

直流欧姆计

苏联 A. M. 潘尔松 著

陈嘉植 译



人民邮电出版社

苏联
余
中
高

直 流 欧 姆 计

(苏联) A. M. 密尔松 著

陈 嘉 楨 译

偉 瑩 校

人 民 邮 电 出 版 社

A. M. МЕРСОН
ОММЕТРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1954

內 容 提 要

本書敘述測量电阻的直流欧姆計电路的計算方法与基本理論。

本書可供具有中学的数学与电工学知識的无綫电爱好者閱讀，同時
对于从事測量仪表設計的工作人員也很有帮助。

直 流 欧 姆 計

著 者:	苏联 A. M. 密 尔 松
譯 者:	陈 嘉 楨
校 者:	偉 瑩
出版者:	人 民 邮 电 出 版 社 北京东四区 6 条胡同13号
印刷者:	人 民 邮 电 出 版 社 南 京 印 刷 厂 南京太平路戶部街15号
發 行 者:	新 華 書 店

1957年2月南京第一版第一次印刷 1—10,100册
★北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八号★
787×1092 1/32 67頁 印張 $4\frac{6}{32}$ 印刷字数 87,000字
統一書号: 15045·无131 定价(10)0.55元

目 錄

序言

第一章 欧姆計串联电路的一般特性

1. 欧姆計的串联电路…………… (6)
2. 欧姆計測量电阻的精确度問題…………… (10)

第二章 裝有特殊型式的指示器的欧姆計

3. 裝有流比計式指示器的欧姆計…………… (14)
4. 裝有磁分路器的欧姆計…………… (17)

第三章 電池式欧姆計的基本电路

5. 裝有串联“零点”調整器的欧姆計…………… (19)
6. 裝有并联“零点”調整器的欧姆計…………… (22)
7. “零点”平衡調整的欧姆計(I型)…………… (31)
8. “零点”平衡調整的欧姆計(II型)…………… (40)

第四章 多量程電池式欧姆計

9. 欧姆計量程的擴大…………… (46)
10. 多量程欧姆計的計算原理…………… (49)
11. 多量程欧姆計測量电阻的精确度…………… (57)
12. 多量程電池式欧姆計的計算…………… (60)

第五章 市電式欧姆計

13. 市電式欧姆計概述…………… (67)
14. 指示器灵敏度可調整的市電式欧姆計…………… (69)
15. 指示器灵敏度可調整的多量程市電式欧姆計的計算… (73)

- 16. 电源电压可調整的市电式欧姆計..... (76)
- 17. 电源电压可調整的多量程市电式欧姆計的計算..... (81)
- 18. 市电式欧姆計的供电电路..... (84)

第六章 欧姆計的設計問題

- 19. 欧姆計原始数据的确定与电路的計算..... (88)
- 20. 欧姆計刻度的繪制..... (92)
- 21. 零件的選擇与欧姆計的裝置..... (95)

第七章 欧姆計的并联与复联电路

- 22. 欧姆計并联电路的作用原理与基本特性..... (99)
- 23. 裝有“无穷大”电調整器的欧姆計..... (103)
- 24. 裝有串联“无穷大”調整器的欧姆計的計算..... (108)
- 25. 欧姆計量程的擴大..... (112)
- 26. 量程可勻滑調整的欧姆計的計算..... (118)
- 27. 并联电路式欧姆計的設計特点..... (120)
- 28. 欧姆計的串并联电路..... (123)

序 言

无綫电爱好者在他們制作和調整无綫电机件的实际工作中，必然会碰到需要測量电阻的情形。

电阻值是用來表明电路元件（零件）——电阻的最重要的参数。电阻在現代无綫电机件中应用得很广泛。任何一架无綫电接收机和任何一架无綫电發射机，通常都有着数十个有时甚至有数百个各种型式的电阻。整个无綫电裝置的工作質量，和每一个电阻的質量以及該电阻值与規定数值是否相符有关。

无綫电爱好者常会用到各种不同大小数值的电阻。在檢查連接綫中有无断綫时，在檢驗变压器繞組及电感綫圈时，和在選擇測量仪表的分路器时，都需要測量低值电阻，可小到百分之几和千分之几欧。在檢驗各种零件的絕緣質量时，檢驗电容器極板間的絕緣电阻及高欧电阻时，被测的电阻值往往超过几十兆欧。

电阻是物体（在通过电流时）把电能变成热能的一种特性。因此电阻值照理應該按电流通过电阻体时所放出的热量來測定。但是这种測量电阻的方法十分不便，所以通常采用一些比較簡單的方法：伏特計——安培計法，电桥法和欧姆計法。

伏特計——安培計法可用來作某些專門測量（例如測量接地电阻）。在沒有測量电阻的專門仪器时，也可用这种方法。这种方法的缺点是綫路累贅，并且需要計算以確定測量結果。

根据电桥法制成的仪表具有很高的測量精確度。它們的缺

点是构造与运用手續比較复雜，并且价值也較貴。

在无线电爱好者的实践中，电阻的测定最常采用直流欧姆計。这种欧姆計的构造簡單，使用方便，并且具有能滿足技术要求的測量精确度。欧姆計常常与其它測量仪表（安培計、伏特計等）組成一种复用測量仪器，这种仪器通常称为安培伏特欧姆計或簡称万能表。凡用来測量电阻，并能从其指示器刻度上直接讀出电阻值的仪表，称为直流欧姆計。它是根据欧姆定律： $I = \frac{U}{R}$ 的原理來工作的，在电路上所加电压 U 为一定数值时，欧姆定律即确定了电路中电流 I 与电阻 R 的关系。

直流欧姆計由三个主要部分構成：

1. 直流电源；
2. 直流指示器；
3. 附加电阻与分路电阻組。

根据所用电源的型式，欧姆計可分为电池式、手搖發电机式及市电式三种。

在无线电爱好者的实践中用得最广的并用來測量中等大小的电阻（約从1欧到数兆欧）的电池式欧姆計，其电源通常采用ΦBC型干电池或KBC型手电筒电池組。这种欧姆計中亦可应用BAC—60型、BAC—80型或任何其他型式的干电池組，此外，并可用这些电池組中的單个电池。

測量低值电阻的欧姆計的电源，一般应用蓄電池組，因它們可容許电源电路內產生很大的放电电流。在这种場合下，还可以利用灯絲加热用的干电池組。

供給專为測量高电阻（高于1兆欧）的欧姆計的电源，有

時在其電源電路內接入一個由低壓蓄電池供電的振子換流器，把電源電壓提高到數百伏。

手搖發電機式歐姆計主要用來測量高值電阻，例如絕緣電阻。這種歐姆計叫做兆歐表。它們的電源是發電機，這種發電機是功率小於10瓦的小型磁電式手搖發電機，它能產生數百乃至數千伏的直流電壓。蘇聯制的 M-1101 型、MC-06 型、MC-07 型的儀表都屬於這種手搖發電機式歐姆計。

市電式歐姆計一般用來測量中值或高值電阻，很少用來測量低值電阻。它們的電源是交流市電或直流市電。應用交流市電供電的直流歐姆計，必須裝有電子管整流器或硒整流器。

用以讀取被測電阻值的指示器是歐姆計的主要部分，歐姆計的性能基本上是由它來決定的。通常在歐姆計內所用的指示器是磁電式指針型單綫圈測試指示器。

這種指示器的構造如圖 1 所示。其中裝有一個磁力很強的馬蹄形永久磁鐵 1，永久磁鐵的兩端固接着軟鋼制的極掌 2。在極掌之間放着一個固定的柱形鋼心 3。極掌與鋼心間的空氣隙中形成一個均勻磁場，其磁力綫垂直於圓柱體的表面。空氣隙中放着一個矩形鋁架，它

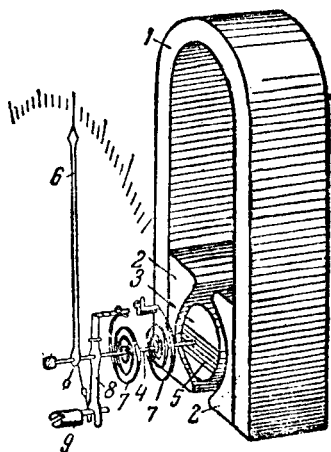


圖 1. 磁電式單綫圈儀用指示器的構造

固接在軸4上，并能与軸一起自由地旋轉。綫圈5繞在鋁架上，它是由直徑為0.02—0.2毫米的細絕緣銅綫繞成的。在綫圈的同一軸上裝着一個指針6，其尖端能沿着刻度而移動。螺旋彈簧7的作用是对綫圈的回轉產生反抗力矩，同时又引導電流進入綫圈。其中一個彈簧的一端与撥桿8固接着。撥桿用來把指針調整到刻度的零点上，它是用螺旋錐旋轉偏心輪9來調節的。

電流通過綫圈的綫匝時，綫圈周圍所產生的磁通便与永久磁鐵的磁通相互作用，于是產生了轉矩。在轉矩的作用下，機構的活動部分便开始旋轉，直到螺旋彈簧所造成的反抗力矩能抵消轉矩為止。由于空氣隙中永久磁場是均勻的，所以轉矩以及指針的偏轉角，都与通過綫圈綫匝的電流值成比例。

蘇聯的工業大量制造着這種構造的儀表（如毫安計及微安計），所以無綫電愛好者很容易購得。

計算歐姆計電路時，必須知道指示器的電數據，即引起指示器的指針偏轉整個刻度的全偏電流 I_n ，及指示器綫圈的電阻 R_n 。在測量中值与高值電阻用的歐姆計內，指示器的全偏電流差異很大，大約从50微安到10毫安。而在測量低值電阻的歐姆計內，則通常采用靈敏度較差的指示器，它們的全偏電流有时達到數百毫安或甚至數安。指針偏轉整個刻度時所需的指示器兩端的電壓降 $I_n R_n$ ，通常介于0.03—0.25伏之間。指示器愈靈敏（也就是說，其電流 I_n 愈小），則其綫圈的導綫就愈細，匝數就愈多，電阻 R_n 也就愈大。應用磁力較強的永久磁鐵和反抗力矩較小的彈簧，同樣可以提高測量機構的靈敏度。

工厂制造的某些特型欧姆計內，采用磁电式双綫圈仅用指示器——流比計。裝有流比計式指示器的欧姆計有着十分宝贵的特性——測量結果受电源电压的影响很小。但是由于这种流比計式指示器制造有限，所以它們很少用作業余測量仪表。

近年來开始采用电子管欧姆計來測量电阻。这种欧姆計的作用原理与电子管伏特計相似。它們的主要部分是电子管測量級，在測量級的屏極电路中接有磁电式指示器。被测电阻接于測量級电子管的控制柵極电路內。柵極电位随着被测电阻值而变，因此指示器所記錄的屏極电流值亦随之变化。在电子管欧姆計內，有时采用6E5C型电子管（調諧指示器）作为指示器。这种欧姆計的电源是通过电子管整流器或硒整流器而由交流市电供給，或者直接由直流电源供电。

有关电子管欧姆計之更詳細的知識，讀者可从一些專門的参考書籍中得到。这些書籍列于本書之末。

本書研究電池式与市电式直流欧姆計的理論、計算問題和設計原理。直到目前为止，这些問題和原理在書籍中仍未得到充分的敘述。直流欧姆計的某些單独的理論及計算問題，在E.A. 斯維爾斯基、B.O. 阿盧鳩諾夫、Г.Г. 庚金及A.Φ. 舍夫卓夫等苏联專家的著作內已有進一步的說明。

直流欧姆計的电路可分作兩大类：

- 1) 用來測量中值或高值电阻（1欧及1欧以上）的串聯电路。
- 2) 用來測量低值电阻的并聯电路。

那些既可測量高值电阻，又可測量低值电阻的欧姆計內，

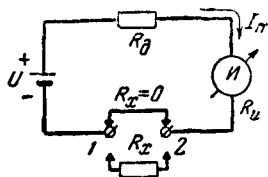
常常选用上述两种电路的组合——串并联电路。

第一章

欧姆计串联电路的一般特性

1. 欧姆计的串联电路

最简单的欧姆计电路，是由电压为 U 的电源、附加电阻 R_0 、内阻为 R_u 的磁电式指示器 H 以及接入被测电阻 R_x 的两个端子 1 与 2 串联而成，如图 2 所示。



电源的内阻通常比欧姆计电路内其它元件的电阻小得多，并且在大多数情况下，如无特殊声明，都可忽略

图 2. 最简单的欧姆计串联电路

不計。
附加电阻 R_0 应该取这样一个值，使得端子 1 与 2 短路时，即 $R_x = 0$ 时，指示器的指针恰能偏转整个刻度。此时，指示器中将通过全偏电流

$$I_n = \frac{U}{R_0 + R_u}$$

由此式可求得所需的附加电阻值：

$$R_0 = \frac{U}{I_n} - R_u \quad (1)$$

欧姆计电路在端子 1 与 2 之间的电阻叫做欧姆计的输入电阻 R_i 。对本电路来说，

$$R_i = R_0 + R_u = \frac{U}{I_n} \quad (2)$$

这种电路的欧姆计的输入电阻，完全由电源电压与指示器的全偏电流所决定。

现在我们来阐明一下欧姆计刻度的特性。

当 $R_x = 0$ 时，指示器中通过最大的电流

$$I_n = \frac{U}{R_i} \circ$$

当电阻 R_x 接于端子 1 与 2 上时，指示器中通过的电流值降低到

$$I_x = \frac{U}{R_i + R_x} \circ$$

电流比值为

$$\frac{I_x}{I_n} = \frac{R_i}{R_i + R_x} = \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_i}} \quad (3)$$

欧姆计刻度的划分即由公式(3)来决定。当已知输入电阻 R_i 时，我们可利用该公式来计算出相当于每一 R_x 值的电流比值 $\frac{I_x}{I_n}$ ；而这个比值则完全可以确定刻度上相应分度的位置。比值 $\frac{I_x}{I_n}$ 表示：如果 $R_x = 0$ 时指示器的指针偏转整个刻度，那末在测量 R_x 时，它就应偏转全刻度的几分之一。例如，比值 $\frac{I_x}{I_n} = 0.3$ 即相当于指针偏转刻度全长的30%。

引用公式(3)可以确定出欧姆计刻度上的三个特性点：

1. 当 $R_x = 0$ 时, $\frac{I_x}{I_n} = 1$, $I_x = I_n$ 。这时指示器的指针偏轉整个刻度。

2. 当 $R_x = \infty$ 时 (綫路中断时), $\frac{I_x}{I_n} = 0$, $I_x = 0$ 。这时指示器的指针沒有偏轉。

3. 当 $R_x = R_i$ 时, $\frac{I_x}{I_n} = \frac{1}{2}$, $I_x = \frac{I_n}{2}$ 。由此可以明顯地看出, 当被测电阻等于輸入电阻时, 欧姆計的指针停在刻度的中央。这是由于在 $R_x = R_i$ 时, 欧姆計电路的电阻將是 $R_x = 0$ 时的兩倍, 而通过指示器的电流則減小一半。

由公式(3)可知, 欧姆計串联电路的刻度特性与它們的輸入电阻无关, 而指示器指针的偏移, 僅由被测电阻值与輸入电阻間的关系來确定。

在圖3中, 上边表示由公式(3)求得的欧姆計展开刻度, 它适用于任何以輸入电阻 R_i 为單位的場合; 下边表示电

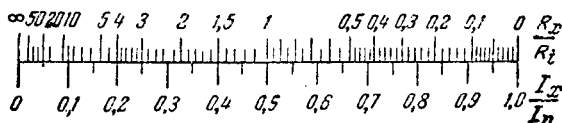


圖 3. 串联电路式欧姆計的刻度展开圖

流比值 $\frac{I_x}{I_n}$ 沿着刻度的变化情形。指示器指针的偏轉与此比值成比例。刻度上的数标可以适用于輸入电阻等于1欧、1千欧、1兆欧等等的欧姆計 (只要标上相应的單位)。在其它輸入电阻时, 刻度上的讀数必須乘上一个相应的乘数。例如当 $R_i = 10$ 千欧时, 要得到用千欧表示的讀数, 就必須把刻度尺上的讀数乘上10; 而当 $R_i = 100$ 千欧时, 則乘上100, 以此类推。

虽然欧姆計刻度的分度由 0 到 ∞ (无窮大), 然而由于刻度兩端部分的分度不均匀, 致使 R_x 值的測量精确度大大降低, 故实际的量程受到了限制。刻度兩端的有效分度点, 在低电阻端是位于 $\frac{R_i}{20} \sim \frac{R_i}{100}$ 之間; 在高电阻端則位于 $20R_i \sim 100R_i$ 之間。因此, 欧姆計所測电阻的范围, 是由其輸入电阻來决定的。

由公式(2)可知, 要獲取必需的輸入电阻, 既可用選擇电源电压的方法, 也可用選擇适当指示器的方法。在輸入电阻为一定时, 指示器愈灵敏(即其全偏电流 I_n 愈小), 与該輸入电阻相对应的电源电压就愈小。

例題 1 試計算一个使用 M-592 型微安計的欧姆計串联电路。M-592型微安計的数据如下: $I_n=300$ 微安, $R_u=500$ 欧。欧姆計的电源是两个串联的干电池, 其总电压 $U=3$ 伏。

1. 按公式(2)求得欧姆計的輸入电阻

$$R_i = \frac{3}{300 \cdot 10^{-6}} = 10000 \text{ 欧。}$$

2. 确定附加电阻值

$$R_0 = R_i - R_u = 10000 - 500 = 9500 \text{ 欧。}$$

3. 把 $R_i=10$ 千欧代入公式(3), 來确定用千欧表示的欧姆計刻度的划分。

当应用圖 3 所示的刻度时, 必須把它的讀数乘 10。此时 量程大致为:

$$\frac{R_i}{50} - 50R_i = 200 \text{ 欧} - 500 \text{ 千欧。}$$

2. 欧姆計測量电阻的精度問題

欧姆計也象其它許多測量仪表一样，以測量精确度來表征它的特性。在数量上測量精确度系由仪表的基本的和附加的相对誤差值來衡量的。

欧姆計讀数的基本相对誤差以其讀数的百分数表示，并相当于欧姆計在正常的条件下工作。此誤差值主要取决于欧姆計內所用指示器的質量。

具有均匀刻度的仪表（磁电式伏特計、安培計及毫安計等等），其基本相对誤差用仪表量程的上限值的百分数來表示，并对于刻度上的任何一点都大致相同；按仪表的精度等級的不同，該誤差对于0.2、0.5、1.0、1.5及2.5各級的仪表說來，应各不超过0.2、0.5、1.0、1.5及2.5%。这种誤差系由測量机构軸承里的摩擦、分度不精密、刻度盤裝置得不好、讀数不准确以及其它許多因素所引起的。

由于欧姆計刻度不均匀，在刻度上不同的地方，測量精确度也不同。許多研究証明，欧姆計的基本相对誤差值 K 在刻度的任何一点上都可由下列公式确定：

$$K\% = \frac{K_u\%}{\left(\frac{I_x}{I_n} + K_u\right)\left(1 - \frac{I_x}{I_n}\right)},$$

式中 $K_u\%$ 系欧姆計指示器的基本相对誤差，它是用百分数表示的，数值上等于指示器的精度等級；而 K_u 系用相对單位表示的同一誤差值。例如，对精确度等級为1.0的指示器而言， $K_u\% =$

1%，而 $K_u=0.01$ 。

圖4表示在使用各種不同級別的指示器時，歐姆計的基本相對誤差沿刻度而變化的曲線。從這些曲線中可以知道，在刻

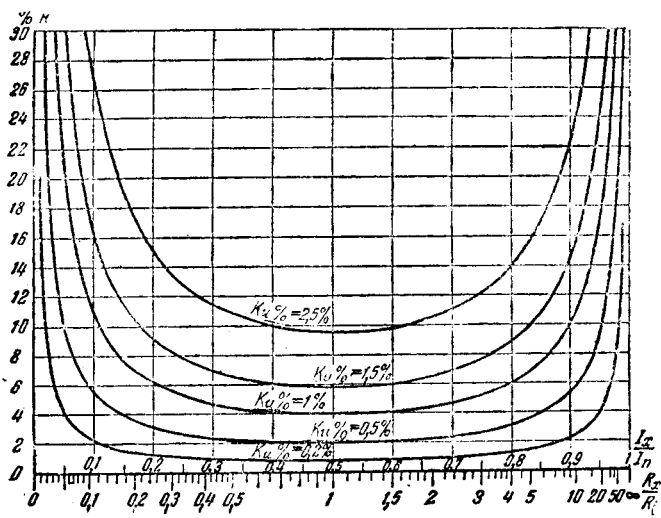


圖 4. 串聯電路式歐姆計的基本誤差曲線圖

度中央部分上誤差最小，而隨着向刻度的兩端靠近，誤差迅速增加。由此可得出結論：進行那些比較精確的測量時，只能應用刻度的中央部分；而其兩端部分只能用來近似地確定被測電阻值。因為這個緣故，在大多數實際情況下，圖4內刻度兩端部分的曲線對圖表中心的非對稱性可忽略不計，而把這些曲線當作是對稱的。在這種假設下，測量極限的位置亦將對刻度上相當於 $R_x = R_r$ 的這一點對稱。

圖4的曲線說明了歐姆計的基本相對誤差值與其中所用指

示器的等級有着密切的关系。例如，对欧姆計刻度的中央而言，当指示器为0.5級时， $K\% \approx 2\%$ ；而当指示器为2.5級时， $K\% \approx 9.6\%$ 。因此在欧姆計內，最好应用誤差 $K_u\%$ 尽可能小的指示器。

欧姆計的量程受着指示器的精度等級，以及刻度的工作段兩端所允許的最大基本相对誤差值 $K_{\text{макс}}$ 的限制。这一点是由研究圖4的曲綫而得出的。利用这些曲綫就可为所选指示器求得符合于規定允許誤差 $K_{\text{макс}}$ 的極限值 $\frac{R_{x \text{ макс}}}{R_i}$ 及 $\frac{R_{x \text{ мин}}}{R_i}$ 。从这些数值除得的商就是比值 $\frac{R_{x \text{ макс}}}{R_{x \text{ мин}}}$ 的允許值，根据这一比值即可选出具体的測量極限 $R_{x \text{ макс}} \sim R_{x \text{ мин}}$ ，例如，当欧姆計中应用精度等級为1.5的ПМ-70型指示器并其允許誤差值 $K_{\text{макс}}\% = 15\%$ 时，則 $\frac{R_{x \text{ макс}}}{R_i} \approx 10.8$ ， $\frac{R_{x \text{ мин}}}{R_i} \approx 0.124$ ，因而 $\frac{R_{x \text{ макс}}}{R_{x \text{ мин}}} \approx 90$ 。

由公式(3)可以証明，与刻度中心相对称的数值 $R_{x \text{ макс}}$ 及 $R_{x \text{ мин}}$ 將适用于下列等式

$$\frac{R_{x \text{ макс}}}{R_i} = \frac{R_i}{R_{x \text{ мин}}}。$$

所以欧姆計輸入电阻的計算值大致可按下列公式确定

$$R_i \approx \sqrt{R_{x \text{ мин}} \cdot R_{x \text{ макс}}}， \quad (4)$$

并把求得数值化成便于計算的最近值。例如，若根据比值 $\frac{R_{x \text{ макс}}}{R_{x \text{ мин}}} = 90$ ，确定量程为10~900欧，那末輸入电阻 $R_i \approx \sqrt{10 \cdot 900} \approx 95$ 欧。为了便于計算起見，可取 $R_i = 100$ 欧。此时規定值 $R_{x \text{ мин}}$ 及 $R_{x \text{ макс}}$ 的 $K_{\text{макс}}$ 值可能有些不同，但是在应用