

★ 郵 電 書 ★

真空管電壓表

人 民 郵 電 出 版 社

真 空 管 電 壓 表

K. Д. 奧 西 鮑 夫 著

人 民 郵 電 出 版 社

К. Д. Осипов
Ламповый вольтметр
госэнергоиздат
1950

在這本小冊子中，簡要地敘述利用真空管來測量交流電壓及直流電壓的原理。研究真空管電壓表的電路，並給予關於測量的實際說明和意見。引述真空管電流表、真空管歐姆表及真空管萬能表的概念。

真 空 管 電 壓 表

著 者：蘇 聯 К. Д. 奧 西 鮑 夫

譯 者：中央人民政府郵電部編譯室

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

書號：1025字數：45千字：31''×45'' 56開本 35頁
一九五四年六月初版（1—3,500） 定價 2,500 元

北京市書刊出版業營業許可證出字第 048 號

目 錄

測試技術方面的真空管電壓表.....	(1)
真空管電壓表的工作原理.....	(2)
二極真空管電壓表.....	(2)
三極真空管電壓表.....	(12)
真空管電壓表概況.....	(19)
真空管電壓表多刻度性的保證及其測量範圍的擴大.....	(23)
真空管電壓表的輸入阻抗.....	(32)
真空管電壓表的分度.....	(33)
簡單的真空管電壓表.....	(37)
直流真空管電壓表.....	(41)
真空管電流表.....	(44)
真空管歐姆表.....	(46)
真空管萬能表.....	(50)
測量超短波的真空管電壓表.....	(52)
關於設計真空管電壓表的一些問題.....	(56)
如何使用真空管電壓表.....	(59)
附表一.....	(64)
附表二.....	(65)
附表三.....	(65)

測試技術方面的真空管電壓表

在無線電測試技術方面，真空管獲得廣泛應用。在高頻及低頻測試技術上，利用真空管各種特性的儀器具有特殊重要的意義。屬於利用真空管作為測量儀器的有真空管電壓表（陰極電壓表）、真空管電力表、真空管歐姆表、真空管頻率測試器、真空管速度及時間測試器及其他一系列的儀器等。在這些儀器中，最有用和最普遍的就是真空管電壓表。真空管電壓表與其它電路比較時，其主要優點就是所測量的電壓電源消耗的電流很小、靈敏度和輸入阻抗都很高。由於這些特性，當測試功率很小的電源電壓時，或在那樣一些電路中進行測試時，即從該電路中取出小部分電流就會使電壓或電路工作情况變化很大，真空管電壓表就具有特殊的價值。例如在測試各種無線電收訊機電路中的電壓時便是這樣。

當測試高頻時，真空管電壓表實際上是不可缺少的儀器；因為除上述特性外，它尚有較小的輸入電容。

現有的真空管電壓表電路可以測量從幾十和幾百微伏到幾十千伏的電壓，而實際上並不消耗所測試電壓電源的電流。真空管電壓表的頻率範圍亦很寬，從很低的頻率大約幾十週一直升到很高的頻率約幾百兆週。

在這小冊子中，我們將向讀者介紹利用真空管來測量交流電

壓及直流電壓的原理、真空管電壓表的實用電路、以及設計、應用等。

真空管電壓表的工作原理

用電子管來測量交流電壓是建築在利用電子管的檢波（整流）特性的基礎上的。

最簡單的真空管電壓表由二個主要部分組成：即以檢波方式工作的電子管和電流指示器（磁電電流表）。一般的說，真空管電壓表中可以利用任何一種檢波方式，然而最常使用的是二極管檢波及屏極檢波。檢波方式是真空管電壓表分類的標誌之一。我們從二極管檢波的電壓表開始，來介紹真空管電壓表。

二極真空管電壓表

最簡單的二極真空管電壓表電路繪於圖1。該電路由二極管 A ，及被電容器 C 分路的磁電電流表組成。

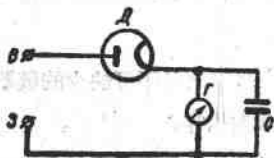


圖1 最簡單的二極真空管電壓表

A —二極管， I —電流計， C —電容器。圖2左上部表示二極管 A 的靜態特性曲線（或電壓電流特性曲線），也就是表示通過二極管的電流 I_a 與接在二極管屏極上的電壓 U_a 間關係的曲線。實際上，二極管的靜態特性曲線與繪在圖2的特性曲線略有差異，這就是即使在屏極電壓等於零時，仍有電流通過二極管。但是為了簡單起見，我們將認為僅僅當屏極上具有正電壓時，才有電流通過二極

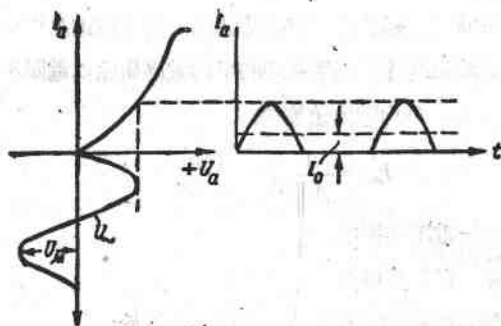


圖 2 二極管檢波器的工作情況

U —電壓， I —電流， t —時間。

管。把希望測量的交流電壓接到端子 $B3$ 。這交流電壓以正弦形 U_m 繪於圖 2 左下部。當電壓 U_m 的正半週加在二極管的屏極時，二極管中即通過脈動電流，該脈動電流的波形繪於圖 2 右上部。電流中的交流成份通過電容器 C ；而直流成份 I_0 則經過電流表 I 並使其指針偏轉。電容器 C 的選擇要使得電容器對屏流中交流成份的阻抗，在整個測量電壓的頻率範圍內比電流表 I 的阻抗小得多。通常電容器的容量選用 5—10 微法拉。經整流後通過電流表的電流中，直流成份的大小將視加於端子 $B3$ 的交流電壓值而定。因此，可以把電流表的刻度刻成接於端子 $B3$ 上的電壓值。

這電路的缺點就是刻度不均勻、所測電壓的範圍狹隘及輸入阻抗小。

真空管電壓表的第二種電路示於圖 3。該電路與第一種電路的區別就是它具有與二極管 A 串聯的電阻。由於電阻 R ，二極管的電壓電流特性曲線變成更傾斜，同時，成為較直的特性曲線。

設在屏極電壓為正半週時，二極管的內阻等於零；且當屏極上沒有電壓時，二極管內沒有電流流過，那末在電壓正半週時間內，平均屏流值即等於正半週時的平均電壓值除以電阻 R 。對正弦形電壓來說，平均電流值等於：

$$I_{ocp} = \frac{U_m}{3.14R} = \frac{U_{\text{эфф}}}{2.22R},$$

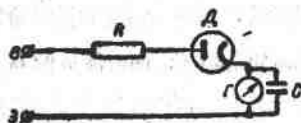
式中 U_m ——電壓的振幅；

$U_{\text{эфф}}$ ——有效電壓值。

當直流電壓接到電壓表時，得出屏流等於：

$$I_a = \frac{U}{R}.$$

。由此可見不論是交流電壓或直流電壓，都可利用該電壓表來測量。



R —電阻

圖 3 具有串聯電阻的二極真空管電壓表

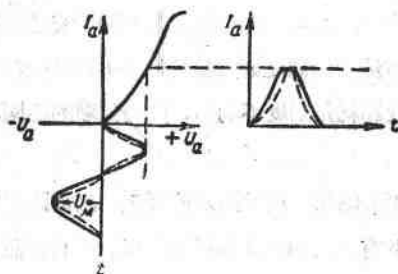


圖 4 交流電壓曲線底形狀對二極管屏流的影響

假如二極管的確具有零電阻特性，那末可以在直流電壓的情況下把電壓表分度，並可利用該電壓表來測量正弦形電壓及直流電壓。實際上，二極管電壓電流特性的曲線性以及未加屏壓時屏流的存在，使在電壓很小的時候，直流電流及交流電流的指數的比與值 2.22 略有區別。被測量的電壓愈大、伸直二極管特性曲線的電阻 R 的值愈大，這個偏差就變得愈小。

按這電路裝置成的電壓表可以測量從 0.5—1.0 伏特起及更高的電壓。在所測電壓增大時測量誤差就減小。

R 應當是無電感性的及無電容性的電阻。測試電壓表滿度電壓 $U_{\phi\phi}$ 時所應接入的電阻 R 的值可以近似地由下式來決定：

$$R = \frac{U_{\phi\phi \cdot \max}}{2.22 I}$$

式中 I ——允許通過電流表 I 的最大電流；

$U_{\phi\phi}$ ——當電流表 I 全偏向時應測得的最大電壓。

應當指出，如果被測電壓的波形與正弦波有所區別，那末按圖 3 電路裝置成的，並在正弦形電壓情況下分度的電壓表將給予不正確的指示值，因為輸入電壓的平均值與電壓的曲線形狀也有關係，這可從圖 4 看出。圖中實線代表正弦形電壓及這時所得到的屏流；虛線代表非正弦形電壓及由於非正弦形電壓所引起的屏流。除電流的交流成份外尚有直流電成份流過的電路不能利用我們所分析的過電壓表電路來測量。例如，如果用這種電壓表來測量收訊機輸出真空管屏極上的音頻電壓時，那末將得到不正確的結果。因為除音頻電壓外，屏極的直流電壓也將對電壓表發生作用。為了消除這一缺點，採用具有分離電容器、及具有把二極管

與含有電阻 R 及磁電電流表 I 的電路並聯的電壓表電路，如圖5所示。選擇這電路中的電阻 R 時要使得二極管的內阻值與它相比時並不很大。在輸入端具有分離電容器而不讓直流成份通過的電壓表稱為閉路輸入電壓表，而與圖1及圖3的所謂開路輸入電壓表有所區別。

分離電容器 C 的存在使電壓表的指示數決定於所測電壓的頻率。要減小這種關係，必須增大電容器 C 的容量。該電容器的容量通常採用幾千或甚之幾萬微微法拉 ($\mu\mu\mu\mu\mu$)。

按這種電路工作並在正弦形電壓情況下分度的電壓表，僅當測量正弦形電壓時才給予正確的指示數。所測電壓的波形與正弦形相差愈大，那末所得到的誤差也愈大。

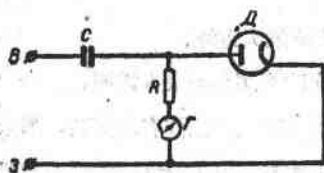


圖5 在輸入端具有分離電容器的二極真空管電壓表

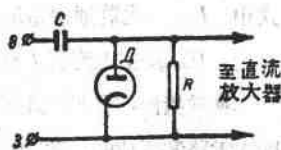


圖6 振幅電壓表的二極管檢波器

繪於圖6的電路是通常採用的真空管電壓表電路的一種。

在這電路中採用檢波的方法，而磁電電流表指針的偏轉是利用被測量電壓經二極管在電容器上的充電作用，及電容器經過把二極管分路的那個很大的電阻的隨後放電作用來得到的。

當正半週時，電容器通過二極管而被充電。二極管的內阻與電阻 R 相比是很小的。而在負半週時，如二極管的內阻為無限

大，則電容器 C 即經過電阻 R 放電。由於採用很大的電阻值，所以在負半週時，電容器 C 來不及放完電，而在電阻 R 上產生與所測電壓的振幅成比例的電壓降。電阻 R 上的電壓降以後將用來控制直流放大器。

當正半週時，電容器 C 能被充電到所測電壓的振幅值。因此這種電路的真空管電壓表可以測試被測量電壓的振幅值，利用下列公式可把振幅值換算成有效值：

$$U_{\text{eff}} = U_m \times 0.707,$$

式中 U_{eff} ——所測電壓的有效值；

U_m ——所測電壓的振幅值。

這電路中電容器 C 的容量大約採用 $0.02—0.025$ 微法拉，電阻 R 照例等於 50 兆歐姆。

我們已研究了幾種最常遇見的、採用二極管的真空管電壓表電路圖，並介紹了它們的工作原理。

除上述電路外，再談一談真空管電壓表中常常採用的雙向檢波電路圖。

圖 7 是雙向檢波真空管電壓表的電路。這種電壓表是按照雙二極管的全波整流電路裝置而成的。全波整流時所需的中心點是依靠串聯兩個相同的電阻 R 獲得的。把全波整流器的負導線接到這兩電阻的公共點上。電壓表的輸入阻抗決定於這兩電阻值的選擇。 C 就是分離電容器。

雙二極管整流後的電壓加於電流表 I 上，該電流表是與決定電壓表測量範圍的電阻相串聯的。改變電阻 R_2 可以選擇需要的測量範圍。由於全波整流器的緣故，當測量不對稱波形的電壓

時，以及當測量具有一系列各種成份的對稱波形電壓時，誤差獲得減少。

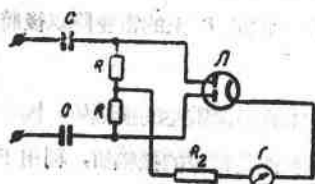


圖 7 單管雙向二極真空管電壓表

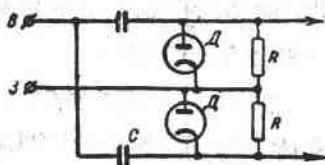


圖 8 雙向振幅真空管電壓表

圖 8 就是由圖 6 電路圖所發展成的雙向真空管電壓表電路圖。在這檢波設備後接有同樣按雙向電路裝置成的直流放大器。

除圖 6 及圖 8 電路的電壓表外，在其它電路中也廣泛使用直流放大器來擴大微小電壓值方面的測量範圍。

現在轉而研究圖 9 以便明瞭直流放大器的工作原理。圖 9 上列出具有直流放大器的二極真空管電壓表電路。

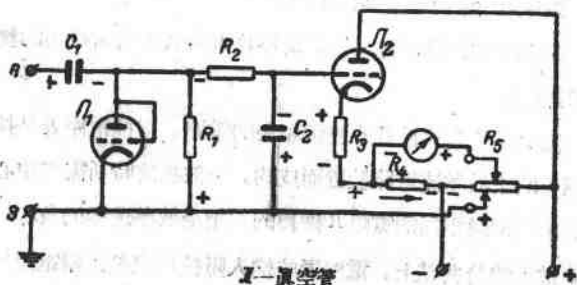


圖 9 具有直流放大器的真空管電壓表工作原理

從圖 9 電路可看出，電壓表的二極管部分與列於圖 6 的真空管電壓表相類似。而圖 6 真空管電壓表的工作情況我們早已研究過。

假如我們將被測量的交流電壓加到端子 B 及 3 上，那末在端子 B 為正半週時，電容器 C_1 將通過二極管 J_1 而被充電，直到電容器上的電壓等於所加交流電壓的振幅值（峯嶺值）時為止。

在電容器 C_1 充電結束之後， J_1 就成為不導電的真空管。當所加電壓開始減小時，電容器 C_1 就經電阻 R_1 而放電。

選用電阻 R_1 等於 50 兆歐姆是爲了保證電容器上的平均電壓值接近於被測量電壓的峯嶺值。電阻 R_1 上的平均電壓值等於電容器 C_1 上的平均電壓值。

電阻 R_2 與電容器 C_2 組成一個濾波器，並把電阻 R_1 上所得到的電壓中的交流成份分離。因此只有該電壓的直流成份加於放大管 J_2 的柵極。這直流成份差不多等於所接入電壓的峯嶺值。

自電阻 R_1 加於放大管 J_2 柵極的直流電壓具有負的符號。因而電阻 R_1 上電壓的增大將使放大管的柵極負偏壓增大，而使放大管的屏流減少。這樣，加於電壓表輸入端的交流電壓的提高將使放大管的屏流減少。

由於放大管的屏極電流只能減少到零，所以柵極電路能夠經受長時間的過電壓而對電流計 I 沒有損害。我們可以把 300 伏特以下的電壓加於這種電壓表的輸入端。

在放大管 J_2 的陰極電路中連接電阻 R_3 及 R_4 。由於放大管屏流在這些電阻上的電壓降將給予負的柵偏壓。當電阻 R_1 上電壓的直流成份增大時，如以前所說過的那樣，放大管的屏流減小。那末由這屏流在電阻 R_3 及 R_4 上所引起的電壓降也被減小，因而由電阻 R_3 及 R_4 所給予柵極的負偏壓也被減小。

因此，在電阻 R_1 上電壓直流成分的變化引起電阻 R_3 及 R_4 上

電壓的相反變化，而柵極電壓的變化將等於電阻 R_1 上與電阻 R_3 及 R_4 上，電壓變化的差值。

增大電阻 R_3 ，使電壓表的靈敏度減低，而使刻度的直線性改善。我們在以後見到，這種情況是被利用來調整電壓表的靈敏度的。

把電流表以負號接到電阻 R_3 及 R_4 的連結點，以正號接到可變電阻 R_5 的活動臂上。由放大管屏極靜流在電阻 R_4 上產生的電壓降用大小相等符號相反，從可變電阻 R_5 上一部分取得的電壓來補償，而電阻 R_5 接在電源的正負極間。假如選擇可變電阻 R_5 活動臂的位置使所取得的電壓等於電阻 R_4 上的電壓降，那末經過電流表的電流將不存在而指針被調到零位。

假如把所測電壓加於電壓表的輸入端，那末放大管 J_2 的屏流將減小（因為從電阻 R_1 取得的偏壓增大）。電阻 R_4 上的電壓降同樣也將減小，結果補償作用將被破壞，而使電流計指針向正的方向偏轉。通過電流計的電流是與電壓表輸入端的電壓成比例的。

電阻 R_5 也被用來選擇放大管 J_2 的正確工作情況。達到這目的的方法是把下部活動臂從電阻 R_5 上所取得的部分電壓加於放大管 J_2 的柵極作為正偏壓。因此放大管 J_2 的直流柵偏壓由電阻 R_3 及 R_4 上電壓降所產生的負偏壓及從電阻 R_5 上一部分取得的正偏壓所組成。加在放大管 J_2 柵極上的正偏壓是為了消除由負偏壓所引起的放大管 J_2 的電流閉塞作用。在電壓表調整過程中，正偏壓的選擇須使放大管 J_2 能對所有刻度都有相同的工作情況。

在圖 10 及 11 中還繪出兩個附有直流放大器的真空管電壓表電路圖。

現在研究圖 10。圖中利用電阻 R_1 上的電壓降來控制直流放大器的的工作情況。這電壓降是當所測電壓為正半週而有電流通過二極管時形成的。放大管的平均屏流值由電阻 R_1 上電壓降的平均值而定，而該電壓降又決定於正半週時所測電壓的平均值。

假如用被高歐姆電阻分路的電容器來代替電阻 R_1 ，那末我們將得到繪於圖 11 的電路圖。

從圖 9、10 及 11 可看出，放大管陰極電路內有電阻存在，就

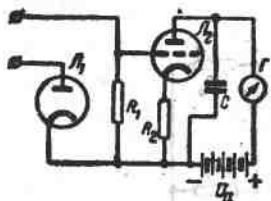


圖 10 具有直流放大器的二極真空管電壓表

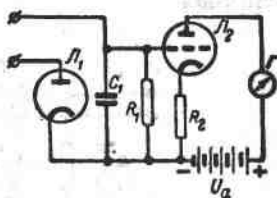


圖 11 具有直流放大器的二極真空管電壓表的另一種形式

會引起負回授現象。假如陰極的電阻相當大，負回授將使接於屏極電路中的電流表指示數實際上與柵極電壓的直流成份成比例，因而與被測試電壓的正峯巔值成比例。此外，陰極電路內電阻的存在將使柵偏壓隨屏流的減小而降低。因此，加於放大管柵極的直流電壓由於所測的交流電壓而可以大大超過陰極電路中沒有電阻時真空管被閉塞時的電壓。用這方法可以擴展高電壓值方面的測量界限，改變陰極電路的電阻及用幾種附加偏壓可以改變電壓表測量的界限，並保證電壓表的多刻度性。

圖 10 和圖 11 的電路中通常利用電橋電路來補償靜流。這種電橋電路與我們研究過的圖 9 的電橋電路相類似。

二極管部分及直流放大器裝於一個真空管內（雙二極三極管）的電路示於圖 12。圖中的電阻 R_2 的作用是使分度曲線伸直並提高測量的界限。這電阻上的電壓降是由電位計 R_3 左邊的電壓降來補償的。從電位計 R_3 取得而加於真空管柵極的電壓應這樣來選擇，而使得被加入的最小偏壓，當電壓表輸入端子短路時足以使屏流停止。當電鍵 K 斷開時，電壓表測量正半週內的平均電壓值。當電鍵 K 閉合時，電壓表給予近似於所測電壓峯數值的指示數。

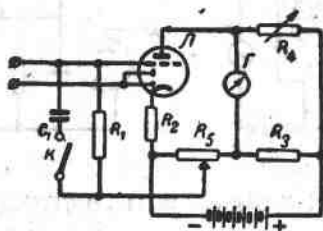


圖 12 具有直流放大器的單管式二極真空管電壓表

K —開關

三極真空管電壓表

採用三極真空管來測量電壓是建築在利用屏流與柵極電壓的關係特性曲線來作為分度曲線的基礎上的。

在三極真空管電壓表中，可以採用屏極檢波和柵極檢波。而屏極檢波電路被應用得最為普遍。

當屏極檢波時三極管的工作情況示於圖 13。圖中左上部是真

選在特性曲線的彎曲部分上 (a 點), 那末當加於柵極端子 (真空管燈絲) 的交流電壓為負峯嶺時, 屏流減小到 I_1 值, 而當電壓為正峯嶺值時, 屏流增大到 I_2 值。工作點的選擇是用供給真空管柵極原始直流偏壓 U_g 的方法來進行的。

這樣, 當柵極上交流電壓的正、負二個半週輪流作用時, 屏流增加的數值大於其減小的數值, 因而平均的屏流值與它的原始值 I_0 比是增加了。根據平均屏流值的變化可以判定加於真空管柵極上的電壓的振幅值。

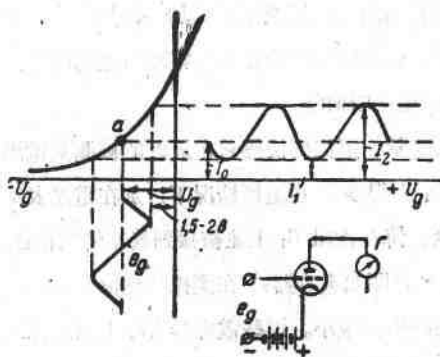


圖 13 特性曲線平方段上的屏極檢波作用

為了使屏流的增加為最大, 真空管電壓表應在屏流特性曲線下部彎曲點附近工作; 而這是以選擇偏壓 U_g 的方法來達到的。假如屏壓 U_a 選擇得這樣, 即當交流電壓加於柵極時 沒有柵極電流存在, 那末電壓表將具有很高的輸入阻抗。偏壓的選擇應如圖 13 所示, 使它比所測電壓的最大振幅高 1.5—2 伏特。

圖 14 是屏極檢波真空管電壓表的電路圖。這種電壓表也稱為