

苏联

大众 电子线路 丛书



电子管电压表

〔苏联〕Н. Д. 奥西波夫著



科技卫生出版社

苏联大众无线电丛书

电子管电压表

〔苏联〕K. Д. 奥西波夫著

醒

伯译

科技卫生出版社

內 容 提 要

本書系蘇聯大衆無線電叢書之一，供給無線電工作者作爲參考資料。

書內簡明地敘述應用電子管測量交流及直流電壓的原理；討論電子管電壓表的各種綫路；提供出關於測量方面的實用指導和提示；並介紹電子管電流表、電阻表和複用電子儀器的知識。

電 子 管 電 壓 表

Ламповый Вольтметр

原 著 者 [蘇聯] К. Д. Осипов

原出版者 Госэнергоиздат. 1952 年版

譯 者 醒 伯

*

科 技 衛 生 出 版 社 出 版

(上海南京西路 2004 號)

上海市書刊出版業營業許可証出 093 號

上海市印刷六廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

開本 787×1092 1/32 印張 2 5/16 字數 45,000

(原交流、科技版共印 10,320 冊)

1959 年 1 月新 1 版 1959 年 1 月新 1 版第 1 次印刷

印數 1—2,000

統一書號：15119·192

定價：(十二) 0.28 元

目 錄

電子管電壓表在測量技術方面的應用.....	1
電子管電壓表的工作原理.....	2
兩極管電壓表.....	3
三極管電壓表.....	13
電子管電壓表的一般知識.....	19
電子管電壓表讀數與待測電壓波形的關係.....	19
測量誤差.....	19
靈敏度.....	21
多檔刻度.....	22
輸入阻抗.....	22
電源.....	23
電子管電壓表的多檔刻度和擴充量限的方法.....	24
電子管電壓表的輸入阻抗.....	32
電子管電壓表的分度校核.....	34
簡單的電子管電壓表.....	38
直流電子管電壓表.....	43
電子管電流表.....	47
電子管電阻表.....	49
複用電子管測量儀器.....	52
電子管電壓表用於超短波的測量.....	57

電子管電壓表在測量技術方面的應用

電子管在無線電測量技術方面有廣泛的用途。在低頻和高頻測量技術裏，利用電子管各種特性所製成的許多儀器，有特別重要的意義。使用電子管的測量儀器有電子管電壓表、瓦特表、電阻表、頻率計、速率計、測時計等等。電子管電壓表是這些儀器裏最有用、並且應用得最廣泛的一種。電子管電壓表與其他類型的伏特表比較起來，它的主要優點在於它消耗待測電路裏的電流極小，它有高的輸入阻抗和高的靈敏度。由於這些性質，當測量極小功率電源的電壓或在某些電路裏（從那裏即使吸收很小的電流，也會引起電壓的巨大改變，或改變線路的工作狀況，例如無線電收音機的電路）測量電壓時，電子管電壓表是非常有價值的。

電子管電壓表對於高頻的測量是不可缺少的儀器，因除了上述的優點以外，它的輸入電容亦比較小。

現代的電子管電壓表可以測量從幾十或幾百微伏到幾十千伏的電壓，而實際上不消耗待測電源的電流。電子管電壓表使用的頻率範圍非常寬闊，可以從幾十週到幾百兆週。

在這本小冊子裏，我們介紹給讀者關於利用電子管測量交直流電壓的原理、電子管電壓表的實用線路、構造及其應用。

電子管電壓表的工作原理

應用電子管測量交流電壓是基於電子管的檢波(整流)性能。最簡單的電子管電壓表是由兩個基本部份組成的：擔任檢波工作的電子管和電流指示器——磁電式電流計*。一般說來，電子管電壓表可採用任何種檢波方法，但是最常用的還是兩極管檢波。檢波的方法是電子管電壓表分類標誌之一。爲了熟悉各式各樣的電子管電壓表，我們首先介紹用兩極管檢波的電子管電壓表。

* 編者註：「電流計」原文是 Гальванометр (即 Galvanometer)。但是，嚴格說來，在電子管電壓表中只能應用毫安表和微安表，而毫安表和微安表在應用上又都不能和「電流計」通用。本書中全部照原文直譯成「電流計」，希請讀者注意。唯原文用「毫安表」和「微安表」處，亦直譯之，以免混淆。

兩極管電壓表

最簡單的兩極管電壓表如圖 1 所示。該線路由兩極管 A 和一個附有旁路電容器 C 的磁電式電流計 F 組成。

圖 2 的左上部表示兩極管 A 的靜態(或伏-安)特性曲線，即通過兩極管的電流 I_a 對屏壓 U_a 的曲線。實際上，兩極管靜態特性和圖 2 有些不同，即屏壓等於零時，兩極管裏仍有電流通過。但為簡單起見，我們可認為僅當

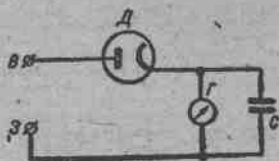


圖 1 最簡單的兩極管電壓表。

屏壓為正時才有屏流。把待測的交流電壓加到 B 和 3 兩端，這一交流電壓由圖 2 左下部的正弦曲線 U_m 表示，當電壓 U_m 的正半

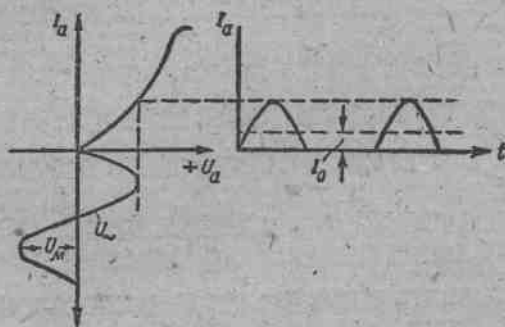


圖 2 兩極管檢波作用。

週加到屏極上時，則兩極管中就有圖 2 右上部所示的脈衝電流流過，這電流的交流成分將通過電容器 C ，其直流成分 I_0 則流過電流計 F 而使指針偏轉。電容器 C 的數值應在所有待

測電壓的頻率段裏，對屏流交流成分的阻抗，要比電流計 I 的電阻小許多倍。 C 的電容量一般選用 5-10 微法。經整流後流過電流計 I 的直流成分的值是隨着加在 B 和 3 兩端的交流電壓值而定。因此，電流計 I 的刻度可校準成 B 和 3 兩端的電壓值。

這線路的缺點是刻度的不均勻性、待測電壓的範圍狹窄和輸入阻抗低。

圖 3 介紹第二種電子管電壓表的線路，與前者的區別即

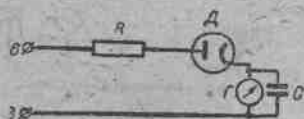


圖 3 有串連電阻器的
兩極管電壓表。

兩極管上多加一個串聯電阻器。

由於電阻器 R 的關係，兩極管的伏—安特性曲線變得比較平直了。

如認為當屏壓在正半週時，兩極管的內阻等於零，並且在電壓為零時沒有屏流，則屏壓在正半週時，屏流的平均值等於這半週電壓的平均值除以電阻 R 。對於正弦形的電壓，屏流的平均值是：

$$I_{\text{ocp}} = \frac{U_M}{3.14R} = \frac{U_s}{2.22R}$$

式中 U_M 是電壓的峯值； U_s 是電壓的有效值。

把直流電壓加到電子管電壓表上，則屏流等於：

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

由此可見，我們的電子管電壓表可用來測量交流或直流電壓。

如果兩極管的內阻真等於零，則電子管電壓表即可用直流電壓來校準，這時對於直流電壓和正弦波電壓的測量都能適用。但實際上，由於兩極管的電壓電流特性曲線的彎曲性，以及屏壓為零時仍有屏流存在，以致測量低值電壓時，直流和交流的讀數比和 2.22 稍有差異。待測電壓愈高和電阻器 R (能增進兩極管特性的直線性) 的數值愈大，則這差異也愈小。

按這樣線路裝置的電子管電壓表能測 0.5—1.0 伏以上的電壓。測量誤差隨待測電壓的增高而減低。

電阻器 R 應當沒有潛佈電感或電容。在電子管電壓表某檔最大刻度 U 的範圍內測量電壓時，所需串聯電阻器的近似數值，可由下式決定：

$$R = \frac{U_{sm}}{2.22I}$$

式中： I 是電流計 I 所能通過的最大電流； U_{sm} 是電流計 I 滿標度偏轉時所能測的最大電壓。

必須注意，按圖 3 裝置並且用正弦電壓校準的電子管電壓表，對於非正弦電壓將示出不正確的讀數，因輸入電壓的平均值是決定於電壓的波形。這可由圖 4 看到。圖 4 裏實線表示正弦電壓和因此而產生的屏流，虛線表示非正弦電壓和所產生的屏流。我們所討論過的那些電子管電壓表線路不能在交流和直流成分共同存在的電路裏做測量。例如，假使以這樣的電子管電壓表測收音機輸出管屏極上的音頻電壓，就

要得到錯誤的結果，因除音頻電壓外，直流屏壓也同時加到電子管電壓表上。

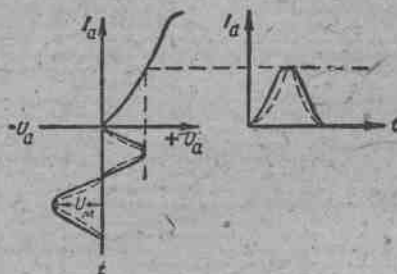


圖 4 交流電壓的波形對於兩極管屏流的影響。

選擇到使兩極管內阻與之比較小到可以忽略的程度。具有隔直流電容器的電子管電壓表稱為並聯輸入式電子管電壓表，像圖 1 和圖 3 的線路就與此不同，那叫做串聯輸入式電子管電壓表。

為彌補此缺陷，可在電子管電壓表線路裏添一隔直流電容器，同時將兩極管並聯到包含電阻器 R 及磁電式電流計 I 的電路上，如圖 5 所示。

這線路裏的電阻 R 應

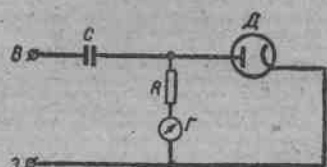


圖 5 輸入端有隔直流電容器的兩極管電壓表。

隔直流電容器 C 的存在，會使電子管電壓表讀數受到待測電壓的頻率的影響。為減少這種影響，應增加 C 的電容量，它的數值一般約是幾千或甚至幾萬微微法。

照這樣裝置，並且以正弦電壓校準的電子管電壓表，僅在測量正弦電壓時，才指示正確的讀數。如待測電壓的波形與正弦形相差愈遠，則誤差愈大。

圖 6 是一種常用的電子管電壓表線路。這個線路係採用

檢波的方法，利用電容器的充電和經兩極管的並聯高值電阻放電的作用，而使磁電式電流計的指針偏轉。在待測電壓的正半週時，電容器 C 通過兩極管（它的內阻遠小於電阻 R ）充電；在負半週時，兩極管內阻為無限大，電容器 C 即通過 R 而放電。因 R 的數值用得很大，在負半週時電容器 C 來不及完成放電，因此在 R 兩端產生一電壓降，其值與待測電壓的振幅成正比。此電壓降隨後再用來控制一個直流放大器。

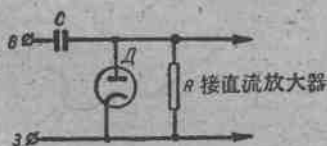


圖6 峯值電子管電壓表的兩極管檢波器。

在待測電壓的正半週時間裏，電容器 C 已充到待測電壓的峯值。因此，這樣的電子管電壓表測的是電壓峯值。把峯值換算成有效值可用下式：

$$U_s = U_M \cdot 0.707$$

這裏： U_s 是待測電壓的有效值； U_M 是待測電壓的峯值。在這樣的線路裏， C 的電容量約是 .02—0.025 微法，電阻器 R 通常用 50 兆歐。

我們已研究過最常見的、用兩極管的電子管電壓表的線路，並且已熟悉了它們的工作原理。除已研究的線路外，我們還要討論一些在電子管電壓表裏常用的推挽式檢波線路。

圖7是推挽式電子管電壓表的線路，由雙兩極管的兩個半波整流線路組成。把兩個相等的電阻器 R 串聯起來就得到

全波整流所需要的中點。兩個半波整流器的負端就接在這兩個電阻器的聯接點上。同時電子管電壓表的輸入電阻決定於這兩個電阻器的數值。電容器 C 是隔直流電容器。

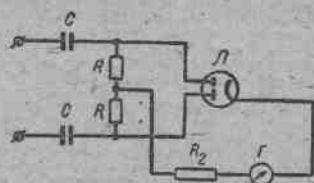


圖 7 單管推挽式兩極管電壓表。

雙兩極管整流後的電壓，加到與電阻器串聯的電流計 I 上

面，這個電阻器的數值決定電子管電壓表的量限。變更電阻器就可選擇所需的量限。由於使用全波整流的關係，當測量波形不對稱的電壓以及含有許多不同成分的合成電壓時，就可以減小誤差。

圖 8 所示的推挽式電子管電壓表線路是由圖 6 的線路發展出來的。檢波部分的輸出要接到推挽式的直流放大器上。

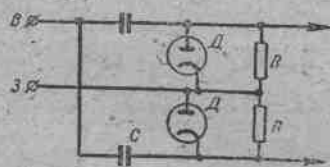


圖 8 推挽式峯值電子管電壓表。

直流放大器除了可用在圖 6 和圖 8 的電子管電壓表線路之外，也廣泛地應用到許多其他線路裏，用以擴展小電壓方面的量限。

爲了瞭解直流放大器的工作原理，讓我們看一下圖 9，這是一個具有直流放大器的兩極管電壓表線路。

由圖 9 可明顯地看出，電子管電壓表的兩極管部分和圖 6 裏的電子管電壓表線路相似，它的工作情況我們已經討論過。

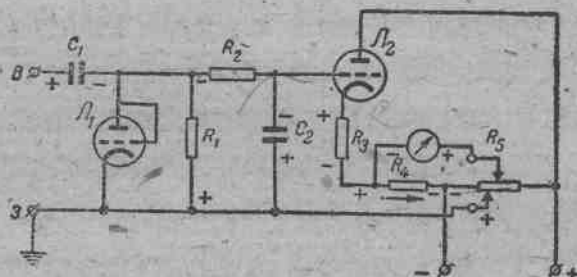


圖9 有直流放大器的電子管電壓表的工作原理。

如果把待測電壓加到輸入端 B 和 3 ，則當 B 端為正時，電容器 C_1 通過兩極管 A_1 充電，直到它的端電壓等於輸入交流電壓的峯值時為止。當 C_1 完成充電後，電子管 A_1 立即停止導電，這時，輸入電壓開始下降，於是 C_1 開始通過 R_1 而放電。

電阻器 R_1 的數值（等於 50 兆歐）應保證電容器 C_1 的端電壓的平均值接近待測電壓的峯值。 R_1 兩端電壓的平均值等於 C_1 端電壓的平均值。

電阻器 R_2 及電容器 C_2 組成一個濾波器，把 R_1 上電壓的交流成份濾去。因此，只有電壓的直流成分加到放大器電子管 A_2 的柵極上，這個直流電壓的數值幾即等於輸入電壓的峯值。

加在 A_2 柵極上的直流電壓總是負的，所以當 R_1 兩端的電壓增高時， A_2 柵極上的負電壓增大，於是屏流減小。因此增加電子管電壓表的輸入交流電壓，會使放大器的屏流減小。

因放大器電子管的屏流最小只能減到零，這說明即使有

長時間的超額電壓加到柵極上，也不至損害電流計 I 。電子管電壓表的輸入電壓可以高到 300 伏。

電阻器 R_3 及 R_4 是接在 J_2 的陰極電路裏，由於其中有 J_2 的屏流流過，於是產生負的柵偏壓。我們已知，當 R_1 端電壓的直流成分增加時， J_2 的屏流會減小，當然這屏流在 R_3 和 R_4 上所產生的電壓降也隨之減小，所以負的柵偏壓即降低。

因此， R_1 上直流電壓的改變會使 R_3 及 R_4 上的電壓產生相反的改變，於是柵極上電壓的變動即等於 R_1 上的電壓變值與 R_3 和 R_4 上電壓變值的差額。

R_3 數值的增大會減低電子管電壓表的靈敏度，但能增進刻度的直線性。後面將講到如何利用這一現象來調節電子管電壓表的靈敏度。

電流計 I 的負端接到 R_3 及 R_4 的聯接點，而正端接到電位器 R_5 的滑動頭。起始屏流在 R_4 上所產生的電壓降，被取自 R_5 上的相等而相反的電壓降所平衡。 R_5 是跨接在供給電源的兩端。如果調節 R_5 的滑動頭，而使從它上面取得的電壓降等於 R_4 上的電壓降，就沒有電流通過電流計，表的指針即停在零點。

如果把待測電壓加到電子管電壓表的輸入端， J_2 的屏流即減小（因增加了 R_1 上的負電壓）。同時 R_4 上的電壓降也減低，原有的平衡就被破壞，電流計指針乃向正方向偏轉。通過電流計的電流與電子管電壓表的輸入電壓成正比。

此外，我們也利用 R_5 選定 J_2 的正常工作狀況。方法是自 R_5 下面滑動頭截取一電壓降加到 J_2 柵極上作為正偏壓。於是， J_2 柵極直流偏壓包括兩部分：其一是負偏壓，即 R_3 及 R_4 上的電壓降，另外是一正偏壓，即截自 R_5 上一段的電壓降。正偏壓是為了避免 J_2 因負柵壓的關係而達到截止點。調整電子管電壓表時可選擇合適的正偏壓，以使 J_2 在各檔標度上都有相同的工作狀況。

圖 10 和 11 又是兩個有直流放大器的電子管電壓表線路。圖 10 裏，在待測電壓的正半週，兩極管裏有電流通過，並在 R_1 上產生電壓降去控制直流放大器。 J_2 屏流的平均值隨 R_1 上電壓的平均值而定，而這電壓的平均值又決定於待測電壓正半週的平均值。

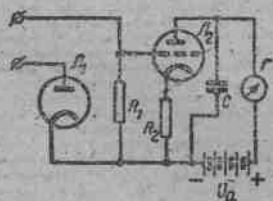


圖 10 有直流放大器的兩極管電壓表。

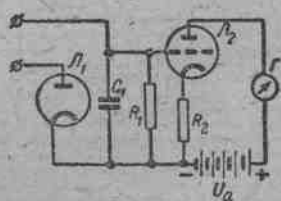


圖 11 有直流放大器的兩極管電壓表的又一形式。

用電容器代替 R_1 再並聯一高電阻就得到圖 11 的線路。

從圖 9、10 和 11 可以看出，放大器電子管的陰極電阻器會產生負回輸。如果這電阻數值相當大，則負回輸的結果能使屏路裏電流計的讀數和柵壓的直流成分成正比。這直流柵

壓乃正比於待測電壓的正峯值。此外，陰極電阻器有使柵偏壓隨屏流的減小而降低的作用。因此最大的柵極直流電壓（使 I_2 屏流截止）可以比不用陰極電阻器時大得多，這樣就可以擴充大電壓方面的量限。因此，改變陰極電阻器或外加柵偏壓的數值即能改變量限，並可用此法來獲得多檔刻度的電子管電壓表。

圖 10 和 11 的線路一般都用像圖 9 那樣的橋式線路來平衡起始屏流，它的工作情形已討論過。

圖 12 所示的線路僅用一個雙兩極三極管，包含兩極管部分

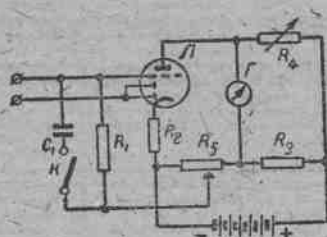


圖 12 有直流放大器的單管兩極管電壓表。

和直流放大器。電阻器 R_2 的作用是增進校準曲線的直線性並擴充量限，它上面的電壓降被電位器 R_5 左部的電壓抵消一部份。電位器 R_5 應調節得使輸入端短路時，三極管部分剛好能獲得足使屏流截止的最

小的柵偏壓。開關 K 開路時，電子管電壓表可以測量交流電壓正半週的平均值；閉合 K 時，則可近似地測量交流電壓的峯值。

三極管電壓表

利用三極管的屏流柵壓特性曲線的性質，可以應用三極管測量電壓。三極管電壓表可採用屏極檢波或柵極檢波的方法，但最常用的是屏極檢波。

圖 13 表示電子管用在屏極檢波時的工作情況，左上部是電子管的屏流柵壓特性曲線。如果把起始工作點選在曲線的彎曲部份 (a 點)，則當輸入電壓（加在柵極與陰極間）達到負峯時，屏流減到 I_1 ，達到正峯時，屏流升到 I_2 。配置工作點的方法是供給柵極一個固定的偏壓 U_g 。

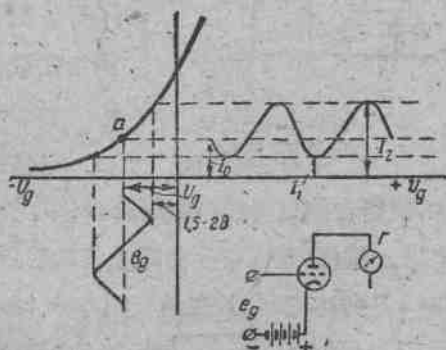


圖 13. 工作於特性曲線平方律部份的屏極檢波。

因此，當交流電壓在柵極上經過一週的變化時，正半週屏流的增量較負半週的減量要多，於是屏流平均值便大於起始值 I_0 。測量屏流平均值就能判斷輸入電壓峯值的大小。

爲了使屏流增量最大，電子管電壓表應當工作在接近特性曲線彎曲部分的底部。直流柵偏壓 U_g 是決定工作點的，