直流電壓一樣，但接駁時可無需分別正極或負極，因電路中使用一個半波整流電路，將交流變為直流電，使動圈式錶頭產生偏轉，圖 (d) 為測量交流電壓的電路圖，圖中實線表示測量電壓在正半波時的電流行走路線，我們可看到只有在正半波時，才有電流流過錶頭，所以錶頭一週內只得到脈動直流電正半波平均值，而交流正弦波與平均值有比值的關係，所以只要刻度加以更改，便可顯示交流電的有效值。



4. 電阻的測量

測量電阻時，萬用錶利用了內部的乾電池和不同的電阻組成一個簡單的歐姆錶電路，如圖 (e) 所示，當被測電阻 R_x 接於萬用錶的正端及負端時，此時便成為一完整電路，使電路產生電流，從而使指針的偏轉角度生變化，所以從偏轉角度大小，便可知道 R_x 的大小，而測量電阻愈小，偏轉角度愈大，相反測量電阻愈大，偏轉角度愈小，所以電阻檔的刻度靜止時無限大，滿幅度偏轉時為零，與電流及電壓檔位相反，測量電阻時，更要留意下列各點：

- A. 在測量電阻前，首先將萬用錶調到適當量程的歐姆檔，再將兩錶棒短路，利用零位調整旋鈕，如圖 (e) R_4 的可變電阻，調校指針至零位，以確定錶棒之間沒有電阻，然後才進行測量，但每次變換量程，都必須重新調零位後再用。
- B. 被測電阻必須從電路中焊或拆下來，或至少要焊或拆開一接點，以免電路中其他的分路，對測試產生誤差。
- C. 由於人體有一定電阻，測試時手不要接觸測試的導電部分。
- D. 選擇量程時，盡可能使指針落在刻度線的中間位置，以提高讀的準確。

兆歐錶(Megger tester)

兆歐錶是用來測量高阻值電阻儀錶側量高阻，例如電氣設備的電路絕緣電阻等，也可以直接指出所測量的電阻值，它的刻度通常以兆歐為單位，故稱為兆歐錶。

兆歐錶主要利用一個手搖發電機產生一 500 - 2500V 的直流電壓，以作測量時能源之用，錶頭的結構如圖 (a) 示，它的固定部份由永久磁鐵，極掌和開口環形鐵芯組成，極掌形狀特殊，是為了使極掌和鐵芯之間空氣隙不均勻，從而使空氣隙內的磁場分佈不均勻，可動部份由兩個互成一定角度的活動線圈 1 和 2 組成，線圈和指針都固定在同一轉軸上，這種錶頭沒有產生反抗力矩的游絲，電流是利用柔軟的細金屬絲引入線圈的。

圖(b)為兆歐錶的接線圖，被測的絕緣電阻 R_x 按於端鈕(線) L 和(地) E 之間， R_x 與可動總圈 1 以及附加電阻 R_{A1} 串聯構成一支路，另一可動線圈 2 又與附加電阻 R_{A2} 串聯構成另一支路，當搖動手搖發電機後，感應的電流分別在兩條支路產生 I_1 和 I_2 ，並可得到下列的關係

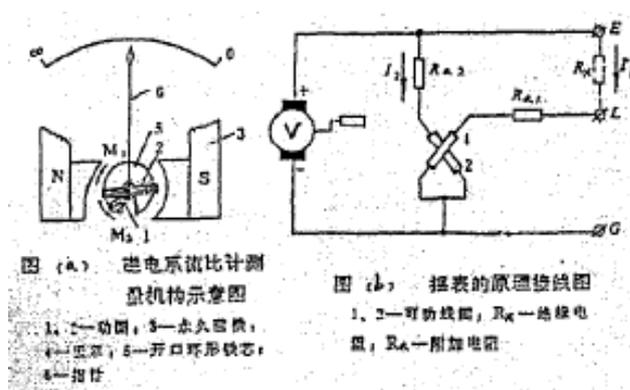
$$I_1 = V / (R_x + R_{A1} + R_1)$$

$$I_2 = V / (R_{A2} + R_2)$$

$$V = \text{發電機的端電壓}$$

$$R_1 = \text{線圈 1 本身的電阻}$$

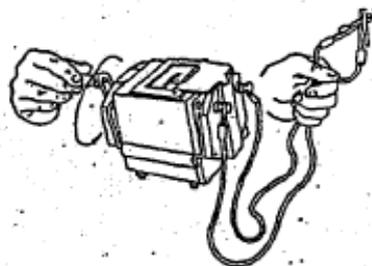
$$R_2 = \text{線圈 2 本身的電阻}$$



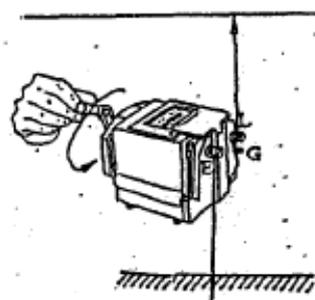
可動線圈 1 和 2 在永久磁鐵的磁場中受到電磁力的作用，將分別產生轉矩 M_1 和 M_2 ，它們的方向相反，由於氣隙磁場不均勻，而且電流 I_1 與被測絕緣電阻 R_x 的大小有關，所以當 M_1 和 M_2 達到平衡時，指針偏轉的角度可以指示出被測電阻的數值。若 R_x 開路或接無限大的電阻，則線圈 1 沒有電流，只有線圈 2 有電流並產生轉矩 M_2 ，而沒有 M_1 的產生，故指針逆時針方向轉並停在無限大的位置；若 R_x 的阻值為零，線圈 1 的電流最大， M_1 的轉矩遠遠大於 M_2 ，指針順時針方向轉並指向零電阻位置。

絕緣電阻的測量 (Measurement of Megger)

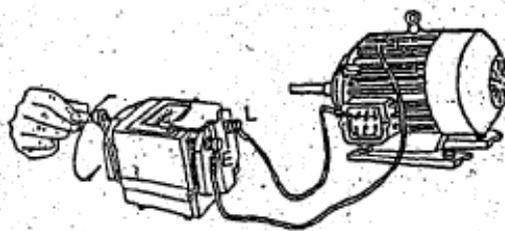
1. 測量帶電的設備，必須關閉電源。
2. 兆歐錶放置應平穩，避免錶身震動。
3. 在未測絕緣阻值前，接上兆歐錶的兩錶棒，並互相接觸，將手柄搖幾轉。試看錶針是否指向 "0" 位，接著分開兩錶棒，再搖幾轉，看銀針是否指向 " ∞ " 位，若兩次都是正確讀數，才可進行測量。
4. 手搖發電機的轉速以每分鐘 120 轉左右為宜，切忌時快時慢。
5. 絕緣電阻隨測量時間長短而不同，一般以發電機穩定轉速下持續搖一分鐘之後的讀數為準。
6. 測量時，如果發現被測設備的絕緣電阻等於零，應立刻停止搖動手柄，以免損壞兆歐錶。
7. 在兆歐錶沒有停止搖動和設備沒有對地放電之前，切勿觸及測量部份和兆歐錶的接線端鈕，以免觸電。
8. 測量完畢後，應將被測設備對地放電，以免潛佈電容量引起觸電。



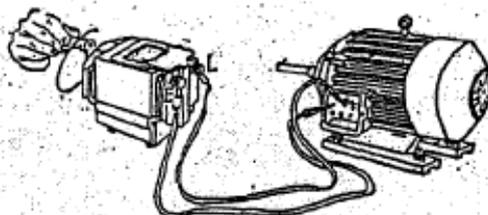
图： 摇表的校试方法



图： 测量线路对地的绝缘电阻



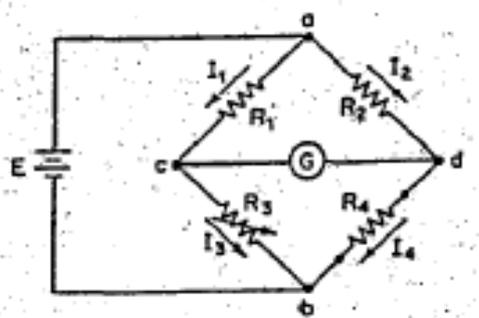
图： 测量电动机绕组对地绝缘电阻示意图



图： 测量电动机相间绝缘电阻示意图

惠斯通電橋 (Wheatstone bridge)

惠斯通電橋，可用作測量電阻的阻值，線路如下圖示，網路 $adbca$ 的四個支路有兩個已知電阻 R_1 和 R_2 ，一個已知的可變電阻 R_3 及一個待測電阻 R_4 或叫 R_x ，電池接到網路結點 a 和 b ；檢流計 G 則接到 c 及 d 點之間。在電橋電路中，接成環形的四個電阻器稱為電橋的四個臂 (Arm)，其中 R_1 和 R_2 叫比例臂 (Ratio arm)， R_3 叫標準臂 (Standard arm)， R_x 叫做待測臂 (Unknown arm)。測試時將可變電阻 R_3 調節，直至檢流計沒有電流，這時我們說惠斯通電橋在平衡狀態；設通過 R_1 和 R_2 的電流分別是 I_1 和 I_2 ，由於平衡時電橋的 c 點與 d 點的電位差一樣，即表示 R_1 和 R_2 的電壓降一樣，所以通過 R_3 和 R_4 的電流 I_3 和 I_4 的電流同樣是 I_1 和 I_2 ，我們可得到以下關係：



$$I_1 \times R_1 = I_2 \times R_2 \dots\dots\dots (1)$$

$$I_1 = I_3 = E / (R_1 + R_3) \dots\dots\dots (2)$$

$$I_2 = I_4 = E / (R_2 + R_4) \dots\dots\dots (3)$$

將公式 (2) 和 (3) 代入公式 (1)

$$(E \times R_1) / (R_1 + R_3) = (E \times R_2) / (R_2 + R_4)$$

$$(R_1) / (R_1 + R_3) = (R_2) / (R_2 + R_4)$$

$$R_1 \times R_2 + R_1 \times R_4 = R_1 \times R_2 + R_2 \times R_3$$

$$R_1 \times R_4 = R_2 \times R_3$$

$$\mathbf{R_4 = (R_2 + R_3) / R_1}$$

利用以上公式，便可測出未知電阻 R_x 之阻值，以測試中度阻值電阻準確性最最高，測試時 R_1 ， R_2 及 R_3 一般由有刻有格數標準可變電阻器來提供，所以各電阻的阻值，更可直接從電阻器讀出，測出結果精確度十分高。在實際應用上，以上的配件及儀錶都會裝在同一箱子裡，叫惠斯通電橋錶，使用時只需外接待測電阻，便可進行測試。