

變壓器裝修能力本位訓練教材 電阻計使用

編號：PEM-TDM0203

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-TDM0203 學習指引

本單元你將學到使用高阻計測試各種電工機械或器材之絕緣電阻，並且使用電橋來測導線或繞組之電阻值。歡迎你進入本單元之學習。

引言

電阻計的使用依測量性質不同可區分下列三種：

- 一、高電阻：0.1M Ω 以上，指電機機械或器材線路與設備外殼間之絕緣電阻測量，使用高阻計來做測試，其單位為 M Ω 。
- 二、中電阻：0.1~100K Ω 之間，指一般器具電阻、線圈或繞組電阻值，一般使用惠斯登電橋來測量。
- 三、低電阻：0.1 Ω 以下電阻之測量，如一小段裸銅線、漆包線、PVC 導線、斷路器開關接點電阻……，一般使用雙比電橋測量。

定義

高電阻

0.1M Ω 以上之電阻稱之，使用高阻計測量。

中電阻

0.1 Ω ~100K Ω 之電阻稱之，使用惠斯登電橋測量。

低電阻

0.1 Ω 以下之電阻稱之，使用雙比電橋測量。

學習目標

- 一、不使用參考資料，你能夠使用高阻計測量高電阻，其誤差率不得超過 $\pm 5\%$ 。
- 二、不使用參考資料，你能夠使用惠斯登電橋測量中電阻，其誤差率不得超過 $\pm 5\%$ 。
- 三、不使用參考資料，你能夠使用雙比電橋測量低電阻，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)操作儀器測量。在使用儀器測量之前，你必須學習有關絕緣電阻、中電阻、低電阻測量之相關知識，你可以由下列六條直徑中選擇一途徑去學習。

- 一、閱讀本教材之第 6 頁至第 35 頁。
- 二、謝志定、鄭龍華主編 84 年電儀表實習教材 泰山職訓中心編印 $P_{105} \sim P_{135}$ 。
- 三、郭塗注、黃錦華編著 71 年電工儀表實習與應用 標高圖書儀器公司
 $P_{134} \sim P_{174}$ 。
- 四、游福照博士編著 80 年電工儀表 全華圖書 600D $P_{179} \sim P_{215}$ 。
- 五、林國煌編著 84 年電儀表實習 高立圖書公司印行 $P_{135} \sim P_{196}$ 。
- 六、蔡江林編著 86 年五專電工實習(三)電儀表 全華科技圖書公司
3-1~4-10, 3-1~10-11, 9-1~10-11。

本教材第一個學習目標是

不使用參考資料，你能夠使用高阻計測量高電阻，其誤差率不得超過 $\pm 5\%$ 。

一、相關知識

(一) 前言：

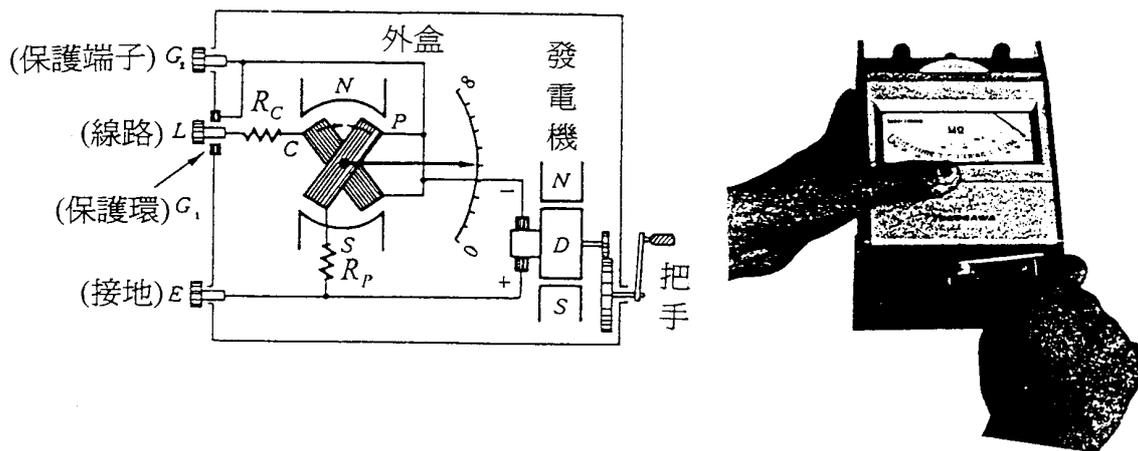
測試配電線路和電氣設備如發電機，電動機和變壓器等內部繞組與繞組間，或內部繞組與機殼間的絕緣電阻，一般使用高阻計(Megger)做絕緣電阻測試。絕緣電阻單位為 $M\Omega$ (即百萬歐姆)以“ 10^6 ”表示之，故又稱 Megger 表。絕緣電阻依法規規定最低不得小於 $0.1M\Omega$ 。

絕緣電阻不是固定不變的常數，常隨周圍溫度、濕度與使用情形而有顯著變化，故於新設配電線路和電氣設備應做絕緣電阻之測量，已往裝好使用中的電器設備也須按規定時間加以測量，事先發現絕緣劣化情形，達到預防電氣事故發生。高阻計可分為手搖發電機式及電子式兩種，由於手搖式較為笨重，已逐漸被淘汰，而電子式輕巧方便，逐漸流行用來測試絕緣電阻。

(二) 高阻計之構造及原理：

1. 手搖發電機式高阻計：

- (1) 高阻計之外部包括可搖動之曲柄、刻度盤、接線端子(Line)，接地端子(Earth)，保護端子(Guard)及外殼(case)等。
- (2) 高阻計之內部構造係由手搖直流發電機及電壓線圈、電流線圈所構成的表頭組成的如圖 1 所示。



(a)線路圖

(b)外觀圖 YEW 2404

圖 1 手搖發電機式高阻計

- A. 由圖 1 知右邊的磁極 N、S 為永久磁鐵形成發電機之磁場，發電機電樞 D 藉把手搖動曲柄，傳動齒輪而提高轉速，手搖動速度約每分鐘 120 轉，電樞線圈切割永久磁鐵磁場經換向整流後，產生之電壓供給儀表電路使用。
- B. 由圖 1 左邊磁極中知 C 為電流線圈或稱控制線圈，P 為電壓線圈或稱偏轉線圈。C 線圈與 R_C 限流電阻串聯接於手搖發電機之負極和接地端子 L 處，P 線圈與 R_P 倍率電阻串聯後並接於發電機之正極和接地端子 E 處。PC 兩線圈相位相差 90° ，固定於由一軸上形成交叉式線圈電表。此種電表之指針偏轉量由 $\frac{I_P}{I_C}$ 之比值來決定。故又稱比率電表(Ratio Meter)。

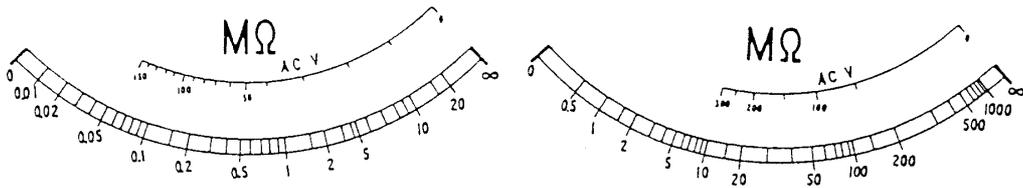
2. 手搖發電機式高阻計轉動原理：

- (1) 當 E、L 端開路未接任何電阻，電流線圈電流為零，電壓線圈 P 與 R_P 恆跨於發電機兩端，所產生之磁通與永久磁鐵相互作用，產生反時針方向之轉矩，轉到磁中性軸之位置後靜止，此時指針即停放在刻度為 ∞ 處。(E、L 開路時 $R_x = \infty$)。
- (2) 若 E、L 端短路則流過電流線圈之電流最大即 $\frac{I_P}{I_C}$ 最大，指針乃順時針方向偏轉至最右邊位置，指示零歐姆 E、L 短路時 ($R_x = 0 \Omega$)。
- (3) 若 E、L 端加入一待測電阻 R_x ($0 < R_x < \infty$)，則電流線圈有電流時可動部份向右偏轉，而電壓線圈向右偏轉，指針靜止於此兩相反轉矩之位置，指針指示待測電阻 R_x 值。
- (4) 手搖發電機式高阻計，曲柄轉動速率一般以 120RPM 為最適宜。不可太高亦不可太低，用手轉動起來感覺很輕很順即可。若將手搖速度加快，電機之感應電勢也愈高，但不影響到指針之指示值，因為轉速增加，流過兩線圈之電流成比率加大，但兩者比值保持不變。
- (5) 當所測之絕緣電阻甚高時，儀表或絕緣物表面所產生的漏電流將會使測量結果產生誤差，可利用 GUARD(保護端子)消除此一漏電流。其接法如圖 6 所示。

2. 手搖發電機式高阻計規格：

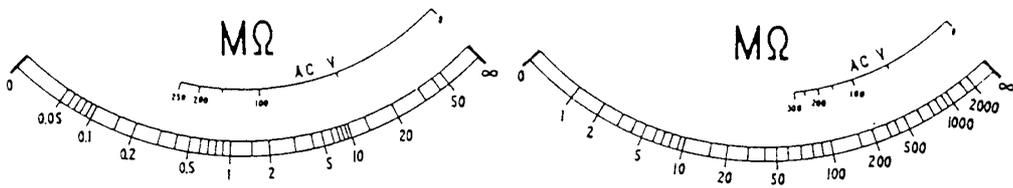
額定電阻電壓	刻度線範圍	有效測量範圍		中心 刻度	交流電 壓範圍	code
		Range 1	Range 2			
100V/20MΩ	0.01~20MΩ	0.01~20MΩ	10~20MΩ	0.5MΩ	0~150V	322101
250V/50MΩ	0.05~50MΩ	0.05~20MΩ	20~50MΩ	1MΩ	0~250V	322102
500V/100MΩ	0.05~100MΩ	0.1~50MΩ	50~100MΩ	2MΩ	0~300V	322103
500V/1000MΩ	0.5~1000MΩ	1~500MΩ	500~1000MΩ	20MΩ	0~300V	322104
1000V/2000MΩ	1~2000MΩ	2~1000MΩ	1000~2000MΩ	50MΩ	0~300V	322105
2000V/5000MΩ	2~5000MΩ	5~2000MΩ	2000~5000MΩ	100MΩ	0~300V	322106

圖 2 手搖式高阻計規格



250/50MΩ

1000V/2000MΩ



500V/100MΩ

2000V/5000MΩ

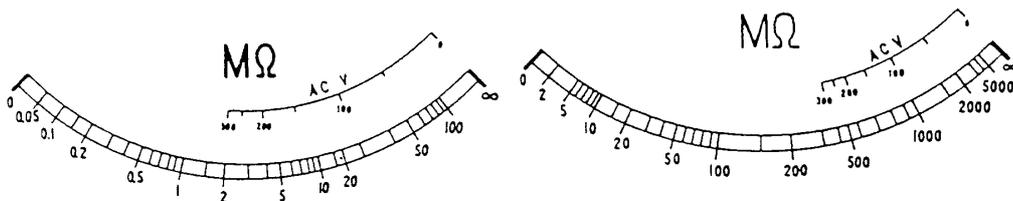


圖 3 手搖式高阻計刻度

2. 電子式高阻計：

(1) 電子式高阻計之各部名稱如圖 4 所示。

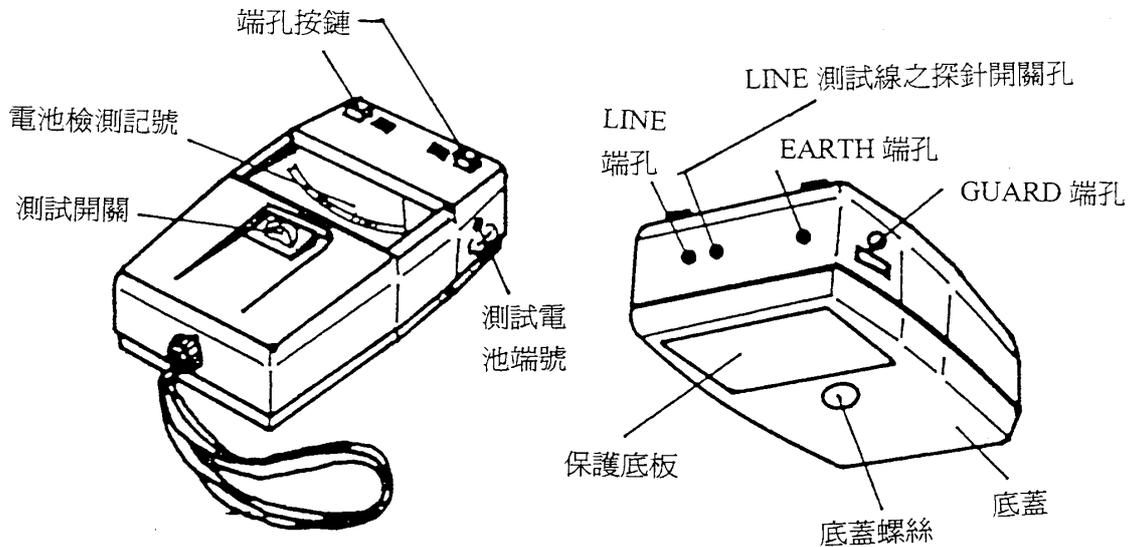


圖 4 電子式高阻計各部名稱

(2) 電子式高阻計電路原理：

電子式高阻計如圖，係由乾電池 $1.5V \times 8$ 經轉換器(DC-AC)，產生一定值的交變電壓，再利用升壓變壓器將電壓升高，經半波整流後成為直流高壓，再利用動圈式電表測量待測電阻流通之電流，即可指示待測高電阻值。

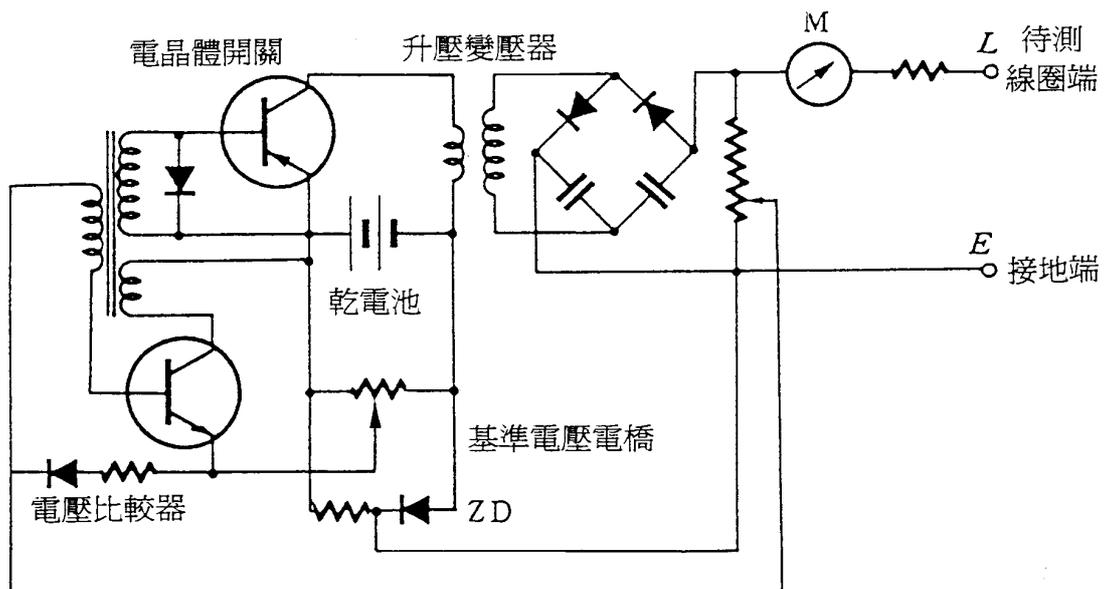


圖 5 電子式高阻計電路圖

二、高阻計的使用方法：

(一) 手搖式高阻計使用方法：

1. 首先將欲測試絕緣電阻的配電線路、電氣設備(如電動機、發電機、變壓器、……等)電源切斷。
2. 將高阻計的 L 端接到線路，E 端接到接地端(或外殼)。
3. 以 120R. P. M. 以上的穩定速度搖動手搖發電機。
4. 等指針穩定不再變動時，即可由指針刻度讀出絕緣電阻值。
5. 電容器、高壓電纜等具有電容性器材，測試前、後應加以放電。
6. 測試高壓電纜絕緣電阻時，由絕緣皮表面產生之漏電電流，可利用 Guard 端將其旁路至電源的負極(如圖 6 所示)，漏電流不通過高阻計內部之電流線圈，故不影響絕緣電阻值。

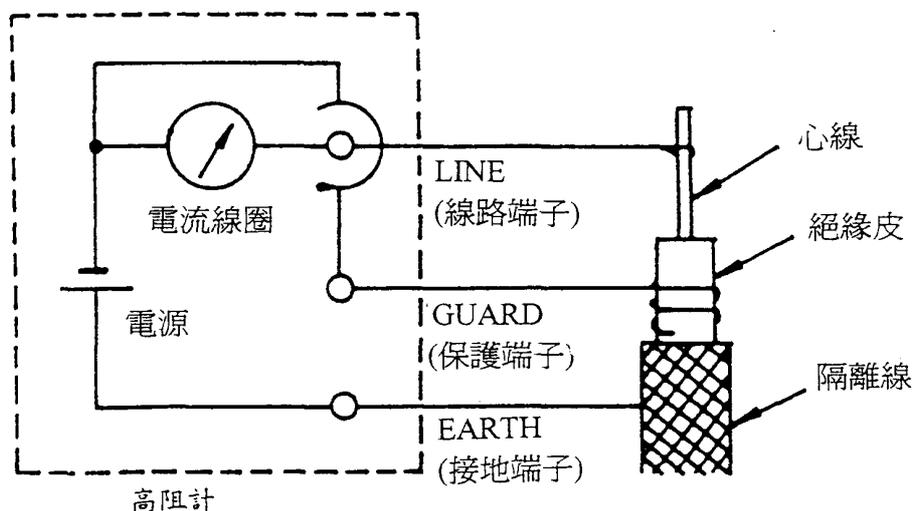


圖 6 用手搖式高阻計測量高壓電纜絕緣電阻

(二) 電子式高阻計使用方法：

1. 絕緣電阻測試時應先將電源關閉或做電容器放電動作。
2. 將測試棒插入高阻計前端的插孔，橙色插入“LINE”孔，黑色插入“EARTH”孔。
3. 將橙色測試棒尖端接觸“B CHECK”端，查看指針是否指在 B 指示帶範圍內，如果無法表示乾電池電力不夠，需更換。
4. 將兩支測試棒 L 端接到線路，E 接在外殼。
註：若待測物有接地端則標有 EARTH 接在接地端，另一條 LINE 則接到線路。無接地端，則兩支測試棒可以任意對調。
5. 接好線路，即可按下按鈕等指針穩定不再變動時，即可讀出指示值。並且記錄之。

三、使用器材：

項目	名稱	規格	單位	數量
1	高阻計	手搖式、電子式	台	各1
2	電動機	單相、三相 1/2HP 220V 4P	台	各1
3	變壓器	任意規格 單相、三相	台	各1
4	直流電動機	任意規格	台	1
5	高壓電纜線	5.5m/m ² 二芯以上	M	0.5
6	電容器	250WV, 400MF	只	1

四、實驗步驟：

(一) 以高阻計測量單相、三相電動機絕緣電阻：

1. 電動機繞組與外殼間之絕緣電阻 L-E：_____MΩ。
2. 電動機任意兩繞組間之絕緣電阻 A-B：_____MΩ，
B-C：_____MΩ，C-A：_____MΩ。

(二) 以高阻計測量單相、三相變壓器絕緣電阻：

1. 單相變壓器：(1)一次繞組與鐵心間之絕緣電阻：_____MΩ。
(2)二次繞組與鐵心間之絕緣電阻：_____MΩ。
(3)一次繞組與二次繞組間之絕緣電阻：_____MΩ。
2. 三相變壓器：
 - (1) A相：A. 一次繞組與鐵心間之絕緣電阻：_____MΩ。
B. 二次繞組與鐵心間之絕緣電阻：_____MΩ。
C. 一次繞組與二次繞組間之絕緣電阻：_____MΩ。
 - (2) B相、C相測試方法與A相相同。

(三) 直流電動機絕緣電阻測量：

1. 將碳刷移去，使磁場繞組與電樞繞組分開。
2. 測試電樞繞組與電樞鐵心間之絕緣電阻：_____MΩ。
3. 測試分激繞組、串激繞組與外殼之絕緣電阻：_____MΩ。
4. 測試分激繞組與串激繞組間之絕緣電阻：_____MΩ。

(四) 高壓電纜線絕緣電阻測量：

1. 僅測量任一條導體對絕緣外皮之電阻：_____MΩ。
2. 測量任意兩條間之絕緣電阻：_____MΩ。

(五) 電容器絕緣線電阻測量：

1. 測量任一條引出線對外殼之絕緣電阻：_____MΩ。

五、測量記錄：

電機設絕備緣	電 動 機		變 壓 器		直 流 電 動 機	高 壓 電 纜 線	電 容 器
	單 相	三 相	單 相	三 相			
MΩ	123456-E : ___ MΩ 12-34 : ___ MΩ 34-56 : ___ MΩ 56-12 : ___ MΩ	UVWXYZ-E : ___ MΩ UX-VY : ___ MΩ VY-WZ : ___ MΩ WZ-UX : ___ MΩ	12-E : ___ MΩ 34-E : ___ MΩ 56-E : ___ MΩ	A相：1234-E : ___ MΩ 12-34 : ___ MΩ B相：1234-E : ___ MΩ 12-34 : ___ MΩ C相：1234-E : ___ MΩ 12-34 : ___ MΩ	AH-E : ___ MΩ JK-E : ___ MΩ SIS2-E : ___ MΩ JK-SIS2 : ___ MΩ	L1-E : ___ MΩ L2-E : ___ MΩ L3-E : ___ MΩ L1-L1 : ___ MΩ L2-L3 : ___ MΩ L3-L1 : ___ MΩ	L1-E : ___ MΩ L2-E : ___ MΩ

六、注意事項：

- (一) 注意電子式高阻計 B CHECK 之檢查或手搖式高阻計轉速 120RPM。
- (二) 使用高阻計測試棒需插好牢固，測試前先將 L、E 兩端短路看指針是否指於 0Ω 處，若指針指於中間位置，測試棒可能接觸不良老化，需更換之。
- (三) 讀指針指示值需讓指示值不變動時再記錄之。
- (四) 具有電容性之器材如電容器、高壓電纜測試前後需先加以放電再測試。
- (五) 絕緣電阻值需符合電工法規 $R = \frac{20}{A} M\Omega$ 之規定。(A 為最大使用電流但低於 10A 時以 10A 計，若電動機接入線路時，其絕緣電阻得低於上式數值之半數，但最低以 0.1MΩ 為限)。
- (六) 長久不用時，乾電池應從內部取出。

學習評量一

- 一、說明高阻計的用途？其單位為何？
- 二、對電氣設備而言，其絕緣電阻受何種因素影響？此值愈大或愈小愈好？
- 三、高阻計測量時其測試棒兩端輸出的電壓有 250V、500V、1000V、2000V 等規格，其輸出電壓是 AC 或 DC？
- 四、說明高阻計上標示 GUARD 端點的用途？
- 五、請說明電子式高阻計使用方法？

學習評量一答案

你的答案應該包括下列要點

- 一、高阻計乃是用來測試電氣設備或配電線路間線路對外殼或兩繞組間之絕緣電阻。其單位為百萬歐姆以 $M\Omega$ 表示之。
- 二、絕緣電阻常隨電氣設施空間之溫度、濕度及使用狀況作顯著改變，故需按規定測量以策設備及人員安全。絕緣電阻愈大愈好 $R = \frac{20}{A} M\Omega$ ，最小為 $0.1M\Omega$ 。
- 三、高阻計測試棒 L、E 兩端輸出電壓為直流 DC 可以用三用電表 DC 檔去測量 1000V 以下之電壓。
- 四、GUARD 端點使用在測試高壓電纜之絕緣電阻時，由絕緣皮表面產生之漏電流可利用 GUARD 將其旁路至電源的負極，如此漏電流不流經高阻計內部絕緣電阻測量不受漏電流影響。
 - (一) 絕緣電阻測試時應先將電源開關電源關閉。
 - (二) 測試棒橙色插入 LINE 插孔，黑色棒插入 EARTH 插孔。
 - (三) 測試棒 LINE 尖端接觸“B CHECK”查看指針是否在 B 色帶位置，乾電池電力是否足夠，然後做歸零動作。
 - (四) 將兩支測試棒接觸在待測物。
 - (五) 接好線路，按下按鈕，等指針指示穩定即可讀出指示值。

假如你的答案與上述之重點相似，請翻至下一頁，如你的答案不與上述之重點相似如你的答案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 6 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處，並將第 13 頁上的錯誤改正，然後翻至下一頁。

本教材第二個學習目標是

不使用參考資料，你能夠使用惠斯登電橋測量中電阻，其誤差率不得超過 $\pm 5\%$ 。

一、相關知識：

(一) 惠斯登電橋原理：

惠斯登電橋之基本原理電路圖如圖 1 所示， R_A 、 R_B 為比例臂電阻，

$\frac{R_A}{R_B}$ 為比較臂的倍率 0.001、0.01、0.1、1、10、100、1000， R_S 為已

知而可變電阻， R_X 為待測電阻，GA 為檢流計工作電池。調整比例臂 $\frac{R_A}{R_B}$

倍率，及已知電阻 R_S 使流過檢流計的電流為零 $I_g=0$ ，可得下列平衡關係

式。當電橋平衡時 $I_X R_A = I_S R_B \rightarrow A$ $I_X R_X = I_S R_S \rightarrow B$

$$\frac{A}{B} \text{ 相除 } \frac{I_X R_A}{I_X R_X} = \frac{I_S R_B}{I_S R_S} \Rightarrow \frac{R_A}{R_X} = \frac{R_B}{R_S} \therefore R_X = \frac{R_A}{R_B} R_S$$

中電阻的測量範圍為 0.1 到 0.1M Ω 之間，使用惠斯登電橋是比較測量法，使用電橋時，引接線電阻及接觸電阻會影響精度。

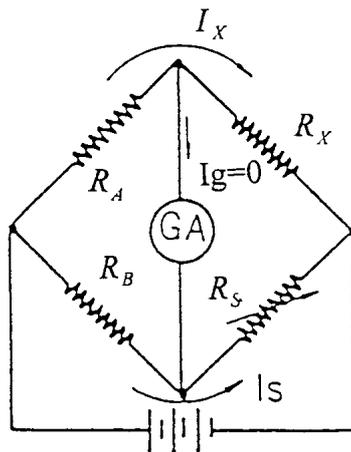


圖 7 惠斯登電橋原理

(二) 惠斯登電橋 YEW2755 型規格說明：

1. 電阻測量範圍：1 Ω ~10M Ω (有效數字 4 位)。
2. 標準臂：包括 1 Ω ×10、10 Ω ×10、100 Ω ×10 與 1000 Ω ×10 共四個轉盤。
3. 比例臂：包括×0.001、×0.01、×0.1、×1、×10、×100、×1000 共七段。
4. 準確度：

±0.1%	100 Ω ~100K Ω 測量範圍
±0.3%	10 Ω ~1M Ω 測量範圍
±0.6%	1 Ω ~10M Ω 測量範圍

5. 電阻元件溫度係數： $\pm 5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ($5^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$)
 $\pm 2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ($20^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$)
6. 檢流表：靈敏度— $0.9 \mu\text{A}/\text{div}$ ($\pm 20\%$)。
 內阻— 150Ω ($\pm 20\%$)。
 外部臨界阻尼電阻— 800Ω ($\pm 20\%$)。
 反應時間—低於 1.5 秒。
7. 內藏式電源：三個一號電池(共 4.5V)。
8. 允許室溫： $5 \sim 35^\circ\text{C}$ ($41 \sim 95^\circ\text{F}$)。
9. 允測溫度：85%最大。

(三) 惠斯登電橋 YEW2755 面板說明：

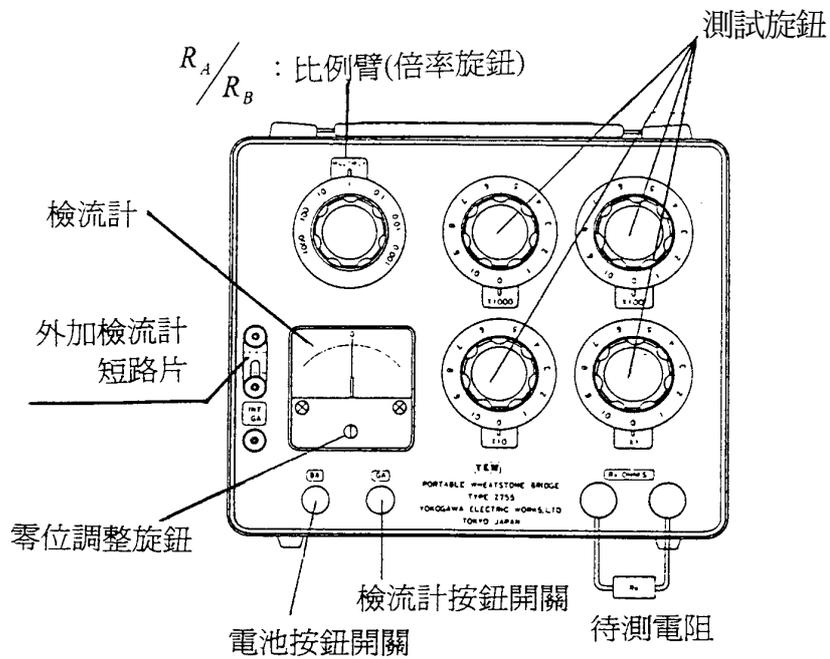


圖 8 惠斯登電橋面板說明

(四) 外加檢流計使用情形

1. 電阻值高於 $0.1\text{M}\Omega$ 時，應選用靈敏度高之檢流計 YEW2707 其接線如圖 9 所示。
2. 將 EXT—GA 短路銅板移開，並將 INT—GA 短路如圖 9 所示。

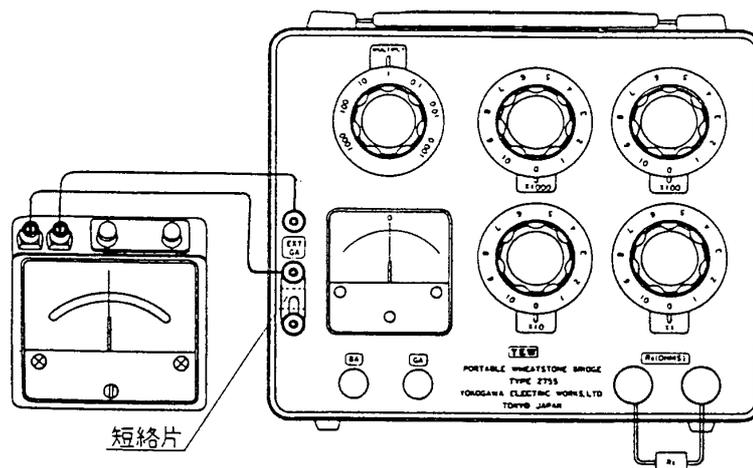


圖 9 使用外加檢流計

(五) 更換電池方法：

1. 電池放在電橋底部將電橋翻過來，注意檢流計面板不可刮傷，然後移開電池蓋如圖 10 箭頭所示。
2. 當使用外部直流電源，應將內電池全部移去。並注意下列各事項：
 - (1) 內電池移去後，在內電路正負側可測得內電阻最高為 $12\text{K}\Omega$ ，最低為 11Ω 。
 - (2) 測量低電阻時應串聯一個限流電阻使線路電流固定為 200mA 。
 - (3) 測量高電阻時，外加最大電壓為 50V ，應串聯一限流電阻。

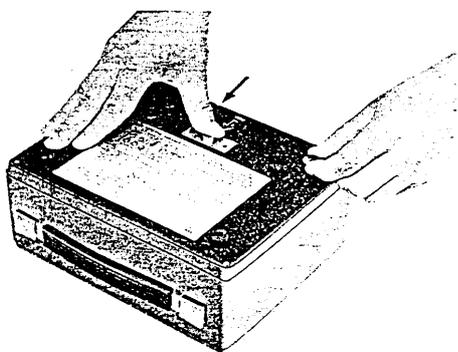


圖 10 電池蓋移開方法

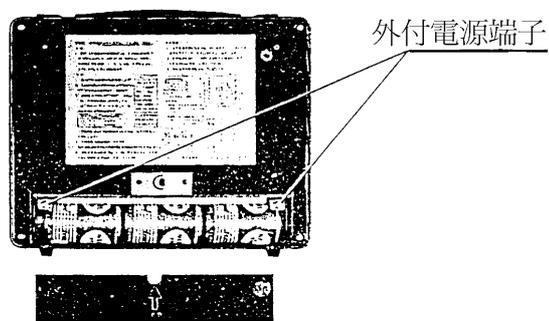


圖 11 惠斯登電橋底視圖

二、惠斯登電橋使用方法：

(一) 準備動作：

1. 使用內部簡流計，將 EXT—GA 短路片短路如圖 8 所示。
2. 檢查檢流計指針是否在“0”之中間位置，否則應調整零位調整螺絲使其歸零。

(二) 待測電阻 R_x 之測量：

1. 將待測電阻連接到測試端“ R_x OHMS”處。
2. 將倍率旋鈕置於 1，測試旋鈕置於 1000，先按下 BA 按鈕，再輕按下 GA 按鈕，檢查檢流計指針之偏轉方向往“+”代表需再增加，則 R_x 值必大於 1000 Ω 以上。(反方偏轉方向往“-”代表 R_x 小於 1000 Ω)
3. 改變倍率旋鈕置於 10，先按 BA 再按 GA 按鈕，若檢測計往“-”方向則代表此待測電阻 R_x 必介於 1000~10000 Ω 之間。
4. 接著調整旋鈕電阻 $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1000$ 的值，觀看檢流計偏轉方向，若為“+”表示要增加，若為“-”表示要減少，一直調整旋鈕直到檢流計指示為零為止。
5. 待測電阻 $R_x = \text{倍率} \times \text{測試旋鈕數值的總和}$ 。
6. 倍率電阻選擇如下表：

待測電阻 R_x	倍率電阻 R_A / R_B
低於 10 Ω	0.001
10~100 Ω	0.01
100~1K Ω	0.1
1K~10K Ω	1
10K~100K Ω	10
100K~1M Ω	100
1M~10M Ω	1000

三、使用器材：

項目	名稱	規格	單位	數量
1	惠斯登電橋	YEW-2755	台	1
2	電動機	1 ϕ ，3 ϕ	台	各1
3	變壓器	1 ϕ	台	1
4	色碼電阻	10種規格	只	10

四、測試步驟：

(一) 以惠斯登電橋測量電動機繞組電阻：

1. 測量三相電動機各相間繞組電阻，A相、B相、C相各_____ Ω 。
2. 測量單相電動機起動繞組與行駛繞組電阻為_____ Ω 。

(二) 以惠斯登電橋測量變壓器繞組電阻：

1. 測量變壓器高壓側繞組電阻：_____ Ω 。
2. 測量變壓器低壓側繞組電阻：_____ Ω 。

(三) 以惠斯登電橋測量色碼電阻值：

1. 分別記錄 10 只色碼電阻電阻值。

五、測量記錄：

測試項目 電阻值	電動機	變壓器	色碼電阻
Ω	A相：____ Ω 三相：B相：____ Ω C相：____ Ω	高壓側：____ Ω	1：____ Ω 6：____ Ω 2：____ Ω 7：____ Ω 3：____ Ω 8：____ Ω
	單相：運轉：____ Ω 行駛：____ Ω	低壓側：____ Ω	4：____ Ω 9：____ Ω 5：____ Ω 10：____ Ω

六、注意事項：

- (一) 使用前注意檢查檢流計是否歸零。
- (二) 測量中應先按 BA 再按 GA。若是反順序則檢流計會因內部反電勢之作用無法分辨。
- (三) 測量時應調整測試旋鈕電阻增加或減少，反覆按 GA 幾次使指針歸零再讀出待測電阻 R_x 值。
- (四) 測量後 BA 及 GA 按鈕開關應置於 OFF 位置。

學習評量二

- 一、使用惠斯登電橋測量三相電動機繞組電阻值在 5 分鐘之內完成，其誤差率不得超過 $\pm 5\%$ 。
- 二、使用惠斯登電橋測量三相變壓器高、低側繞組電阻值在 3 分鐘之內完成，其誤差率不得超過 $\pm 5\%$ 。
- 三、使用惠斯登電橋測量 10 只色碼電阻電阻值在 10 分鐘之內完成，其誤差率不得超過 $\pm 5\%$ 。

學習評量二答案

你的答案應該實際測量後記錄之

- 一、
1. A 相繞組：_____ Ω 。
 2. B 相繞組：_____ Ω 。
 3. C 相繞組：_____ Ω 。
- 二、
1. 高壓側繞組：_____ Ω 。
 2. 低壓側繞組：_____ Ω 。
- 三、色碼電阻編號：

編 號	色 碼 電 阻 讀 值	測 量 值	正 確 否
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

假如你的答案與上述之重點相似，請翻至下一頁，如你的答案不與上述之重點相似如你的答案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 21 頁上的錯誤改正，然後請翻到下一頁。

本教材第三個學習目標是

不使用參考資料，你能夠使用雙比電橋測量低電阻（ $0.1\ \Omega$ 以下），其誤差率不得超過 $\pm 5\%$ 。

一、相關知識：

(一) 前言：

由於測量低電阻(在 0.1Ω 以下)時，其引接線的電阻及接觸電阻佔了很大比例，若用惠斯登電橋測量，會引起嚴重誤差，本學習目標將學習應用凱爾文雙比電橋測量，雙比電橋對 1Ω 以下之低電阻測量具有極高的準確度。經常被用來測量馬達、變壓器的線圈電阻，導電率、接觸電阻斷路器開關接點電阻，金屬護層、電纜護套之間的連接電阻等以下介紹雙比電橋的原理。

(二) 雙比電橋原理：

如圖 12(a) 中電路 P、Q 為比例臂電阻， R_x 為待測電阻， R_s 為標準電阻。若移動檢流計靠近 R_s 電阻側，則 L 接頭處電阻將會合併到 R_x 側，

$$\text{得到：} R_x + L = \frac{P}{Q} R_s$$

移動 G 於 a、b 中間平衡位置，如圖 12(b) 所示，可知

$$R_x + a = \frac{P}{Q} (R_s + b) \quad \text{可改寫為} R_x = \frac{P}{Q} R_s + \left(\frac{P}{Q} - \frac{a}{b}\right)$$

$$\text{若} \frac{P}{Q} = \frac{a}{b} \quad \text{則} R_x = \frac{P}{Q} R_s$$

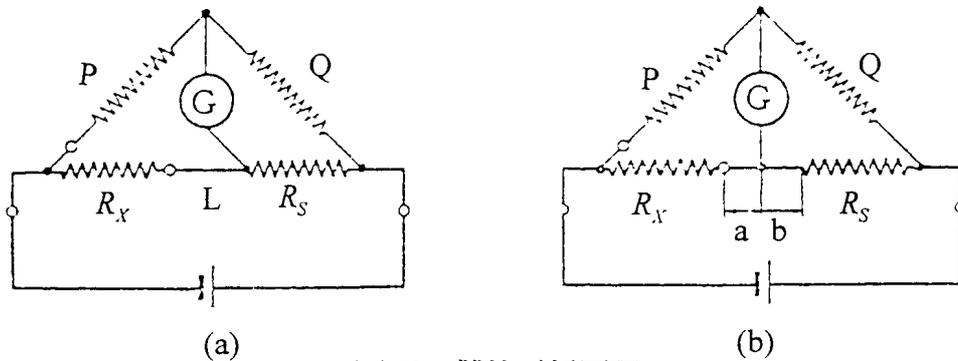


圖 12 雙比電橋原理

如圖 13(a) 所示，在 L 接頭處並接上 P、q 兩個電阻，並做 Y— Δ 變換得圖

$$13(b) \quad \text{由圖中知：} a' = \frac{PL}{P+q+L}, \quad b' = \frac{qL}{P+q+L}, \quad c' = \frac{Pq}{P+q+L}$$

$$R_x + a' = \frac{P}{Q} (R_x + b')$$

$$R_x = \frac{P}{Q} R_s + \frac{P}{Q} b' - a' = \frac{P}{Q} R_s + \frac{qL}{P+q+L} \left(\frac{P}{Q} - \frac{P}{q}\right)$$

$$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{P}{q} \quad \therefore R_x = \frac{P}{Q} R_s$$

由上式可知，電橋同附加了 P、q 兩臂之後，可以使因 L 接頭所造成之接觸電阻誤差被抵消，而適合測量低電阻。

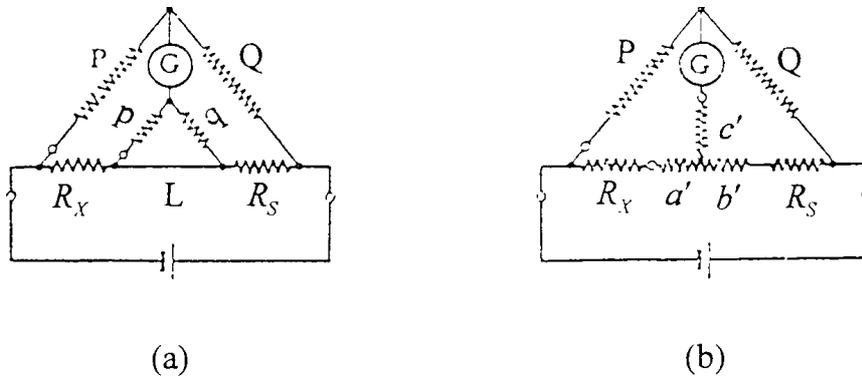


圖 13 雙比電橋原理

雙比電橋之基本電路如圖 14 所示，加減 n、N 之電阻，使檢流計指針為零，則此時待測電阻 R_X 可以表示：

但 ℓ 到 S 為 P_S 到 X 端間之導線電阻，N、n 為旋鈕可變電阻，M、m 為插塞式可變電阻，製作 $N=n$ ， $M=m$ ，所以 $\frac{N}{M} = \frac{n}{m} = 0$

$$\text{式可變電阻，製作 } N=n, M=m, \text{ 所以 } \frac{N}{M} = \frac{n}{m} = 0$$

$$\text{則(1)式可以改寫為 } X = \frac{N}{M} S。$$

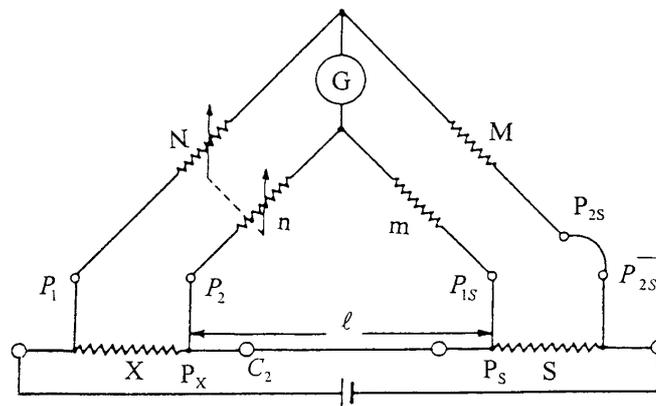
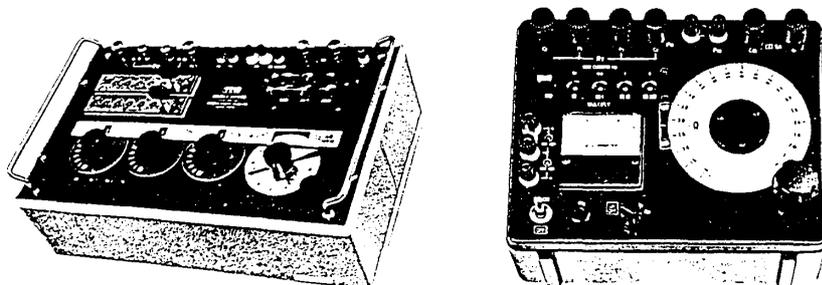


圖 14 雙比電橋基本電路

(三) 雙比電橋外觀：

圖 15(a)為精密級實驗用雙比電橋，圖 15(b)為攜帶型雙比電橋。



(a) 實驗用雙比電橋

(b) 攜帶型雙比電橋

圖 15 雙比電橋外觀

二、雙比電橋使用：

(一) 攜帶型雙比電橋 YEW-2769 使用：

1. 規格：

- (1) 測量範圍： $0.100\text{M}\Omega \sim 110.0\Omega$ 。
- (2) 測量圓盤和倍率：
測量圓盤： $1.00 \sim 11.00(\Omega)$ ，最小刻度 0.05Ω 。
倍率： $\times 10$ ， $\times 1$ ， $\times 0.1$ ， $\times 0.01$ ， $\times 0.001$ 。
- (3) 容許誤差： $\pm(0.05\Omega \times \text{倍率} + 0.01\text{m}\Omega)$
在周圍溫度 $5\text{ }^\circ\text{C} \sim 35\text{ }^\circ\text{C}$ 時，C2 端子與待測電阻 R_x 間引線電阻小於 $10\text{m}\Omega$ 。
- (4) 標準電阻的容許誤差及容許電流：

倍率	測量範圍(Ω)	標準電阻值(Ω)	容許誤差(%)	容許電流(A)	備註
$\times 10$	$10 \sim 110$	1000	± 0.1	0.01	
$\times 1$	$1 \sim 11$	100	± 0.1	0.1	
$\times 0.1$	$0.1 \sim 1.1$	10	± 0.1	0.3	
$\times 0.01$	$0.01 \sim 0.11$	1	± 0.1	1	
$\times 0.001$	$0.001 \sim 0.011$	0.1	± 0.1	3	
$\times 0.0001$	$0.0001 \sim 0.0011$	0.01	± 0.1	10	

(5) 檢流計：內藏

電壓感度： $20^{\mu V}/div$ 以上。

感度切換： G_0 (輸入阻抗約 $11K\Omega$)。

$G_1 = \frac{1}{11} G_0$ (輸入阻抗約 $11K\Omega$)。

$G_2 = \frac{1}{110} G_0$ (輸入阻抗約 $11K\Omega$)。

電池：9V (0.06P 型乾電池)，使用壽命約 300 小時。

(6) 電橋電源(內藏)：1.5V (UM-1 型乾電池 2 只並列在 $\times 0.001$ 倍率電流 1~2A，測定時間 15 秒，停止時間 15 秒，約可以測量 1200 次

(7) 操作環境：溫度為 $5^{\circ}C \sim 35^{\circ}C$ ，濕度 85% 以下。

(8) 附件：2771 型外接標準電阻 0.001Ω 。

2. 面板名稱和功能介紹：

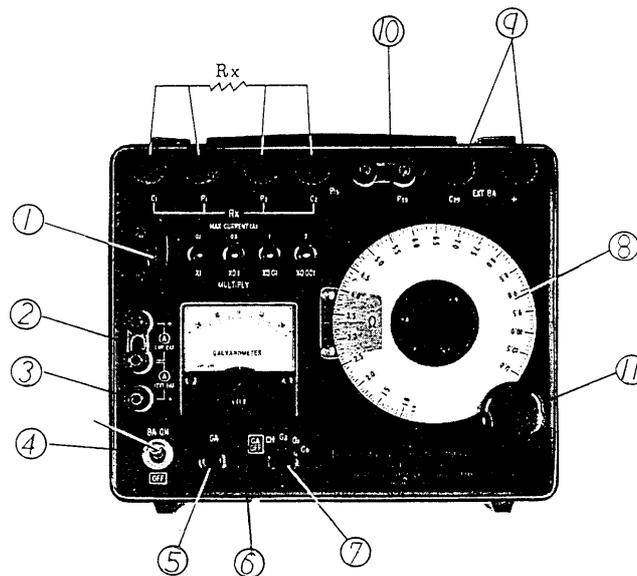


圖 16 攜帶型雙比電橋外觀

- (1) 倍率電阻插梢：選擇倍率用有 $\times 10$ ， $\times 1$ ， $\times 0.1$ ， $\times 0.01$ ， $\times 0.001$ 。
- (2) 內部電池端子：電橋電源由內部電池供應，短路片移到 INT—BA A 端子。

- (3) 外部電池端子：電橋電源由外部電池供應，短路片移到 EXT—BA A 端子。
- (4) 電池開關：控制電橋電源。
- (5) 檢流計按鈕開關：按下 GA 開關，檢流計與電橋連接，旋轉測試圓盤可以看到指針在“-”、“+”之間移動。
- (6) 零位調整螺絲：測試前，調整螺絲使指針歸零。
- (7) 檢流計靈敏度選擇開關：共分為五段。
GA OFF：檢流計電源開關。
CH：代表 CHECK 意思，當開關轉到 CH 位置，檢流計指針應指示在藍色帶位置，否則代表電源不足夠應更換 006P 型乾電池。
 G_2 、 G_1 、 G_0 ：檢流計靈敏度選擇開關。 G_2 靈敏度最低， G_1 其次， G_0 靈敏度最高。
- (8) 刻度盤：圓盤標示 1.0 到 11.0 Ω 每格 0.5 Ω ，讀取數據時以對準壓刻力標示線為準。
- (9) 外加電源端子：外部電源接於此地方，其中“-”端又為外接標準電阻電流端“ C_{2S} ”之接點。
- (10) P2S 端子：使用外接標準電阻(2771 型)的電壓端子。不使用時需將 P_{1S} 、 P_{2S} 用短路片短路。
- (11) 刻度盤旋鈕：測量低電阻時，轉動此旋鈕即可由刻度盤數值對準標示刻度，讀取測試低電阻值。
- (12) RX 待測電阻：連接待測電阻用，其中 C_1 、 C_2 為電流端子， P_1 、 P_2 為電壓端子。

3. 更換電池：

當 BA 開關 ON，GA 開關亦 ON，GA 靈敏選擇開關置於 CH 位置，而檢流計指針無法指示藍色色帶位置時，需將儀表背部之電池更換，其更換方法如圖 17 所示。

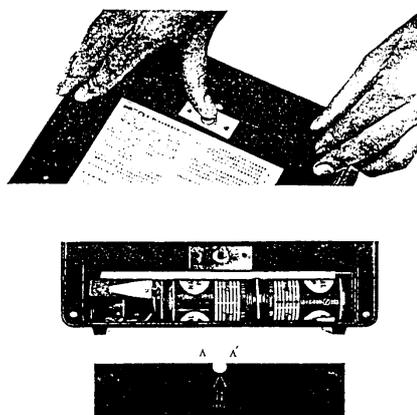


圖 17 更換電池方法

4. 使用外部電池之接線方法：

使用外部電池時，將 INT—BA A 端子短路片移開，電流表接於 EXT—BA 端子(注意正負極性)，調整滑動電阻使其電池不超過倍率插梢上所示之額定電流及滑動電阻器之額定電流，接線圖如下圖所示。

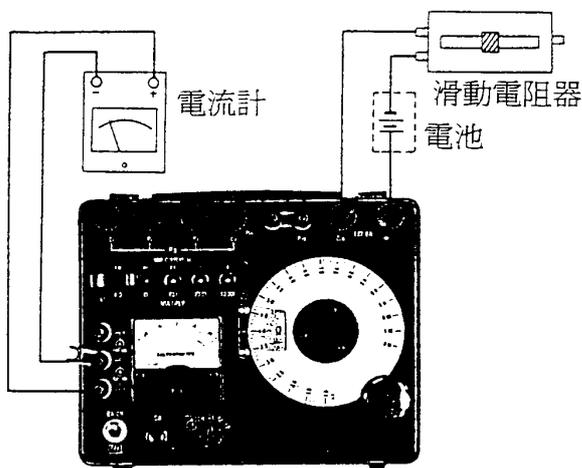


圖 18 外部電池接線圖

5. 待測電阻 R_x 的測量：

- (1) 檢查檢流計指針歸零否。有偏移須調整歸零螺絲。
- (2) 使用內部檢流計，檢查 INT—BA A 與 “ P_{2S} ”、“ P_{1S} ” 短路片要短路起來。
- (3) GA 靈敏度開關置於 “CH” 處，檢查指針是否偏轉在藍色色帶區域範圍內，否則需更換電源電池(006P 型電池)。
- (4) 將待測電阻連接到 R_x 端 C_1 、 P_1 、 P_2 、 C_2 端點須確實鎖緊。
- (5) 預估待測電阻，選擇適當倍率配合下表。

待測電阻 R_x 值	倍率插梢選擇區
0.1 m Ω ~ 1.1 m Ω	※0.0001
1 m Ω ~ 11 m Ω	0.001
10 m Ω ~ 110 m Ω	0.01
0.1 Ω ~ 1.1 Ω	0.1
1 Ω ~ 11 Ω	1
10 Ω ~ 110 Ω	10
※TYPE2771 使用時測 0.1 m Ω ~ 1 m Ω 電阻	

- (6) 將 BA 電池開關 ON。
- (7) 刻度盤置於中央，壓下 “GA” 按鈕，靈敏度選擇開關置於 “ G_2 ”，此時轉動刻度盤旋鈕，觀看檢流計指針偏轉情形；若偏轉方向往 “+”，代表須增加刻度盤電阻，若偏轉方向往 “-”，代表須減少刻度盤電阻；重覆上述動作直至指針指示為

- 零。若需較高靈敏度，可將靈敏度開關逐次置於“ G_1 ”，再置於“ G_0 ”，反覆調整刻度盤旋轉，查看檢流計指針是否為零為止。
- (8) 當電橋平衡時，檢流計電流為零，待測電阻 $R_x = \text{刻度盤讀數} \times \text{倍率}$ 。
 - (9) 測試完畢，放開 GA 按鈕，關掉 BA 開關，同時將“GA”開關置於“OFF”處。
 - (10) 欲測量 $0.1 \text{ m}\Omega \sim 1 \text{ m}\Omega$ 的低電阻，應配合標準電阻器使用，其接線圖如下圖所示，此時倍率電阻插梢需拿出 R_{2S} 端短路片移開其待測電阻 $R_x = \text{刻度盤讀值} \times 1/100$ (外接標準電阻 TYPE2771 = 0.01Ω)。

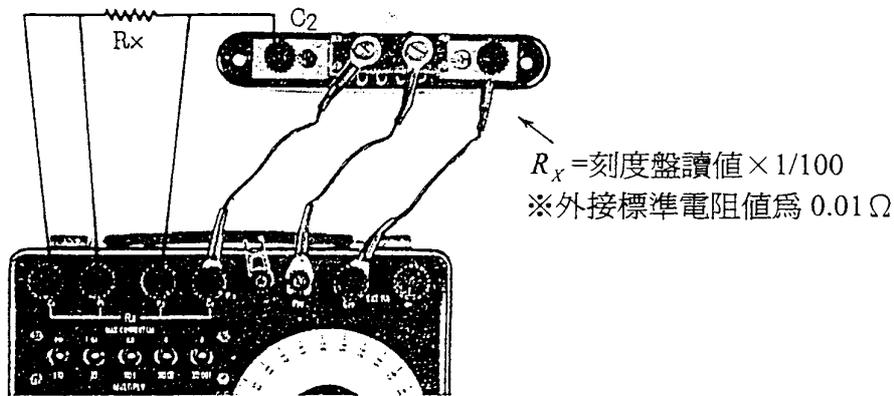


圖 19 外加標準電阻接線方法

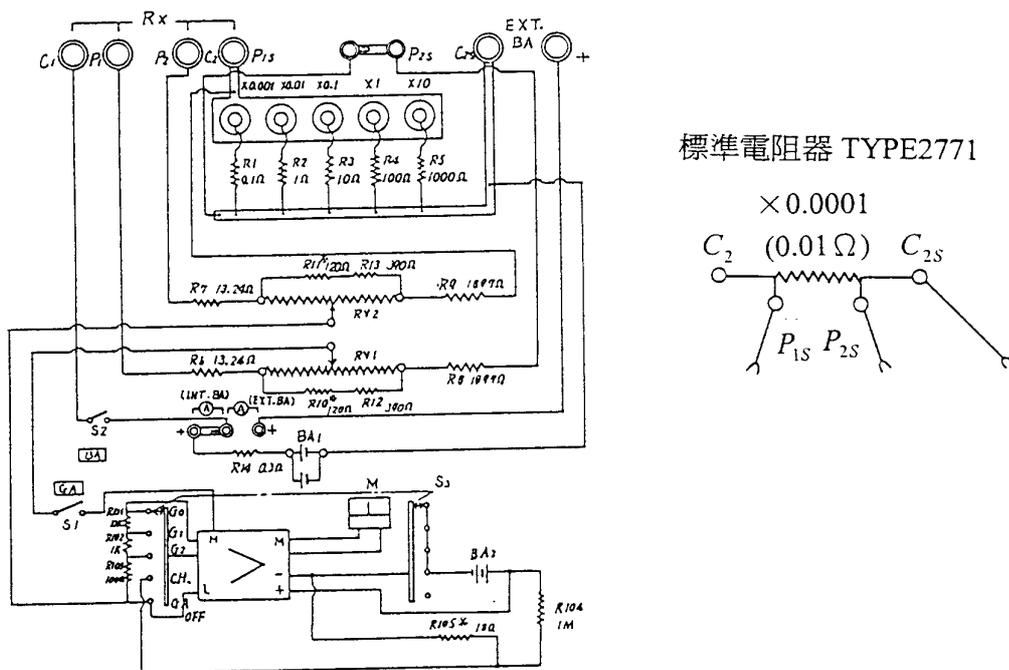


圖 20 攜帶型雙比電橋 YEW2769 電路圖

(二) 精密級實驗室用雙比電橋使用：

1. 面板名稱及功能介紹：

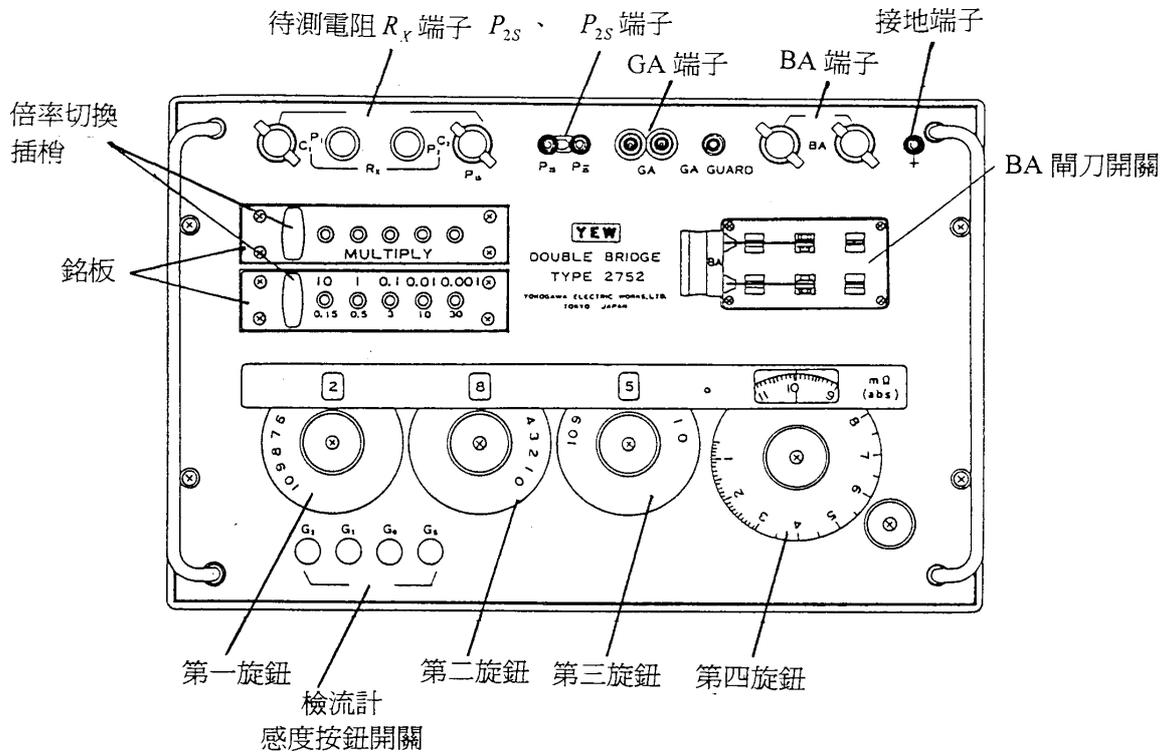


圖 21 精密級雙比電橋面板介紹

- (1) 第 1、2、3、4 旋鈕：測量低電阻做增加或減少用旋鈕。
- (2) 倍率插梢：把兩只插梢做同時切換做倍率的變換。
- (3) BA 閘刀開關：把回路電流反向和做 ON、OFF 開關。
- (4) 檢流計感度按鈕開關：有四只， G_s 開關是檢流計歸零用開關，當測量回路連接好，先按 G_2 ，其次按 G_1 ，最後按 G_0 。
- (5) R_x 端子：待測電阻 R_x 連接用端子， $C_1 C_2$ 電流端子， $P_1 P_2$ 電壓端子。
- (6) GA 端子：檢流計連接用端子。
- (7) BA 端子：直流電源連接用端子。
- (8) P_{1S} 和 P_{2S} — P_{2S} 端子：外加標準電阻使用時的電壓端子。
- (9) P_{2S} 和 P_{2S} 端子：補償電阻 (ΔM) 接續端子。
- (10) 接地端子：面板接地端子。

2. 接線圖：YEW2752 及其附件之接線法如下圖所示。

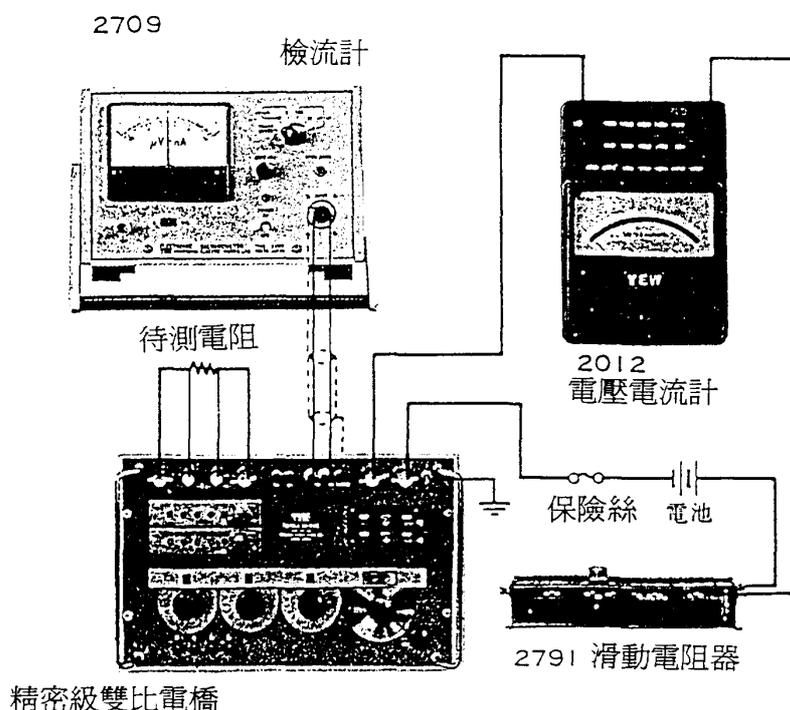


圖 22 精密級雙比電橋測量接線圖

注意事項：

- (1) 直流電源(蓄電池或乾電池)應採用 2V 至 4V 之間，其安時(AH)應大於 20AH。如能採用 3A，60AH 之電池更佳。
 - (2) 滑動電阻器之大小及安全電流，應視實際測定時所規定之安全電流選用。
 - (3) 接線時直流電源之極性與電表之極性應一致。
 - (4) 為防止外來之干擾，雙比電橋及檢流計(2709)之接地端應與直流電源之負極相連接成一點接地。
3. 電阻值測量之操作方法及程序：
- (1) 檢流計使用前應予運轉及做零點校正。
 - A. 首先將 L/NL 開關置於 N—L 處。
 - B. 將選擇開關置於 POWER CHECK 位置。
 - C. 將 POWER ON/OFF 開關置於 ON 位置，此時電源接通，如指針指示在紅色刻劃線上即可，不對時必須檢查電源電壓，使其運轉，經約 10 分鐘以後使檢流計對溫度之變化穩定。
 - D. 機械零點調整：將選擇開關置於 50mV—mA 位置，如指針指示在零的位置即可。假如指針指示稍有偏差，即用起子調整指針下的螺絲，使指針指示在零的位置。

- E. 將選擇開關置於 50mV—nA 的位置，然後將雙比電橋之 G_S 按下，此時調整檢流計的 ZERO ADJ 旋鈕，使其指針指示在零的位置然後將 G_S 放開，如指針稍偏差於零，即用起子調整 OPEN ZERO 螺絲，使指針指示復歸於零。
- F. 以上調整後，將選擇開關置於 5mV—nA 位置，同上之動作順序將 G_S 按下，調整 ZERO ADJ 使指針指示在零，然後將 G_S 放開，調整 OPEN ZERO 使指針指示復歸於零，然後將 G_S 再按下，此時指針如有偏差，再調整 ZERO ADJ，使指針歸零，如此反覆調整，使 G_S 在按下及放開時，指針均指示在零做位置而不變。
- G. 以上歸零調整完畢後，將選擇開關置於 50mV—nA 位置。
- (2) 待測電阻 R_x 測量實際步驟：
- A. 按圖 22 所示予以接線。電池或直流電源供應器應為 0—30A 可調並按照下圖 23，待測電阻與電流關係予以調整直流電流表電流值。

待測電阻 R_x (Ω)	倍 率	電流值		容許電流(A)
		T/2708	T/2709	
100	$\times 100$	0.0022	0.00008	0.05
10	$\times 100$	0.011	0.00026	0.05
10	$\times 10$	0.022	0.0008	0.15
1	$\times 10$	0.11	0.0026	0.15
1	$\times 1$	0.22	0.008	0.5
0.1	$\times 1$	1.1	0.026	0.5
0.1	$\times 0.1$	2.2	0.08	3
0.01	$\times 0.1$		0.26	3
0.01	$\times 0.01$		0.8	10
0.001	$\times 0.01$		2.6	10
0.001	$\times 0.001$		8	30
0.0001	$\times 0.0001$		26	30

圖 23 測量感度和電流關係

- B. 待測電阻 R_x 之電壓電流夾具如下圖 24 所示接到 C_1 、 P_1 、 P_2 、 C_2 處確實連接妥當。

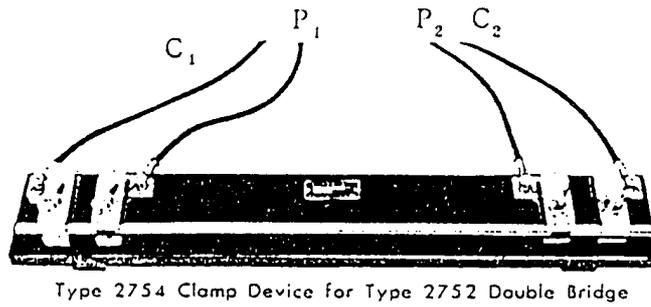


圖 24 待測電阻夾具端子

- C. 若內部標準電阻之電流容量不夠，從以外部標準電阻測量如下圖接線，並使用兩支插梢置於倍率 (Multiply 0.01、0.001) 位置。

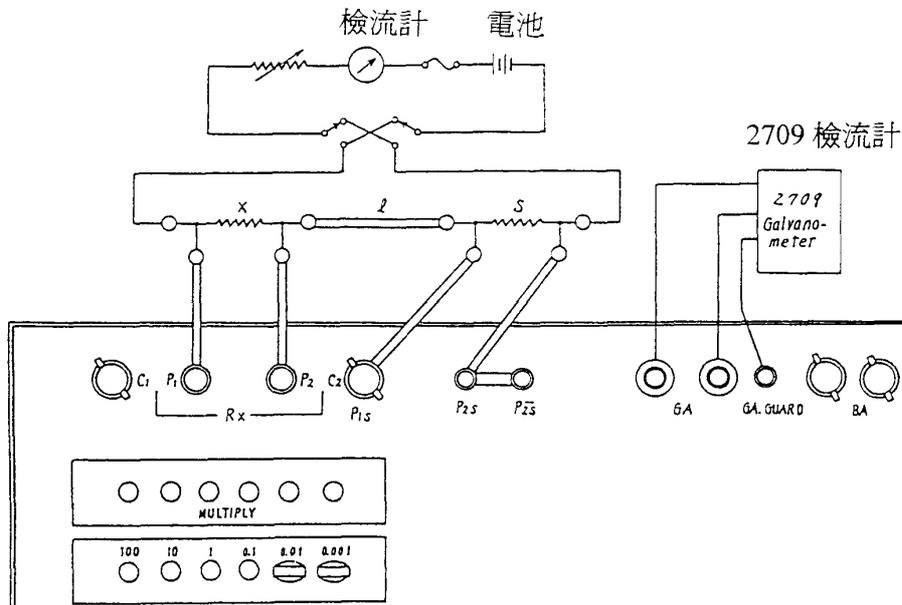


圖 25 外加標準電阻接線法

- D. 如果以上步驟準備妥當請按下列操作方法操作雙比電橋。
- a. 將 YEW 2757 之轉盤數值全部歸零。
 - b. 將倍率插梢參考圖 23，配合待測電阻值大小，插至適當位置。
 - c. 將直流電流表之測試端子，配合雙比電橋之安全電流值接妥。
 - d. 將倍率之插梢，插妥於所規定的孔內後，始可將 BA 雙投開關向右方關閉，然後按下檢流計開關 G_s ，調整滑線電阻器至適當的測試電流參考圖 23。

- e. 測試電流調整後，即先按下 G_2 調整 YEW2752 之第一位旋鈕（由小向大方向旋轉）。當檢流計之指針朝另一方向改變時，將第一旋鈕退回一格。
- f. 接著將 G_2 放開，再按上 G_1 ，調整 YEW 2752 第二旋鈕，當檢流計之指針朝另一方向改變時，將第二旋鈕退回一格。
- g. 最後將 G_1 放開，再將 G_0 按上，調整第三旋鈕與上述方法相同，然後再調整第四旋鈕（微調），使檢流計指針指示在零位置，此時線路即為平衡狀態。
- h. 旋鈕上所顯示讀值乘以倍率即是待測電阻值 R_1 之大小。
待測電阻 $R_x = \text{旋鈕上之讀值} \times \text{倍率值}$
- i. BA 閘刀開關向左關閉，按 E~H 方法求得電阻 R_2 。
- j. 平均電阻為 $\frac{R_1 + R_2}{2}$ 。
- k. 使用外加標準電阻 $S(\Omega)$ ，測量 R_1 值為 $R_1 = S(\Omega) \times \text{轉盤之電阻}$ ，為避免熱電勢影響，其 I、J 步驟相同重作一遍，取平均值。
- l. 讀取電阻時，最好先將 BA 雙投開關 OFF。
- m. 測試完畢必須將 BA 雙投開關置於中間位置，放鬆倍率插孔之插梢。

三、使用器材：

項目	名稱	規格	單位	數量
1	雙比電橋	攜帶型 YEW 2769	台	1
2	雙比電橋	精密級 YEW 2752	台	1
3	PVC 導線	1.6 ϕ	M	1.2
4	PVC 導線	5.5mm	M	1.2
5	PVC 導線	22~38 mm^2	M	各 1.2

四、實驗步驟：

(一) 以攜帶型雙比電橋 YEW 2769 測量 PVC 導線電阻：

1. 測量 1.6 ϕ 1M 長之導線電阻：_____ Ω 。
2. 測量 5.5 mm^2 1M 長之導線電阻：_____ Ω 。
3. 測量 2.2 mm^2 1M 長之導線電阻：_____ Ω 。

(二) 以精密型雙比電橋 YEW 2752 測量 PVC 導線電阻：

1. 測量 22 mm^2 50 公分長之導線電阻：_____ Ω 。
2. 測量 38 mm^2 50 公分長之導線電阻：_____ Ω 。

五、測量記錄：

待測物	YEW 2769			YEW 2752		
	倍率	讀數	電阻值	倍率	讀數	電阻值
1.6MM φ						
5.5 mm ²						
22 mm ²						
38 mm ²						

六、注意事項：

- (一) 雙比電橋使用時相當消耗電能，故使用之前，一定先檢查電池之電能是否充足。被測電阻愈低，消耗電能愈大，操作時速度要快每操作一次應予休息時間。
- (二) 使用外部電源供給時，需串聯電流表，隨時觀測，以防過載，雙比電橋使用完畢應使用棉質軟布擦拭乾淨收好，測量時間不可太長，以防溫度上升電阻而引起誤差。

學習評量三

- 一、選擇三種低電阻材料依照雙比電橋操作方法說明測量其電阻值並且記錄之。
- 二、為何雙比電橋適合測低電阻值。
- 三、做低電阻測量時，為何需注意待側元件之連接處。

學習評量三答案

一、

受測電阻	倍	率	旋鈕讀值	測量值
1. 導線				
2. 導線				
3. 線圈				

二、電阻值低於 $0.1\ \Omega$ 以下時，被測物的引線和接觸電阻常會引起測量的誤差，而使用雙比電橋可以消除上述原因，所以低電阻測量常使用雙比電橋。

三、低電阻的連接處電阻需很小而且連接必須妥當牢固，才不會引起誤差以提高準確度。

假如你的答案與上述之重點相似，請翻至下一頁，如你的答案不與上述之重點相似如你的答案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 24 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處，並將第 36 頁上的錯誤改正，請翻到下一頁。

學後評量

- 一、使用高阻計測量單相、三相變壓器高、低側繞組絕緣電阻值在 10 分鐘之內完成，其誤差率不得超過 $\pm 5\%$ 。
- 二、使用惠斯登電橋測量三相電動機繞組電阻值在 5 分鐘之內完成，其誤差率不得超過 $\pm 5\%$ 。
- 三、選擇三種低電阻材料依照雙比電橋操作方法說明測量其電阻值並且記錄之。

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					

實驗記錄

測試項目 測試值	高電阻	中電阻	低電阻

請翻到下一頁。

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。

假如你的答案與上述之重點相似，結束本單元，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 6 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，結束本單元。

參考文獻

- 一、謝志定、鄭龍華主編 84 年電儀表實習教材 泰山職訓中心編印 $P_{105} \sim P_{135}$ 。
- 二、郭塗注、黃錦華編著 71 年電工儀表實習與應用 標高圖書儀器公司 $P_{134} \sim P_{174}$ 。
- 三、游福照博士編著 80 年電工儀表 全華圖書 600D $P_{179} \sim P_{215}$ 。
- 四、林國煌編著 84 年電儀表實習 高立圖書公司印行 $P_{135} \sim P_{196}$ 。
- 五、蔡江林編著 86 年五專電工實習(三)電儀表 全華科技圖書公司 3-1~4-10，3-1~10-11，9-1~10-11。