

基本館藏

★郵電叢書★

2406

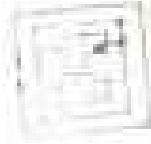
簡易無線電測試

人民郵電出版社

272

工院

①



定價 5.00 元

簡易無線電測試

斯尼切列夫著

人民郵電出版社

Г. А. СНИЦЕРЕВ

ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД

ПЕРВОЕ ИЗДАНИЕ

簡 易 無 線 電 測 試

著 者:	斯 尼 切 列 夫
譯 者:	王 明 德
出 版 者:	人 民 郵 電 出 版 社 北 京 西 長 安 街 三 號
印 刷 者:	北 京 市 印 刷 二 廠
發 行 者:	新 華 書 店

一九五四年四月初版(1—3500)

書號: 33 字數: 60000 定價: 4800 元

目 錄

一、引言	(1)
二、電流強度的測試	(8)
三、電壓的測試	(19)
四、分度與分度的校驗	(29)
五、各式測量電表	(34)
六、無線電機件中直流電壓的測試	(41)
七、無線電機件中直流電流的測試	(57)
八、電阻的測試	(63)
九、內阻和測試電流限度的測試	(75)
十、結論	(78)

一、引 言

電工測量儀器的用途 進行無線電機件調整，修理和無線電機械的實驗時，通常都隨時進行各種不同的電氣測試，

測定某一個量，就是用這個量與另一性質相同的單位量進行比較。例如測量電壓，我們就用一個電壓單位（伏特）與它進行比較。測量電流強度時，就用一個電流強度單位（安培）與它進行比較等等。

電氣數值的測試是用電氣測量儀器（俗稱電表）。用來測量電流強度的儀器稱為電流表（安培表），測量千分之幾安培，使用毫安表，而測量百萬分之幾安培的電表，稱為微安表。凡用來測量電壓的儀器，稱為電壓表，電壓超過一千伏，用千伏電壓表測量，千分之幾伏的電壓，則用毫伏表測量。測量電阻，使用歐姆表。

在做電工測量時，是利用電流的各種不同現象，來測定它的數值。例如，在動圈式和動鐵式的電表裝置中，就利用電流在其流通的導線四周產生磁場的特性來進行；在電熱式電表的裝置中，則利用電流通過導線而產生熱的特性來進行測定。在電表的機械中，這些電流現象就變成表示出被測量值的機械移動。在絕大多數的情況下，都使用指針來指示，指針在軸上旋轉時，它的頂端，則在具有刻度的刻度盤上移動。實際上，這樣的電表稱為指針式電表。

電表的外形 防止電表的機械損壞和灰塵侵入，電表的機械要裝置在特製的盒子（外殼）內。按照電表不同的用途和設計，盒子的形式和所用材料可能各不相同。電表度數的計算，是通過一個在

盒子上做好的玻璃框，在玻璃框的下面放置刻度盤，刻度盤上有指針移動。將電表連接到被測定的電路上，僅需連接到固定在電表上的接頭或插孔上即可。

幾乎所有帶指針的電表，均具有調節器的裝置，這種裝置能將指針精確地調整到刻度盤零位的刻度上，因為這種電表的指針，經常會離開零位的刻度，所以在進行測定之前，總是需要檢查它的位置，假如指針偏移，則藉助調節器將指針調節到刻度盤零位的刻度上。調節器的旋轉，通常都使用螺絲起子進行。

電表的刻度盤和刻度盤的刻度值 根據電表的刻度盤來計算指針的讀數，刻在刻度盤上的刻度，與該電表用來測量的那種量的值相同：如伏特、安培、歐姆及其他等等。由於電表的式樣不同，刻度盤上的刻度，或者是等距地排列着（均勻的刻度盤），或者是不等距地排列着（不均勻的刻度盤）。刻度盤的刻度愈精確，則按它所進行的讀數，也就愈精確。

在刻度盤上，每兩個隣近刻度間的距離，完全與被測量的一定值相符合，稱為刻度盤的刻度值。圖 1 所示，即是測量三個伏特以內電壓的電壓表的刻度盤，刻度盤共分三十個刻度，因此每度等於 $3 \div 30 = 0.1$ 伏特的電壓，這就是該刻度盤的刻度值。

刻度盤度數的讀數、帶有鏡面的刻度盤 指針在刻度盤上的位置表示出被測量的值。假如指針停止在兩刻度的中間，在此種情形下，刻度的值祇能用小數表示，大約地估計它的位置。例如圖 1 所示，電表的度數應該讀作 1.55 伏特。當讀

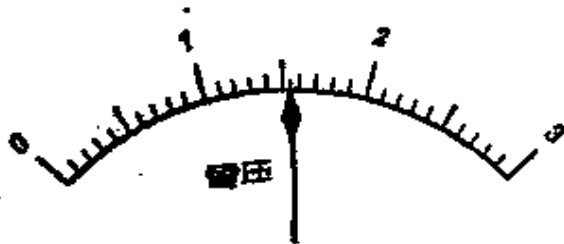


圖 1 電壓表的刻度值，每度的值為 0.1 伏特。

度數時，眼睛應做到使視線垂直地朝向刻度盤，同時直接注視到指針的頂端；如果從側面去看指針，那末指針的頂端看來就會移動，計算就不會準確。爲了避免這點，在精確電表的刻度盤上刻度的旁邊，通常在它的下面有一個切口，穿過切口可以看見一面鏡子，這樣的刻度盤，稱爲帶鏡面的刻度盤。鏡面刻度盤電表的指針爲刀形，側面轉向刻度盤；根據鏡面刻度盤進行讀數時，應使指針蓋住自己在鏡面內的影子。在此種情況下，視線經常是直接看到指針上，這樣，誤差就可以避免了。

在刻度盤上，除了刻度之外，還具有說明該電表的數據：如用途、式樣、測定電流的種類和其他等等。

測定的精確度 在任何測定中，測得的值不可能與該量真真的數值完全吻合，例如在測定電壓時，指針位於圖 1 所示的位置，試問，這個電壓表所示的電壓有多大呢？看一看刻度盤，可以說這個電壓“大約”等於 1.55 伏特，但是說它確切等於 1.55 伏特是不可以的，因爲我們的眼睛不可能判斷出指針是否完全精確地指在細小刻度的正中央，可能要多一點，或者是少一點。所以，由於我們視線的缺陷，在計算時，我們所測得的數值，可能產生誤差。

在測量中，另一種產生誤差的原因，就是測量儀器本身就有缺陷。例如，圖 1 所示的刻度盤，沒有鏡面，因此根據該刻度盤進行讀數時，我們就不可能相信，說根據這個指針的移動所進行的讀數就不會產生誤差。除此之外，由於電表活動部分在軸上旋轉時摩擦的不均勻，或者是構造上的其他缺陷，也是測量儀器可能產生誤差的原因。

其次，在進行測量時，外界的條件：如四周空氣的溫度、磁場、電場等等，對於測量儀器的正確性，也起着影響。從這一切就

可以得出這樣的結論：測量所得的值與其真實的值之間，經常存在着某種差異（雖然這種差異可能很小），這種差異稱為“測量的絕對誤差”。例如當測量蓄電池的電壓時，我們測得它等於 82 伏特，然而該電壓的實際值為 80 伏特，我們測量的絕對誤差等於 $82 - 80 = 2$ 伏特。顯然，假如絕對誤差值愈小，則被測量的實際值與測量所得的值的區別亦愈小。因此測量較為精確。

任何測定的精確度，都應該具有這樣的標準，即是要使得測量所得的絕對誤差值不具有任何實際意義。要達到這個目的，只有當誤差值與所測得的值相比較不很大時，才有可能。所以，估計測定的精確度時，總要確定絕對誤差在被測量的值中所佔的分量。絕對誤差與被測量值間的比，稱為相對誤差，通常相對誤差用被測量值的百分比表示。

根據測量時所使用的電表或方法得到的相對誤差值的結果，就能指出這種電表或方法是否良好。在無線電業餘家們的實際工作中，相對誤差通常為 5% 甚至 10%，但是完全可以使用。

【例】當測量整流器的電壓時，電表所示為 251 伏特，而實際上它是 250 伏特，因此，測量的絕對誤差等於 $251 - 250 = 1$ 伏特。以後，測量真空管絲極的電壓時，電表所示為 7.3 伏特，而實際上它是 6.3 伏特。所以，這個測量的絕對誤差亦等於 $7.3 - 6.3 = 1$ 伏特。由此可知，第一次與第二次測量所得的絕對誤差相等，試問第一次與第二次測量所得的誤差的意義是否相同呢？爲了要回答這個問題，我們必須確定這兩次測量的相對誤差值。對電壓為 250 伏特而言，其相對誤差等於 $\frac{1}{250} \times 100 = 0.4\%$ ，而電壓為 6.3 伏特的相對誤差則爲

$$\frac{1}{6.3} \times 100 = 16\%。$$

所求得的相對誤差值證明：在測量 250 伏特的電壓時，其誤差爲 1 伏特，並未具有任何實際意義，可以將它忽視，因爲它僅佔被

測量值的 0.4%。當測量 6.3 伏特的電壓時，不能忽略 1 伏特的誤差，因為它已達被測電壓的 16%。顯然，用這種電表來測定是不可行的。

電表的精確度 測量的精確度最主要的是根據進行測定時所用的電表的精確度而定。所謂電表精確度就是測定結果所得到的值與它的實際值相符合的程度。電表精確度的計算，是根據電表的最大誤差而言，而最大誤差以該電表所能測量的最大值的百分比來表示。假設我們精確地知道我們所測量的電壓，而用具有五個伏特刻度的伏特表測量 3、4 和 5 伏特時，伏特表所示的電壓為 2.95、3.98、和 4.99 伏特。測量電壓為 3 伏特時，誤差最大（0.05 伏特）。因為該電表可能測量的最大電壓等於 5 伏特，因此電表的差誤等於 $0.05:5 = 0.01$ 或 1%。

根據現行標準，所有電工測量電表的差誤分為五等：即 0.2、0.5、1.0、1.5、2.5。這些數字表示這五等電表可能產生的最大誤差。也就是用該電表所能測量最大值的百分比來表示的。這個誤差可能比值際值大，也可能比值際值小。也就是說電表可能指示較大或較小的讀數。

0.2 或 0.5 型的電表，試驗室可用來進行精確的測定與檢定。1.0 和 1.5 型的電表通常用來進行技術上的測定（其中包括無線電機械的調整和修理時的測量）。而 2.5 型的電表僅用來作指示器之用。還有其他精確度較低的電表，也僅用作指示器。在各種電表刻度盤的右下方表示着它的精確度屬於何種等級。

知道電表精確度的等級後，則經常可以預先確定使用這種電表進行測量時的誤差大小。例如：一個 2.5 型的毫安表，其刻度為 30 毫安，即是說用這個電表進行測量時，其最大誤差將不超過 30 毫

安的 2.5%，或 $30 \times \frac{2.5}{100} = 0.75$ 毫安。在測定電流為 30 毫安和測定電流為 3 毫安時，均為這樣的誤差（0.75 毫安），而 0.75 毫安的誤差對於 30 毫安的電流，其誤差為 2.5%，而對於 3 毫安的電流，如誤差為 0.75 毫安，則其百分比為 25%。由此可知，指針偏斜的角度愈小，則測量的相對誤差愈大。所以，經常應該用這樣的電表進行測量，即在測量的時候，要使指針儘可能地偏斜到刻度盤的末端。例如測量一個伏特的電壓，使用刻度盤為 50 伏特的伏特表是不能允許的，因為即使利用 0.2 型的電表來進行測量，誤差亦可能達到 10%。

電表的靈敏度 根據電表本身可能測量的範圍大小，來估計它的靈敏度。亦就是電表的靈敏度愈高，則它所能測定的範圍就愈小。

利用電表指針偏斜角所增加的讀數與引起該指針偏斜的被測量值增加數之比，來計算其靈敏度。偏斜角增加的讀數愈大，則電表愈為靈敏。例如，一只伏特表當其測量的電壓增加一伏特時，該表指針旋轉的角度增加刻度的 0.2，這個電壓表就比在相同電壓下，旋轉角僅增加刻度的 0.1 電壓表靈敏。

把靈敏的電表叫做精確的電表，則靈敏度與精確性的概念就混淆不清。這兩個概念之間，實際上並無任何連系。靈敏電表指針的偏斜，祇要在極細小的電流或電壓的作用下即可產生。但是這種電表所指示的讀數可能與該量的實際值相距甚大。因此，不一定是精確的。相反，靈敏度較低的電表，其所指示的讀數可能精確地與測量的實際數值相符合。所以，它也就是比較精確的。

測試限度 當進行測量時，電表指針偏斜到刻度末端所表示的

值，稱為該電表的測試限度。例如圖 1 所示的刻度盤，該電壓表的測試限度等於 3 個伏特。

電表的測試限度不應與進行測定的量相差太大。因為，正如我們所知道的，它們之間的相差不大時，測量的相對誤差即最小。而且根據刻度進行計算，可以更為精確。例如，當電壓為 8 伏特時，可以用刻度盤為 10 伏特的電壓表或刻度盤為 100 伏特的電壓表測量。但使用刻度盤為 10 伏特的電壓表測定時，所測得的電壓精確度較高。因為每伏特都相當於刻度盤的兩度（見圖 2、a）。而用刻



圖 2 測量 8 伏特的電壓時指針的偏移。

a. 測試限度為 10 伏特的電壓表。

b. 測試限度為 100 伏特的電壓表。

度盤為 100 伏特的電壓表測定時，則每伏特僅偏移每度的五分之一而已（見圖 2、b）。

電氣測量電表的內阻 大部分電表的裝置都是在有電流經過電表時，指針才開始移動。同時，指針移動較大則電流亦較大。因此，根據指針移動的大小，可以決定通過電表電流的大小。由此可知，電表是電流的導體，正如任何其他的導體一樣，具有一定的阻力，該阻力的大小，要根據電表的設計和用途而定。這種阻力，稱為電表的內阻。

二、電流強度的測試

電流表的連接 用電表測量某個電路中的電流強度時，應當與該電路串聯（見圖3）。這樣，電路中經通的電流，也就經過這只電表。

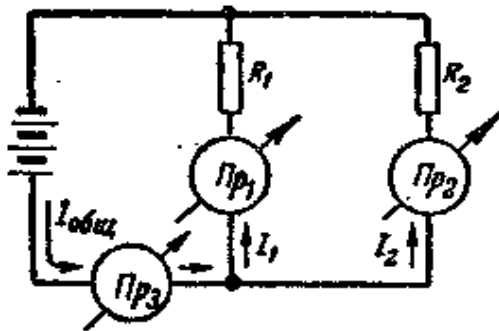


圖3 測定電流時電表的連接。線路圖中所示為電表測定電路各段的電流（ $I_{п1}$ 和 $I_{п2}$ ）及電池組輸送至外部電路總電流（ $I_{п3}$ ）時的連接。

那末，電路中電流的大小，就可以根據電表指針偏斜的角度而確定。假使電表的內阻過大，則電表接上後會顯著地使電路中的電流減弱（因為其總電阻增加）。同時，電表所示的電流強度，比未接上電表時電路中的電流強度為低。

〔例〕 設有一電路，由電源電壓 $U=3$ 伏特與電阻 $R=6$ 歐姆所組成（見圖

4. a）。電表的內阻 $R_{пп} = 1$ 歐姆，試問電表所示電路中的電流是多少？

首先測定電路未接上電表時的電流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3}{6} = 0.5 \text{ 安培。}$$

當電路接上電表後，電路中的電阻增加 1 歐姆，則等於 $R_1 = 7$ 歐姆（見圖 4. b）。因此，電路中的電流等於：

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{3}{7} = 0.43 \text{ 安培，}$$

這即是電表所示之電流。

我們可以看到，電路接上電表後，在電路中的電流從 0.5 安培降到 0.43 安培。讀者們很容易了解，如電表的內阻為 0.1 歐姆，

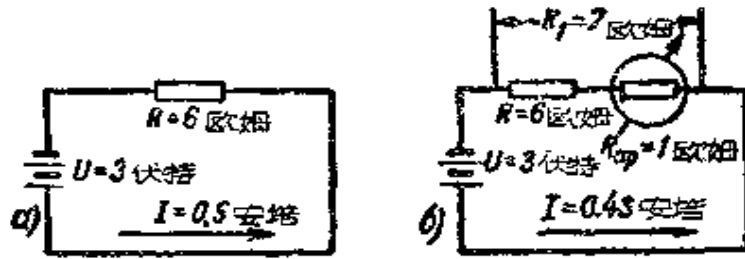


圖 4

- a. 電壓 $U=3$ 伏特和電阻 $R=6$ 歐姆所組成的電路。
- b. 電路中接上電表後，總阻 $R_1=7$ 歐姆。

則電路中電流的改變甚小，在此種情形下，電表所示為 0.492 安培。這個讀數已與電路中真實存在的電流強度非常接近。由此可知，電流表內阻愈小，則電流表接上後對電路中電阻與電流的改變亦愈小。即是說電表所示的讀數愈接近真實的電流強度。

上面我們已經說過，測量電流強度的電表稱為電流表。比較微弱的電流用毫安表或微安表來測量。所有這種電表，均具有極小的內阻，因為他們僅用於與電路串聯。但是任何一只電流表，假使並聯到電源（電池組、蓄電池、電燈線）接頭上，則必然使它毀壞，因為，在此種情況下，有超過限度的巨大電流通過電表。

測定電流限度的擴大 在實際工作中，經常需要測量超過電流表測試限度的電流。在此種情況下，利用在電流表上加接分流電阻的方法，來擴大電流表的測試限度。

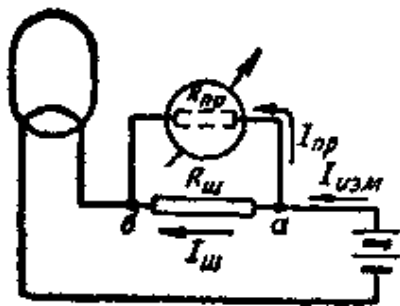


圖 5 用具有分流電阻電表進行真空管絲極電流的測定。

分流電阻本身即是與電表並聯的電阻，接有分流電阻的電表，就如同普通的電流表一樣接到電路上，也就是說串聯到電路上（圖 5 所示）。電路中流通的電流，到達 α 點時，分為兩部分：一部分（ $I_{ш}$ ）通過分流電阻，而另一部分（ $I_{вп}$ ）則經過電表。變更分流電阻的大小，我們就可以改

變這兩部分間的比率：分流電阻比電表的內阻愈小，則電路的總電流中通過旁路的部分愈大，反之亦然。因此，接有分流電阻的電表，不再是測量電路中的全部電流，而僅測量其中的一部分。同時，選擇適當的分流電阻，就能測量其中的任一部分。因此，已知在接上分流電阻後，電路中通過電表的電流佔總電流的百分之幾，和已知該部分電流的大小後（按電表所示度數），就很容易求得電路中的電流。

分流電阻的計算 分流電阻通常是這樣選擇的，即使得通過分流電阻的電流等於超過電表測試限度的電流。例如用測試限度為 1 安培的電表來測量 10 安培的電流，則所選擇的分流電阻，應使得能通過 $10 - 1 = 9$ 安培的電流。這樣，電路中電流為 10 安培時，電表指示的電流為 1 安培；如電路中電流為 5 安培，則指示電流為 0.5 安培；電路中電流為 1 安培時，則為 0.1 安培，依此類推。

分流電阻需要多大，可按下列公式求得：

$$R_{ш} = \frac{R_{np}}{\frac{I_{изм}}{I_{np}} - 1},$$

$R_{ш}$ 分流電阻；

R_{np} 電表內阻；

I_{np} 電表的測試限度；

$I_{изм}$ 需要電表測量的限度。

在此公式中電流與電阻可用任一單位表示，但其單位必需相同（假如 I_{np} 的單位為毫安，則 $I_{изм}$ 的單位亦需為毫安。假使 R_{np} 的單位為歐姆，則 $R_{ш}$ 的單位亦應為歐姆）。

〔例〕 用測量限度 $I_{np} = 1$ 毫安的電表來測量 $I_{изм} = 1$ 安培的電流，如電表的內阻 $R_{np} = 50$ 歐姆，試求分流電阻的值。

利用上述公式，將 I_{uzM} 用千分之一安培表示 ($I_{uzM} = 1000$ 毫安)，則得：

$$R_{uz} = \frac{R_{np}}{\frac{I_{uzM}}{I_{np}} - 1} = \frac{50}{\frac{1000}{1} - 1} = 0.05005 \text{ 歐姆} = 0.05 \text{ 歐姆}。$$

當電路中的電流為 1 安培，接有這樣的分流電阻後，電表的指針偏移到最大的讀數上。同時，僅 1 毫安的電流通過電表，而其餘 999 毫安的電流通過分流電阻。用這只電表來測量更大的電流，則需要通過分流電阻部分的電流更大。因此分流電阻必須更加減小。例如，測量 5 安培的電流，則分流電阻應使其等於 0.0102 歐姆，讀者按照上述公式進行類似的計算後，就能很容易證實這一點。

分流電阻的設計 分流電阻通常由導線製成，分流電阻的值不應該隨溫度的變化而變化。所以，製造分流電阻最適當的材料為銅、錳與鎳的合金或銅與鎳的合金。製造分流電阻所用導線的截面，應使導線中電流的密度，不超過 1—1.5 安培/平方公厘；在強大的電流密度下，分流電阻即將發熱，同時它的電阻就會改變。

導線所需的直徑，可按下列公式求得：當電流密度為 1 安培/平方公厘時， $d = 1.13\sqrt{I_u}$ ；當電流密度為 1.5 安培/平方公厘時， $d = 0.92\sqrt{I_u}$ 。d 為導線所需的直徑，單位為公厘； I_u 為通過分流電阻的電流強度，單位為安培。

導線長度可按下列公式求出：

$$l = 0.785 \frac{R_{uz} d^2}{\rho}$$

l ——導線長度，單位公尺；

R_{uz} ——分流電阻，單位歐姆；

d ——分流電阻導線的直徑，單位公厘；

ρ ——分流電阻材料的電阻係數（見表一）。

表一 各種不同導體的電阻係數

不同工廠出品的導體電阻係數值，可能與本表所示稍有區別。

材 料	電 阻 係 數 ρ
銀鎳合金	1.0
銅鎳合金	0.51
列阿丹*	0.49
銅、錳與鎳的合金	0.43
鎳絲	0.43

註：*此為一種合金，具有高電阻的阻力絲。

[例] 設分流電阻 $R_{sh} = 0.05$ 歐姆 通過分流電阻的電流應為 $I_{sh} = 999$ 毫安 = 0.999 安培 (見上例)。試求分流電阻導線的長度和直徑，

$$d = 1.13\sqrt{I_{sh}} = 1.13\sqrt{0.999} = 1.13 \text{ 公厘}$$

假如用銅、錳與鎳的合金導線 ($\rho = 0.43$) 來繞線圈，由於銅、錳與鎳的合金導線的直徑沒有 1.13 公厘的，所以，選擇較大直徑 $d = 1.2$ 公厘的導線利用上述公式，則得：

$$l = 0.785 \frac{R_{sh} \cdot d^2}{\rho} = 0.785 \frac{0.05 \times 1.2^2}{0.43} = 0.131 \text{ 公尺或 } 131 \text{ 公厘。}$$

事實上導線必需的長度可以與計算的稍有出入。因為各個工廠出品的導線，其電阻係數的大小往往與表一所示的電阻係數不完全相符。所以必須用檢查該電表所示的度數是否與一個相當精確的電表所示的度數相符的方法，來進行分流電阻與電表最後的調整，假如在校驗時，具有分流電阻電表的指針移動超過刻度的限度（比照精確電表，使電流強度等於具有分流電阻電表的限度），則分流電阻必須減少。假如指針還不能達到刻度的最後一度時，則應增加。

分流電阻通常繞在一個由絕緣材料所做成的軸管上，一般使用 BC 型、CC 型或其他的電阻作為軸管。分流電阻的末端銲接在電阻兩端的接腿上，在此種情況下，必須注意到作為軸管的電阻係與分流電阻並聯，所以在繞線之前，最好把電阻上的導電層除去。

或者使電阻的值超過分流電阻的電阻數倍。

通常用粗的導線來作分流電阻，繞成螺旋形，而不用軸管。

分流器的裝配 假如用具有分流電阻的電表來測量比較小的電流（大約幾個安培），則分流電阻可以直接裝配在電表的接頭上，這種分流電阻通常放置在電表匣內。而測量大的電流（數十安培）時，分流電阻須與電表分開單獨裝置，因為通過分流電阻的電流所產生的強烈磁場，會影響電表所示的度數。電表與這種分開的分流電阻用導線聯接。如果這些接線太長或這些接線截面太小時，則它們電阻的大小與分流電阻的大小進行比較時，可能很大。因此，電表所指的度數可能不正確。所以在對分離開的分流電阻作最後調整時，應包括與其相連的接線在內一併進行，其方法是用另一個標準電表所示的度數來校驗具有上述分流電阻的電表度數，此後在測量時，電表與分流電阻的連接，就祇用這一對接線。

具有分流電阻的電表接到電路上去時，應將電路的導線接到分流電阻上，而不是接到電表上（如圖 6）。如電路中的導線接到電表

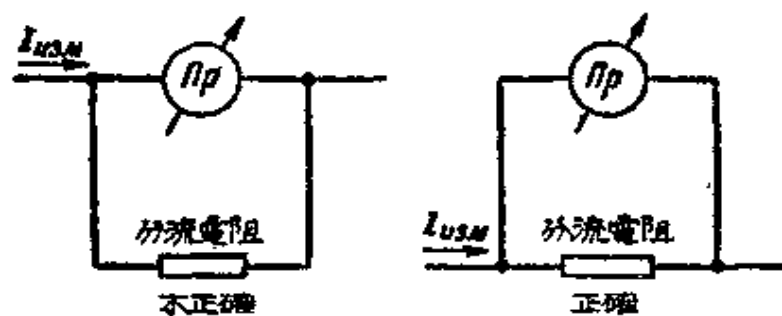


圖 6 怎樣將具有分流電阻的電表接入電路。

上（不接到分流器上），則當分流電阻偶然失去連接時，電路中的電流全部通過電表，必然使電表損壞。

因此應當特別注意分流電阻與電表的連接是否牢固。接觸不良亦是電表所示度數不正確的原因。

測量電流強度用的萬用電流表 通常電表不僅具有一個分流電阻，而是一組分流電阻，變換這些分流電阻，就可使該電表測量限度改變，因而使用同一只電表就能測量大小不同的電流。這種電表稱為萬用電流表或多刻度電流表。這種電表的優點，就是能選用適當的刻度，使我們在測定時，使指針偏斜最大，保證讀數最精確和測量的相對誤差最小。

圖 7 所示為四種刻度電表的線路圖，在這個線路圖中，所使用的

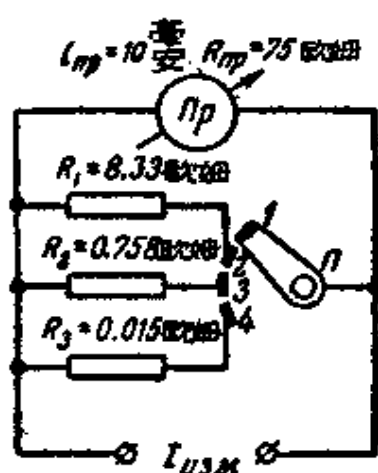


圖 7 用來測定電流的具有四個測定限度電表的線路圖。

的電流表的測量限度為千分之十安培，或者說是具有 10 毫安的刻度。要測量的電流接到接頭“ I_{100mA} ”上；測量不超過 10 毫安的電流時，電表接在沒有分流電阻的電路上，所以轉換開關 n 應放在 1 的位置（空頭）。當轉換開關移到 2 的位置時，由於電表與分流電阻 R_1 並聯，使電表的測定限度擴大到 100 毫安；當轉換開關的位置轉到 3 的位置時，電表的測定限度擴大到 1 安培；當轉換開關移到 4 的位置時，電

表接上分流器 R_3 ，而使電表的測定限度擴大到 5 安培。

這種電表的轉換開關，應使得它的滑動接觸片在轉接分流電阻時能將兩相鄰的簧片閉合起來。如果滑動接觸片在經過兩相鄰簧片的中間時，未能將它們閉合，則電表損壞。因為此時所有分流電阻都與電表分開，電路中的電流全部直接通過電表，毫無疑問，滑動接觸片經常都應牢固地與簧片相閉合，否則電表不可避免地會受到損壞。

多用分流電阻 圖 8 所示，是一個具有多用分流電阻的四種刻

度的電表線路圖。這種分流電阻的特點，即是它的總電阻大大地超過電表的內阻，當分流電阻的電阻轉換時，測定限度的改變值根據這些電阻大小的比值而定，而與電表的內阻無關。因此，將同一分流電阻接到各種不同的電表上，可將測量限度改變為相同的倍數，例如，假設一個刻度為 1 毫安的電表，使用這種多用分流電阻，它的測定限度就擴大到 10 個、100 個和 1000 個毫安，刻度為 5 毫安的電表，接上同一分流電阻時，它的測定限度就將擴大到 50、500 和 5000 毫安。

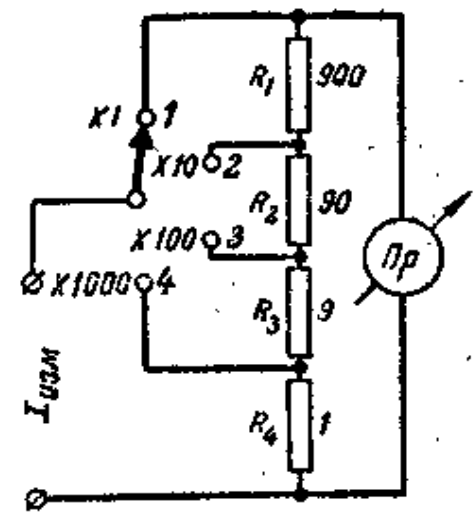


圖 8 具有多用分流電阻的線路圖。

多用分流電阻是由幾個互相串聯的電阻組成。它們阻力的大小應超過與該分流電阻連接的電表內阻大約 10—20 倍。所以，將開關放在第一個簧片（圖 8 所示 $\times 1$ ）的位置時，全部被測量的電流，實際上都通過電表。因為電表的內阻比分流電阻的內阻要少很多倍。因此，當轉換開關在這個位置時，測量的電流強度，不應超過電表測定電流的限度。在圖 8 所示之線路圖中，所選擇的分流電阻應當這樣：即當轉換開關位於 $\times 10$ 的位置時，電表與電阻 R_1 串聯，被測定電流的 $\frac{1}{10}$ 通過電表與 R_1 ，而 $\frac{9}{10}$ 的電流，通過串聯的電阻 R_2 、 R_3 和 R_4 。所以，轉換開關在這個位置時，電表的測定限度增加 10 倍。同樣，當開關轉移到 $\times 100$ 和 $\times 1000$ 的位置時，則電表測定的限度相應地增加 100 和 1000 倍。

按照這個原則，可以設計分流電阻，使其改變電表測量限度到任何所需要的倍數。

多用分流電阻的計算 爲了計算多用分流電阻，如上所述，首先必須確定多用分流電阻的總電阻，應超過與該分流電阻連接的電表內阻 10—20 倍。我們用 R_m 表示分流電阻的總電阻，其次我們必須確定轉換開關在每個簧片的位置時可以獲得的測定限度。當轉換開關位於簧片 1 的位置時，測定限度我們用 I_1 表示（這個限度通常與該多用分流電阻相接的電表測定限度相等）。用 I_2 表示轉換開關位於簧片 2 時的測定限度，用 I_3 表示位於簧片 3 時的測定限度，和其他等等。這時分流電阻所有電阻的大小，除用來達到最大限度的最後一個電阻外（在我們現在的情形下爲 R_4 ），均可按下列的公式求得：

$$R_1 = R_m - \frac{I_1}{I_2} \cdot R_m; \quad R_2 = R_m - R_1 - \frac{I_1}{I_3} \cdot R_m;$$

$$R_3 = R_m - R_1 - R_2 - \frac{I_1}{I_4} \cdot R_m。$$

最後一個電阻 R_4 按下列公式求得：

$$R_4 = R_m - R_1 - R_2 - R_3。$$

如需要製造具有較多種測定限度的分流電阻，則其他的電阻可按上述相似的公式求得。例如具有六種測定限度的分流電阻，則應按下列公式求其電阻：

$$R_4 = R_m - R_1 - R_2 - R_3 - \frac{I_1}{I_5} \cdot R_m;$$

$$R_5 = R_m - R_1 - R_2 - R_3 - R_4 - \frac{I_1}{I_6} \cdot R_m;$$

$$R_6 = R_m - R_1 - R_2 - R_3 - R_4 - R_5。$$

在這些公式中電流和電阻的大小可以任意，但必須使用相同單位（正如分流電阻的計算一節中所述的公式一樣）。

〔例〕 測定限度為 1 毫安的電流表，其內阻為 100 歐姆。接上多用分流電阻時，使轉換開關位於簧片 1 時，測量電流 $I_1 = 1$ 毫安；位於簧片 2 時， $I_2 = 5$ 毫安；位於簧片 3 時， $I_3 = 10$ 毫安；試求所需之多用分流電阻。

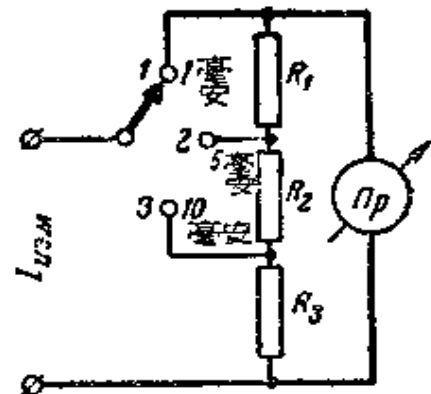


圖 9 具有三個測定限度和多用分流電阻的電表。

因此，分流電阻必須由二個電阻組成，
(見圖 9)。

設分流電阻的總電阻 $R_{\text{分}} = 1000$ 歐姆，

則組成該分流電阻的電阻：

$$R_1 = R_{\text{分}} - \frac{I_1}{I_2} \cdot R_{\text{分}} = 1000 - \frac{1}{5} \cdot 1000 = 800 \text{ 歐姆；}$$

$$R_2 = R_{\text{分}} - R_1 - \frac{I_1}{I_3} \cdot R_{\text{分}} = 1000 - 800 - \frac{1}{10} \cdot 1000 = 100 \text{ 歐姆；}$$

$$R_3 = R_{\text{分}} - R_1 - R_2 = 1000 - 800 - 100 = 100 \text{ 歐姆。}$$

具有這種分流電阻的電表，當位於簧片 2 時，其測定限度增加 5 倍；當位於簧片 3 時，增加 10 倍。這個分流電阻接於任何一個電表上，其測定限度增加的倍數與此相同。

萬用電表的刻度盤 當利用萬用電表時，必須記住，從一個測定限度轉變到另一個測定限度時，電表刻度盤上所示度數的值改變。所以，在確定測得的度數時，應乘上電表在該測定限度時刻度盤上度數所變化的倍數。例如，圖 7 所示的電表線路圖中，當轉換開關位於 1 時，刻度盤上每度的值等於 0.5 毫安；轉換開關位於 2 時，電表的測定限度增加 10 倍，等於 100 毫安；而刻度盤上每度的值亦增加 10 倍，即等於 5 毫安。因此，在這個測定限度內，確定被测電流的強度時，應將電表所示之度數乘 10。當轉換開關位於 3 和 4 時，被测電流的強度，即是將電表所示的度數，相應乘以 100 或 500。

通常在萬用電表的刻度盤上帶着幾系列的數字，每一行數字，都適合於一定的測定限度，這種刻度盤的形式大約如圖 10 所示（這種電表的線路圖如圖 7 所示）。

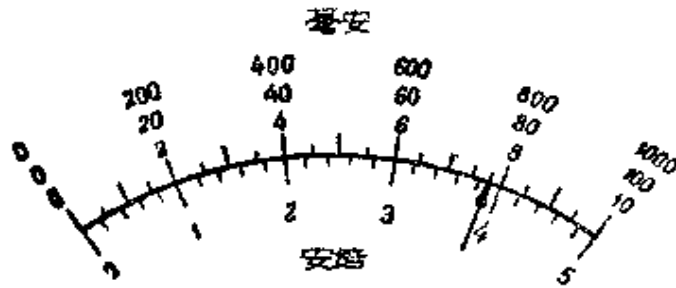


圖 10 萬用電表的刻度盤。

在讀度數時，爲了避免錯誤，應經常注意電表使用何種測定限度。

當萬用電表接到電路上時，如不知電路中的電流強度，爲了避免電表損壞，轉換開關應放置在最大測定限度的位置上。只有在確定電路中的電流強度後，才能將電表的轉換開關轉移到測定該電流最適當的位置（此時電表的指針幾乎偏移到最大的刻度）。

三、電壓的測試

電壓表的連接 圖 11 所示，測定電壓的電表連接在電路的各個不同部分上，顯然，測定電表是和需要測定電位差（電壓）的兩

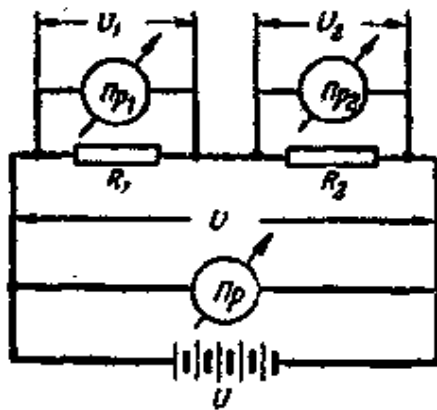


圖 11 在各段不同的電路中電壓的測定。
用 V_{p1} 電表測定電阻 R_1 上的電壓降；
用 V_{p2} 電表測定電阻 R_2 上的電壓降；
用 V_p 電表測定總電壓。

點並聯。在該電位差的作用下，電流經過電表而引起指針適當的偏移；根據指針偏移的大小，可以判斷電表所接兩點間的電位差的大小。電位差越大，通過電表的電流也越大。則指針偏移也越大，反之亦是如此。假若並聯在該段電路上的電表，其內阻比該段電路的電阻為小，則接上該電表後，連接電表兩點間的總電阻顯著減少。因此該

兩點間的電壓也減少。而電表所表示的是這減低的電壓。

〔例〕電流 $I = 3$ 毫安通過電阻 $R = 10000$ 歐姆。需測定這個電阻上的電壓（即是電阻 R 兩端的電位差）。

我們具有一個內阻 $R_{np} = 5000$ 歐姆的電表。

我們要測定 a 和 b 兩點間的電壓（如圖 12 所示）。因此我們應在這兩點上接上電表，在未接上電表之前，這兩點間的電阻等於 10000 個歐姆，接上電表後等於該電阻並聯地接上電表的電阻 $R_{np} = 5000$ 歐姆（如圖 13 所示），因此 a 和 b 兩點間的總電阻將等於

$$R_{\text{общ}} = \frac{R \cdot R_{np}}{R + R_{np}} = \frac{10000 \cdot 5000}{15000} \approx 3300 \text{ 歐姆。}$$

假如在整個電路中使電流強度保持不變，則 a 與 b 兩點間的電壓：

$$U = \frac{I \text{ 毫安} \cdot R_{\text{總}} \text{ 歐姆}}{1000} = \frac{3 \cdot 3300}{1000} \approx 10 \text{ 伏特}$$

這就是電表所示的電壓。

實際上 a 和 b 兩點間的電壓（未接上電表時）

$$U_1 = \frac{I \text{ 毫安} \cdot R}{1000} = \frac{3 \cdot 10000}{1000} = 30 \text{ 伏特}$$

即是說比電表所示的大三倍。

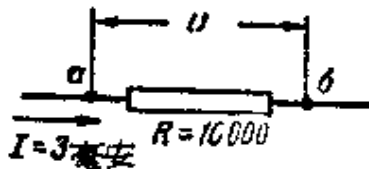


圖 12 爲了測定電阻 R 上的電壓降，電表應接到 a 和 b 點。

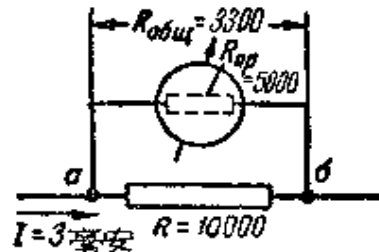


圖 15 電表的內阻與電阻 R 並聯， a 和 b 點間的總阻因而減小。

這樣巨大的差別，是由於將內阻小的電表並聯上去後，大大地減低了需要進行測定電壓的那一段電路的電阻。顯然，內阻較大的電表不會這樣強烈地改變這段電路的電阻，因而它所測得的電壓，和電路實際上所具有的電壓兩者相比，差異較小。例如，用內阻爲 500000 歐姆的電表測定時， a 與 b 間的電壓爲 29.4 伏特。這種情況下，差異僅 0.6 伏特。讀者們祇要進行適當的計算，就很容易了解。

上面我們已經說過，測試電壓的儀器稱爲電壓表；毫伏電壓表用來測量低的電壓；千伏電壓表則用來測量高電壓。這些電表的內阻都應當盡可能的大。電壓表的內阻最低限度要比測量電壓的那一段電路的電阻大 10—20 倍，祇有保持這樣的條件，連接電表的一段電路上的電阻，才不會顯著降低，電表所示的度數才能與實際的電壓相近。電壓表在這方面的質量標誌，即是電壓表刻度盤上相當

1 伏特時它內阻的歐姆數。優良的高阻電壓表，刻度的每伏特為 10000 至 20000 歐姆。

測定電壓限度的擴大 任何電壓表可以測定的最大電壓，也就是說電壓表測定的限度，可按下列公式求得：

$$U_{np} = \frac{I_{np} \cdot R_{np}}{1000}$$

U_{np} 為所求電表測定電壓的限度，單位為伏特；

I_{np} 為使電表指針偏斜到刻度盤末端（電表測定電流的限度）的電流，單位為毫安；

R_{np} 為電表的內阻，單位為歐姆。

這樣，假如電表內阻 $R_{np} = 50$ 姆歐，測定電流的限度 $I_{np} = 1$ 毫安。則測定電壓的限度等於

$$U_{np} = \frac{I_{np} \cdot R_{np}}{1000} = \frac{1 \times 50}{1000} = 0.05 \text{ 伏特。}$$

當這個電壓接到電壓表後，流過電表的 1 毫安電流，使指針偏移到刻度盤的末端。

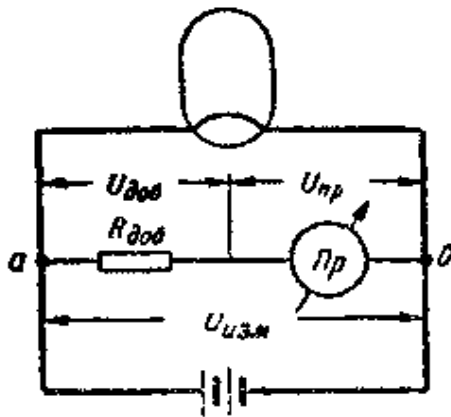


圖 14 測定絲極電壓時，具有附加電阻電表的連接。一部分被測定的電壓 $U_{доб}$ 在附加電阻上消失，而電表的指針則在電壓 U_{np} 的作用下偏移。

大多數的測量電表中，測定電壓的限度不超過一個伏特。為了能測定高電壓，採用串聯附加電阻的方法使電表的測定限度增加，電表和附加電阻與需要測量電壓的兩點並聯連接（見圖 14）。被測量的電壓 U_{uzm} 在此種情形下分為兩部分，一部分電壓 $U_{доб}$ 在附加電阻上消失，而另一部分則到電表中去。這樣，電表所示的並不是全部被測量的電壓，而僅是其中的一部分；同時，附加

電阻比電表的內阻愈大，則電表上的電壓愈小，相反亦然。因此，選擇適當的附加電阻，我們就可以使被測電壓的任一部分通過電表。假如知道通過電表的是多大一部分電壓，也知道（根據電表所示）這部分電壓的大小，我們就很容易知道全部被測量的電壓是多少。

我們經常選擇這樣大的附加電阻，使得它能消耗超過電表測定電壓限度以外的剩餘電壓。例如，一只測定限度為 0.05 伏特的電表，需要測量三個伏特的電壓。這時在附加電阻上必須消耗電表測定限度以外的剩餘電壓 $3 - 0.05 = 2.95$ 伏特。在此種情況下，接連電表和附加電阻的兩點間（例如圖 14 的 a 和 b 兩點之間）電壓為三伏特時，電表指針偏斜到刻度盤的末端。使用這個電表測量更高的電壓時，例如測量 300 伏特的電壓，那末就需要更大的附加電阻，因為必須消耗 $300 - 0.05 = 299.95$ 伏特的剩餘電壓，這樣，當 a 與 b 兩點間的電壓為 300 伏特時，電表的指針偏斜到刻度盤的末端。因此，電壓表祇要有適當的附加電阻，就不難獲得任何的測定限度了。

帶附加電阻電壓表的內阻 這種電壓表的內阻 R_0 等於電表的內阻 R_{np} 加上附加電阻 $R_{\partial 06}$ 的總和（見圖 15）。

$$R_0 = R_{np} + R_{\partial 06}$$

我們已經知道，電壓表的內阻應儘量大。通常電表本身的電阻並不大，所以電壓表的內阻，主要是依靠其附加的電阻而定。

附加電阻大小的計算 為了使電表獲得某種測定限度，所需附加電阻的大小，可按下列公式求得：

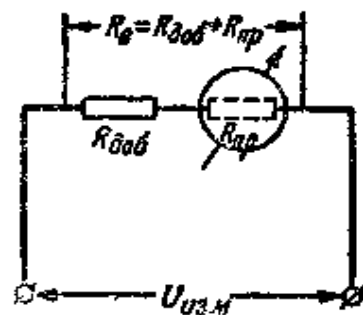


圖 15 電壓表的內阻等於附加電阻 $R_{\partial 06}$ 和電表內阻 R_{np} 的總和。

$$R_{\partial 06} = \frac{1000 \cdot U_{u3M}}{I_{np}} - R_{np},$$

$R_{\partial 06}$ 爲所求的附加電阻，單位爲歐姆；

U_{u3M} 爲電表所需的測定限度，單位爲伏特；

I_{np} 爲電表測定電流的限度，單位爲毫安；

R_{np} 爲電表內阻，單位爲歐姆。

設一電表的內阻 $R_{np} = 100$ 歐姆，其測定電流的限度 $I_{np} = 2$ 毫安，則這只電表可測定的電壓不超過

$$U_{np} = \frac{I_{np} \cdot R_{np}}{1000} = \frac{2 \times 100}{1000} = 0.02 \text{ 伏特。}$$

爲了測定 10 伏特的電壓，該電表必須接上的附加電阻

$$R_{\partial 06} = \frac{1000 \cdot U_{u3M}}{I_{np}} - R_{np} = \frac{1000 \times 10}{2} - 100 = 4900 \text{ 歐姆。}$$

當該電表接上這樣的附加電阻後，即變爲測定限度爲 10 伏特的電壓表，其內阻爲

$$R_{\sigma} = R_{np} + R_{\partial 06} = 100 + 4900 = 5000 \text{ 歐姆，}$$

怎樣的電表可以用作電壓表 現在讓我們看一看，假如使用的電表，其測定電流的限度不是像上面例子中所給的 2 毫安，而是 $I_{np} = 0.5$ 毫安，這時，電壓表與內阻又有怎樣的變化呢？爲了要使得測定限度也是 10 伏特，該電表所需的附加電阻：

$$R_{\partial 06} = \frac{1000 \cdot U_{u3M}}{I_{np}} - R_{np} = \frac{1000 \times 10}{0.5} - 100 = 19900 \text{ 歐姆，}$$

該電壓表的內阻則爲

$$R_{\sigma} = R_{np} + R_{\partial 06} = 100 + 19900 = 20000 \text{ 歐姆，}$$

由此可知，採用的電表測定電流限度小時，則它的內阻就大。

也就是說，要儘可能採用較爲靈敏的電表作爲電壓表。

在品質優良的高歐姆電壓表中，採用測定電流的限度爲 50—100 微安（0.05—0.1 毫安）的電表。在這種電壓表中，刻度盤上的每一伏特恰好相當於 20000 或 10000 歐姆的內阻。

表二 電壓表根據其不同的測定電流限度所具有的內阻及每伏特的歐姆數

電表測定電流的測定限度	每伏特的歐姆數 (單位爲千歐姆)	電壓表的內阻 (單位爲千歐姆) 及其刻度盤爲											
		1 伏特	1.5 伏特	3 伏特	5 伏特	10 伏特	15 伏特	30 伏特	50 伏特	100 伏特	150 伏特	300 伏特	500 伏特
50 微安	20	20	30	60	100	200	300	600	1000	2000	3000	6000	10000
100 微安	10	10	15	30	50	100	150	300	500	1000	1500	3000	5000
200 微安	5	5	7.5	15	25	50	75	150	250	500	750	1500	2500
300 微安	3.33	3.33	5.0	10	16.6	33.3	50	100	166	333	500	1000	1666
500 微安	2	2	3	6	10	20	30	60	100	200	300	600	1000
1 毫安	1	1	1.5	3	5	10	15	30	50	100	150	300	500
1.5 毫安	0.666	0.666	1.0	2.0	3.33	6.66	10	20	33.3	66.6	100	200	333
3 毫安	0.333	0.333	0.5	1.0	1.66	3.33	5.0	10.0	16.6	33.3	50.0	100	166.6
5 毫安	0.2	0.2	0.3	0.6	1.0	2.0	3.0	6.0	10.0	20.0	30.0	60.0	100.0
7.5 毫安	0.133	0.133	0.2	0.4	0.666	1.33	2.0	4.0	6.66	13.3	20.0	40.0	66.6

表二所示爲使用各種不同測定電流限度的電表用作電壓表時，電壓表每伏特的歐姆數和內阻大小的數據。

附加電阻的設計 電壓表上的附加電阻，不應因用過一段時間而大小有所改變。因此，附加電阻應製成線電阻，最好使用 ПСННО 或 ИИИИ 牌銅、錳、鎳合金、或銅、鎳合金的導線繞製電阻，導線的橫截面中的電流密度不應超過 1—1.5 安培/平方公厘，並可按下列公式求得其直徑，當電流密度爲 1 安培/平方公厘時，

$$d = 0.0561 \sqrt{I_{np}};$$

當電流密度爲 1.5 安培/平方公厘時， $d = 0.029\sqrt{I_{np}}$ 。

d — 所求的導線直徑，單位爲公厘；

I_{np} — 電壓表中通過電流的限度，單位爲毫安。

按下列公式可求得繞製電阻時導線所必需的長度：

$$l = 785 \frac{R_{доб} \cdot d^2}{\rho}$$

l — 所求的導線長度，單位公尺；

$R_{доб}$ — 附加電阻的必需值，單位千歐姆；

d — 導線的直徑，單位爲公厘；

ρ — 導線材料的電阻係數（見表一）。

爲了繞製 $R_{доб} = 4900$ 歐姆（4.9 千歐姆）的電阻，假設電表通過電流的限度 $I_{np} = 2$ 毫安（見上例），求導線的直徑和長度。

設電流密度爲 1.5 安培/平方公厘，則

$$d = 0.029\sqrt{I_{np}} = 0.029\sqrt{2} \approx 0.041 \text{ 公厘。}$$

因爲沒有 0.041 公厘直徑的銅、鎳合金導線，所以我們改用直徑較大的 0.05 公厘的導線（ $\rho = 0.51$ ，見表一）來繞製電阻，然後確定導線所需要的長度：

$$l = 785 \cdot \frac{R_{доб} \cdot d^2}{\rho} = 785 \cdot \frac{4.9 \times 0.05^2}{0.51} = 18.9 \text{ 公尺。}$$

實際上所必需的長度和計算出的長度可能有些出入，其原因我們已在分流電阻的計算一節內談過。所以當繞製附加電阻時，最好用較長的導線，在繞妥後進行精確調整；然後，根據精確、標準的電壓表的度數進行該電表刻數的校驗，將多餘的導線捲起，假若在測量最大限度的電壓時（在標準電表校驗下），被校驗電表的指針若未偏斜到刻度盤的末端，則必須減少附加電阻；若指針偏斜超過限度，則應增加。

附加電阻是繞製在絕緣材料的骨架上，繞成一個線圈的形式。通常這種線圈分為幾個單獨部分（見圖 16），各部分繞線多少，

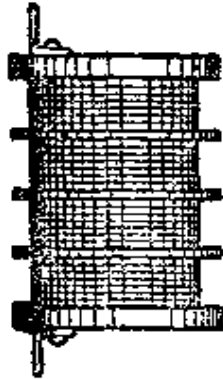


圖 16 分段繞製形式的附加電阻。

應使各該部分電壓不超過 60—100 伏特，例如一個用作電阻的線圈，必需消去 300 伏特的電壓，則應分為 3—5 部分。如要消去 500 伏特的電壓，則分為 5—7 部分，依此類推。

當附加電阻不可能用導線繞製時，可以用非導線的 BC 型或 CC 型電阻，但是不能用 TO 型的電阻，因為 TO 型電阻的值，使用過一些時間後，就有很大的變化，用非導線製成的電阻作為附加電阻時，在它上面的電壓降，不應超過 100 伏特，所以通常都用幾個單獨的電阻串聯而成。

其中每一個電阻可能散熱的電力，至少應比實際所散熱的電力大兩倍，選用電阻的散熱電力，可按下列公式求得。

$$P = \frac{I_{np}^2 \cdot R}{500},$$

P —電阻應當散熱的電力，單位為瓦特；

R —電阻值，單位為千歐姆；

I_{np} —電表通過電流的限度，單位為毫安，

〔例〕 有一附加電阻，在它上面應消耗 400 伏特的電壓，而電表通過電流的限度 $I_{np} = 2$ 毫安，也就是等於 200,000 歐姆；試求需要多少個單獨電阻，及在每個電阻上所散熱的電力。

因為在每個非導線的電阻上，其電壓降不應超過 100 伏特，所以該附加電阻，應由四個 50,000 歐姆的電阻串聯而成，其中每個電阻上的散熱電力，

$$P = \frac{I_{np}^2 \cdot R}{500} = \frac{2^2 \times 50}{500} = 0.4 \text{ 瓦特。}$$

但是沒有製成具有 0.4 瓦特散熱電力的電阻，因此選擇散熱電力最相近的電阻——0.5 瓦特的電阻。圖 17 所示就是具有計算好的附加電阻的電表線路圖。

多種刻度的電壓表 爲了用一只電表，能相當精確地測定低的和高的電壓，那末就使用多種刻度的刻度盤或稱爲萬用電壓表。圖 18 所示，就是這種電壓表線路圖之一。

這個線路圖中，所用電表的通過電流限度爲 1 毫安，內阻爲 100 歐姆；當轉換開關在 1 的位置時，可以直接測定 0.1 伏特以下的電壓；當轉換開關在 2 的位置時，電表與電阻 R_1 串聯，測定限度增加十倍，即等於

1 伏特；當轉換開關到 3 的位置時，電表與比 R_1 更大的電阻 R_2 串聯，此時電表的測定限度增加 100 倍 即 10 伏特。同樣地，移動轉換器的位置到 4、5 時，電表測定限度相應的增加到 100、500 伏特。

圖 19 所示，爲該類電表的另一線路圖。在這個線路圖中，測定較低電壓所需用的附加電阻是測定高電壓所用的附加電阻的一部分。

萬用電壓表的刻度盤 我們已經知道，在一個萬用電壓表中，

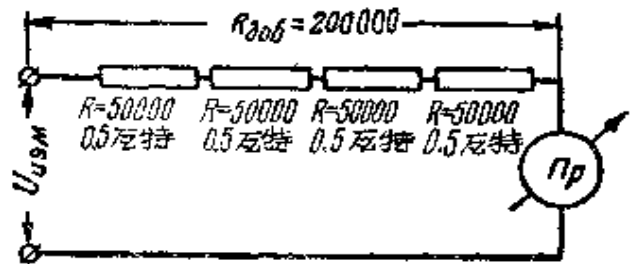


圖 17 具有非逐級做成的附加電阻電壓表的線路圖。

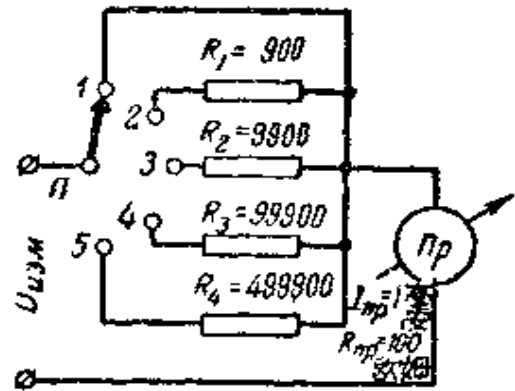


圖 18 具有五種刻度的電壓表線路圖。使用轉換開關 Π 的轉換來進行測定限度的改變。

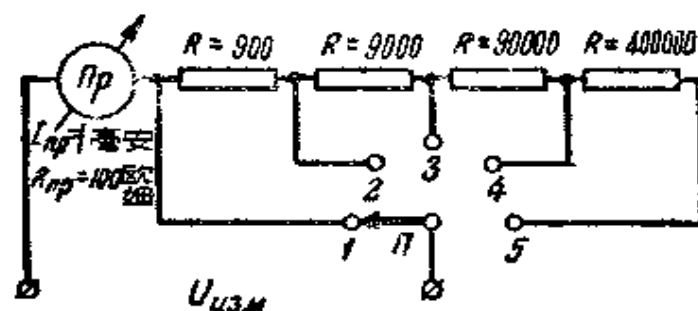


圖 19 具有五種刻度的電壓表另一類型線路圖。在這個線路圖中，測定較小的電壓時所使用的附加電阻，是在測定較大的電壓時使用的電阻的一部分。

以伏特為單位的電壓，與刻度盤度數相適應。

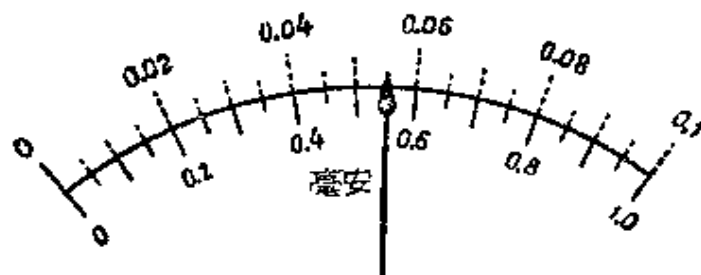


圖 20 萬用電壓表使用的電表刻度盤（見圖 18 和 19）。電壓表所示：當轉換開關位於 1 的位置時，為 0.005 伏特；位於 2 的位置時，為 0.55 伏特；位於 3 的位置時，為 5.5 伏特，位於 4 的位置時，為 55 伏特；位於 5 的位置時，為 275 伏特。

當從一個測定限度轉換到另一個測定限度時，刻度盤上每度的值亦起變化。圖 20 所示，即是上面一個線路圖中電表刻度盤的外形。這個電表刻度盤的度數為毫安的十分之一，虛線上面的數字是表示與這些刻度相適應的電壓值，但祇有當轉換開關在 1 的位置時，可以直接根據這些數字計算電壓，而在其他位置時，要測量的電壓需要電表所指出的度數（根據虛線上面的數字所得）乘上轉換開關在這個位置時，電表測定限度所變化的倍數。利用這種刻度盤非常不便，所以，對於萬用電壓表，最好是繪出一種特殊的刻度盤，使電表位於任何測定限度時，都能直接進行讀數，這種刻度盤與萬用電流表的刻度盤相似（見圖 10）。

四、分度與分度的校驗

分度的規則 電表刻度盤上的刻度，通常都刻有這個電表所用來測定的各種值，在刻度盤上刻製這些刻度的過程，稱為分度。在業餘的無線電實際工作中，當電表的刻度盤需要改裝為另一些度數時，必須進行該電表的分度。

通常分度都是根據一個標準的電表進行，根據這個標準電表的度數，在被分度電表的刻度盤上，畫出度數。標準的電表，按其精確度來說應比被分度的電表為高，當然，亦可使用精確度較低的電表來作為標準電表，但在此種情況下，分度的精確度就相應的降低。標準電表所具有的測定限度，必須和被分度的電表大致相同。在萬用電表分度時，標準電表最好也能是萬用電表。因為分度是改裝和修理電表最後的一個步驟，因此在進行分度之前，必須消滅工作中的一切毛病。

電工測定電表的讀數只有在電表分度的範圍內是精確的，所以電表的分度必須是在該電表工作的範圍以內。當電表具有金屬的套殼時，分度也必須在蓋上套殼後進行；因為取下套殼後，電表的分度可能改變。為了在具有金屬套殼的刻度盤上刻度，要將保護玻璃取下。同時，整個電表的零件、包括套殼、刻度盤等，在進行分度之前，必需先行裝固。

電流表的分度 圖 21 所示，為電流表分度的線路圖。被分度的與標準的電表互相串聯，這樣它們的指針就在同一電流的作用下偏移。

利用與電表串聯的可變電阻調節通過電表所必需的電流，其中一個可變電阻（電阻大的）用作一般調節，而另一個（電阻小的）

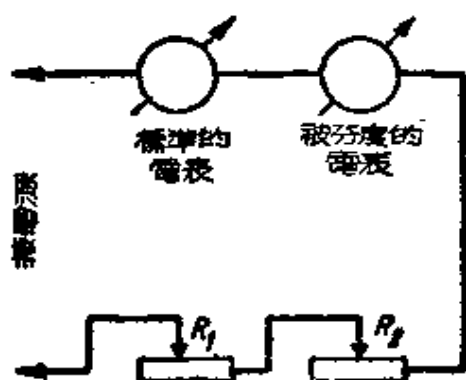


圖 21 電流表分度的線路圖，其中一個可變電阻用作電路的一般調節，另一個作為精確調節。

用作精確調節，雖然祇用一個可變電阻也可以工作，但並不方便，因為在此種情況下，要精確地調節到所必需的電流就較困難。

分度的過程如下：首先用削尖的軟鉛筆在被分度電表指針尖端所指的刻度盤上畫上一點，該點應等於零（此時電路斷開，電流亦為零）。

根據標準電表的度數畫出零點後，在電路中調節到與被分度電表測定限度相等的電流，這時，在偏斜後指針尖端的刻度盤上再畫上一點，即是電表測定的最大電流，開始與最後的一點應與套殼的窗口相對稱，如有些不均稱時，祇要用調節器將零點移動到所需要的地位就行。

假如在刻度盤上開始與最後的一點都正確地刻劃了之後，就可以畫中間的刻度，這時，根據標準電表的度數，調節各種不同大小的電流。在被分度電表的刻度盤上，用點記下與指針偏移相適應的值。採用這種方法，可以在刻度盤上記上需要的各點，然後在這些點上記上數字（數字的記號）。例如，圖 10 所示的刻度盤，就需要畫上 6 個點。

採用這種分度方法要進行兩次：一次是從刻度盤的零到末端；另一次是由末端到零。這樣可能產生與第一次不相符的新點，但是這些點也要將它畫在刻度盤上。因為必須在向前和反回分度的各點

間刻劃度數，具有數字記號的各度間，應在分度結束，刻度盤畫好，並從電表上取下後，分成更細小的部分。兩個具有數字記號度數間的距離可分為 2、5 或 10 部分。這些部分，在均等的刻度盤上，應當相等。不均等刻度盤的度數，如果他們變化不大，也可以將它們分為均等。對於電表的精確度，也沒有特殊的損害。畫在刻度盤下面度數以下的記號是表示電表的性質，並記有它的號數。

在分度時所使用的電源，應保證得到與被分度電表最高測定限度相等的電流。乾電池、放電電流等於被分度電表最高測定限度的蓄電池，或者是發出相等電流的整流器，都可以用作直流電表的電源。交流電表進行分度時，則使用電壓為 1—2 伏特的降壓變壓器，使其電流亦等於被分度電表的最高測定限度。

調節電流的可變電阻，在調節到電阻最大後，電表指針的偏移應少於刻度盤的一度（帶有數字記號的）。進行精確調節用的可變電阻應佔總電阻的 10—20%。

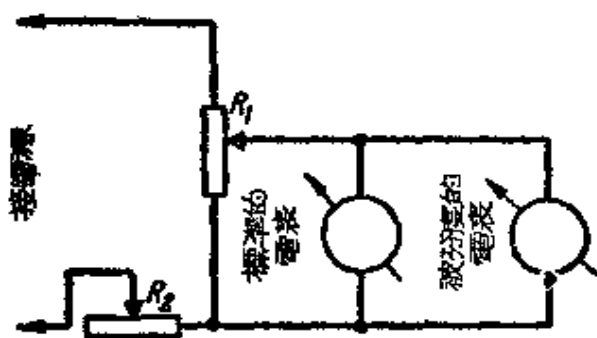


圖 22 電壓表分度的線路圖。電位器 R_1 用作電壓的一般調節，可變電阻 R_2 用作精確調節。

電壓表的分度 圖 22 所示是電壓表分度的線路圖。被分度的電表與標準電表相互並聯，使它們的指針在同一電壓的作用下偏移。電位計 R_1 用作電壓的一般調節，可變電阻 R_2 用作精確調節，如果祇用其中的一個

時，要精確地調節到所需的電壓就比較困難了。

電壓表分度的程序與上述電流表分度的程序毫無區別。也是在電表的刻度盤上畫出與各種不同電壓相應的各點。而各點的值，則

根據標準電表得出，在電壓表分度完畢後，也正如電流表刻度盤各度間的分畫一樣，將電壓表各度間的距離再分畫為細小部分。

電位計 R_1 的電阻，大約較互相並接的電壓表的總電阻小一倍， R_2 的電阻，則應等於電阻 R_1 的 15—20%。當電位計和可變電阻上有電流通過時，不應顯著發熱。

分度時所使用的電源，其發出的電壓應超過被分度電表測定限度的 15—20%。根據被分度電表不同的測定限度，可以使用幾個乾電池所組成的電池組、幾個串聯的屏極蓄電池，或是整流器作為直流電表的電源。對交流電壓表進行分度時，則從電燈線路，或從能發出所需電壓的變壓器線圈上獲得所需的電壓。

分度的校驗 電表在長時期使用或進行修理後，其度數的精確度通常都會變壞。所以它們的分度必須進行校驗。在進行分度校驗時，利用各種不同的值與標準電表的度數進行比較的方法找出被校驗電表的誤差值。

校驗電表分度所用電路圖與電表分度時所用線路圖一樣（見圖 21 和 22）。

分度的校驗按下列方式進行：根據被校驗的電表調節各種不同的被測量的值，再按標準電表的度數，求出該量的實際值；使用這種方法校驗刻度盤上所有數字記號的度數。將校驗結果記錄在特製的表格上，再根據這些數據來確定電表測定的實際值。下面即是這種表格的一例（見表三）。

在該表格中有着特殊的一行，記錄着須要修正的度數，電表度數須要增加的修正量具有正號。須要減少的則帶有負號。根據這種表格可以構成電表分度的圖表（見圖 23 α 和 δ ）。這種圖表能使電表指針在任何位置時，都能求出被測量的值。

四、分度與分度的校驗

表三 分度的校驗

電流表

電表讀數, 單位安培	實際的値, (根據標準電表所得) 單位安培	差額 (單位安培)
0	0	0.0
1	1.3	+0.3
2	2.1	+0.1
3	3	0.0
4	3.9	-0.1
5	4.8	-0.2

電壓表

電表讀數, 單位伏特	實際的値, (根據標準電表所得) 單位伏特	差額 (單位伏特)
0	0	0
20	15	-5
40	33	-7
60	58	-2
80	88	+8
100	119	+19

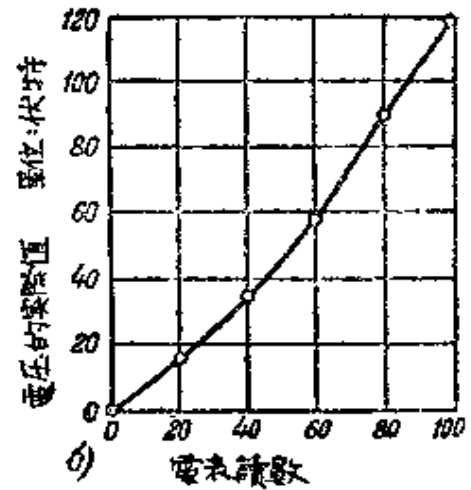
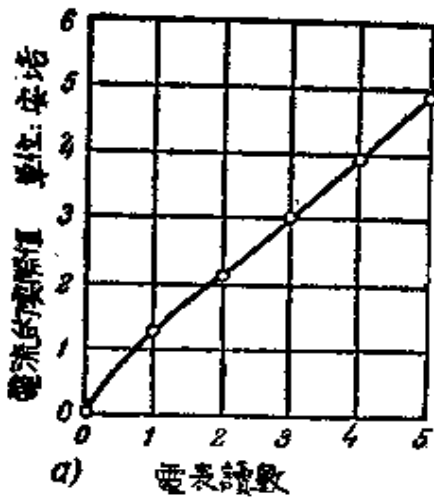


圖 23 分度的圖解: a—電流表, b—電壓表, 均根據表三所得。

五、各式測量電表

動圈式⁽¹⁾電表 動圈式電表的工作原理，就是當有電流通過導線時，此導線可以在磁場內運動。

動圈式電表的構造如圖 24 所示。永久磁鐵(1)的兩端裝由軟鋼做的兩塊磁靴(2)，它們的中間放着一個固定不動的圓柱形鋼鐵心(3)。磁靴與鐵心間的空氣隙中有一個圍繞着鐵心的線圈(5)可以在軸(4)上自由轉動。線圈架係由一長方形的鋁質框架組成，架上繞着細的絕緣銅線。軸(4)上裝着指針(6)，指針的另一端可以在刻度盤上移動。

兩個螺旋彈簧⁽²⁾⁽³⁾(7)保持活動線圈在原始的位置上。被測量的電流經過螺旋彈簧流入活動線圈。假如有電流經過活動線圈，在線圈的周圍便產生磁場。這個磁場與永久磁鐵的磁場相互作用的結果，線圈便根據通過的電流方向，轉向此方或彼方。通過線圈上的電流

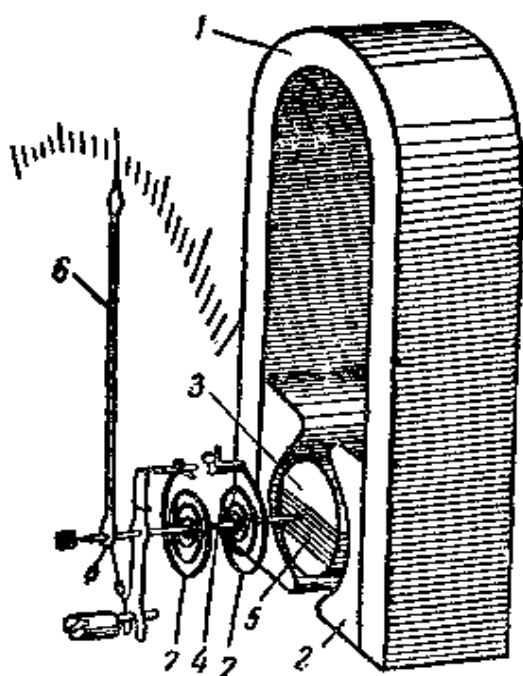


圖 24 動圈式電表的裝置圖。

註(1) 按原文應為“磁電式”，但我國一般稱為動圈式—譯者。

註(2) 為了使圖形更清楚起見，圖上螺旋彈簧(7)是並列放着，其實它們是位於活動線圈不同的兩端。

註(3) 螺旋彈簧即通常所稱的游絲—譯者。

大，其旋轉角亦大，電流愈小，旋轉角亦愈小，因此，按照與活動綫圈及指針有關的刻度盤上所示的度數，就可以決定通過綫圈的電流大小以及產生該電流的電壓。由此可知，動圈式電表一方面能測定電流，同時亦能測定電壓，所以它的刻度盤上的刻度，可以刻上電流強度的單位，也可以刻上電壓的單位。

爲了要使電表靈敏度高，就應使永久磁鐵的磁場集中到活動綫圈的周圍，因此，在磁鐵的極上，加上磁靴，而活動綫圈的內部，放置圓筒形的鐵心。這樣，磁場就均等地集中到磁靴端和鐵心間的狹窄空間。

使用相當強的永久磁鐵，可以使動圈式電表的靈敏度很高，某些動圈式電表，可以測定千萬分之一安培的電流（0.0000001安培）。

由於電表活動綫圈是在均等的磁場內移動，所以通過的電流增加多少，其旋轉角相應地亦增加多少。例如，當通過活動綫圈的電流爲一毫安時，電表的指針旋轉刻度盤的十分之一，那麼電流爲2毫安時，指針旋轉刻度盤的十分之二；電流爲3毫安時，指針旋轉十分之三；依此類推。因而電表的刻度盤是均勻的；所有的刻度其互相間的距離都是一樣。

我們已經談到過，活動綫圈旋轉的方向取決於電流的方向，當電流在某一個方向流過活動綫圈時，指針由零旋向刻度盤的另一端，而電流的這個方向變更時，指針便向反回的方向轉回。因而，動圈式電表只適合於測量直流電。當這種電表接於交流電的電路上時，其活動綫圈應該隨着電流頻率的變化而改變自己的旋轉方向。但是在頻率爲幾個週的時候，由於本身的慣性，它已經來不及跟隨電流的變化而旋轉，只是停止在零的位置上，僅僅引起指針的顫動而已。

爲了保證活動綫圈內電流具有必要的方向起見，在電表接到直流電路上時，應依照電表的接頭上所標示的記號進行連接，若面對着刻度盤看時，帶+號（正極）的接頭，它永遠是在電表的右邊。

動圈式電表測定電流或電壓的限度都不大。所以，當測定大的電流時，應接上一個大小適當的分流電阻，而測量電壓時，則應附加電阻，動圈式伏特表的內阻，由於此種電表具有很高的靈敏度，可以達到每伏特 20000 歐姆或者更多一些。

動圈式電表在所有使用指針的測定電表中是最準確的一種，其中較好的，誤差值不超過最大刻度的 0.2%，除此以外，這種電表的靈敏度較高，整個刻度盤的均勻性以及比較不易受到外界磁場和溫度的影響等，都是動圈式電表的優點。其缺點則是不能直接用來

測量交流電⁽¹⁾。

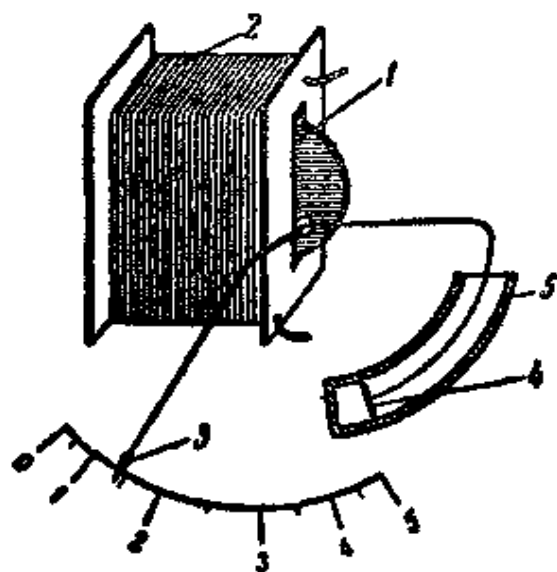


圖 25 動鐵式電表的裝置圖。

動鐵式⁽²⁾電表

動鐵式電表中，指針的偏斜是由於被測量的電流所產生的磁場，作用於位於此磁場內的軟鋼鐵心所引起的。

圖廿五所示，爲此種電表的一種設計，這種電表的活動部分爲一軟鋼做的圓盤（1），它可以繞着軸轉動，並且可以

註（1）動圈式電表加上一個能將交流電變爲直流的裝置，可以測量交流電流（可以一直到很高的頻率）。熱電偶及各種不同的整流器，如真空管整流器，晶體整流器，特別是氧化銅整流器都屬於這種整流裝置。

註（2）按原文應爲“電磁式”，但我國一般稱爲動鐵式一詞者。

進入線圈(2)裏，圓盤轉動的角度用指針(3)示明於刻度盤上。在開始的位置時圓盤是由螺旋彈簧支持着(圖上未表示出來)。與電表指針相聯的活塞(4)在筒(5)中來回移動時，可幫助指針很快的靜止。

假如電流流過線圈，則在線圈的周圍產生磁場，圓盤在這個磁場的作用下，開始被吸引到線圈的內部，同時圍繞着軸旋轉。沿着線圈流過的電流愈大，則圓盤被吸引進入線圈愈深，而與圓盤相聯結的指針旋轉的角度也愈大。這樣，根據指針旋轉角度的大小，可以判斷流經線圈的電流值或者判斷出使電流流過的電壓值。因此動鐵式電表既可測量電流，也可測量電壓。

動鐵式電表指針旋轉的角度，與通過線圈電流的大小不成正比，通常刻度盤兩端刻度的距離較近，在中間的刻度則較遠，因此所得的為刻度不均勻的刻度盤。圖26所示。為動鐵式電表刻度盤的大約形狀。

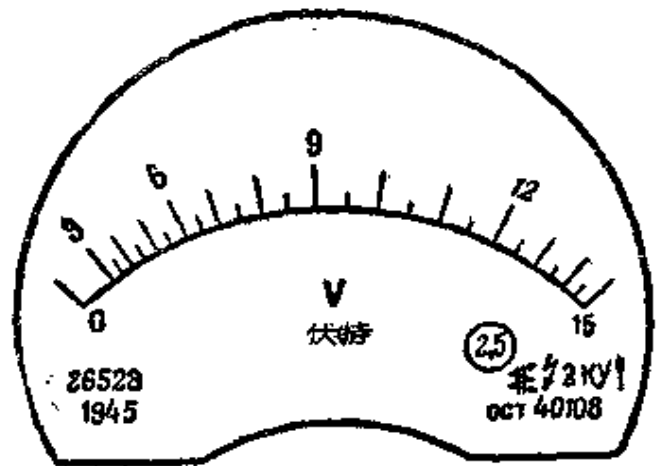


圖 26 動鐵式電表刻度盤的式樣。

動鐵式電表的指針，不管電流在線圈內流動的方向怎樣，永遠是向一個方向旋轉。所以動鐵式電表可以測量直流，也可測量交流。但因線圈的磁場對鐵心的作用隨着被測量電流的頻率升高而減弱。所以當頻率相當高時，儘管線圈內有電流存在，而指針也不發生偏斜。因而動鐵式電表只能用以測量低頻率的交流電，因為指針的偏斜不僅與電流的大小有關，而且與頻率有關，所以動鐵式電表所指的度數，只有當頻率為

其分度時所用的頻率（普通為 50 週）時才是正確的。根據同一理由，動鐵式電表測量交流與測量直流時，其所示度數會有些出入。所以動鐵式電表的刻度盤上常刻有兩列刻線：一是用於直流；另一用於交流。

動鐵式電表所示度數的準確度比動圈式電表較差。其誤差率平均為最大示度的 1—1.5%，僅僅當電表具有特殊構造時，才能降低到 0.3%。

動鐵式電表的內阻要根據線圈的圈數與所用導線的直徑而定。用以測量電流的電表內阻應小，所以線圈應用圈數不多的粗銅線。電壓表線圈內阻則儘可能要大，所以線圈用細銅線，而且圈數要多。但動鐵式電壓表每伏特的歐姆數畢竟很少超過 100，所以用以測量無線電器材中的電壓是不適合的（測量電燈線路的電壓，真空管絲極電壓，蓄電池電壓等等除外）。用動鐵式電表測量無線電器材中的電流則完全可以。

除開上述的缺點以外，動鐵式電表的示度常受外界磁場的影響，因此在測量時，應該注意，盡量使電表和有強大電流通過的導線離遠些。

動鐵式電表除去上述的設計、構造以外，還有其他各種型式，但我們不準備討論它們。

電熱式電表 這種電表是由於在金屬絲中有電流通過時，金屬絲被燒熱，其長度發生變化而使指針偏斜。

電熱式電表的裝置如圖 27 所示。兩個支柱 (1) 之間拉緊一條標準的細線 (2)（普通用鉑及鈷的合金作成）。在這條細絲上再固定一條線 (3)，它把第一條細絲拉向下面。線 (3) 上再固定一條絲線 (4)；絲線 (4) 通過可以旋轉的滑輪 (5)，滑輪 (5) 上裝着指針，

絲線的另一端固定在彈簧(6)上。

假如有電流通過校準細線時，它被燒熱而伸長，並且產生垂度。彈簧6就將拉動絲線向左，因而使滑輪和指針一道向右旋轉，根據指針旋轉的角度可以判斷電流的大小，或者是使電流通過校準細線的電壓值。

儘管在理論上用電熱式電表可以測量電流和電壓，但實際上這種電表只用以測量電流，因為電熱式電壓表的內阻，由於靈敏度不高，都不超過6—10歐姆/伏特。

電熱式電表既可以用以測量直流，同時也可以測量頻率極高的交流。因為交流和直流都可以使細絲燒熱而伸長，使電表工作。

電熱式電表的示度，與周圍空氣的溫度有很大的關係，因為溫度改變，會引起校準細絲長度的改變，而使指針離開零的位置。此種情形可使用調整螺(5)改變細線的張力即可消除。外界的磁場和電場對這種電表的影響是沒有的。

電熱式電表的刻度盤是不均勻的，首端刻度間的距離較近，中間及末端均較遠。

當被測量電流的大小改變時，電熱式電表的指針移動到刻度盤新的刻度上而停止其動作是相當慢的。這是電熱式電表的缺點之一。因為細線具有熱的慣性作用，就是說當電流改變時，細線的溫度不是立刻改變，而是逐漸改變。

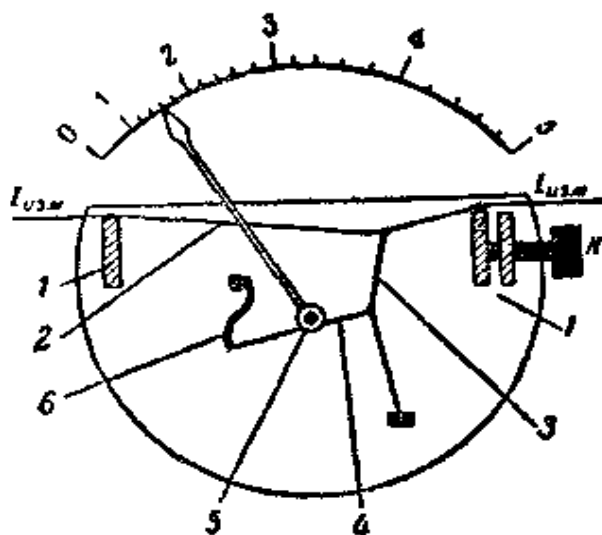


圖 27 電熱式電表的裝置圖。

使用電熱式電表進行工作時必須牢記這點，即是極小的過負荷電流通過都會使這種直徑很細的細絲（直徑約為 0.03—0.3 公厘）燒毀。

六、無線電機件中直流電壓的測試

檢查和修理無線電機件及選擇適當的真空管，都必須進行直流電壓的測量。真空管的工作情況決定於其電極間的電壓，這些送到真空管各極的電壓值與電源電壓及電源電壓所經過的零件上電壓降有關。檢查真空管的情況時，除了檢查電極間的電壓外，還須測量某些零件上的電壓降和電源電壓。

測量電壓時需要那一種電壓表呢？我們已經知道，只有當電壓表的內阻超過被測量的那一段線上的電阻 10—20 倍時，電壓表的示度才是正確的。由於在無線電機件中測量電壓，大都是在電阻極大的一段線上進行，所以用來進行測量的電壓表的內阻應該很高。例如要測量 10000 歐姆的電阻，其電壓降為 80 伏特，就需要用刻度盤為 100 伏特和內阻至少 100000 歐姆的電壓表，即每伏特的電阻為 1000 歐姆的電壓表。具有這種內阻的電壓表僅是中等質量的電表。好的電表應該有每伏特 20000 歐姆或更多一些的內阻，所以測量無線電機件中的直流電壓，採用動圈式電壓表；由於其高度的靈敏度，內阻可達到或甚至超過 20000 歐姆/伏特。也可使用真空管電壓表，它具有更高的電阻。

真空管電壓表 電表的指針是受通過真空管的電流的作用而發生偏轉，而這電流的大小又取決於被測量的電壓值，這種電表稱為真空管電壓表。

真空管電壓表的內阻很高，以致使用它時實際上並不改變被測量的那一段線上的電阻，所以在無線電機件測量中獲得了廣泛應

用。真空管電壓表的缺點便是需要使用電源，但是對那些由於已有的電表靈敏度不高，以致不能製造高歐姆電壓表的無線電業餘家們，我們建議他們把這個電表用在真空管電壓表的線路圖上。這樣，他們就會有在質量上甚至比很好的動圈式電表還優越的測量電表了。

測量直流電壓最簡單的真空管電壓表的線路圖，如圖 28 所示。真空管電壓表由一個三極真空管，一個接於真空管屏流電路中的測量電表，一個偏壓電阻 R_k 和電源所組成（電源在圖中未畫出）。選擇偏壓電阻 R_k 的大小應使得當接頭 B 和 3 短路時，供給真空管的柵極以負柵偏壓，使屏流減低，指針停止在刻度盤的首端。在接頭 B 、 3 間接

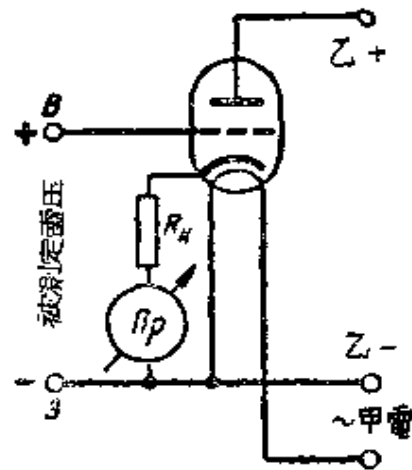


圖 28 最簡單的真空管電壓表的線路圖。

有直流電壓時（正極接於 B ），真空管柵極上的負柵偏壓減低，屏流增加，使指針偏斜一定的角度。真空管屏流的加大，指針所轉角度的增加與 B 、 3 間電壓的增加相適應，因此，根據電表的示度，可以判斷出電壓大小，刻度盤上可直接刻上電壓的單位。

用這種電壓表可以測量高歐姆線路上的電壓，其電阻完全不變。因為連接被測量電壓的 B 、 3 兩接頭間的電阻是很高的。

在上述電壓表的線路圖中，真空管柵極上的負柵偏壓是由接於屏流電路中的電阻 R_k 供給。當接頭 B 、 3 上接有被測量的電壓時，真空管的屏流增加，使電阻 R_k 上的電壓降增加，因而也引起柵極上的負柵偏壓增加，即是屏極電路與柵極電路間發生負回授作用。由於這個回授作用，所有因 B 、 3 接頭上接有被測量的電壓而使真空管柵極上增加的電壓，將會因電阻 R_k 而來的負柵偏壓的增加而

減弱，負回授的存在可以使電表的刻度盤得到均勻的刻度，即使真空管的電源電壓改變，刻度也不變更。

正如我們已經說明過的，電阻 R_k 應該選擇具有這樣的值，就是當接頭 B 、 β 短路時，指針位於刻度盤的首端。當電阻 R_k 的值不够大時，則柵極上偏壓的值不能使真空管的屏流減弱到使電表的指針位於刻度盤之首端，就是說，被測電壓以此為零點，在此種情況之下，指針不指於刻度盤的首端，則根據該刻度盤計算的準確性就降低。當電阻 R_k 的值大時，由於負回授的影響，使得即使被測量電壓的值很大時，經過電表的電流也不大，故在真空管屏回路中的電表靈敏度應高。電阻 R_k 愈大，負回授的影響也愈大。

由此可知上述線路圖的缺點，即是在屏回路中不能用靈敏度低的電表；就是當被測量電壓的值很大時，由於負回授的影響，其指針也不能偏斜到刻度盤的末端，雖則負回授的影響可以減弱（減低偏壓電阻的值），但在這種情況下，正如我們所知道的，就會降低讀數的精確性。

靈敏度低的電表，使其刻度盤能全部利用，必須採用所謂補償線路與電表連接，在這補償線路內，即使當沒有被測量的電壓時，儘管在真空管屏極電路中具有電流，也沒有電流通過電表。

此種線路之一，如圖 29 所示。在此線路圖中，電阻 R_2 的值是這樣選擇：即當 B 和 β 接頭短路時，電阻上的電壓降準確地等於偏壓電阻 R_k 上的電壓降，此時 α 點與 δ 點之間的電位差等於零，電流就不會通過電表；當 B 和 β 接頭間接有被測量電壓時，由於真空管屏流增高，故電阻 R_k 上的電壓降也增加，因此 α 點的電位比 δ 點的電位要高，結果電流通過電表。

真空管電壓表的實用線路圖 圖 30 為測量直流電壓的真空管

電壓表實用線路圖。在此線路內，當接頭 B 與 3 短路時，利用電

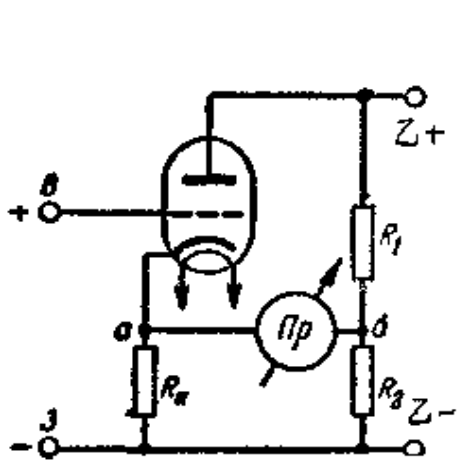


圖 29 真空管電壓表上連接的補償線路圖。

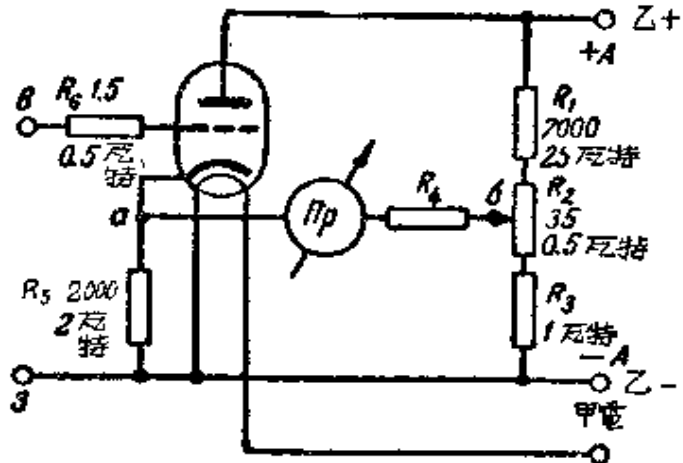


圖 30 電壓表的線路圖。電阻 R_3 的值視真空管類型而定，由表 4 查出。

位器 R_2 和電位器 R_3 的旋臂轉動，使 b 點電位等於 a 點電位的方法，把電表的指針調節到零上。各種電阻的大小，除 R_3 與 R_4 外，都在線路圖中示明。電阻 R_3 的大小，要根據電壓表中使用的真空管而定，可由表 4 查得¹⁾。在此表內說明根據真空管的類型、所用電表的測定限度和屏極電壓的大小而列出電壓表測定限度的極限。電阻 R_4 是用來使電壓表測定限度成爲整數。

例如，當真空管爲 6AC7，毫安表的測定限度爲 0—8 毫安時，則電壓表的測定限度等於 2.6 伏特，選擇電阻 R_4 的大小，使測定限度達到 3 伏特的整數，通常這電阻的值根據經驗選擇。

按上述所示線路圖設計的電壓表，可測量不超過幾個伏特的電壓。

真空管電壓表測定限度的擴大 要測量高的電壓，可藉降壓電阻擴大電壓表的測定限度，降壓電阻可使進入電壓表內的被測電壓

(註 1)：表 4 錄自“大衆無線電叢書”的 P. M. 馬里寧所著“自製測量機械”一書。

表四 真空管電壓表的數據

真空管的類型	屏極電壓 (單位伏特)	電表測定限度 (單位毫安)	電阻 R_3 的預定值 (單位歐姆)	電壓表測定的預定 限度(單位伏特)
6C5	500	0-8	275	6.5
6Ж7*	500	0-5	275	4.0
	500	0-5	275	2.5
	100	0-5	275	7.0
	100	0-5	275	5.0
6Ж5M*	300	0-8	135	3.3
	300	0-5	135	2.2
	300	0-3	135	1.5
6Ж2M*	300	0-8	150	2.8
	300	0-5	150	1.8
6AB7*	300	0-5	150	1.2
	300	0-8	140	3.1
	300	0-5	140	2.1
6AC7*	300	0-5	140	1.5
	300	0-8	145	2.6
	300	0-5	145	1.7
	300	0-5	145	1.0

* 抑制柵極與陰極相接，而燈柵極則與屏極相接。

不是全部，而只是一部分。

帶降壓電阻電壓表的線路圖如圖 51 所示，降壓電阻由電阻 R_0 、 R_{10} 、 R_{11} 和轉換開關 II_1 所構成，當轉換開關位於 $\times 1$ 的位置時，接至接頭 B 與 B 之全部電壓進入電壓表之入口，因此在此種情況下，轉換開關所處的位置，應在測量電壓不超過電壓表無降壓電阻時的測定限度，當轉換開關位於 $\times 10$ 或 $\times 100$ 時，接至接頭 B 與 B 的電壓僅一部分進入電壓表之入口，該部分電壓即轉換開關旋臂與接頭 B 之間的電阻上的電壓，也就是常在 $\times 10$ 位置時， R_{10} 和 R_{11} 上的電壓，在 $\times 100$ 位置時， R_{11} 上的電壓，

這些電阻的大小這樣選擇：當轉換開關位於 $\times 10$ 時，有十分之

一的被測電壓加在電阻上，而在 $\times 100$ 時，則為百分之一的被測電壓加在其上。因此，使指針偏斜的電壓，恰好超過無降壓電阻時電壓表的測量限度 10 倍或 100 倍。例如，設不帶降壓電阻電壓表的測

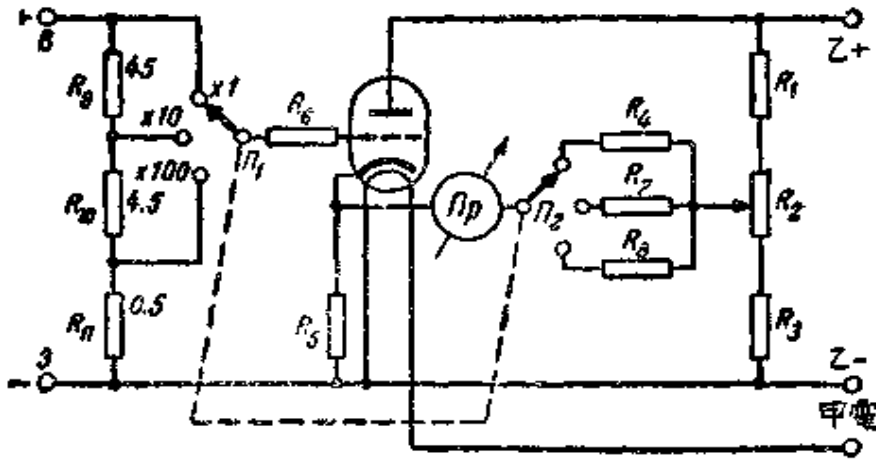


圖 31 帶有降壓電阻的電壓表線路圖，其中零另的數標與圖 30 相同。

量限度等於 3 伏特電壓，則轉換開關在 $\times 1$ 位置時，被測量的電壓不得超過 3 伏特，而在 $\times 10$ 和 $\times 100$ 時，則相應地不得超過 30 和 300 伏特。

用同樣的方法選擇降壓電阻的數量和電阻大小，可以獲得任何測量限度和相互間的任何比例。帶降壓電阻電壓表的內阻等於降壓電阻的總阻，所以測量高電阻電路的電壓表，其降壓電阻應由很大的電阻構成，例如圖 31 所示的電壓表降壓電阻，是由 45, 4.5 和 0.5 兆歐姆的電阻所組成。因此，帶此類降壓電阻的電壓表，其內阻等於 50 兆歐姆。

當然，降壓電阻可由電阻值更大的各種電阻組成，但必須注意到，電壓表的引入接頭、轉換開關的接觸和燈座各插孔間絕緣材料的漏電電阻，有時可與降壓電阻的電阻相差不大，在此種情況下，絕緣體的漏電電阻即可變為降壓電阻本身的一個電阻而成為降壓電

阻的分路，這就破壞了電壓表讀數限度的關係，並顯著的減少其引入電阻。所以降壓電阻的總值不必超過 10—15 兆歐姆，這樣，測量電阻為 1—2 兆歐姆各段的電壓，已可毫無錯誤，而在大多數的情況下，已完全够用。

降壓電阻的裝配 裝配電壓表時，必須特別認真地注意，要保證接被測量電壓正極接頭的絕緣可靠，轉換開關、燈座插孔和降壓電阻的接觸良好，電壓表的正極接頭務必裝置在良好的絕緣體上。例如，採用由陶質或航空玻璃所製的絕緣體；燈座和轉換開關的轉鈕必須由陶質製成；降壓電阻必須僅裝固在轉換開關的接片上；各連接線要儘可能的短些，除與其焊接的零件外，不要與其它任何零件相接觸。

降壓電阻愈大，則輸入接頭、轉換開關、燈座和各電阻的絕斷更應可靠。當轉換開關的轉鈕或燈座是由分層絕緣或夾布膠木製成時，降壓電阻的總阻不應超過 8—10 兆歐姆。

實際上降壓電阻能採用非導線的電阻，最大散熱電力為 0.25 瓦特的頭等 BC 型電阻，用作此種降壓電阻最為適合。採用更大的電阻則無任意義，因為實際上在大電阻上其散熱電力值很微小，降壓電阻採用 TO 型是完全不適宜的，因為它的值隨時間的變化而變化。降壓電阻的個別電阻往往這樣選擇，即使電壓表的測定限度成整倍的改變。當電阻沒有精確調整時，可用連接電阻 R_1 ， R_7 和 R_8 來校正測量限度所必需的偏斜，這些電阻值的選擇要使被測量電壓等於電壓表測定限度時（例如在 3，50 和 300 伏特時），電表的指針能偏斜到刻度盤末端，這些電阻的轉換與電壓表測定限度的轉換同時進行。

降壓電阻的計算 計算降壓電阻，首先應該知道電壓表無降壓

電阻時的測定限度，我們用 U_0 表示，同時要知道轉換開關在各位置時所需獲得的測定限度。

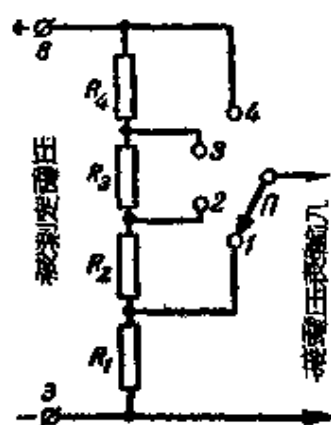


圖 32 計算降壓電阻的線路圖。

轉換開關位於接觸片 1 時所獲得的最大測定限度，我們以 U_1 表示（右圖 32）；然後按其大小，當 II 位於接觸片 2 時得到的測定限度用 U_2 表示；當 II 位於接觸片 3 時，所得到的測定限度，我們用 U_3 表示及其它等等。然後，給予電壓表內阻 R_0 適當的值，該值正如我們所知道的，等於降壓電阻的全部電阻，此後按照下列公式，計算組成降壓

電阻的各電阻值：
$$R_1 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_1};$$

$$R_2 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_2} - R_1; \quad R_3 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_3} - (R_1 + R_2);$$

$$R_4 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_4} - (R_1 + R_2 + R_3)。$$

在這些公式中，各電阻的數值，最好以兆歐姆為單位，而電壓則為伏特。

欲製作一降壓電阻，使其有很多的測定限度，則可按下列類似的公式繼續進行計算：

$$R_5 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_5} - (R_1 + R_2 + R_3 + R_4);$$

$$R_6 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_6} - (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)。及其它等$$

等。

【例】試求一電壓表所需之降壓電阻，其測定限度在無降壓電阻時為

$U_0 = 1.5$ 伏特，帶降壓電阻時，電壓表各測定限度應等於： $U_1 = 300$ 伏特， $U_2 = 150$ 伏特， $U_3 = 15$ 伏特， $U_4 = 1.5$ 伏特。

已知降壓電阻的值 $R_0 = 15$ 兆歐姆，則組成降壓電阻的各電阻值應為：

$$R_1 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_1} = \frac{1.5 \times 15}{300} = 0.075 \text{ 兆歐姆 (75000 歐姆)},$$

$$R_2 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_2} - R_1 = \frac{1.5 \times 15}{150} - 0.075$$

$$= 0.075 \text{ 兆歐姆 (75000 歐姆)}。$$

我們請讀者自己計算 R_3 和 R_4 各電阻的值。電阻 $R_3 = 1.35$ 兆歐姆， $R_4 = 13.5$ 兆歐姆。

電壓表的電源 上述真空管電壓表的電源，可以由任一當電流為 60 毫安時能供給整流電壓為 300 伏特的整流器供給，整流器與電壓表最好裝配在一個箱內，電壓表的分度可按一般的方法進行。

真空管各電極上的電壓測量
測量真空管電極上的電壓，應以它與陰極來比作為根據。因此，在測量任一電極上的電壓時，電壓表應接至該電極與真空管的陰極上，同時必須注意到電極電流，除了通過該電極相連的

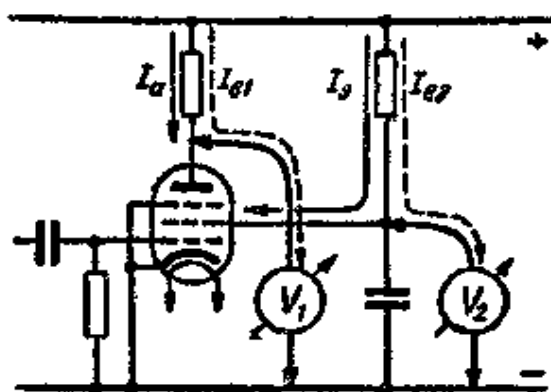


圖 33 以電壓表 V_1 測定真空管屏極上的電壓，電流通過屏極負荷電阻到電壓表 (I_{e1})，而在其上產生附加的電壓降，在簾柵極上的電壓則以電壓表 V_2 來測定。電壓表所消耗的電流 (I_{s2})，在簾柵極電路中的電阻上產生附加的電壓降。

電阻外，電流還通過電壓表。結果在各電阻上的電壓降增加，而在電極上則降低（見圖 33），電壓表則示出這降低的電壓。

伏特表所需的電流愈小，就是說它的內阻愈大。當其接通時，在電極電路中電阻上的電壓降愈小，則各電極間的差別亦愈小。就是電壓表所示的和電極上實際存在的電壓差愈小；所以在真空管各電極上的電壓最好用真空管電壓表或高歐姆（大約 10000 — 20000 歐姆/伏特）和動圈式電壓表來測量，廣泛使用的電阻為 1000 歐姆/伏特的電壓表，當它接到電路中接有很大電阻的電極上時，這時，電壓表所示的電壓比實際上存在的電壓小得多¹。

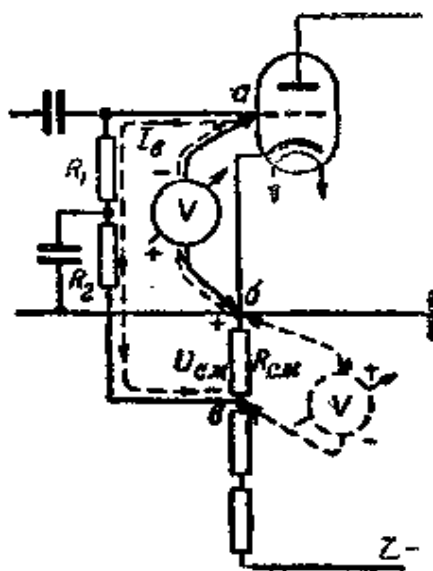


圖 34 電壓表所消耗的電流經過電阻 R_1 和 R_2 ，並在其上產生電壓降。

同時應該注意到，在真空管電極電路中存在的電阻很大時，甚至用高歐姆動圈式電壓表所測得的電壓也比實際上存在的電壓小得多，圖 34 為供給真空管柵極自動偏壓線路圖。當動圈式電壓表接至真空管柵極與陰極之間時，電壓表上的電流通過電阻 R_1 和 R_2 ，同時負偏壓通過它們而到真空管的柵極，雖則高歐姆電壓表所需的電流很小，但當這些電阻很大時，在它們上面所產生的電壓降之大，可以使根據電壓表的讀數，甚至不能

大約地判斷在柵極與陰極之間實際存在的電壓大小。例如，設經過總值為 1 兆歐姆的電阻而到柵極的偏壓為 5 伏特，則當刻度盤為 4 伏特，內阻為 500000 歐姆（每伏特為 125000 歐姆）的電壓表接至 a 點與 b 點之間時，2 微安培（2 微安培為 0.000002 安培）的電流

註1. 下述為使用低歐姆電表測量時，提高其測量的精確性的方法，根據此方法進行測量時需要進行補充的計算。

經過這些電阻和通過該電壓表，而在電阻 R_1 和 R_2 上產生 2 伏特的電壓降，因此電壓表所示的不是實際存在的 3 伏特電壓，而僅表示出 1 伏特電壓。所以當測量真空管柵極上的電壓時，若此電壓傳送到柵極上時，經過極大的電阻，則動圈式電壓表不接在柵極與陰極之間（點 a 與 b 點），而接到給與一部分偏壓的電阻的兩端（ c 點與 d 點之間，見圖 34）。通常這些電阻的值不大，故在它上面的電壓，甚至是用低歐姆的電壓表（以 100—200 歐姆/伏特為限）亦能十分精確地測量。

各真空管電壓表由於它具有很大的引入電阻，所以能直接接到柵極和陰極之間。

通常在許多情況下，測量真空管電極上的電壓，不根據它與陰

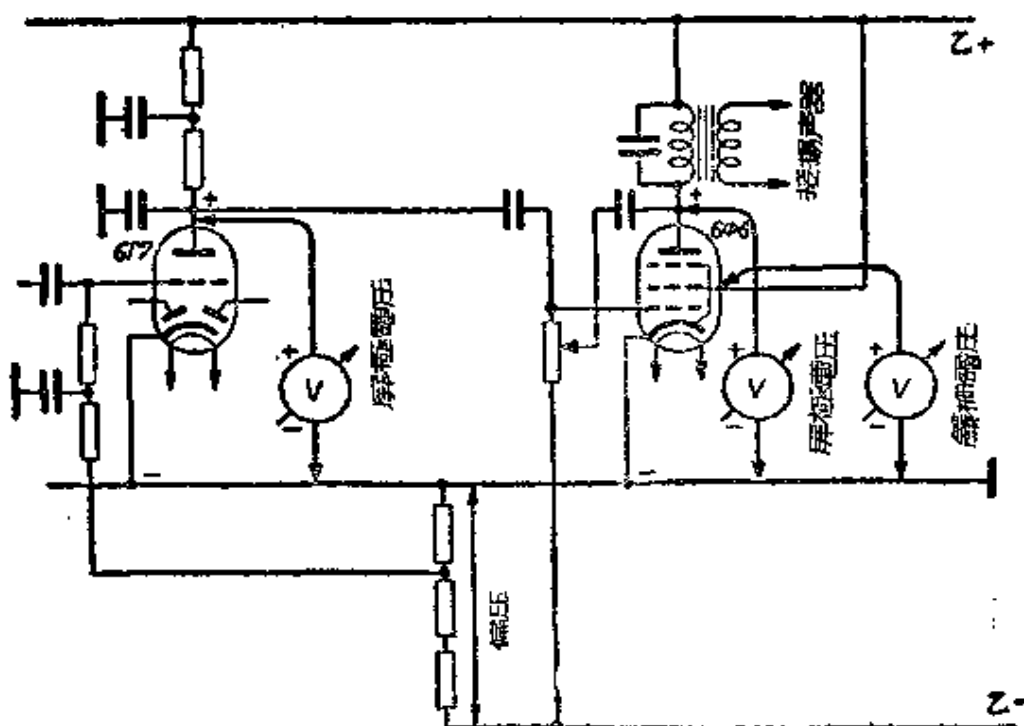


圖 35 收音機低頻部分的真空管屏極和柵極電壓的測定。因為真空管的陰極與機殼相連，所以電壓表接在屏極或柵極和機殼之間所表示的電壓，等於實際存在於這些電路上的電壓。

極的關係，而根據它與“地”（機壳）的關係，更為方便。但是，必須注意到，祇有當接在真空管總屏流電路中的電阻輸送電壓到控制柵極上時，電壓表所示的電壓，才能是真空管屏極或簾柵極上實際存在的電壓（見圖35）。當從接在真空管陰極上的電阻輸送偏壓時（見圖36），電壓表所示的電壓將比屏極或簾柵極上實際存在的電壓為大，超過的部分即為在此電阻上電壓降的值。

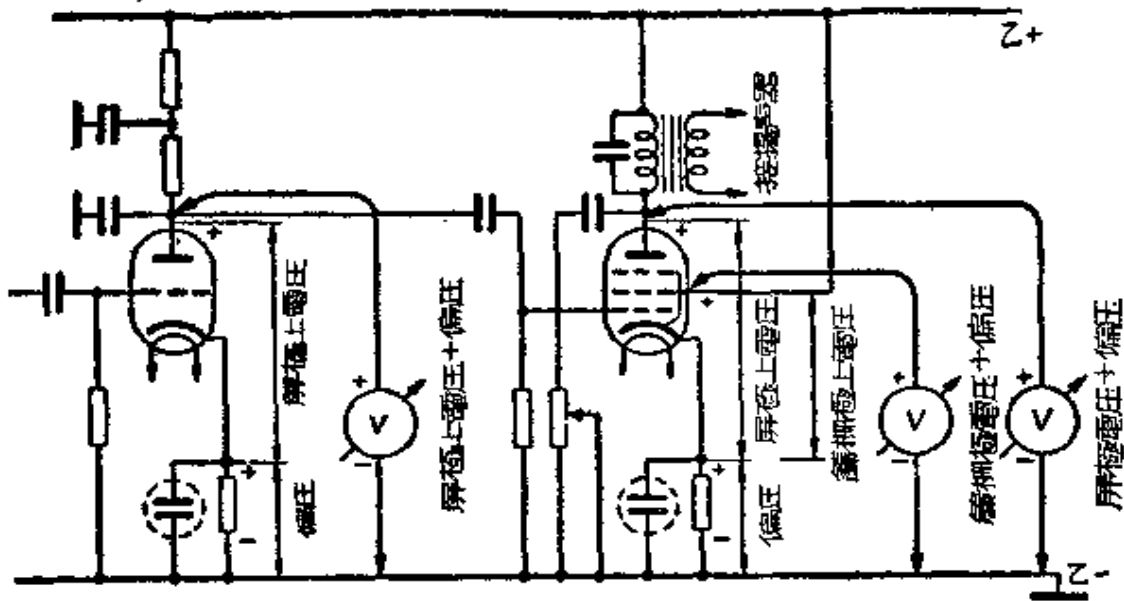


圖 36 接在屏極或簾柵極和機壳間的電壓表所示的電壓大於這些電極上的實際電壓，其大出的部分即為偏壓電阻上電壓降的值。

各式的真空管，除了末級真空管外，在偏壓電阻上的電壓降不超過 0.5—3 伏特。因此在測量屏極或簾柵極電壓時，它的電壓降可以不計算。電力大的末級真空管具有 20—30 伏特的電壓降，必須進行計算。因此測量電力真空管的屏極或簾柵極電壓時，電壓表必需接在屏極和陰極或簾柵極和陰極之間。

在各真空管的線路圖中其它電壓的測量 進行真空管線路圖中其它電壓的測量時，電壓表應接於需要進行測量電壓的兩端上。例如，測量由整流器供給而經過濾波器的電壓，則電壓表應接到濾波

器第二電容器的接頭上；如測量濾波器阻流圈上的電壓降，則應接到阻流圈的兩端；如測量任一電阻的電壓降，則應接到該電阻的兩端等等。圖 37 為超外差式收音機的線路圖，該線路說明測量各種電壓時，電壓表連接的位置。

在許多情況下，無線電機械中的測量電壓，是找尋裏面故障的一個捷徑，尤其是預先知道真空管電極上或各零件上電壓的正常值，將測量的結果與上述正常值相比較，不難確定線路中發生故障的原因。如果沒有這些資料，而要很快的找出故障，則大部分要根據無線電業餘者的經驗和善於正確估計測量的結果。

有一系列的書來敘述尋找障礙的問題，我們介紹讀者下列書籍，如 E. A. 列韋金著的收音機的調整（“大眾無線電叢書”之 33），和無線電廣播收音機（КОИЗ 1949 年），S. B. 金治布爾格著的如何發現和消除收音機內的故障（“大眾無線電叢書”之 28），和其它等等。

提高低歐姆電壓表測量電壓的準確性 當使用低歐姆電壓表時，若它是有多種刻度的低歐姆電壓表，則連接電壓表的兩點間實際存在的電壓，可以根據該電壓表的兩個刻度所得的兩種大小計算出來。

假定說，我們有一刻度盤為 300 和 150 伏特的電壓表。若測量某一電阻上的電壓降時，如使用該電壓表的測定限度為 $U_{\text{限度}_1} = 300$ 伏特時，電壓表所示電壓 $U_1 = 85$ 伏特；當電壓表轉換為 $U_{\text{限度}_2} = 150$ 伏特後，它的內阻降低，因此它接至兩點間的電壓降也降低，假使此時電壓表所示電壓 $U_2 = 60$ 伏特，那末電壓表所接兩點間實際存在的電壓值，可按下列公式計算：

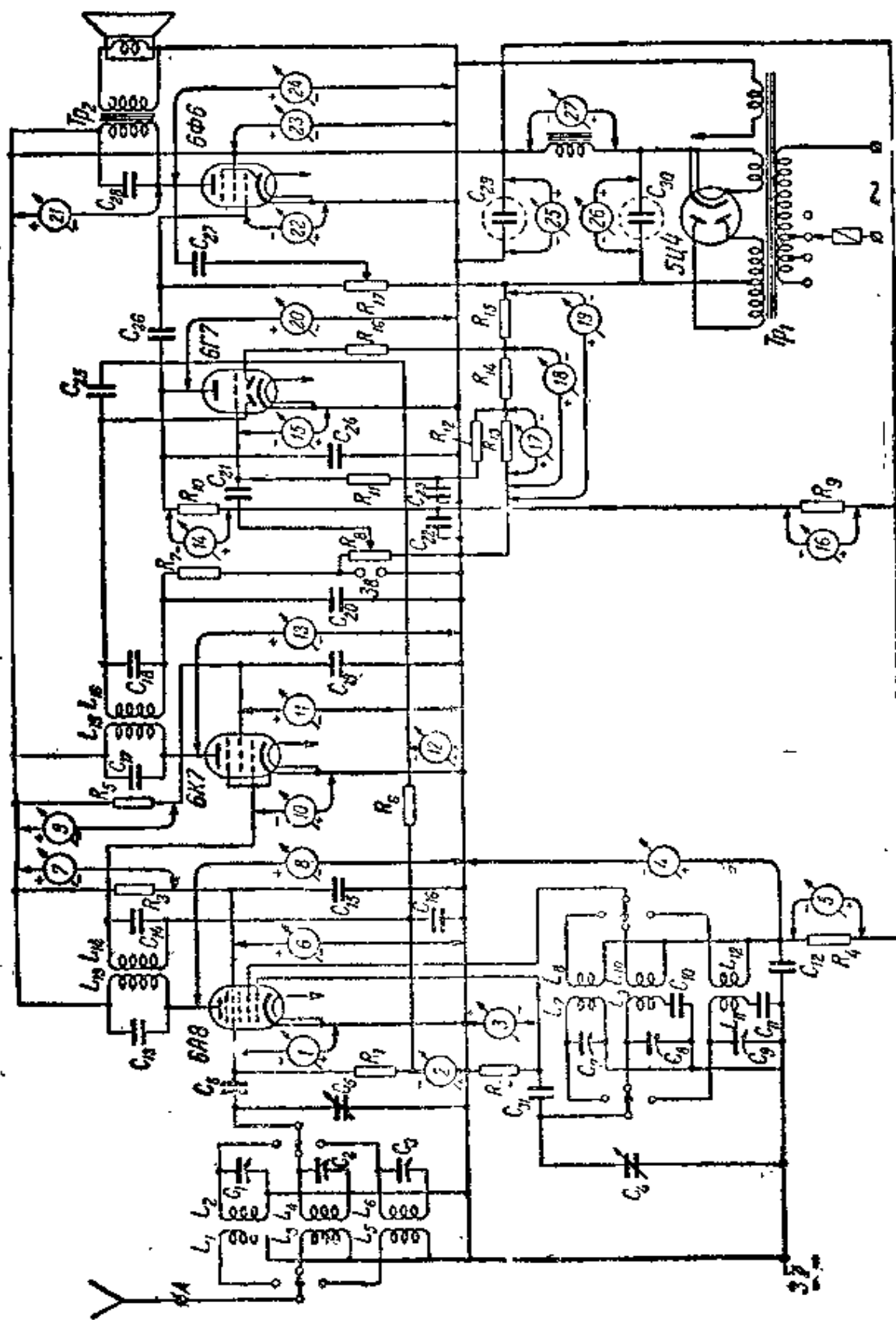


圖 57 收音機內電壓的測量。

1—6A8 管控制柵極上的電壓（刻度盤為 10 伏特的真空管電壓表）； 2—6A8 和 6K7 管控制柵極上自動音量控制
 的電壓（刻度盤 5—50 伏特的電壓表）； 3—外差式控制柵極的電壓（刻度盤 5—50 伏特的電壓表）； 4—外差式屏
 極上的電壓（電阻為 3000—5000 歐姆/伏特和刻度盤為 150 伏特的電壓表）； 5—外差式屏極電阻上的電壓降（電阻
 為 3000—5000 歐姆/伏特和刻度盤為 150 伏特的電壓表）； 6—6A8 管簾柵極上的電壓（電阻為 3000—5000 歐姆/伏特
 和刻度盤為 150 伏特的電壓表）； 7—6A8 管簾柵極電路中電阻上的電壓（電阻為 3000—5000 歐姆/伏特和刻度盤
 為 200 伏特的電壓表）； 8—6A8 管屏極上之電壓（電阻為 1000 歐姆/伏特和刻度盤為 300 伏特的電壓表）； 9—
 6K7 管簾柵極電路中電阻上的電壓降（電阻 3000—5000 歐姆/伏特和刻度盤 200 伏特的電壓表）； 10—6K7 管控制柵
 極上的電壓（刻度盤 5—50 伏特的真空管電壓表）； 11—6K7 管簾柵極上的電壓（電阻為 3000—5000 歐姆/伏特和刻
 度盤為 150 伏特的電壓表）； 12—自動音量控制的電壓（刻度盤 5—50 伏特的真空管電壓表）； 13—6K7 管屏極上
 的電壓（電阻 1000 歐姆/伏特和刻度盤 300 伏特的電壓表）； 14—6I7 管屏極負荷電阻上的電壓降（電阻為 15000—
 20000 歐姆/伏特和刻度盤為 500 伏特的電壓表）； 15—6I7 管柵極上的電壓（刻度盤為 5—10 伏特的真空管電壓表）；
 16—6I7 管屏極內去耦電阻上的電壓降（電阻為 20000 歐姆/伏特和刻度盤為 50 伏特的電壓表）； 17—6I7 管柵極上
 的電壓（電阻 100—200 歐姆/伏特和刻度盤為 5 伏特的電壓表）； 18—自動音量控制的延滯電路（刻度盤 5 伏特的真
 空管電壓表）； 19—6Φ6 管柵極上的電壓（電阻 100—200 歐姆/伏特和刻度盤 50—50 伏特的電壓表）； 20—6I7 管
 屏極上的電壓（電阻 15000—20000 歐姆/伏特和刻度盤為 50 伏特的電壓表）； 21—輸出變壓器線圈上的電壓降（電
 阻 100—200 歐姆/伏特和刻度盤 30 伏特的電壓表）； 22—6Φ6 管控制柵極上的電壓（刻度盤為 30 伏特的真空管電壓
 表）； 23—6Φ6 管簾柵極上的電壓（電阻 1000 歐姆/伏特和刻度盤為 300 伏特的電壓表）； 24—6Φ6 管屏極上的電
 壓（電阻 1000 歐姆/伏特和刻度盤為 300 伏特的電壓表）； 25—濾波器第 2 電容器上的電壓（電阻 1000 歐姆/伏特和
 刻度盤為 300 伏特的電壓表）； 26—濾波器第 1 電容器上的電壓（電阻 1000 歐姆/伏特和刻度盤為 300 伏特的電壓
 表）； 27—濾波器阻流圈上的電壓降（電阻 100—200 歐姆/伏特和刻度盤 50 伏特的電壓表）。

$$U = \frac{(k-1) \cdot U_1}{k - \frac{U_1}{U_2}}; \quad \text{式中 } k = \frac{U_{\text{限度1}}}{U_{\text{限度2}}}$$

我們將以上數值代入此式，得：

$$k = \frac{300}{150} = 2, \quad \text{和 } U = \frac{(2-1) \times 85}{2 - \frac{85}{60}} \approx 145 \text{ 伏特。}$$

由上例可知，利用這種電壓表測量電壓降時，如果按照一般的方法，我們就會造成 $145 - 85 = 60$ 伏特，或 41.3% 的誤差。

上述的方法，祇有當偏壓自動傳到控制柵極上時（就是說，從真空管陰極上的電阻輸送到控制柵極），才能用來測量真空管屏極上和簾柵極上的電壓。這樣，當使用電阻為 1000 歐姆/伏特的電壓表，誤差不超過 5%，如果用普通方法測量時，這種電壓表的誤差可達 60%。

從接在總屏電流電路上的電阻，或從專用電源傳送偏壓到真空管的柵極上時，用上述方法測量真空管電極上的電壓是不行的。因為這樣會產生很大的誤差。

備有一種刻度電壓表的無線電業餘者們，為了按照上述方法進行測量，我們向你們介紹在電表上加一電阻，則可將此電表改為二種刻度的電壓表。

此方法在 O. 赫拉邦著的論文中寫得更為詳盡，低歐姆電表的準確測量，可參閱“無線電”雜誌 1948 年第七期。

七、無線電機件中直流電流的測試

在修理或調整無線電機械時，爲了使真空管工作正常，爲了尋找故障，則無線電機件中直流電流的測試，正如電壓的測試一樣，同爲必要。

測量時需要何種電表 這些測量中最好使用動圈式萬用電表，測定限度可定爲 1、10、50 和 100 毫安等。測量供應真空管絲極用的電池電流，電表還需具有 1—2 安培的刻度。動圈式電表或熱偶式電表，若它們具有適當的靈敏度，雖則其精確性不高，亦可使用。

電路中有直流電和交流電時電表的連接 測量任何電路上的電流，我們都知道，電表應與此電路串聯，例如，測量真空管屏極電流，電表應串聯在它的屏路上；而測量簾柵極的電流，則應與簾柵極電路串聯。

應注意到在無線電線路內的某些電路上，有着不同頻率的交流電和直流電通過，將電表接於此種電路上時，應使除了被測量的電流通過外，其它任何電流不得通過。例如在低頻放大級線路內（見圖 38），屏極電流的直流部分和交流部分同時通過真空管屏路部分電阻 R_1 。而經過電阻 R_2 （同樣爲屏極電路部分）祇有直流部分，因爲交流部分經過電容器 C_1 和 C_2 （該電容器對於交流電具有的電阻不大）繞過電阻 R_2 到真空管的陰極。爲了測定該直流部分，電表必須接於電阻 R_1 與 R_2 之間，或接於電阻 R_2 與屏壓電源陽極之間（見圖 39）。電表如接於真空管屏極與電阻 R_1 之間時，則屏極

電流的直流和交流部分同時通過電表。

使用動圈式電表時，若有交流部分通過電表，似乎對該數沒有

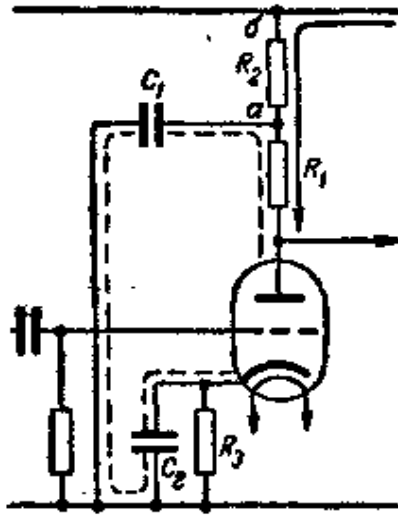


圖 38 虛線所示，為組成屏極電流的交流部分的通路，而實線則表示直流部分。這兩部分的電流都通過電阻 R_1 。

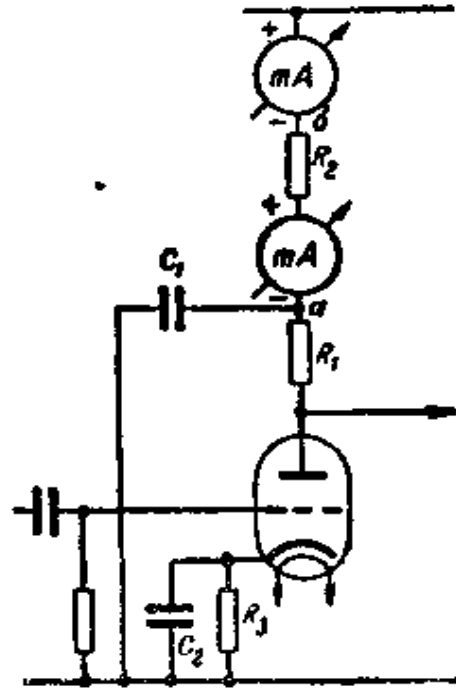


圖 39 電表測定屏極電流直流部分時的連接圖。

任何影響（動圈式電表的指針，如吾人所知，只有在直流電的作用下才偏斜）。然而，在此情況下，電表是受交流電壓的影響的，這交流電壓是由於屏流的交流部分通過電表而產生的，這個電壓的一部分經過電表與其他導線之間的電容而到柵極電路的導線上，從此線上又到真空管的控制柵極，這樣真空管的控制柵極即與屏極電路相連，而產生該級的自勵，並引起真空管屏極電流的變化。這種變化了的電流可由電表示出。在現代無線電機件中，採用放大係數大的真空管，在屏極與柵極電路之間交連很小時，就足夠引起自勵，特別是高中頻放大更易起激勵。

在一電路中，其中一部分電路既通過交流電，又通過直流電，則在該段電路上連接電表位置的選擇，應遵照下列規則：測量電表

應接於對電路零點來言，所產生的交流電壓是最小的一段電路上，圖38和39的線路圖中，a點b點就是電表應連接的位置，a點上屏極電流的交流部分經過電容器 C_1 與電表外壳相連，而一般交流電流並不流向b點。

必需指出，例如交流部分與電表外壳通路的電容器電容量不足時，即使電表正確地接於電路上，也會引起線路的自勵。因此連接電表時，為了使在任何情況下都不引起自勵，電表通常應以電容量為0.1微法的電容器直接接地（見圖40）。

接通電表而要不引起自勵的位置，通常是難挑選的。在此情況下，電表必需接於直流和交流電路的共同部分，同時，為了免除自勵，除電表以電容器作分路外，另用一電容量為0.01微法的電容器接地作為真空管控制柵極的分路。

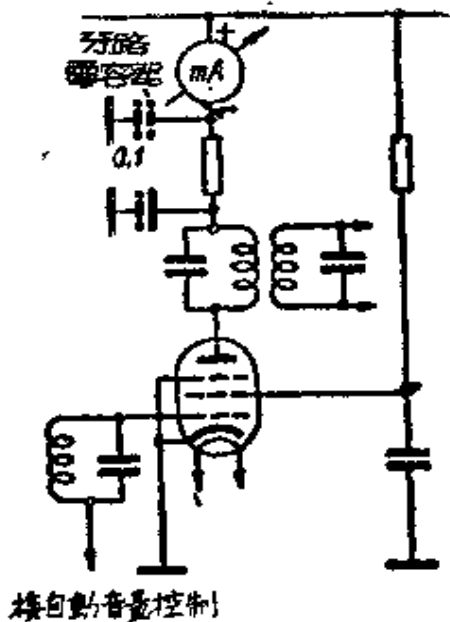


圖 40 帶有分路電容器的電表與中週放大屏路的連接圖。

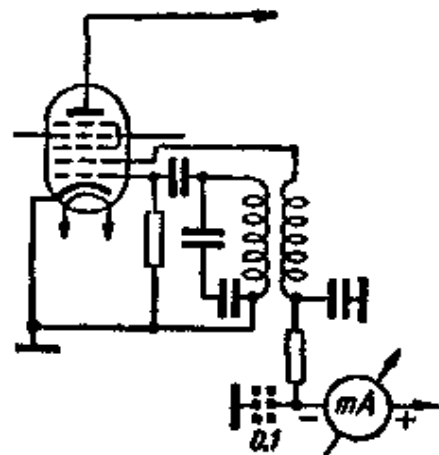


圖 41 電表與振盪管屏路的連接。

祇要線路內確實沒有自勵，就可着手進行測量，當然這與振盪級無關。在振盪級中測量電流就應於自勵的狀況下進行（就是該

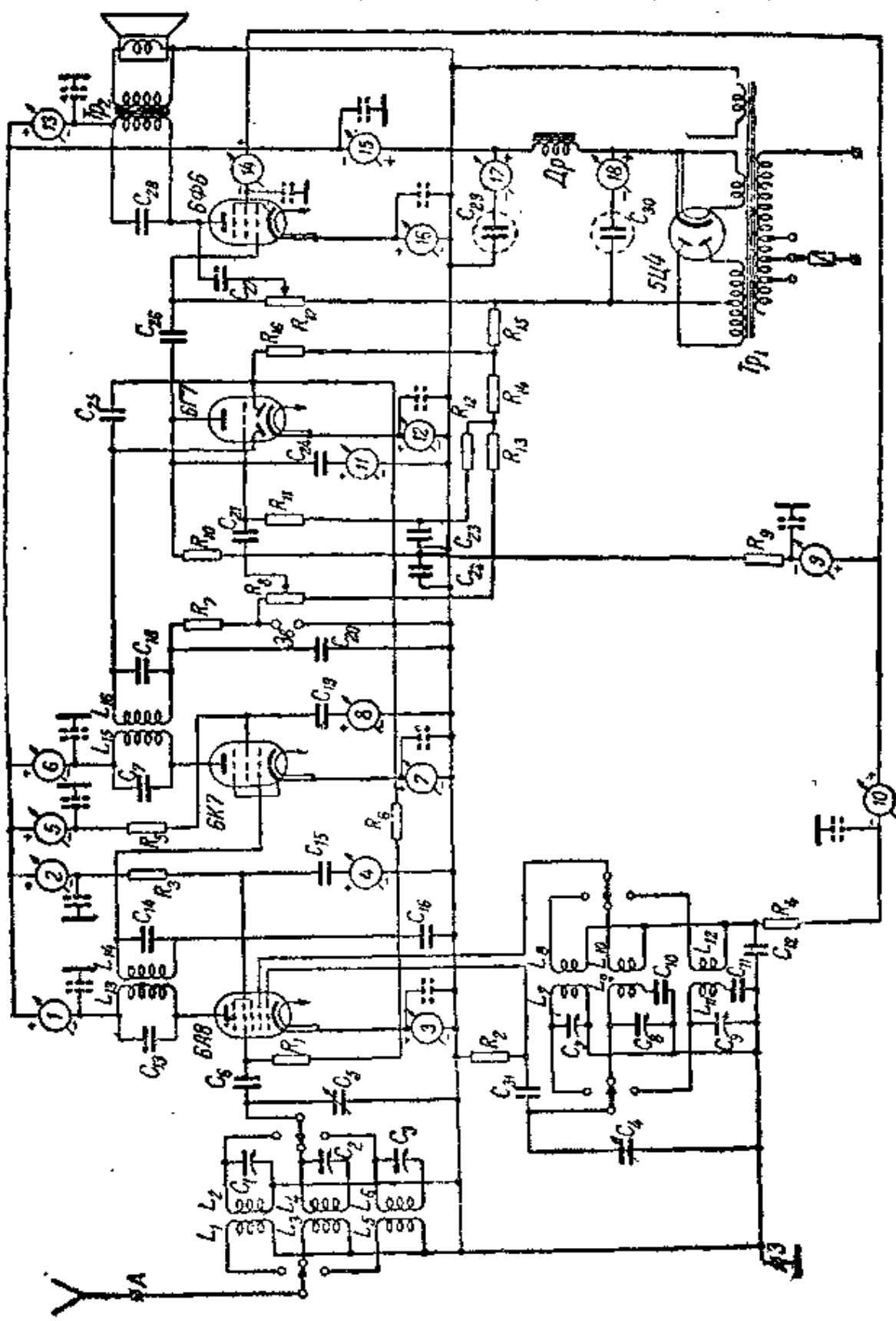


圖 42 無線電收音機中直流電流的測定。

1.—6A8 管屏極電流 (刻度盤為 5—5 毫安的毫安電流表) ; 2.—6A8 管屏極電流 (刻度盤為 3—5 毫安的毫安電流表) ; 3.—6A8 管陰極電路內的電流 (刻度盤為 10—15 毫安的毫安電流表) ; 4.—檢驗電容器 C_{15} 是否打穿與漏電 (檢驗用刻度盤為 50 毫安的毫安電流表, 漏電檢真期用刻度盤為 50 微安的微安電流表) ; 5.—6R7 管的簾柵極電流 (刻度盤為 3—5 毫安的毫安電流表) ; 6.—6R7 管的屏極電流 (刻度盤為 15 毫安的毫安電流表) ; 7.—6R7 管陰極電路內的電流 (刻度盤為 30 毫安的毫安電流表) ; 8.—檢驗電容器 C_{19} 是否打穿與漏電 (檢驗用刻度盤 50 毫安的毫安電流表) ; (漏電檢真用刻度盤為 50 微安的微安電流表) ; 9.—6I7 管的屏極電流 (刻度盤為 1—5 毫安的毫安電流表) ; 10.—6A8 管屏極電極的電流 (刻度盤為 5 毫安的毫安電流表) ; 11.—檢驗電容器 C_{24} 是否打穿與漏電 (檢驗用刻度盤為 50 毫安的毫安電流表) ; 12.—6I7 管陰極電流 (刻度盤為 5—5 毫安的毫安電流表) ; 13.—6D6 管屏極電流 (刻度盤為 50—100 毫安的毫安電流表) ; 14.—6D6 管簾柵極電流 (刻度盤為 15 毫安的毫安電流表) ; 15.—由整流器供給收音機真空管所需要的電流 (刻度盤為 100 毫安的毫安電流表) ; 16.—6D6 管陰極電流 (刻度盤為 50—100 毫安的毫安電流表) ; 17.—電容器 C_{20} 漏電檢查 (刻度盤為 5—5 毫安之毫安電流表) ; 18.—電容器 C_{20} 漏電檢查 (與電容器 C_{20} 相同) ;

祇有在進行電容器是否打穿後, 才能進行電容器的漏電檢查, 虛線所示的電容器是作為電表的接線分路。

級的正常的狀況中進行)。

在振盪級中, 電表接於直流電和交流電共同流通的電路部分, 就會使振動停止 (由於電表內交流電壓降太大之故), 因而使被測量的電流起很大的變化。故在振盪級內也應遵照對其他各級亦適用的連接電表的規則。也就是說, 要使祇有直流電通過電表 (見圖 41) 。

如何發現自勵 一級內存在的自勵, 可根據電表的讀數判斷, 當手接觸到柵極電路接線甚至只是接近接線時, 該數將會改變; 當以電容將柵極與外壳通路時, 也會改變讀數。

應注意到, 自勵不僅是在一級的屏極和柵極電路交連的情況下產生, 而且在次一級屏極電路與上一級屏極或柵極電路交連時也產生 (例如; 第二級中過放大的屏路與混波器的屏路交連時產生自勵) 。有時由於電表或連接電表的接線與上一級的接線或真空管距離很

近時，也可成爲產生自勵的原因。

圖42爲收音機的線路圖。圖中示明測量線路中各種不同的電流時，電表應接在何處。

以電壓表測量電流 測量電路中電流強度的電表應串聯於電路中，故使用此種測量電表比使用電壓表較爲不便，有時用電壓表，可以不扯斷電路就能測定電路內的電流，爲此必需用電壓表測量該電路中任一電阻的電壓降，流過該電阻的電流是我們需要測量的電流，知道此電阻的值及其上的電壓降後（根據電壓表讀數而知），則按公式可測定電流的值：

$$I = \frac{U}{R}$$

式中 I —所求的電流，單位爲毫安；

U —電壓表的讀數，單位爲伏特；

R —需要測定其電壓降的電阻，單位爲千歐姆。

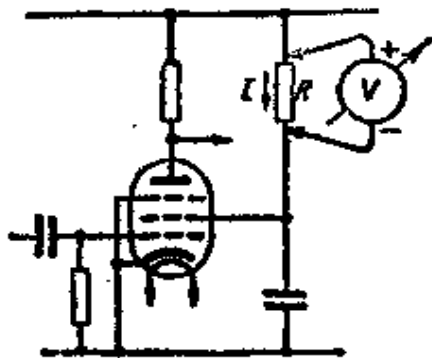


圖 43 用電壓表測定電流的值。

例如：將電壓表並聯於簾柵極電路中 $R = 50000$ 歐姆的電阻上，電壓表上所示電阻上的電壓降爲 $U = 150$ 伏特（見圖43），試求真空管簾柵極電流的值。

應用上列公式，求得：

$$I = \frac{150}{50} = 3 \text{ 毫安。}$$

用此法要準確的測定電流值，首先必需使用高歐姆的電壓表。其次，需要知道在其上測定電壓降的電阻值。

八、電阻的測試

本章所論電阻，就是導線或零件對直流電流的阻力，根據不同零件電阻的大小，可判斷其是否良好，因此當機件在進行修理和裝配時，廣泛地進行電阻的測量，下列說明數種最易使無線電業餘者了解的電阻測量方法。

電流表和電壓表測定電阻的方法 這種方法，就是同時以電流表（或毫安電流表）和電壓表測量通過被測電阻的電流及其上所產生的電壓降（見圖 44 a），電阻的值可按公式計算：

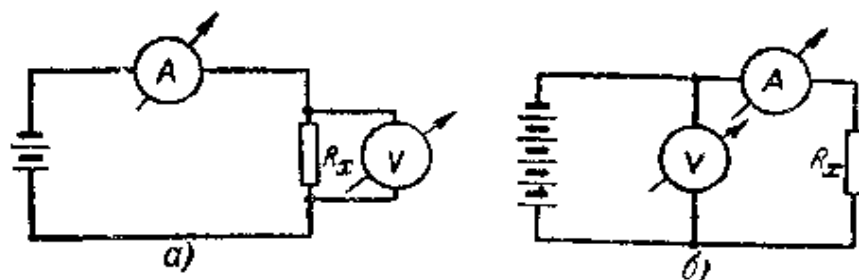


圖 44 以電壓表和電流表的方法測定電阻。

$$R_x = \frac{U}{I}.$$

式中 R_x —電阻的未知值，單位為歐姆；

U —電壓表所示的電壓，單位為伏特；

I —電流表所示的電流，單位為安培。

根據此公式求得的電阻大小，並不完全準確。因為電流表指針所示的電流，僅有一部分通過電阻 R_x ，而另一部分電流則通過電壓表（電壓表的內阻愈小，則該電流的值愈大）。電壓表的內阻愈

大，則應用此種方法測量電阻的值，就可能更為準確。

電阻準確的數值，可按下列公式計算：

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_a}}$$

式中 R_a —電壓表內阻的大小，單位為歐姆，其它所代表的字母與上式同。採用此種方法對測量值不大的電阻非常方便，特別是可以用來測量電表的分路電阻。

測量大的電阻，採用圖 44, b 的綫路圖。

按下列公式，可測出電阻的準確數值。

$$R_x = \frac{U}{I} - R_a,$$

式中 R_x —電阻的未知值，單位為歐姆；

U —電壓表指針所示的電壓，單位為伏特；

I —電流表指針所示的電流，單位為安培；

R_a —電流表的內阻，單位為歐姆。

在確定大電阻值時，電流強度的測量不採用電流表，而採用毫安電流表，故以下列公式進行計算較為方便：

$$R_x = \frac{1000 U}{I} - R_a,$$

式中 I —毫安電流表指針的讀數，單位為毫安。

[例] 根據圖 44, b 綫路測量電阻時，電壓表上的電壓 $U=6$ 伏特，而毫安電流表上的電流 $I=0.5$ 毫安，設毫安電流表的內阻 $R_a=200$ 歐姆，試求電阻 R_x 之值。

$$R_x = \frac{1000 \times 6}{0.5} - 200 = 11800 \text{ 歐姆。}$$

當測量電阻的大小時，經過電阻的電流強度不應使電阻的溫度

升高。

用電壓表測量各種電阻 假設我們已知一電壓表的內阻，則電阻的值僅用電壓表就可進行測量，其測量的過程如下：圖 45 的綫路所標明的接頭 1 和 2 短路，則電壓表所示的電壓 U_1 等於電池的電壓，然後將接頭 1 和 2 分開，而使被測量的電阻 R_x 接於 1 和 2 兩者之間，此時電壓表所示的電壓用 U_2 表示，根據下列公式可求出被測量電阻的值。

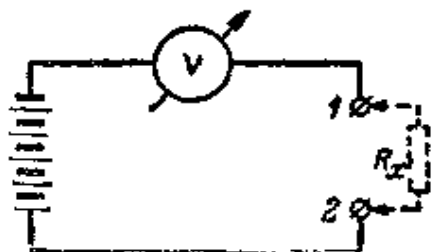


圖 45 用電壓表測定各種電阻。

$$R_x = R_v \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right),$$

式中 R_x —電阻的未知值，單位為歐姆；

R_v —電壓表的內阻，單位為歐姆；

U_1 —1 和 2 兩接頭通路時，電壓表所示的電壓，單位為伏特；

U_2 —當電阻 R_x 接於接頭 1 和 2 之間時電壓表所示的電壓，單位為伏特。

【例】內阻為 $R_v = 10000$ 歐姆的電壓表，當接頭短路時，所示電壓 $U_1 = 4.5$ 伏特；而電阻 R_x 接於其間時電壓 $U_2 = 0.5$ 伏特，試求電阻之 R_x 之值。

根據上式，求得：

$$R_x = 10000 \left(\frac{4.5}{0.5} - 1 \right) = 80000 \text{ 歐姆。}$$

當電池的內阻小，而被測的電阻又與電壓表的內阻相近時，使用這種方法最為準確。當測量各種電阻時，電阻的值不少於電壓表內阻之值的 0.1，也不超過 10 倍，此時的測量，亦可獲得相當高的

精確度。但是在此種情況下，電池電壓應使當接頭 1 與 2 短路時，電壓表的指針儘可能偏斜近於刻度盤的末端。例如刻度盤為 7.5 伏特，內阻為 15000 歐姆，（2000 歐姆/伏特）的電壓表，可以測定 1500 至 150000 歐姆的電阻，但是尚須要一只電壓為 7.5 伏特的電池。而刻度盤為 3 伏特，內阻為 30000 歐姆（10000 歐姆/伏特）的電壓表，如電池電壓也是 3 伏特，則可測量由 3000 至 300000 歐姆的電阻。因此可知測量不大的電阻，最好使用內阻不大的電壓表；而測量大的電阻時，則用內阻大的電壓表。後者如以歐姆/伏特數很大的電壓表，則可得出更好的結果，因為用此種電壓表時，需要電壓較低的電池，因而電池的內阻亦較小。

上述公式，可變換為下列公式，使其立即得出電壓表讀數與被測電阻值的關係。

$$U_2 = \frac{U_1 \cdot R_g}{R_x + R_g}。$$

若於測量時經常採用同一電壓的電池，則根據此式可以預先計算出，當測量某種電阻時電壓表所示的伏特數。根據這些計算，可作出一個讀數與被測電阻值間相互關係的圖表，此後，不用計算，這種圖表即能立刻決定被測電阻的大小。

例如：有一刻度盤為 5 伏特的電壓表，其內阻 $R_g = 5000$ 歐姆，若在測量電阻時，使用電壓為 4.5 伏特的電池組（3 個乾電池）。則接頭 1 和 2 閉合時，電壓表經常所示電壓為 $U_1 = 4.5$ 伏特，以這些數值代入公式，可得：

$$U_2 = \frac{4.5 \times 5000}{R_x + 5000} = \frac{22500}{R_x + 5000}。$$

當被測電阻為不同的數值時，我們使用上式的得數來進行電壓表讀數的計算。

當 $R_x = 500$ 歐姆時, $U_2 = \frac{2250}{500 + 5000} = 4.1$ 伏特;

當 $R_x = 1000$ 歐姆時, $U_2 = \frac{2250}{1000 + 5000} = 3.75$ 伏特。

當電壓表再接上若干電阻時, 電壓表讀數的計算, 同樣可按上

表五 根據被測電阻的大小而得電壓表的讀數

R_x 單位 歐姆	0	500	1000	2000	5000	10000	20000	30000	40000	50000
U_2 單位 伏特	4.5	4.1	3.75	3.22	2.25	1.5	0.9	0.64	0.5	0.41

式算出。表五所示為計算的結果, 並根據該表而作出圖 46。

根據此圖, 可測出電壓表在任一讀數時的電阻的大小。

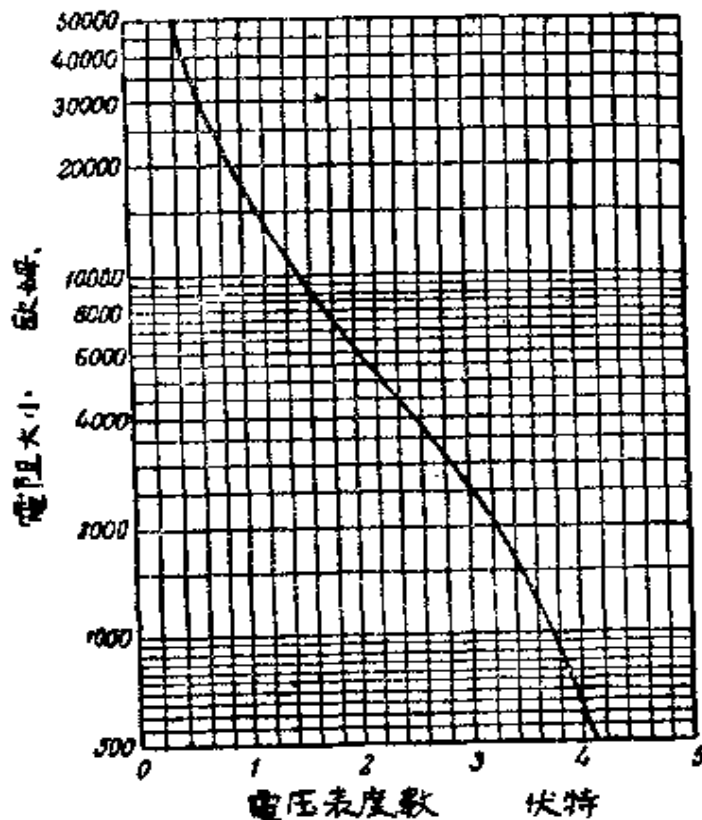


圖 46 按表五的數據作出的分度圖。

當使用圖表時，必需記住祇當電池組電壓完全確定後，該圖表才可使用。否則當測量電壓時，電壓表的讀數與圖表所示的電阻大小不相適應。因此在測量前，必需將接頭 1 與 2 短路，以便確定電池是否供應正常的電壓。

歐姆表 根據上述公式所計算出來的電壓表讀數，可以將其相適應的被測電阻值刻劃在刻度盤上，也就是說，在電壓表的刻度盤上，可以用要測的電阻數值直接進行分度。這樣，就可以不使用這種圖表，而被測電阻的值可以直接根據電表刻度盤讀出。

該刻度盤的外型如圖 47 所示，根據上列計算出的數據將其分度。當接頭 1 與 2 短路時，即是當被測電阻的值等於零時，電壓表將表示出電池組的最大電壓；因此在歐姆刻度盤上與該電壓相適應的刻度應為零度。當接頭分開時，即相當於接上一無窮大的電阻，則電壓表的指針不動而停於零上，因此電壓表刻度盤的零度即等於被測電阻為無窮大，所以該度以 ∞ （無窮大）的符號來表示。歐姆刻度盤其它度數以短劃表示，在測量相應的電阻時，指針偏轉到這些短劃上。這些度數在刻度盤上不是均勻的，所以按刻度盤進行讀數的精確度，要根據被測電阻的大小而定。

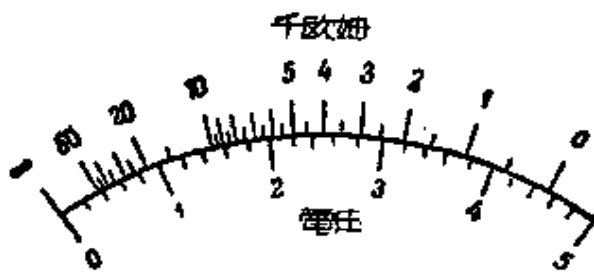


圖 47 根據電壓表刻度盤所得測量電阻值的刻度盤。

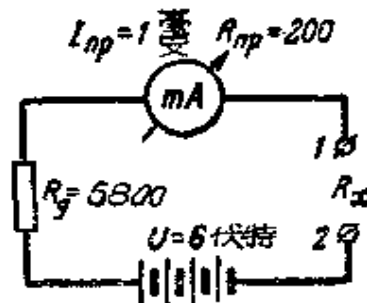


圖 48 歐姆表的線路圖。

再一次的指出，用電壓表測量電阻的大小，實際上如要相當準確，則該電阻的值應不少於電壓表內阻 0.1 倍和不超過它們的 10 倍。

我們將電壓表刻度盤上的度數刻為歐姆值，並將其變為測量電阻用的電表，這樣的電表稱為歐姆表。

歐姆表不僅可由電壓表作成，也可由毫安表作成，祇需用一附加電阻與毫安表串聯，則同樣能將其變為電壓表（見圖 48）。此電壓表測定電壓的測定限度往往使其等於電池組的電壓，因此附加電阻 R_0 的值應使電表的指針在接頭 1 與 2 短路時偏斜到刻度盤的末端。那末可以在電表的整個刻度盤上作歐姆單位的分度，以便增加按刻度盤進行計算的精確度。這種電壓表可以測量的電阻值，可由電表的內阻 R_{np} 與附加電阻 R_0 所組成的電壓表內阻的值而定。正如我們所知，電壓表內阻應決定於該電表的電流測定限度。所以作為歐姆表的電表，應根據需要測量的電阻大小來選擇。

表六 電阻最大值（單位為千歐姆），該值可根據電表測定電流限度和電池組電壓由歐姆表測定。

單位 毫安	I_{np} 位 為安	電池組電壓（單位為伏特）									
		1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	10.0	15.0	30.0	60.0	90
0.1		150	300	450	600	750	1000	1500	3000	6000	9000
0.3		50	100	150	200	250	333	500	1000	2000	3000
0.5		30	60	90	120	150	200	300	600	1200	1800
1.0		15	30	45	60	75	100	150	300	600	900
1.5		10	20	30	40	50	66	100	200	400	600
3.0		5	10	15	20	25	33	50	100	—	—
5.0		3	6	9	12	15	20	30	—	—	—
7.5		2	4	6	8	10	13.3	—	—	—	—
10.0		1	3	4.5	6	7.5	10	—	—	—	—

用歐姆表進行測量，可得到相當準確的所能測定的最大電阻值。

根據下列公式可以計算出：

$$R_x(\text{最大}) = \frac{10 U}{I_{np}}$$

R_x —電阻最大的值，單位為千歐姆，可用歐姆表測量之；

U —歐姆表電池組的電壓，單位為伏特；

I_{np} —電表測定電流的測定限度，單位為毫安。

電阻最大的數值可以用表六所列的某種電表來測量。

電阻的最小數值可用歐姆表測量出，根據下列公式求出：

$$R_x(\text{最小}) = \frac{R_x(\text{最大})}{100}$$

$R_x(\text{最大})$ 和 $R_x(\text{最小})$ 一為歐姆表能測定最大和最小電阻的數值，單位為千歐姆。

歐姆的計算 歐姆表的計算首先必須知道最大電阻值 $R_x(\text{最大})$ 或最小電阻值 $R_x(\text{最小})$ ，此外，應該知道測定電流的測定限度，及該歐姆表所具有的內阻。

假定說，我們有一電表，其測定最大電流的測定限度 $I_{np} = 1$ 毫安，內阻 $R_{np} = 200$ 歐姆，電阻值 $R_x(\text{最大})$ 約等於 50000—60000 歐姆。

根據公式我們可用歐姆表來測定所需要的電池電壓。

$$U = \frac{I_{np} \cdot R_x(\text{最大})}{10}, \text{ 或 } U = 10 R_x(\text{最小}) \cdot I_{np}^*$$

式中： U —電池的未知電壓，單位為伏特；

I_{np} —電表測定電流的測定限度，單位為毫安，

$R_x(\text{最大})$ 或 $R_x(\text{最小})$ 一為能測電阻的最大和最小值，單位為千歐姆。

將上面已知數代入式中：即得

* 譯者註：原書 $U = 100 R_x(\text{最小}) \cdot I_{np}$ ，恐係筆誤，已代改正如上。

$$U = \frac{1 \times 50}{10} = 5 \text{ 伏特,}$$

我們以四個乾電池組成一電池組，其電壓為 6 伏特，則電阻的最大值在此情況下可用歐姆表來計算，即

$$R_c(\text{最大}) = \frac{10 U}{I_{np}} = \frac{10 \times 6}{1} = 60000 \text{ 歐姆。}$$

即等於已知電阻的最大值。

然後測定附加電阻 R_d 的值，可按下列公式求出：

$$R_d = \frac{U}{I_{np}} - R_{np},$$

式中： R_d —附加電阻的未知值，單位為千歐姆；

U —電池組的電壓，單位為伏特；

I_{np} —電表測定電流的測定限度，單位為毫安；

R_{np} —電表的內阻，單位為千歐姆。

將已知值代入上列公式，可得：

$$R_d = \frac{6}{1} - 0.2 = 5800 \text{ 歐姆。}$$

圖 48 所示為以歐姆表來計算的線路圖。

刻度盤的分度 藉計算的方法確定被測電阻的值與電表讀數的關係後，可以完成歐姆表刻度盤的分度。

$$I = \frac{U}{R_x + R_d + R_{np}},$$

式中： I —當測量電阻 R_x 時，電表的讀數，單位為毫安；

U —電池組的電壓，單位為伏特；

R_d 、 R_x 和 R_{np} —為附加電阻、被測電阻及電表內阻的相應值，單位為千歐姆。

當被測電阻的阻值不同時，根據此公式所求出電表的讀數以歐姆為單位，刻在刻度盤原有分度的對面。

這樣，圖 49 所示為所求得的歐姆表刻度盤之外形。

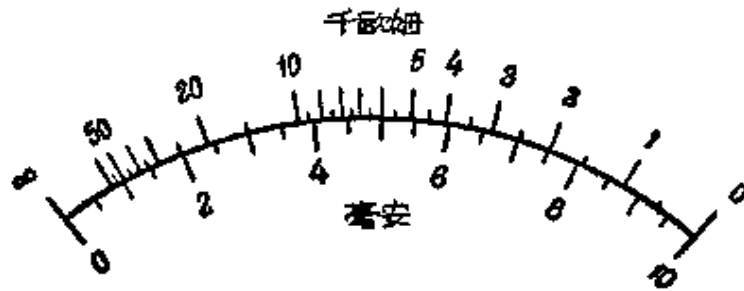


圖 49 歐姆表的刻度盤。

顯然，當電表接至已知電阻的接頭上時，只要注意其指針的偏向而無須進行計算，就可得出這樣的分度，為此目的應使用具有誤差 $\pm 5\%$ 的電阻，或者更為精確些的電阻。為了使其更為精確起見，最好用幾個同一牌號，大小相同的電阻輪流接到接頭上，同時記出每次指針偏向，然後將其所得的平均讀數劃在刻度盤上。

零位調整裝置 使用歐姆表時必須記住，它刻度盤上的度數，祇有當電池組的電壓正常時才正確。故在測量前必須證實電池組供給的電壓是否正常，即當接頭 1 與 2 短路時，指針是否指在歐姆刻度的零度上（就是偏斜到電表刻度盤的末端）。

上述歐姆表線路的缺點，即是當電池組電壓稍有變化時，特別是由於放電而減小時，則電表的指針偏斜不到歐姆刻度的零度上。因而根據這刻度盤所進行的被測電阻值的計算，不可能是正確的。為了排除此種缺陷，必須將附加電阻分為二部分，其中一部分的大小可以變動（見圖 50）。

如將電阻 R_2 全部加入後，電表指針在接頭 1 和 2 短路時偏斜到歐姆刻度盤的零點，則表示電池組的電壓正常和刻度盤的度數正

確：若指針偏斜不到零點時，為使分度正確，須減少電阻 R_2 的量，使當接頭短路時指針能偏斜到刻度盤的零度上。

必須指出，祇可以在電池組的電壓不低於正常電壓的 10% 時，才能用這樣的方法來調整分度。故電阻 R_2 的值應不超過 $R_1 + R_2 = R_0$ ，總電阻的 10%。此時，當電池組電壓降低到超過 10% 時，甚至電阻 R_2 全部不用，電表的指針仍不能調整到零上，即證明該電池組已不能繼續工作。

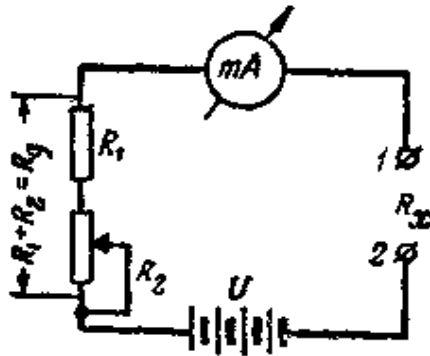


圖 50 調整零位裝置用的帶有電阻的歐姆表線路圖。

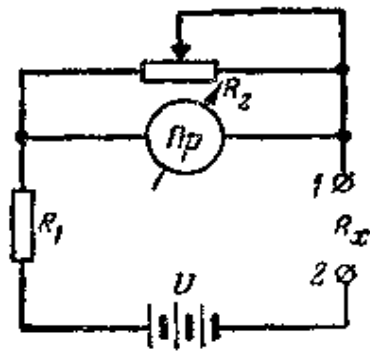


圖 51 調整零位裝置用的具有並聯電阻的歐姆表線路圖。

在我們所計算的歐姆表中，電阻 $R_0 = 5800$ 歐姆，應由二個電阻組成： $R_1 = 5300$ 歐姆（固定的）和 $R_2 = 500$ 歐姆（可變電阻）。

使用並聯電阻進行零位調整裝置的歐姆表 圖 51 為歐姆表的線路圖，該圖與圖 50 的線路圖有所不同。就是調整指針到零上的電阻，不與電表串聯，而與其並聯。此電阻的值應為電表內阻的 10—20 倍，附加電阻 R_1 值的選擇，應使電阻 R_2 加入一半左右時，電表的指針在接頭 1 和 2 短路時，偏斜到歐姆刻度的零上，電阻 R_1 所需的值可根據下列公式計算：

$$R_1 = \frac{R_2}{2R_{mp} + R_2} \cdot \left(\frac{U}{I_{mp}} - R_{mp} \right),$$

U —電池組的電壓，單位為伏特；

I_{np} —電表測量電流的限度，單位為毫安；

R_1 —附加電阻的值，單位為千歐姆；

R_2 —調整指針到零上用的電阻的值，單位為千歐姆；

R_{np} —電表內阻的值，單位為千歐姆。

當電池電壓減低時，為了調整電表的指針到零點上，需要移動接觸片來增加 R_x^* 的值，此時通過電表的電流增加，而經過電阻的電流則減少。

根據此線路圖所製的歐姆表，其度數受電壓變化的影響，將大大少於圖 50 所示的情況。

這歐姆表刻度盤的分度與圖 50 線路圖的歐姆表的分度相同，但電表讀數的計算則按下列公式進行：

$$I = \frac{UR_2}{(R_x + R_1) \cdot (2R_{np} + R_2) + R_{np} \cdot R_2}$$

I —當接入電阻 R_x 時電表的讀數，單位為毫安；

U —電池電壓，單位為伏特；

R_1 —附加電阻的值，單位為千歐姆；

R_2 —零位調整裝置的電阻值，單位千歐姆；

R_x —所測電阻的值，單位為千歐姆；

R_{np} —電表內阻的值，單位為千歐姆。

* 校者註： R_x 恐為 R_2 之誤，此地 R_2 可以講通，但 R_x 則不通。

九、內阻和測定電流限度的測試

下面介紹測定毫安表和電壓表內阻的方法以及測定電壓表的電流測定限度，是用被測量電表本身來測定的。這些方法都是近似的，祇應在不可能用其他電表來測定時，才使用這些方法。

毫安表內阻的測定 在由電源和已知數值的電阻 R_1 所組成的電路內，接入毫安表，要求測定該表的內阻（見圖 52），同時要指出此時電流的大小，我們以 I_1 表示該電流，然後以已知數值的電阻 R_2 ，代替電阻 R_1 ，用毫安表表示出測得的電流，我們用 I_2 表示。那末毫安表的內阻，可根據下列公式求出：

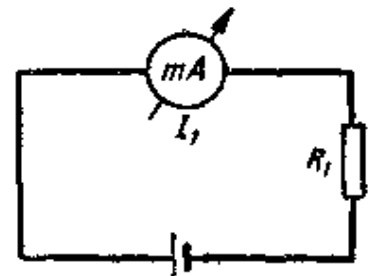


圖 52 毫安表內阻值的測定。

$$R_{np} = \frac{I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_1}{I_1 - I_2},$$

I_1 和 I_2 —當接連電阻 R_1 和 R_2 時，電表的讀數，單位為毫安；

R_1 和 R_2 —電阻值，單位為歐姆；

R_{np} —毫安表內阻，單位為歐姆。

當接連電阻 $R_1 = 1000$ 歐姆時，毫安表表示電流 $I_1 = 1$ 毫安；而當接連電阻 $R_2 = 2800$ 歐姆時，電流 $I_2 = 0.4$ 毫安，我們測定毫安表的內阻，按上列公式求得：

$$R_{np} = \frac{0.4 \times 2800 - 1 \times 1000}{1 - 0.4} = 200 \text{ 歐姆。}$$

當進行此種測量，電阻 R_1 和 R_2 的選擇，應使接連 R_1 時，電

表的指針偏斜到近於刻度盤的末端；而當接連電阻 R_2 時，指針偏斜應少於前者一半。當然，應當儘可能更準確地知道這些電阻的値。使準確度更高。

測量時，電源最好採用新充電的蓄電池（1只）或新的電容量大的乾電池。如應用不夠新的電源，由於其內阻較大，在測定 R_{np} 的値時，會發生很大的誤差。

根據這個原因，最好不要使用蓄電池組或乾電池組，如遵守以上所指的各項條件，這種方法可測定刻度盤不大於 10 毫安電表的內阻，其差誤為 3—5%，對於無線電業餘者的情況是完全實用的。但測定電流極大的電表內阻，這個方法是不適用的。

電壓表內阻和電壓表測定電流限度的測定 爲了測定電壓表的內阻，可測量電池組或整流器的電壓。設電壓表所示的電壓等於 U_1 ，然後，將電阻 R （其值必須已知）和電壓表串聯，再接至電池組或整流器上（見圖 53），這時得出電壓表所示的讀數電壓 U_2 。

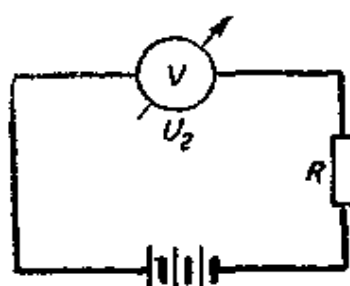


圖 53 電壓表內阻值的測定。

電壓表的內阻根據下列公式可求得：

$$R_0 = \frac{R}{\frac{U_1}{U_2} - 1}$$

R_0 —電壓表的內阻，單位爲千歐姆；

R —與電壓表串聯的電阻，單位爲千歐姆；

U_1 和 U_2 —第一和第二次測量時電壓表所示的電壓，單位爲伏特。

已知電壓表的內阻，則電表測定電流的限度可根據下列公式得

出：

$$I_{np} = \frac{U_0}{R_0},$$

I_{np} —電壓表測定電流的限度，單位為毫安；

U_0 —電壓表測定電壓的限度，單位為伏特；

R_0 —電壓表內阻，單位為千歐姆。

【例】用測定限度 $U_0 = 5$ 伏特的電壓表測得的電壓 $U_1 = 4.5$ 伏特，當串聯 12500 歐姆的電阻後，測得的電壓 $U_2 = 2$ 伏特。則電壓表內阻等於

$$R_0 = \frac{12.5}{\frac{4.5}{2} - 1} = 10000 \text{ 歐姆。}$$

電壓表測定電流的限度等於：

$$I_{np} = \frac{5}{10} = 0.5 \text{ 毫安。}$$

當進行這些測量時，電阻 R 的值必須這樣選擇：即將 R 接上時，電壓表指針的偏斜，應少於刻度盤的一半。此電阻的精確性應儘可能地高。電池組或整流器的電壓應近於電壓表的測定限度，電池組必須是新的，而整流器應備有充分的電力（電流為數十毫安）。如不遵照這些條件，則所測得的電阻 R_0 ，將有很大誤差。

上述的方法可以測量電阻不低於 200 歐姆/伏特的電壓表的內阻。但此法不適用於低歐姆的電表。