

蘇聯大眾無線電叢書

# 電子管電壓表

K. П. 奧西波夫著

羅伯譯



中國科學圖書儀器公司

出版

蘇聯大眾無線電叢書

# 電子管電壓表

К. П. 奧西波夫著

醒 伯 譯

中國科學圖書儀器公司

出 版

## 內 容 提 要

本書係蘇聯大眾無線電叢書之一，供給無線電工作者作為參考資料。

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線路；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

著 者 R. A. 奧西波夫

譯 者 顏 伯

\*

中國科學出版社出版

(上海延平西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可證出〇二七號

上海市印刷五廠印刷 新華書店上海發行所總經售

\*

編號：95

(原交流版印2,000冊)

開本787×1092 1/32 - 2 3/8 印張·45,000字

一九五六年三月新一版

一九五八年三月第一次印刷·印數1-1,020

定價：四角二分

# 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

關於設計電子管電壓表的一些知識.....	61
電子管電壓表的使用法.....	64
測量前的準備工作.....	64
音頻電壓的測量.....	65
高頻電壓的測量.....	65
電子管儀器的應用.....	67
附錄.....	69
適用於電子管電壓表的蘇聯電子管特性表.....	69
鎮流管特性表.....	70
穩壓管特性表.....	70

## 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  $U_{\sim}$  表示，當電壓  $U_{\sim}$  的正半

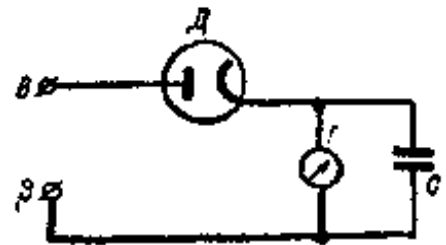


圖 1 最簡單的兩極管電壓表。

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

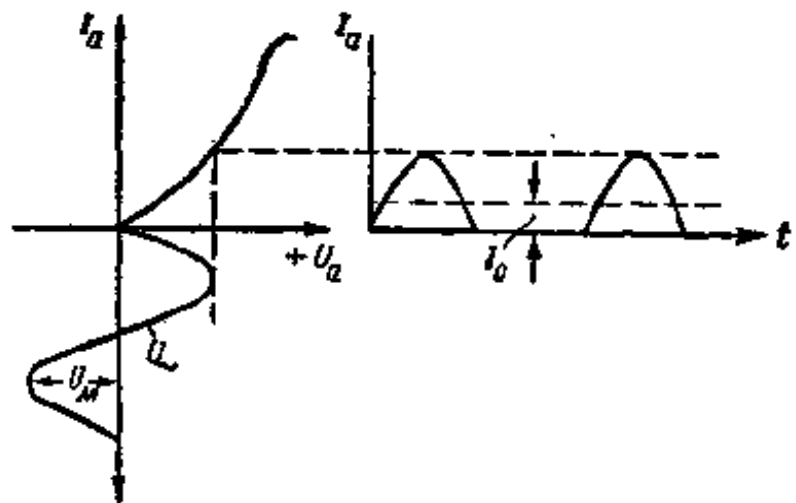


圖 2 兩極管檢波作用。

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規則性、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

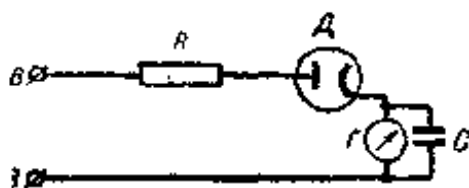


圖 3 有串連電阻器的兩極管電壓表。

兩極管上多加一個串聯電阻器。由於電阻器  $R$  的關係，兩極管的靜態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：

$$I_{0p} = \frac{U_M}{3.14R} = \frac{U_s}{2.22R}$$

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  $R$  應當沒有滯佈電感和電容。在電子管電壓表某檔最大刻度  $U_M$  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：

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

式中： $I$  是電流計  $I$  所能通過的最大電流； $U_{AM}$  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。

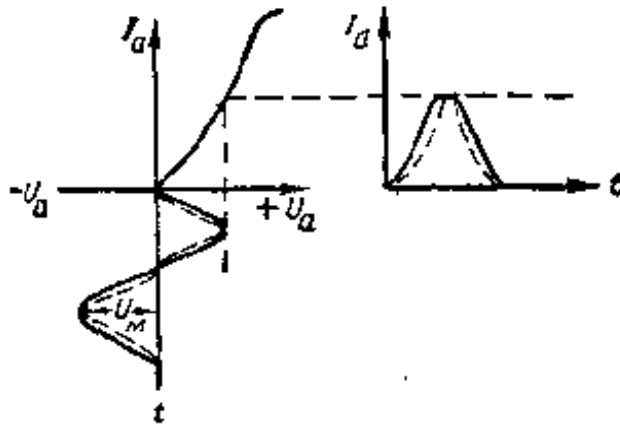


圖 4 交流電壓的波形對於兩極管屏流的影響。

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。

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

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

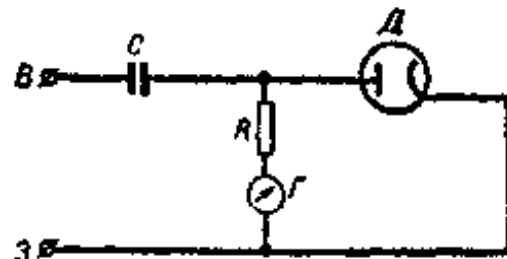


圖 5 輸入端有隔直流電容器的兩極管電壓表。

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。

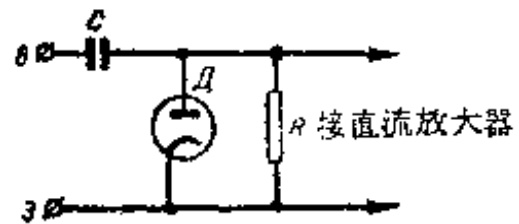


圖 6 峯值電子管電壓表的兩極管檢波器。

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

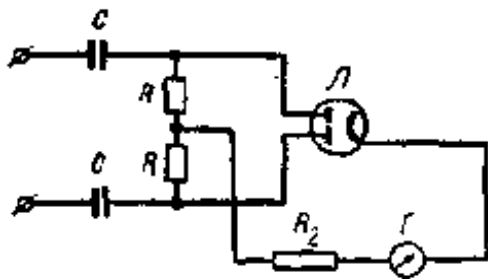


圖 7 單管推挽式兩極管  
電壓表。

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。

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。

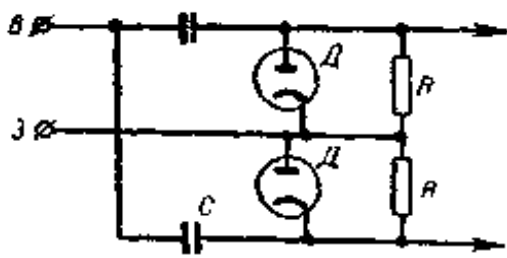


圖 8 推挽式峯值電子管電壓表。

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。

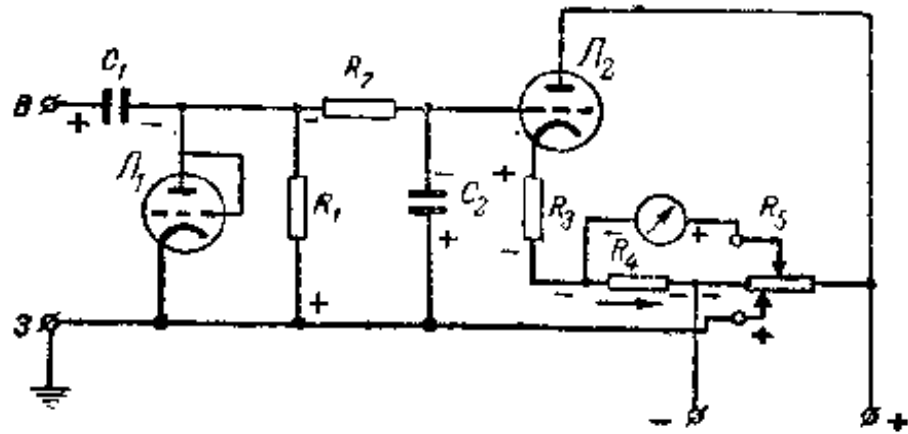


圖9 有直流放大器的電子管電壓表的工作原理。

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  $J_1$  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  $J_1$  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  $J_2$  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  $J_2$  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， $J_2$  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流點。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。

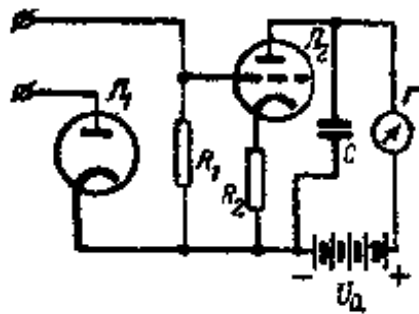


圖 10 有直流放大器的兩極管電壓表。

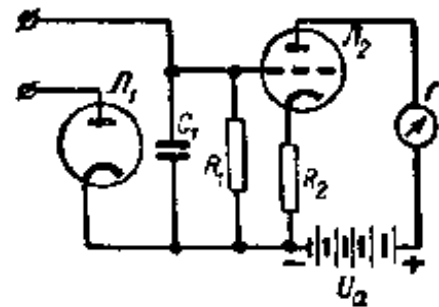


圖 11 有直流放大器的兩極管電壓表的又一形式。

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

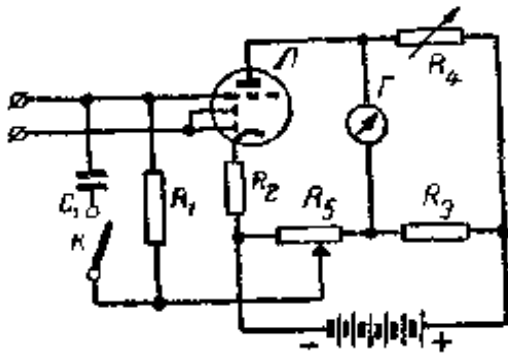


圖 12 有直流放大器的單管兩極管電壓表。

分和直流放大器。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质，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况，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  $I_2$ 。

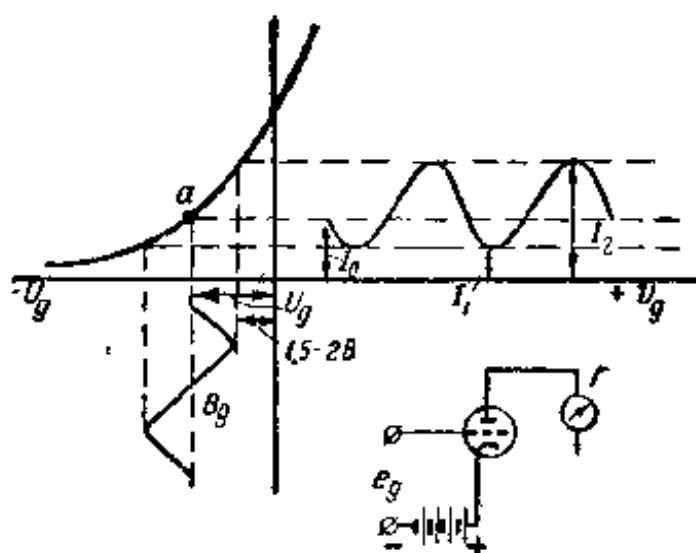


圖 13 工作於特性曲線平方律部份的屏極檢波。

配置工作點的方法是供給柵極一個固定的偏壓  $U_0$ 。

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  $U_0$  是決定工作點的，

可以選擇合適的  $U_g$  就能滿足上面的需要。如果同時選用適當的屏壓，使交流電壓加到柵極上時不會產生柵流，則電子管電壓表的輸入阻抗是非常高的。一般柵偏壓要超過待測電壓的最大峯值約 1.5—2 伏，如圖 13 所示。

圖 14 是屏極檢波的電子管電壓表，因電子管僅工作在

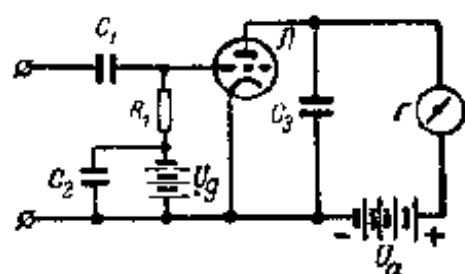


圖 14 屏極檢波平方律  
電子管電壓表。

特性曲線裏屏流與柵壓的平方成正比的部份，所以叫做平方律電子管電壓表。這種電子管電壓表用正弦電壓校準後，也適用於其他波形電壓的測量。

電容器  $C_1$  的電容量要相當大，使得在測最低頻率電壓時，它的容抗要比  $R_1$  的數值小許多倍。這樣，輸入電壓實際上全部都加到電子管的柵極。 $C_2$  和  $C_3$  是旁路電容器，在最低頻率時，它的容抗也需要很小，一

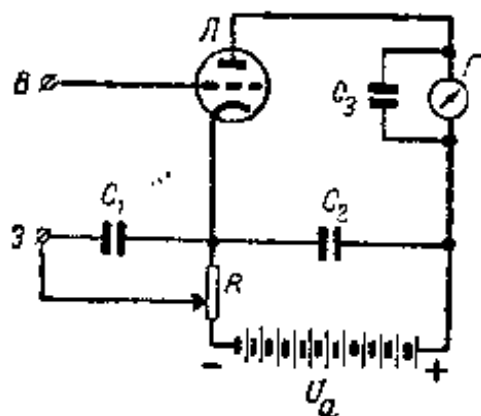


圖 15 用屏極檢波和自給柵偏  
壓的電子管電壓表。

般約用幾個微法。

屏壓選定後，再改變柵偏壓電池組的電壓，把工作點定在特性曲線彎曲部分的底部。

圖 15 也是一個屏極檢波的三極管線路。因屏流通過  $R$  產生電壓降，所以調節電位器  $R$  可把工作點定在特性曲線彎曲部分的底部。 $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$  各電容

器的電容也按圖 14 那樣選擇。

上面兩個線路的缺點在於：輸入電壓為零時，電流計裏有起始屏流通過，所以電流計刻度的利用受到限制。為克服這缺點，必須用平衡方法去掉電流計裏的起始屏流，就是用一個數值相等而方向相反的電流通過電流計。

圖 16 是一種平衡線路，從屏路電池組裏截取一段電壓  $U_k$  作為平衡之用。輸入電壓為零時，起始屏流  $I_{a0}$  及  $U_k$  產生的電流  $I_k$  都通過電

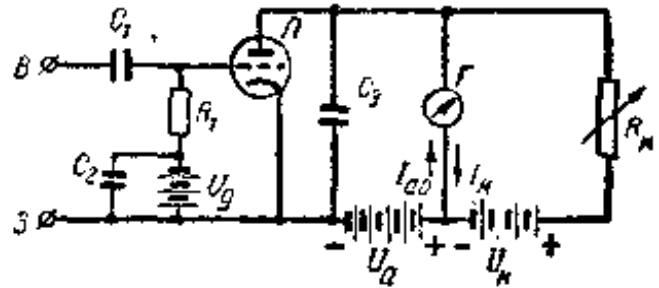


圖 16 抵消起始屏流的線路。

流計，兩者的方向相反，如箭頭所示。調節  $R_k$  令  $I_k$  等於  $I_{a0}$ ，則電流計指針指在零點。當交流電壓加到輸入端時，被它引起的屏流增量將流過電流計。如待測電壓甚小，則屏流增量可能比這裏的起始屏流要小得多。為了測量這個電流，我們可以選用較高靈敏度的電流計，這樣就能提高電子管電壓表的靈敏度。必須注意， $R_k$  應遠大於電流計的內阻，否則對電

流計將有旁路作用。

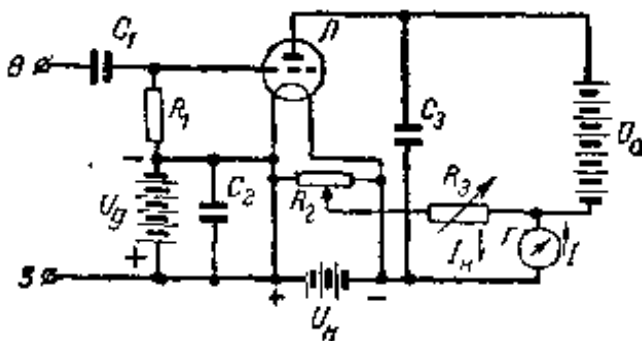


圖 17 用絲極電池抵消起始屏流。

在有絲極電池的線路裏，可用圖 17 的線路抵消起始屏流。絲極電池兩端跨接一電位器  $R_2$ ，經過變阻器  $R_3$  接電

流計正端，電池負極直接聯到電流計負端，調節  $R_2$  及  $R_3$  使通過電流計的平衡電流  $I_k$  等於起始屏流  $I_{c0}$ 。

圖 18 和 19 也是兩個屏極檢波的電子管電壓表線路，但

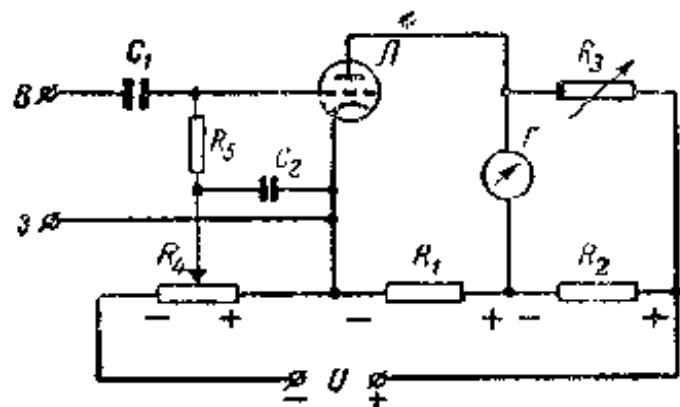


圖 18 僅用一個電源供給屏壓、柵偏壓和平衡電壓的電子管電壓表線路。

僅用一個電源同時供給屏壓、柵偏壓和平衡電壓，包括  $R_1$ 、 $R_2$  及電位器  $R_4$  的分壓器跨接在電源兩端。

由  $R_1$  上截取的電壓降作為柵偏壓， $R_2$  上電

壓降作為屏壓，而  $R_2$  上電壓降作為平衡電壓，調節  $R_3$  可校正電流計的零位。

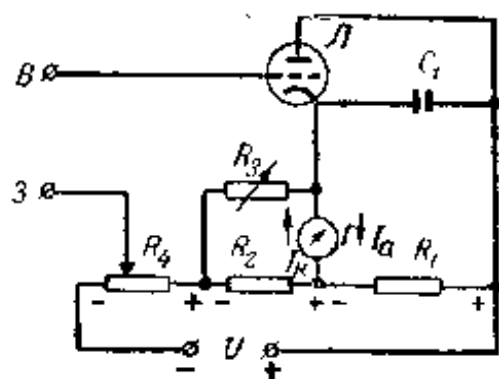


圖 19 另一種用一個電源的電子管電壓表線路。

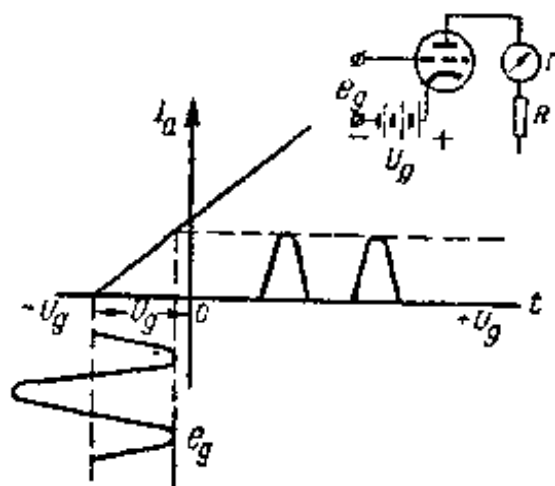


圖 20 工作於特性曲線直線部份的檢波特性。

如果把作屏極檢波的三極管的工作點移到特性曲線的起點，並在屏路裏串接一個沒有滯佈電感和電容的高電阻器，則三極管特性曲線實際上成爲一條直線(圖 20)。

假使把交流電壓  $e_g$  加到柵極上，則僅在正半週時產生屏流，負半週時屏流為零。脈衝屏流的形狀與輸入電壓正半週波形完全相同。在正弦電壓情況下，這脈衝即呈半個正弦波形，屏路裏電流計讀數與正弦電壓半週裏的平均值成正比，所以電子管電壓表的標度是線性的。對於純正弦電壓，這種電子管電壓表可以標刻出有效值，但對於其他波形的電壓，讀數就將不正確。

為了擴大特性曲線的線性部份，屏路裏的電阻器  $R$  應比三極管內阻大許多倍。這樣就需要很高的屏壓才能產生足夠的屏流。屏壓不可能過分的提高，所以電子管電壓表裏使用高互導的、內阻小和放大因數小的電子管。

要使線性三極管電壓表的輸入阻抗相當的高，待測電壓最大峯值應小於柵偏壓約 1.5—2 伏。

除了剛才討論過的線路外，還可用自給柵偏壓的方法(圖 21 和 22)增進電子管電壓表分度曲線的直線性。由於屏流通過  $R_1$  而產生電壓降，使陰極的電位高於柵極連接點的電位，

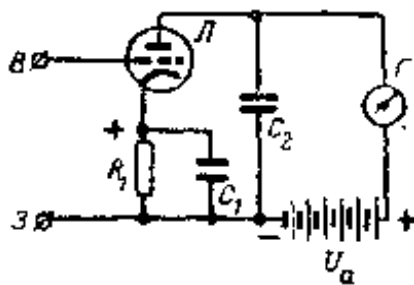


圖 21 用自給柵偏壓的屏極檢波電子管電壓表。

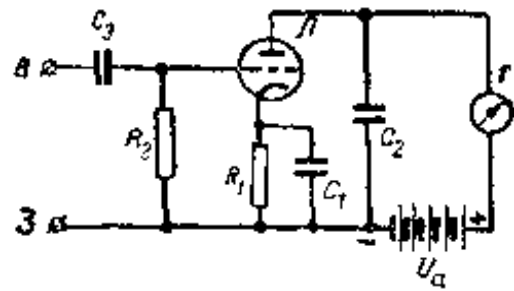


圖 22 用自給柵偏壓的並聯輸入屏極檢波電子管電壓表。

這樣就能得到負柵偏壓。

當輸入電壓增加時，屏流加大，同時增加了  $R_1$  上的電壓降。因柵偏壓的增加，工作點移向特性曲線的左部。由待測電壓增加所引起的柵偏壓超過原來偏壓（輸入電壓為零時）很多，所以工作點的左移，除增進特性曲線的直線性外，並能擴充量限。 $R_1$  的數值應選擇得使起始屏流儘可能小。抵消起始屏流可用前面討論過的任何一種方法。 $C_1$  的電容量要相當大，務使其對於屏流交流成分的容抗小於  $R_1$ 。圖 22 中的  $C_2$  和  $R_2$  是一個分流電路，這對於測量含有直流成分電路中的交流電壓時是必要的。 $C_2$  是屏路裏的旁路電容器。

這種電子管電壓表的輸入阻抗也很高，因測量電壓時並不產生柵流。

## 電子管電壓表的一般知識

我們已介紹過兩極管和三極管電壓表的幾種典型線路的工作原理，現在分析一些關於電子管電壓表的一般性問題。

### 電子管電壓表讀數與待測電壓波形的關係

在研究各種檢波線路時，我們已瞭解到，由於電子管檢波方法的不同，電子管電壓表能測交流電壓的峯值、平均值或有效值。無論用什麼檢波方法，所有電子管電壓表都校刻成正弦電壓的有效值分度。當測非正弦交流電壓時，必須記着，電子管電壓表讀數是有誤差的，並且有時誤差可能很大。例如，如果待測正弦電壓有8—10%的失真（即含有諧波），而電子管電壓表又沒有嚴格的平方律特性時，則測量誤差是必須考慮的。

### 測 量 誤 差

在最好的情況下，電子管電壓表的誤差約2—3%。如果把電流計的誤差、校準分度的誤差、由電子管參數的改變所引起的誤差都計算在內，並且考慮到供給電源電壓的改變、待測電壓的頻率以及外面溫度和空氣的情況等對於讀數的影響，則總的誤差一般會達到5—7%。



電流計不夠精確，或校準分度時用作參考標準的伏特表本身有誤差，都要產生電子管電壓表的分度誤差。為減小後者發生的誤差，應使用精確的校準用參考儀器，一般應採用0.5和1級的標準儀器。電流計的刻度必須特別仔細地描刻，而且要經過多次的校核。在穩定的工作狀況下，電子管參數有足夠高的穩定度，只有當電子管電壓表經過長期使用而電子管已衰老時，才可能發生參數誤差。在電子管工作狀況不穩定時，測量誤差可能很大。線路元件參數的改變和電源電壓的改變都能影響電子管的工作狀況。為精密地確定三極管電壓表裏檢波管的工作狀況（電流計接在屏路裏），可用所謂「假定零點」的校驗方法。這方法是：在選定電子管的工作點時，容許電流計裏有一定的屏流通過，就在電流計的標度上，相當於這屏流處，刻一特殊標記。一定的起始屏流值及電流計上相當於這一電流值處的所謂「假定零點」讀數，就是表示在開始測量時，電子管應配置在這一工作情況，校刻電子管電壓表的標度時亦然。此外，這起始屏流也就保證了電子管的檢波作用，確在特性曲線的最彎曲部份。

起始屏流的存在，使得不能全部利用電流計的刻度。因此，常常用一電源供給相等而相反的電流去抵消電流計裏的起始屏流。在這種情形下，電流計就沒有「假定零點」的標記，它的刻度可從正常的零點開始。

為了保證電源電壓的穩定度，以使電子管的工作狀況和

參數都能維持恆定，電子管電壓表裏應裝置穩壓器。例如鎮流器、氖管穩壓器和鐵磁諧振穩壓器都能顯著地減低電源的電壓變動。

當測不同頻率的電壓時，測量誤差主要與電子管電壓表的構造形式和裝置狀況有關。要減小頻率的影響，應使電子管電壓表輸入端與電子管電極間的待測高頻的電壓降非常小。電子管電壓表輸入部分與其他線路間的隔離需要異常完善，這樣可以提高輸入阻抗，並能減少損失。在高頻時，輸入阻抗基本上決定於輸入電容的數值，所以輸入電容應儘量減小。通常爲了減小輸入電容起見，都把檢波管裝在一個另外接出的「測棒」或「探極」裏面。檢波管電極與輸入端之間的接線極短，測量時就直接把電子管電壓表的輸入端接觸到待測電路上。爲減小電流計所引起的誤差，應採用表面大而分度細的電流計，最好是表面上裝有鏡子的一種。電流計本身的誤差不應超過 1—1.5%。

如果在室內和室外都需要進行測量，這時，溫度和濕度的變化很大，對於電子管電壓表的讀數會有很大的影響。如僅在室內使用電子管電壓表，這些影響是可以忽略的。

### 靈 敏 度

用普通電子管的簡單電子管電壓表可測量由 0.2 伏到 0.5 伏的電壓。爲提高靈敏度，可添裝前級或輸出放大器。加一

級放大器能把靈敏度提到 0.02—0.03 伏。最靈敏的電子管電壓表包括有四五隻放大管，最低能測到幾十微伏的電壓。

對於普通電子管的電壓，測量上限約達 150—200 伏。用有固定分壓比的分壓器，可擴充大電壓方面的量限。分壓器差不多都是用電容器組成的。

### 多 檔 刻 度

為獲得電子管電壓表的多檔刻度，大多都是變換線路裏各部份電路的連接，以改變檢波器、電流計或放大器的靈敏度。通常所用的方法，是從檢波器的屏路裏或放大級裏的分壓器上引出許多抽頭。除非是為較低頻率而設計的電子管電壓表，很少在電子管電壓表的輸入端裝置分壓器。至於換接不同的放大級來選擇量限，則更是不常用的。

如電子管電壓表的檢波器後面有直流通放器，那末改變放大管陰極電路裏的電阻可得到多檔刻度，同時藉助於分壓器來改變放大管的起始負柵偏壓。

### 輸 入 阻 抗

電子管電壓表輸入阻抗的大小決定它的品質和運用範圍。用屏極檢波，並且柵路裏不用電容器的三極管電壓表有最高的輸入阻抗。這種電子管電壓表的輸入阻抗達幾兆歐，而輸入電容約是幾個微微法。

兩極管電壓表的輸入阻抗要小得多，平均在幾萬歐光景。像圖 6 那種峯值兩極管電壓表的輸入阻抗約 0.4—0.5 兆歐，輸入電容約 5—10 微微法。

## 電 源

蓄電池、乾電池或交流電源都能用作電子管電壓表的電源。有標準電壓的蓄電池和乾電池做電源，能保證電子管電壓表工作的高度穩定性。但這種電源很笨重，而且需要時常更換，所以是非常不方便的。一般都採用交流電源，在電子管電壓表內裝有整流器。為了保證電壓的穩定度，可應用穩壓器。

在沒有交流電源的地區，最方便還是用兩極管電壓表，它僅需要一個電源。這種電子管電壓表都用省電式電子管，以手電筒的電池供電。

## 電子管電壓表的多檔刻度和 擴充量限的方法

前面所討論過的電子管電壓表線路都是單檔刻度的，這種電子管電壓表不是量限狹窄，就是量限雖寬而分度太密，因此在測低電壓時讀數困難，並且會產生較大的誤差。爲了減小讀數的誤差，可把待測電壓的全程分成幾段，每段的上限相當於電流計指針的滿度偏轉。例如，電子管電壓表需要測 0.5—100 伏的電壓，則宜分成幾個刻度，如 0—5 伏、0—15 伏、0—50 伏和 0—100 伏。5、15、50 及 100 伏的電壓都相當於電流計的滿度偏轉。我們將研究幾種設計電子管電壓表多檔刻度的方法。

對於已討論過的圖 3 所示的兩極管電壓表線路，我們已知改變電阻  $R$  可改變量限。如認爲兩極管內阻和電流計線圈的電阻都很小，則每一量限的  $R$  可用下式計算：

$$R = \frac{U_{3M}}{2.22I}$$

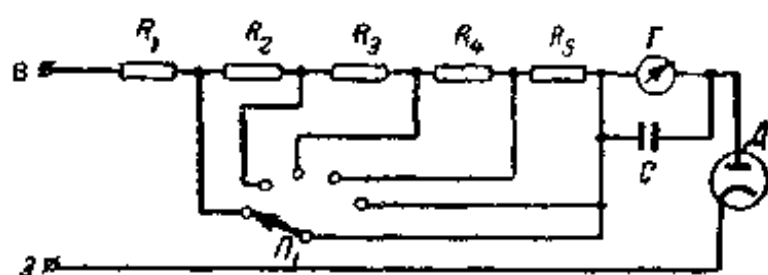


圖 23 串聯輸入的多檔刻度兩極管電壓表。

求出每檔量限所需的電阻  $R$  以後，就能裝置多檔刻度的電子管電壓表，如圖 23。電阻器  $R_1$ 、

$R_2, R_3, R_4$  和  $R_5$  是改變量限用的，用換檔開關  $U_1$  來選擇量限。當  $U_1$  接到第一位置時，僅  $R_1$  聯到線路裏，它的值已經過計算，適用於最小的量限，其他電阻器都被短路。當  $U_1$  接到第二位置時， $R_2$  與  $R_1$  串聯；它們的和是第二檔量限所需要的串聯電阻。同理， $R_3, R_4$  和  $R_5$  的值都是這樣選定的，使每個電阻器與前面的幾個電阻器串聯後能滿足第三、第四和第五檔的需要。

圖 24 是由圖 5 的線路發展出來的五檔刻度的電子管電壓表，代替圖 5 裏  $R_1$  的七個電阻器  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$  和  $R_7$  是用作改變量限的。供小電壓測量用的可變電阻器  $R_2$  和  $R_3$  是用來配準電子管電壓表刻度的。換檔開關  $U_1$  是選擇量限用的。

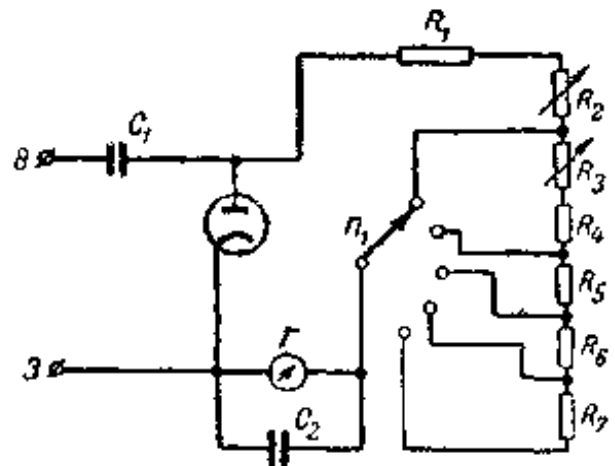


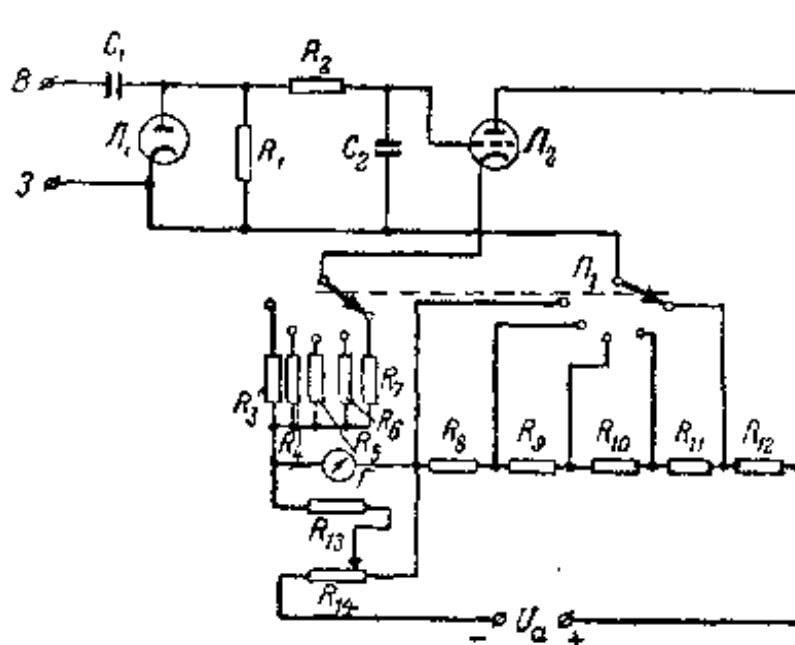
圖 24 串聯輸入的五檔刻度兩極管電壓表。

在有直流放大器的電子管電壓表裏，可改變放大管陰極電路裏的電阻器  $R_k$ ，來改變電子管電壓表的靈敏度（因柵偏壓改變），而達到多檔刻度的目的。如果用幾個電阻器代替  $R_k$ ，當依次把每個電阻器接到陰極電路裏時，同時改變了放大管的柵偏壓，這樣就得到多檔刻度的電子管電壓表。圖 25 就是用這種方法的五檔刻度電子管電壓表。由於屏流通過  $R_5—R_7$

(代替  $R_k$ ), 而供給負的柵偏壓。

把這些電阻器中的每一個接到陰極電路裏時, 電子管電壓表的靈敏度都不相同, 而且每次電流計的滿度偏轉都相當於我們所選的量限。由電阻器  $R_8$ — $R_{13}$  組成的分壓器供給放大器的正柵偏壓。這正偏壓的值必須這樣: 當  $R_5$ — $R_7$  中任一電阻器接進陰極電路時, 不論對於那個刻度, 電子管總保持在相同的工作狀況。輸入電壓為零時的起始屏流由電位器  $R_{14}$  來抵消。

圖 26 是五檔刻度的三極管電壓表, 變換陰極電路裏的電阻器  $R_2$ — $R_8$ , 以改變電子管電壓表的靈敏度。換檔時利用



$R_7$ 、 $R_8$ 、 $R_9$  和  $R_{10}$  所構成的分壓器改變屏壓, 保證電子管有恆定的工作狀況。起始屏流由與  $R_{10}$  並聯的電位器  $R_{14}$  來抵消。

擴充高電壓

圖 25 具有直流放大器的五檔刻度峯值電子管電壓表。方面的量限可使

用分壓器。最常用的是電容分壓器, 低頻和高頻都能適用。

由圖 27 可瞭解電容分壓器的工作情況。加到 1 和 2 兩

端的待測電壓分配在  $C_1$  和  $C_2$  上面，3 和 4 兩端接到電子管電壓表的輸入端。因此，電子管電壓表的輸入電容與分壓器的  $C_2$  並聯。

這裏以  $C_B$  表示電子管電壓表的輸入電容， $U$  表示待測電壓， $U_a$  表示電子管電壓表的讀數。如不計電子管電壓表輸入阻抗的有功部分（其值比較大），分壓比可寫成：

$$k = \frac{U}{U_a} = 1 + \frac{C_2 + C_B}{C_1}$$

如電子管電壓表的輸入電容已知，選定分壓比  $k$ ，就能算出  $C_1$  和  $C_2$  的電容量。設電子管電壓表的輸入電容是 10 微微法，所需的分壓比是 10，按上式：

$$10 = 1 + \frac{C_2 + 10}{C_1} \quad \text{或} \quad \frac{C_2 + 10}{C_1} = 9$$

於是  $9C_1 = C_2 + 10$  微微法

取  $C_1$  等於 15 微微法，則  $C_2 = 125$  微微法。分壓器的輸入電容可用下式計算：

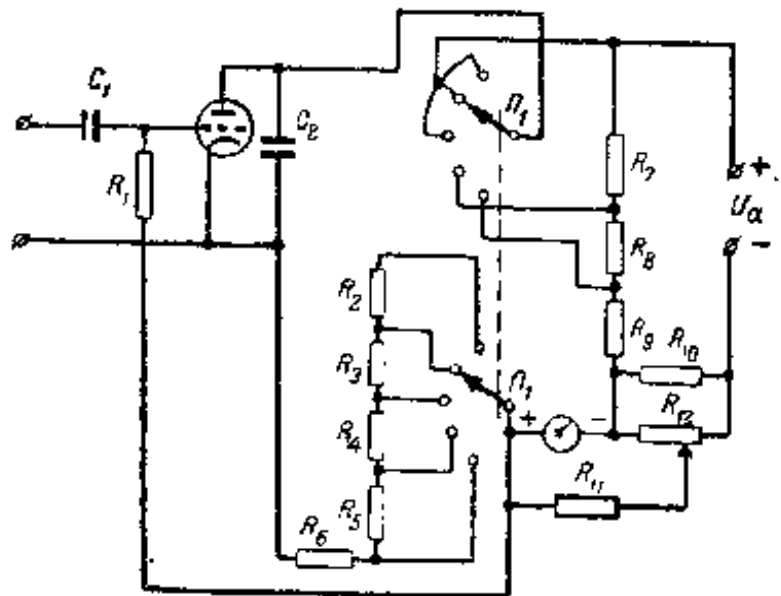


圖 26 屏極檢波的五檔刻度電子管電壓表。

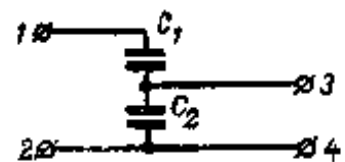


圖 27 電容分壓器。



$$C_{\text{外}} = \frac{C_1(C_2 + C_B)}{C_1 + C_2 + C_B}$$

對於上面的例子：

$$C_{\text{外}} = \frac{15(125 + 10)}{15 + 125 + 10} = 13.5 \text{ 微微法}$$

一般對於低頻的測量，分壓器的輸入電容約 150—200 微微法，對於高頻約 8—12 微微法。

爲使分壓器能調節起見， $C_1$  用半可變電容器， $C_2$  由兩個電容器組成，其一也是可調節的。作分壓器用的電容器應有高的品質，最好用損失小的陶質電容器。

若待測電壓的頻率在 100—150 千週以下，電阻分壓器也可以用。

圖 28 和 29 表示兩種不同的電阻分壓器。這種形式的分壓器是具有頻率修正的普通電阻分壓器，在寬廣的頻率範圍裏能保持不變的分壓比。

電阻器  $R_1$  是消壓電阻，其值可由  $R_1 = nR_B - R_B$  公式

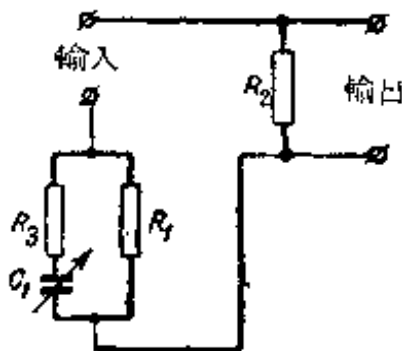


圖 28 有頻率修正的電阻分壓器。

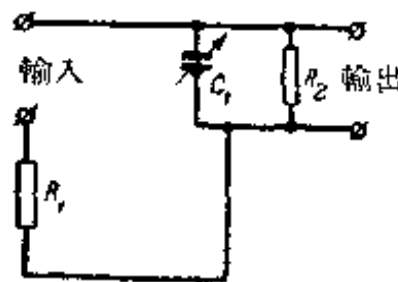


圖 29 有頻率修正的電阻分壓器。

計算，這裏  $n$  是所要的分壓比， $R_n$  是電子管電壓表的輸入電阻。設分壓比是 10 和 100，則  $R_1$  各應等於  $9R_n$  和  $99R_n$ 。利用  $R_2$  可配得準確的分壓比。

圖 28 裏電阻器  $R_2$  和電容器  $C_1$  是用作分壓器的頻率修正的。圖 29 的線路是把修正頻率的電容器  $C_1$  並聯在分壓器的輸出端。

圖 28 所用修正電容器的調節範圍是 8—15 微微法，當調節分壓器時應精確配準。圖 29 的修正電容器與電子管電壓表的輸入電容有關，其電容量約等於電子管電壓表輸入電容的 1.5 倍。

分壓器所用的電阻器必須沒有潛佈電感和電容，所以不能用線繞電阻器，但是特殊無電容繞製法的線繞電阻器是可以用的。如採用非線繞電阻器，必須經常檢驗它的阻值，因為這種電阻器時間長久了可能變值的。

有時要用多級的分壓器，利用多擲開關改變分壓比，如圖 30 所示。這樣的分壓器用起來是很方便的，但是它在調整時的複雜性，特別是修正元件調節的複雜，使得這種分壓器不很流行。

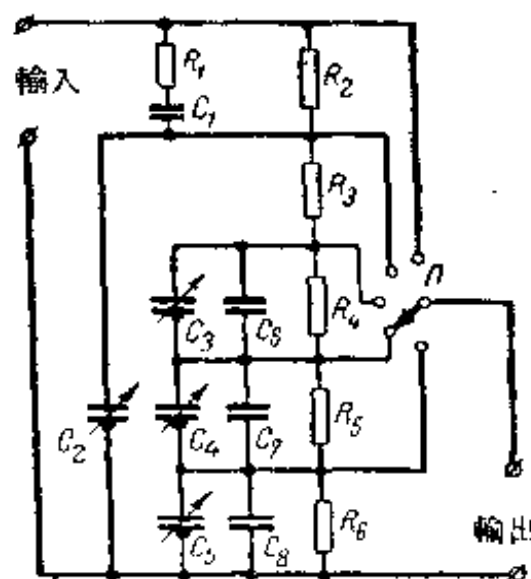


圖 30 有頻率修正的多級分壓器。

電阻器  $R_2—R_6$  是用以獲得必要的分壓比。電阻器  $R_1$  和電容器  $C_1—C_8$  是在不同分壓水平時作頻率修正用的。

要擴展小電壓方面的量限，可在待測電源與電子管電壓表間接一放大器。在測量 100—150 千週以下的低頻電壓時，放大器的應用是非常普遍的。這種放大器照例是用電阻耦合的。圖 31 是兩個 6K7 電子管的放大器線路。

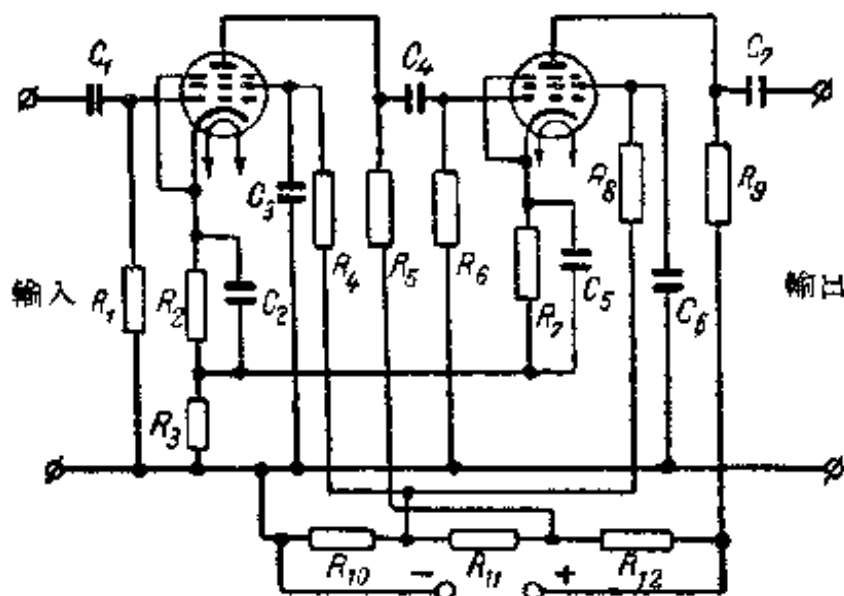


圖 31 兩級的放大器線路。

選擇適當的電子管種類和放大器級數，可以在相當寬的頻率範圍內把小電壓方面的量限擴展到幾十微伏。

要想在寬廣的頻率範圍裏能得到均勻的頻率特性，可在放大器裏使用強力的負回輸，並且屏極負載（電阻器  $R_4$  和  $R_9$ ）不要用得太大。有時在最後一級裏用一個修正抗流圈來補償高頻方面的頻率特性。強力的負回輸能使放大器的工作很穩定，實際上可不受電源電壓的改變和掉換電子管的影響，此外

還能提高電子管電壓表刻度的直線性。

圖 31 的放大器裏用的是電流負回輸。兩個電子管陰極電路裏的電阻器  $R_3$  是回輸元件。對於兩個 6Ж7 電子管，該電阻值應是 3.5—4 歐。

當具體選擇決定工作狀況的線路元件時，可以參考下面的數值：電容器  $C_1$  和  $C_4$  應是 0.075—0.1 微法。電阻器  $R_1$  和  $R_6$  是 0.5 兆歐， $R_5$  和  $R_9$  約是 40,000—50,000 歐， $R_2$  和  $R_7$  約是 1500—2000 歐。  $R_4$  和  $R_8$  在調整放大器時選定。電容器  $C_2$  和  $C_5$  約是 25—30 微法。  $C_3$  和  $C_6$  約是 0.25—0.5 微法。電阻器  $R_{10}$ 、 $R_{11}$  和  $R_{12}$  組成分壓器。調整放大器時，利用分壓器上的抽頭來選配屏壓和簾柵壓。

按照需要，這樣的放大器可由一個或三個電子管構成。最好不要超過三級，否則放大器的工作不會穩定，而且調整異常困難。圖 32 是

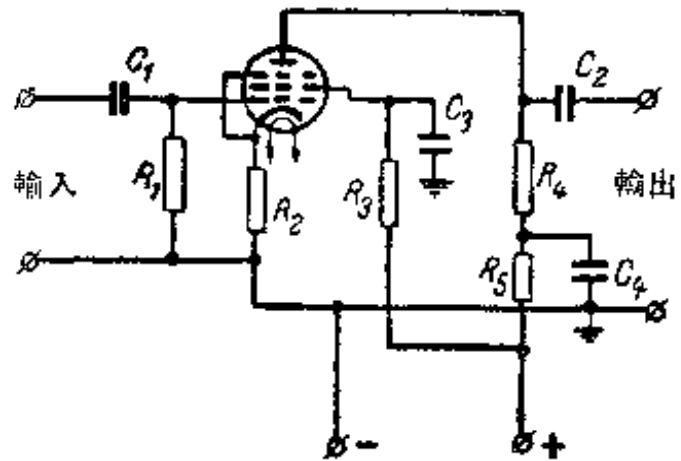


圖 32 一級的放大器線路。

6Ж7 電子管的一級放大線路，把電子管電壓表的靈敏度提高到 10—15 倍。線路元件的選擇可照圖 31 的方法進行。

## 電子管電壓表的輸入阻抗

電子管電壓表對於待測電路是個外加的負載，這是測量時常常必須考慮的。電子管電壓表的輸入阻抗近似地可用圖 33 表示，圖中  $C_0$  是電子管電壓表的輸入電容，包括電子管輸

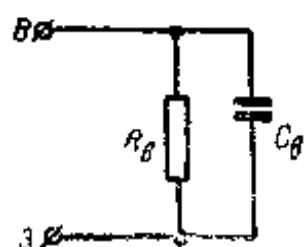


圖 33 電子管電壓表的等效輸入電路。

入電極間的電容和輸入電路裏各接線以及各零件間的電容， $R_0$  是電子管電壓表的輸入電阻，包括電子管輸入電極間的電阻、連到這些電極上的電阻以及電容器的介質和絕緣體裏的漏電阻。

若電子管電壓表的輸入電阻  $R_0$  低，就會使待測電路發生旁路作用。輸入電容也有旁路作用，使電路裏的參數發生變動。

爲計算引入電路裏的參數的變動，必須儘可能精確地了解電子管電壓表的  $C_0$  和  $R_0$ 。計算這些值非常煩複，因此最好用測量的方法決定。

用下面的方法可足夠精確地測量電子管電壓表的輸入阻抗。

在電子管電壓表的輸入端加上一個已知的交流電壓  $U$ ，記下電子管電壓表的讀數  $U_1$ ，其值就是  $U$ 。然後保持  $U$  不變，把一個已知電阻器  $R$  與電子管電壓表串聯，再紀錄電子管

電壓表讀數  $U_2$ 。這時加上的電壓顯然是分配在電子管電壓表的電阻  $R_0$  和已知電阻器  $R$  上面。  $U_1 - U_2$  就是電阻器  $R$  上的電壓降。電子管電壓表的輸入電阻可用下式計算：

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

電阻器必須沒有潛佈電容和電感，所以不能用線繞電阻器。

輸入電容可用代替法測量之。

## 電子管電壓表的分度校核

如果電子管電壓表的讀數在工作的頻率段裏不大隨頻率而變，則可用50週的電壓來校核電子管電壓表的分度。用50週進行校核的方便，在於這個頻率（就是照明電源的頻率）的電壓幾乎在任何情況下都能得到。在這種情況下，可以用電磁式和電動式的電表，作為校核時的標準儀器，那些儀器在50週時都有很高的準確度。此外，用50週電源時，容易獲得和調節到校核分度所需要的電壓。

電子管電壓表的分度校核按下面方法進行。把不同的電壓加到電子管電壓表的輸入端，該電壓由標準伏特表確定。同時記下需要校刻分度的電子管電壓表中電流計上的讀數，描製分度校核曲線。如果電流計的表面是空白的，可以直接在上面劃出分度。

圖34是用來校刻電子管電壓表分度的一種線路，在50週頻率校核。自耦變壓器AT的輸入加以110或220伏的交

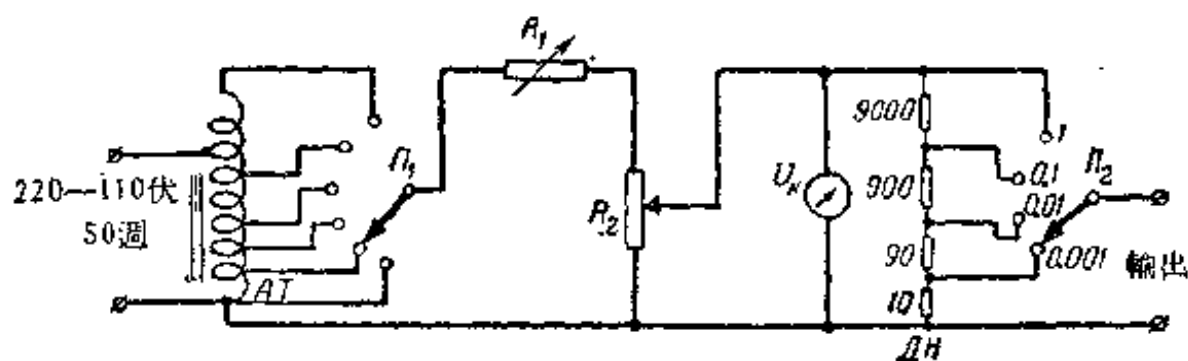


圖34 用50週交流電校刻電子管電壓表分度的線路。

流電壓，輸出接到由變阻器  $R_1$  和電位器  $R_2$  所組成的電路上，再把電位器輸出接到分壓器  $AH$  的兩端，分壓器輸入端跨接一標準伏特表  $U_k$ 。把待校刻分度的電子管電壓表經過一換檔開關  $H_2$  接到分壓器的輸出端。從自耦變壓器線圈上引出的許多抽頭，是逐級選定輸入到線路上的電壓用的。由變壓器上引出的最大電壓是 250 伏。各出頭上的電壓分 250、150、50、25 和 10 伏。電位器  $R_2$  和變阻器  $R_1$  (都是線繞的) 是爲了平滑地調節標準伏特表的電壓。 $R_2 = 5000$  歐， $R_1 = 1000$  歐。當進行低電壓檔的分度時，必須用分壓器  $AH$  取得小電壓。分壓器的倍率可以各不相同。但爲製造簡單起見，可以把分壓比定爲 1、10、100 和 1000。分壓器的總電阻等於 10000 歐，由 9000、900、90 和 10 歐的幾個電阻器串聯而成，如圖 34 所示。

當校刻一只測較高電壓的電子管電壓表分度時，可以不用分壓器。

分度的方法，不外乎用換檔開關  $H_1$ 、電位器  $R_2$  和變阻器  $R_1$ ，根據標準伏特表的指示，調節到一個相當於待刻分度的電子管電壓表的滿度值的最大電壓。

用電子管電壓表裏調節量限的線路元件，調節到使電子管電壓表中電流計的指針，指在滿度值處。這時換檔開關  $H_2$  應放在位置 1。然後逐步減低那加到待校電子管電壓表上的電壓(依據標準伏特表的讀數)，使之等於最大值(就是第一次



得到的讀數)的 0.9、0.8、0.7、0.6 倍等等,同時記下待校電子管電壓表的電流計上讀數。必要時,還可以用同樣方法定出一些中間的電壓值。如果待校電子管電壓表具有直線性,則可僅定出上限與下限兩點,然後在刻度上按等分割分。

如果電子管電壓表是非線性的,必須儘可能多校刻幾點。

當使用分壓器  $AB$  時,輸入待校電子管電壓表的電壓可用下式計算:

$$U_0 = U_k/n$$

這裏  $U_0$  是待測電子管電壓表的輸入端電壓,  $U_k$  是標準伏特表讀數,  $n$  是分壓器的分壓比。

例如我們要校刻一個 2 伏量限的電子管電壓表,這電子管電壓表裏電流計的分度有 100 格。假如我們所用的標準伏特表的最小量限是 30 伏。用換檔開關  $H_1$ 、電位器  $R_2$  和變阻器  $R_1$  調節到標準伏特表指示 20 伏的讀數。把分壓器撥到分壓比是 10 的位置。這時,待校電子管電壓表的輸入電壓等於 2 伏。調整待校電子管電壓表,使它的電流計指針偏到 100 分度上——這就相當於滿度是 2 伏的位置。調節分壓器使分壓比是 100 或 1000,就能得到相當於 0.2 伏或 0.02 伏的滿度刻度。改變加到分壓器和標準伏特表  $U_k$  上的電壓值,就可獲得中間各點分度的讀數。例如要獲得相當於 1.5 伏的一點讀數,如分壓比是 10,則可調節到標準伏特表上 15 伏讀數處。

當電子管電壓表經過長時間工作後或是修理後，也可用圖34的裝置檢驗電子管電壓表的分度是否正確。這時可用換檔開關  $U_1$ 、電位器  $R_2$  和變阻器  $R_1$ ，調節到被校驗的電子管電壓表裏電流計的指針偏到要校驗的某一刻度上，然後記下標準伏特表的讀數。比較兩個表的讀數，可求得被檢驗儀器的誤差。如果標準伏特表的讀數較大，誤差是負的；如果標準伏特表的讀數較小，則誤差是正的（電子管電壓表的讀數顯得「太」高）。誤差值的測量可用大的讀數減去小的讀數。如果須要求出全標度的誤差百分率，可用下式計算：

$$\Delta U \% = \frac{U_k - U_g}{U_{gM}} \times 100$$

這裏， $U_{gM}$  是儀器指針滿度偏轉時的電壓值。

電子管電壓表的分度和校驗，也可用標準毫安表和已知電阻器來進行。圖 35 就是用這種方法時的線路。

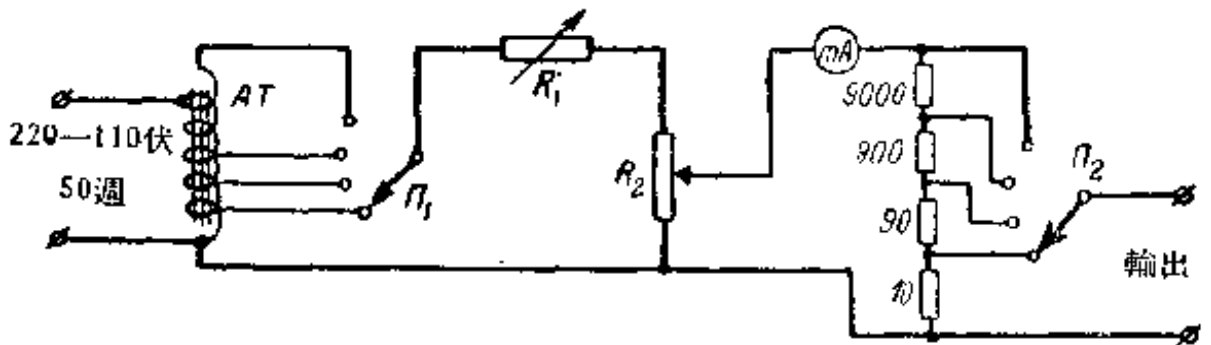


圖 35 用標準毫安表的電子管電壓表的校刻分度線路。

## 簡單的電子管電壓表

圖 36 是一具簡單的電子管電壓表的線路，每位無線電業餘家都能裝製，並且沒有特殊困難。

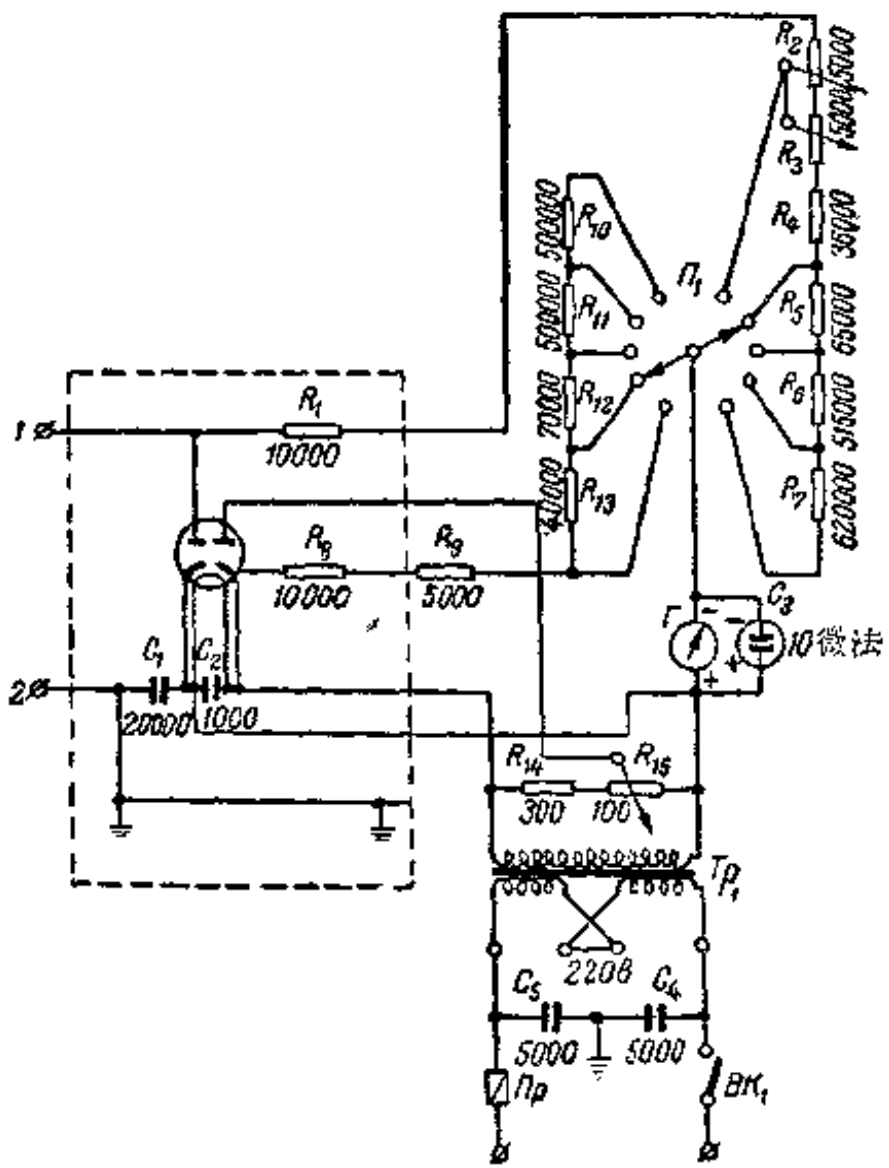


圖 36 一具簡單的多檔刻及兩極管電壓表。

爲了減小電子管電壓表的輸入電容，把電子管 6X6 和它的電路部份裝在另外引出的一個「探極」裏，用六根心線的隔離電纜把「探極」和其餘的電路聯接起來。

這一電子管電壓表能測 0.2 到 100 伏的電壓，適用於 30 週到 30 兆週的頻率範圍。在 10 兆週以下，測量誤差約達  $\pm 4-5\%$ ；從 10 兆週到 30 兆週，測量誤差不超過  $6-8\%$ 。

如果「探極」做得很完善，電子管電壓表的輸入電容不會大於 10 微微法。

待測電壓的範圍共分五檔，量限是 2、5、10、50 和 100 伏。待測電壓的上限僅能達 100 伏的理由，是因爲 6X6 電子管的屏極不能加更高的電壓。

這儀器的電源是用 110 或 220 伏的交流電。

待測交流電壓通過隔離電容器  $C_1$  加到 6X6 電子管裏的一個兩極部份上。被這兩極部份整流後的電流用電流計  $I$  來測量。爲了不使脈衝電流的交流成分流過電流計，用  $C_2$  與電流計並聯。電阻器  $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$  和  $R_7$  是用來變換電子管電壓表量限。半可變電阻器是用來調節電子管電壓表 2 伏和 5 伏兩檔的起始零位。

量限的變換用兩刀五擲開關  $D_1$ 。

兩極管 6X6 的絲極電流由降壓變壓器  $T_{p1}$  供給。6X6 電子管的第二個兩極部份是用來產生抵消測量兩極部份的起始屏流所需的電壓。如果沒有抵償電壓，則在電子管電壓表最

靈敏兩檔上，起始屏流會使電流計指針偏轉得相當之多。

抵償用的兩極部份的工作情況如下：在變壓器  $T_{\mu 1}$  的次級線圈上並聯有由電阻器  $R_{14}$  和  $R_{15}$  組成的分壓器。改變變阻器  $R_{15}$  截取一約 1—1.5 伏 50 週的電壓。這電壓經過 6X6 電子管的第二個兩極部份整流後，輸出的電流通過電流計，這電流與測量用兩極部份的電流方向相反。

當電子管電壓表由較靈敏的一檔換到靈敏度較差的一檔時，因測量用兩極部份的起始屏流會減小，所以抵償電流也必須改變。電阻器  $R_{10}$ 、 $R_{11}$ 、 $R_{12}$  和  $R_{13}$  就是換檔時改變抵償電流用的。當電子管電壓表換檔時，就藉開關  $H_1$  同時換接進這些電阻器中的某一個。

電容器  $C_2$  的作用，是阻止高頻通過 6X6 電子管的絲極。使用電容器  $C_4$  和  $C_5$  的目的，是使電子管電壓表不會受到電源導線引入的高頻干擾的影響。

電子管電壓表在構造上是分裝成兩個部份。第一部份——前面的「探極」，這是一個金屬殼子，裏面裝有 6X6 電子管、電容器  $C_1$  和  $C_2$  以及電阻器  $R_7$  和  $R_8$ 。另一部份包括直流電路和絲極變壓器，可以用任何方式裝置。電流計  $I$ 、換檔開關  $H_1$ 、電源開關  $B_k$ 、保險絲、零位調節器（變阻器  $R_{15}$ ）和接地接線柱都裝在面板上面。

電阻器和電容器的數據都標明在線路圖中。所有接在換檔電路的各電阻器數值，在校準儀器時，必須正確選定。

電容器  $C_1$  要用陶質的，電容器  $C_2$ 、 $C_4$  和  $C_5$  都是雲母的； $C_3$  是 10 微法 12 伏的電解電容器。半可變電阻器  $R_2$  和  $R_3$  不是線繞的，而  $R_{15}$  是線繞的。

換檔開關  $H_1$  是圓盤形的。電源開關  $B_{k1}$  是旋轉式的。保險絲  $I_{p1}$  用 50 毫安 L 波澤 7 式。電流計  $I$  是 100 微安的。假使用別種電流計，換檔以及抵消屏流用的固定電阻器必須從新計算。

電子管 6X6 的絲極變壓器  $T_{p1}$  用 III-15 型鋼片；鐵心截面積計 2.5 平方公分。初級圈分兩部份繞，每部份用 0.1 公厘直徑的漆包線繞 3300 匝。次級圈用 0.5 公厘直徑的漆包線繞 190 匝。當儀器用 110 伏交流電源時，兩部份初級圈要並聯起來；如用 220 伏電源則串聯。兩部份線圈的變換聯接，是用變壓器上的特別插子。

電子管電壓表的接線用絕緣軟銅線。它的裝置很簡單，並不需要任何特別的規定。要特別注意的只是電子管電壓表的輸入部份。我們已經說過，電子管電壓表的檢波部份要裝在另外接出的「探極」裏。在裝製「探極」時，必須考慮下面的情況：接線柱 1 和 2 應當分開；從接線柱 1 接到兩極管屏極上的接線要儘量短，電容器  $C_1$  最好是小型的，把  $C_1$  接到「探極」外殼及電子管上的接線亦要短。滿足這些條件，可以減小接線的潛佈電容，這樣可使電子管電壓表的輸入電容減小到只剩「探極」裏兩極管屏極與陰極間的電容量。電子管電壓表

校準與調節的方法如下。

檢查過線路裝接無誤以後，接上電源，把電子管燒熱約 10—12 分鐘。把電阻器  $R_{15}$  的滑動頭放在中間的位置。將電子管電壓表的輸入端短路，換檔開關撥到 2 伏的一檔上，再選配電阻器  $R_9$ ，使電流計指針指零位。之後就可校刻 2 伏檔的分度。因電子管電壓表的頻率關係極小，所以可用 50 週(市電電源)交流電壓來進行刻分度。

關於分度的步驟，在「電子管電壓表的分度方法」一節裏，我們已經討論過了。

配準 2 伏一檔上的刻度用可變電阻器  $R_2$ ，5 伏一檔上的刻度用  $R_3$  配準。如果  $R_5$ 、 $R_6$  和  $R_7$  各電阻器的選擇得正確，則其他各檔可不須調準。

當各檔刻度都校準好以後，必須在電流計的表面上仔細描刻 2 伏和 10 伏兩檔標度的分度。其餘各檔的刻度與 10 伏一檔的刻度相重合，用 0.5、5 和 10 乘 10 伏一檔的刻度即得。刻度分割好以後，即把電流計裝好。

## 直流電子管電壓表

在輸入端不用隔直流電容器的電子管電壓表可以測量直流電壓。

在大多數情況下，用電子管電壓表測量直流電壓，比用磁電式伏特表測量，顯不出任何優點；它的精確度是很低的。

但是在某些特殊場合下，例如測量無線電收音機裏電子管的工作狀況時，須要用輸入阻抗很高的電子管電壓表。

讓我們簡單地講一下關於直流電壓測量的特點：

首先應當照下面的要求選定電子管的工作狀況，起始柵偏壓要超過最大待測電壓 1—1.5 伏。這樣才能沒有柵流產生。一旦產生柵流時，柵陰電路的電阻就急劇降低，柵流愈大，降低愈甚。

電子管電壓表輸入接線柱間應當用良好的介質絕緣，使沒有漏電流產生。為此，電子管柵路的接線柱最好裝在瓷質絕緣子上。電子管的管座也必須用瓷質的，使屏極與陰極管腳間的漏電流微小到可以不計。

如果電子管電壓表的輸入端要裝置分壓器，則分壓器的輸入電阻應達幾十兆歐，並且分壓器的電阻與[地]間要有完善的絕緣。必須注意：假使不能滿足前面那些條件，電子管電壓表的輸入電阻就要降低，而電子管電壓表就不能有勝過磁



電式伏特表的優點了。

圖 37 是一個測量直流電壓的電子管電壓表線路。這電

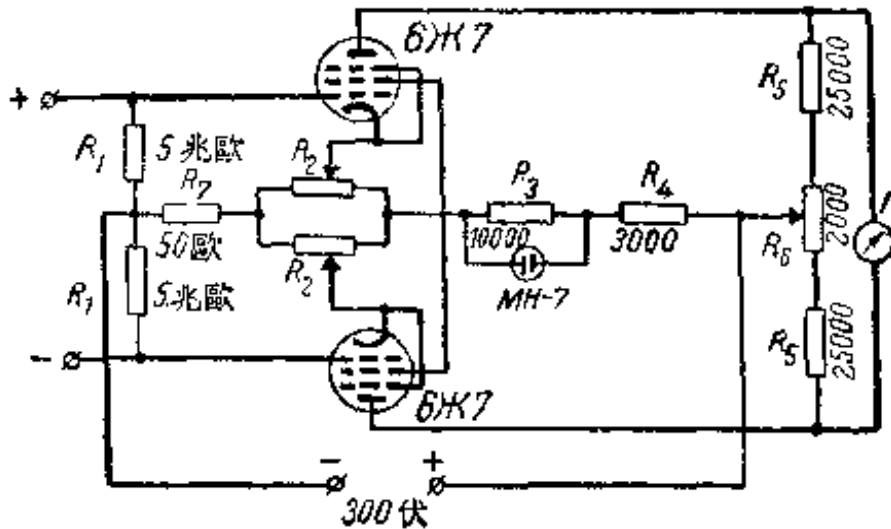


圖 37 直流電子管電壓表。

子管電壓表是有平衡臂的、由兩個 6K7 電子管工作的直流放大器。

這種電子管電壓表的阻抗僅與輸入端的電阻器  $R_1$  的數值有關。這兩個電阻器至少都用到 5 兆歐。

電阻器  $R_2$  是爲了平衡放大器的兩臂，調節這兩電阻器，使電子管電壓表沒有輸入電壓時，電子管電流不影響電流計讀數。藉電阻器  $R_3$  和  $R_4$  可以選定放大器的工作狀況如下：屏壓和簾柵壓的增加，會引起柵偏壓產生一個相當的增量，使能抵消屏壓和簾柵壓增加的影響。

爲選定放大器的工作狀況，在一個電子管的屏路裏接一毫安表。選擇電位器  $R_6$  的滑動頭的位置，使在改變電阻器  $R_3$  時，簾柵壓保持恆定。

電阻器  $R_3$  和  $R_4$  的正確數值應當在電源的電壓改變時，屏流仍保持不變。在第二個電子管的屏路裏也須接一毫安表作同樣的調整。

用電位器  $R_2$  和  $R_6$  調整到待測電壓為零時，電流計裏沒有電流通過，平衡手續就算完畢。

現在如果按圖 37 上所示的極性，把待測的直流電加到電子管電壓表的輸入端，則線路失去平衡，電流計裏就有電流通過，其值與待測電壓成正比。

如果把高阻值的電阻性分壓器接上電子管電壓表的輸入端，並換接不同的分壓檔，就成爲一個多檔刻度的電子管電壓表。

由一個或兩個電子管組成的電子管橋式線路是最通用的直流電子管電壓表線路。

圖 38 是兩個電子管的直流電子管電壓表線路。這裏是由兩個 6K6 電子管組成電橋的兩臂，另兩臂由電阻器  $R_4$  和  $R_5$  組成。與電阻器串聯的電流計接在電橋的一個對角線裏。

當輸入端  $B_x$  短路時，電橋的原始平衡是改變

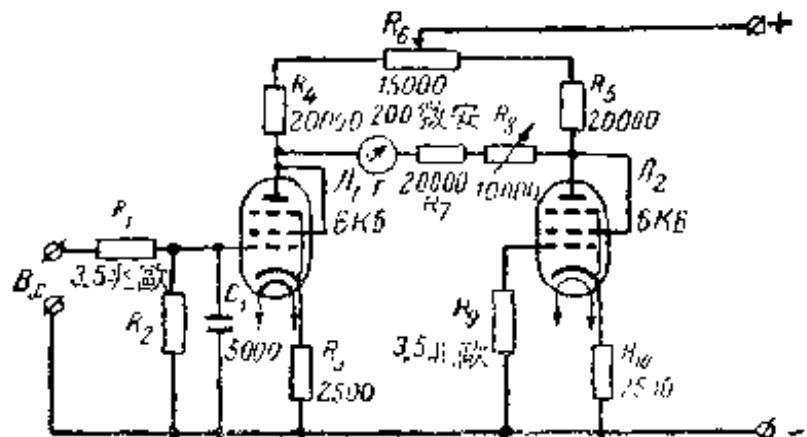


圖 38 用橋式電路的直流電子管電壓表。

電位器  $R_0$  滑動頭的位置來調節。置變阻器  $R_8$  在中間位置，改變  $R_0$  滑動頭的位置，使電流計指針指在零點。

加到電子管  $U_1$  柵極上的待測電壓會改變電子管內阻的數值，因而使電橋失去平衡。電流計裏通過的電流與加在柵極上的待測電壓成正比。

這種線路的優點是它的讀數不受電源電壓上落的影響，這是別種線路不能達到的。

電子管電壓表的輸入阻抗可以做得很高，能達幾十甚至幾百兆歐（當電子管電壓表輸入端沒有漏電時）。

這電子管電壓表能測 0.2—0.3 伏以上的電壓。在輸入端使用高阻值分壓器或在電流計  $I$  上加分流器，都能製成多檔刻度的電子管電壓表。

## 電子管電流表

電子管電流表的應用主要是測量低值的直流和交流電流。

測量漏電極微的小電容器上的電壓的方法，是利用電子管測小電流的方法之一。

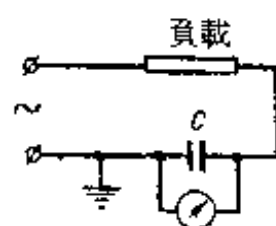
這電容器上的電荷是由待測電流所產生的。電子管電流表的靈敏度隨電容器電容的減小而增加。

利用輸入電容和漏電都很小的電子管電壓表可作為電容器電壓的測量。採用這種方法的缺點是：電容器上的電荷與待測電流的頻率有關，並且不能把電子管電壓表直接分刻成待測電流標度。

圖 39 是利用這種方法測量電流的線路。電容器  $C$  用損失很小的陶質電容器。線路裏的電子管電壓表可用 BKC-7 型或按圖 9 線路製成的電子管電壓表。計算電流時， $C$  的電容量應作為電容器  $C$  和電子管電壓表輸入電容的總和。

上面所講的方法由於準確度較差而且很不方便，所以很少被採用。用電子管測電流的另一種方法是基於測量待測電流通過電阻器而生的電壓降。

測量小的直流時就用這種方法。圖 40 就是用這種方法



電子管電壓表

圖 39 用電容器和電子管電壓表測量交流電流。

工作的電子管電流表線路。這個電子管電流表是由通過待測

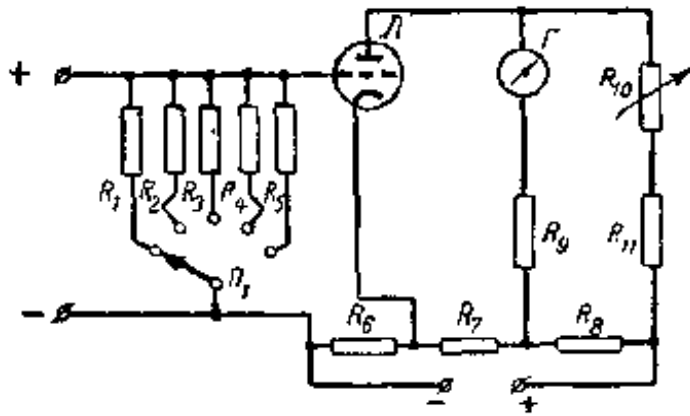


圖 40 直流電子管電流表。

電流的電阻器和直流放大器組成的。

流過電阻器的電流，在電阻器兩端產生電壓降，這個電壓降就加在直流放大器電子管的柵極上，因

此而引起的屏流改變，由電子管電流表指示出來。如果電阻器  $R$  的穩定度很高，可以把電子管電流表直接刻成電流標度。

爲了擴充量限，可把電阻器做成分級的，如圖 40 所示。

電子管電流表很少獨立成爲一個儀器，它一般都是複用儀器裏的一個組成部份。

爲了計算電阻器  $R_1 - R_5$  的數值，必須知道加在柵極上而使電流計指針產生滿度偏轉的電壓  $U$ 。如電子管電流表裏所需要的各量限已定，電阻器  $R_1 - R_5$  可用歐姆定律計算： $R = U/I$ ，這裏  $I$  是各該量限的電流上限。用電阻器  $R_6$ 、 $R_7$ 、 $R_8$  和  $R_{11}$  選定起始柵偏壓和電流計的抵償電流。

電阻器  $R_{10}$  是用作抵償電流的精密調節。電阻器  $R_9$  是用來增進校準曲線的直線性。

# 電子管電阻表

像電子管電流表所用的測量已知電阻器兩端電壓降的方法，也可用來測量電阻。

在這種情況下，把待測電阻器  $R_x$  和另外一個電壓為已知的電源與已知電阻器  $R$  串聯起來。由於接上了待測電阻器  $R_x$ ，使已知電阻器上電壓降產生改變，因而引起放大器屏路裏電流計讀數的改變。電流計讀數的改變量與待測電阻器的數值成反比，因此可把電流計標度校準成待測電阻器的數值。

圖 41 是用這方法的電子管電阻表。

直流放大器應這樣調節：當  $R_x$  兩端短路時，電池組  $B$  的電壓全部加在電阻器  $R$  上，電流計應作滿度偏轉，這一點就是電子管電阻表的

零位。如果這時在  $R_x$  兩端接以待測電阻器，則電池組  $B$  的電壓分配在  $R$  和  $R_x$  上面。加到放大器電子管柵極上的電壓比以前減小了，電流計裏通過的電流也因之減小。電阻器  $R_x$  的數值越大，電阻器  $R$  的端電壓越低，電流計裏的電流也就越小。因此，電流計可直接校刻成待測電阻器的數值。如果用

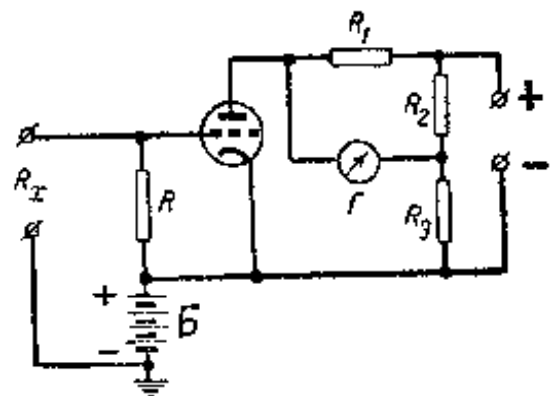


圖 41 電子管電阻表的工作原理。

幾個電阻器代替  $R$ ，並可變換接進線路，則可做成多檔刻度的電子管電阻表。

電子管電阻表有很廣的測量範圍，由十分之幾歐到幾十甚至幾百兆歐。

圖 42 是電子管電阻表線路，可測量由幾歐到 100 兆歐的電阻。

電路中包括五個標準電阻器：100、1,000、10,000、100,000 歐和 1 兆歐。利用分線開關把這些電阻器隨需要而分別接進用 6Φ5 電子管的直流放大器電路裏，放大管的屏路裏接一 500 微安的微安表。用 6Φ5 電子管的整流器作為供給電源。整流後的電壓由兩個 MH-7 型的氖管加以穩定。

氖管  $J_3$  兩端的電壓利用來供給通過標準電阻器與待測電阻器的電流， $J_4$  兩端的電壓供給直流放大器的屏極電壓。

當  $R_x$  兩端斷路時，電流計作滿標度偏轉；而短路時，電流計裏電流為零。

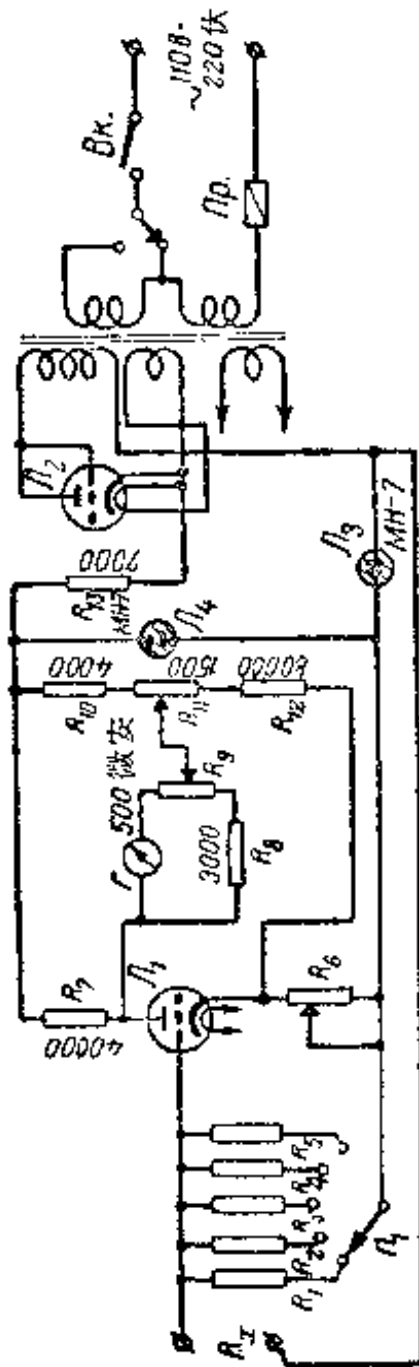


圖 42 用交流電源電阻表的 6Φ5 電子管電阻表。

因此,電子管電阻表的零位即在標度的起點。分線開關  $H_1$  的五個位置的量限是:(1)0—10,000歐,(2)0—100,000 歐,(3)0—1 兆歐,(4)0—10 兆歐和(5)0—100 兆歐。

把輸入端短路,用電位器  $R_9$  和  $R_{11}$  調節電流計的零位。電位器  $R_9$  是用來調節電子管  $J_1$  的起始柵偏壓,即相當於  $R_x$  端斷路時電流計指針達滿標度偏轉時的柵偏壓。

因電子管電阻表可能測量很高的電阻,故其輸入電路必須做得很完善。絕緣體部份不應有顯著的漏電,所有另件與底殼間也需要有完善的絕緣。



## 複用電子管測量儀器

圖 43 所示的複用電子管測量儀器，能作下列各方面的測量：

(1) 測量 1,000 伏以內的交直流電壓，各檔的量限是：0—5，0—10，0—50，0—100，0—500 和 0—1,000 伏。

測交流電壓時，電子管電壓表的輸入電阻約是 0.25 兆歐；輸入電容約是 100 微微法。測直流電壓時，輸入電阻在各檔上都是 11 兆歐。

(2) 測量 1 安以下的直流電流，各量限是：0—1 安，0—500 毫安，0—100 毫安，0—50 毫安，0—10 毫安和 0—5 毫安。

(3) 測量 1,000 兆歐以內的純電阻，各量限是：0—1,000 歐，0—10,000 歐，0—100,000 歐，0—1 兆歐，0—10 兆歐和 0—1,000 兆歐。

這儀器是用兩極管檢波的交流電子管電壓表、直流電子管電壓表、直流電子管電流表和電子管電阻表四部份組合而成，關於它們的工作原理，在前面我們已經分析過了。

用兩個 6Φ6 電子管組成的直流通放器是儀器的基本部分。放大器的屏路裏接有 200 微安的電流計和調節變阻器，這變阻器是調整儀器或調換 6Φ6 電子管時，用來平衡電流計

裏電流的。

放大器的電源用50週的110或220伏交流電，用6X6電子管做整流器。電阻器 $R_9$ 和 $R_{10}$ 組成的電位器是整流器的負載。整流器的輸入電壓約110伏。

測直流電壓時，待測電壓通過分壓器 $R_{19}$ — $R_{24}$ 和 $R_{27}$ 加到放大器的輸入端。利用換檔開關 $U_3^1$ 變換分壓器 $R_{19}$ — $R_{24}$ 的接頭，可選擇所需的量限。

測交流電壓時，把待測電壓加在分壓器 $R_{13}$ — $R_{15}$ 上，通過分壓器的電壓被6X6兩極檢波器整流後，再經過 $R_{19}$ — $R_{24}$ 的分壓器而加到直流放大器的輸入端。分壓器 $R_{13}$ — $R_{15}$ 、 $R_{19}$ — $R_{24}$ 以及檢波管的工作狀況正確選定後，交流電子管電壓表的刻度呈直線性，並且與直流電子管電壓表的刻度相重合。

直流電流的測量，是利用標準電阻器 $R_{25}$ — $R_{30}$ 上的電壓降來進行的。改變電阻器的數值可選出所需的量限。這電阻器上的電壓就是放大器的輸入電壓。量限的選擇，應以使電子管電流表的刻度能與電子管電壓表的刻度通用為準。

歐姆律電阻的測量方法與測量電流相同。在這情況下，用3伏的乾電池作為電路裏供給電流的電源。電池的電壓分配在標準電阻器 $R_{31}$ — $R_{36}$ 和待測電阻器上。由標準電阻器兩端的電壓降來斷定待測電阻器的數值。標準電阻器數值的選定即決定量限的大小。

開關 $U^2$ ——四刀五擲——是作為選擇測量類別和關斷儀



器之用。用這開關可把必要的輸入電路部分接到直流放大器，可選擇放大器的工作狀況，並把各不同的調整部分接到電流計上。

電鍵  $I^1$ ——五刀六擲——是測量時選擇量限用的。開關可以做成五個獨立的開關。變阻器  $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$  和  $R_6$  是爲了在修理儀器或調換  $6\Phi 6$  電子管時作電流計的原始零位調整用的。

變阻器  $R_3$  還用作調節電子管電阻表在測量前的零位。

在作任何測量以前，用電位器  $R_7$  調節電流計的零位。

如果線路裏用的所有分壓器都精確地符合規定的數值，而且直流放大器裏一切電阻器的數值差不到  $\pm 5\%$ ，則儀器的分刻標度和校準的手續是很簡單的。

儀器的校準方法如下：

用直流伏特表測定由整流器加到分壓器  $R_9$ — $R_{10}$  上的電壓，每段上的電壓降應符合線路上所規定的數值。

把開關  $I^2$  轉到「直流電壓」位置上，調節電位器  $R_7$ ，把電流計指針準確地指示零位。

然後把開關  $I^1$  轉到「5 伏」的一檔上，並加 5 伏的直流電壓到儀器的輸入端。此電壓要用伏特表精確地校驗。旋轉  $R_6$  的滑動臂使電流計指針指到最大標度上。

此後，再把開關  $I^2$  轉到「交流電壓」位置上，而開關  $I^1$  在「100 伏」的位置。加 100 伏的交流電壓到電子管電壓表的輸

入端，調節  $R_4$  使電流計指針達滿標度偏轉。再關斷交流電壓，把開關  $H^2$  轉到「電流」位置上，檢驗電子管電流表的零位調節。這零位調節是用電阻器  $R_6$  來完成的。

用標準儀器和標準電阻器來進行電流計標度的分刻。

## 電子管電壓表用於超短波的測量

用普通電子管做的電子管電壓表測超短波時，會產生大的誤差，同時輸入阻抗也太低。這是由於在超短波範圍內，有一些因素像：電子在電極間的越渡時間、電子管引入線的自感和彼此間的互感、極間電容、接線間的雜散電容以及電子管裏和絕緣體的介質損失等的影響，都嚴重起來了。

在超短波情況下，電子在電子管裏極間的越渡時間已經與待測電壓的週期可比擬，因而嚴重地影響到電子管的輸入阻抗和其他參數。同時，極間電容量和接線間的電容量都比較大，能使待測電路裏的工作狀況和參數發生重大的改變。

接線和電子管引入線的自感和互感，與各種的電容量能產生線路的寄生振盪和耦合。

電子管和絕緣體裏的介質損失，能隨頻率的增高而劇增，對於電子管電壓表的輸入阻抗也有嚴重的影響。

在超短波情況下，爲了減小介質損失，可以用特種的高頻介質，用沒有管腰的電子管，並且把待測電壓直接加到電子管的電極上。

爲了減小其他方面的影響，電子管電壓表裏可以使用超短波專用的電子管，如橡實管或花生管等，它們裏面的極間距離和電極尺寸都做得較小。

應用特種電子管和電子管電壓表高頻部份的特殊構造形式，能製成適於測量高達 500—1000 兆週電壓的電子管電壓表。

用於超短波的電子管電壓表可用兩極管或三極管裝置。這一類電子管電壓表的基本線路與用於較低頻率的線路沒有區別。正如我們已經指出的：問題僅在於所用的電子管和電子管電壓表輸入部份的構造方面。

圖 44 是測量超短波用的四檔刻度的兩極管電壓表線路。

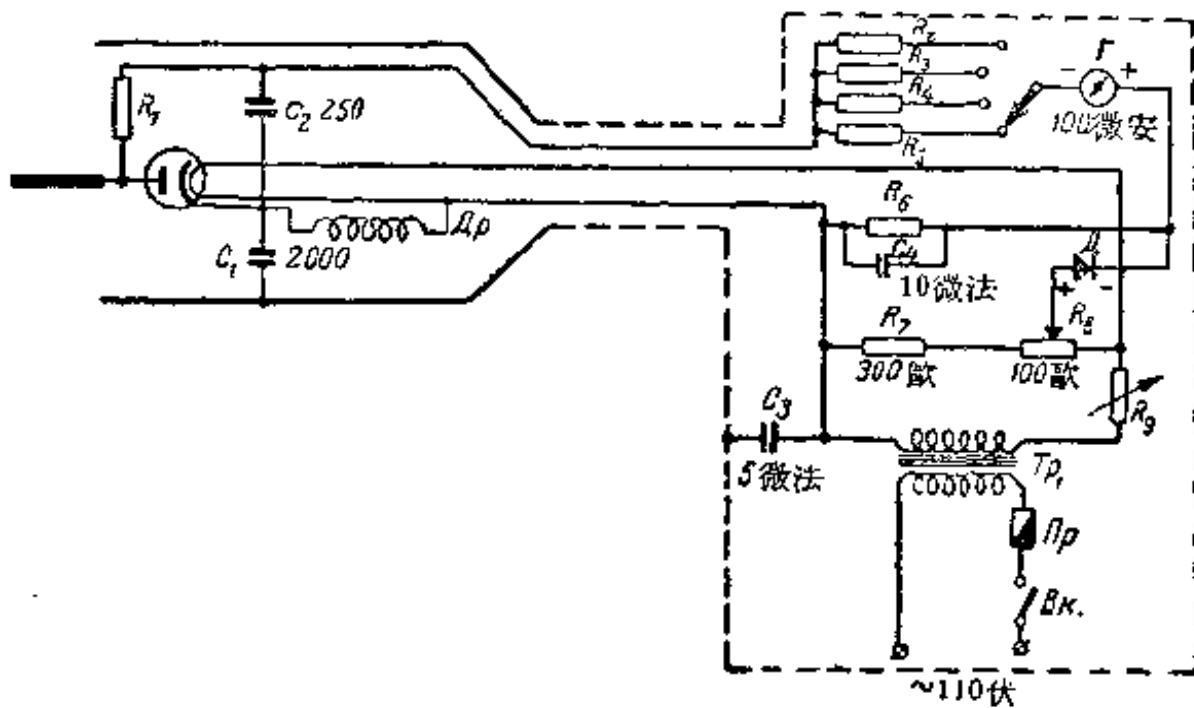


圖 44 超短波用的兩極管電壓表。

在這線路裏可採用 9004 橡實管。如果高頻部份經過精密地裝置，這電子管電壓表能測量 100 伏的電壓到 500 兆週。

這具電子管電壓表輸入阻抗的有功部份，雖然隨頻率改

變得很多，但畢竟是夠高的，大約總有幾千歐。電子管電壓表的輸入電容約有幾個微微法。它的高頻部份製成另外接出的隔離的「探極」形式，用隔離電纜把它和其他的線路部份聯接起來。

電子管屏極的引出線就作為電子管電壓表的高電位輸入端鈕，必要時可以在上面套接一段小金屬棒。「探極」外殼作為輸入的另一端。「探極」總是做成可以直接接觸待測電路，而不須任何連接線。「探極」外殼經過隔離電容器  $C_1$  與電子管陰極聯接。電阻器  $R_1$ 、 $R_2$ — $R_5$  中的一個及  $R_6$  和電流計  $I$  串聯成兩極管的負載。電阻器  $R_7$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  和  $R_5$  是用以構成電子管電壓表的多檔刻度的。電容器  $C_2$  是屏路裏的旁路電容器，用來把檢波後電壓裏的交流成分旁路到陰極。抗流線圈  $L_p$  阻止高頻電流進入電源電路。

降壓變壓器  $T_{p1}$  和變阻器  $R_9$  組成電子管絲極的交流電源。變壓器次級線圈的負載，除了絲極以外，還有電位器  $R_7$ — $R_8$ 。由變阻器  $R_8$  上截取 1.5 伏的電壓，這電壓經過氧化銅檢波器  $A$  整流後，用來平衡電流計裏的起始屏流。測量前，把電子

管電壓表輸入端短路，用變阻器  $R_8$  調節電流計指針的零位。電阻器  $R_6$  是

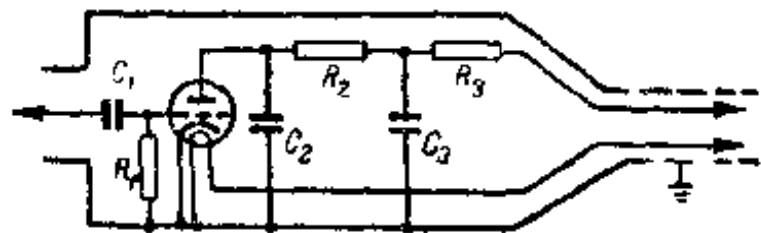


圖 45 超短波三極管電壓表。

氧化銅整流器的負載，同時是屏路負載的一部份。



圖 45 是測量達 300 兆週超短波用的三極管電壓表高頻部份的線路。用 9002 三極花生管作檢波器。高頻部份與前面的情形一樣，也做成「探極」形式。

電子管電壓表的高電位引入端製成細針狀，固定在高頻絕緣子上。待測電壓經過電容器  $C_1$  加到電子管柵極上， $C_1$  與電阻器  $R_1$  形成柵漏。電阻器  $R_2$  與電容器  $C_2$  和  $C_3$  組成濾波器，用以濾去高頻成分。

「探極」用隔離電纜和電子管電壓表的其餘部份聯接，這部份線路裏接有電流計，分檔刻度用的一些元件、抵消屏流用的元件以及整流器。電子管電壓表線路裏的這些部份都是普通用的。用 9002 電子管做成的電子管電壓表能測量由 0.025 伏到 2—2.5 伏的電壓。

## 關於設計電子管電壓表的一些知識

在着手選擇電子管電壓表的線路和設計製作以前，必須先明確決定它應具有怎樣的應用特性。

這些特性包括有：首先是待測電壓的上限和下限，測量的容許誤差，輸入阻抗的有功部份和輸入電容，電子管電壓表使用的頻率範圍，電子管電壓表應測電壓的峯值、有效值或平均值，最後是電源的供給方法。

所有這些特性基本上決定於：檢波管的選擇，電流計靈敏度的選擇和標度的大小，以及高頻部份的結構形式。

為保證能測量由 0.5 到 100—150 伏的電壓，以採用兩極管為宜，因只有這樣的電子管才能適用在如此廣闊的電壓範圍裏。此外，它僅需要絲極供給電源，因此可以簡化電源設備。兩極管電壓表的輸入阻抗雖然低於三極管，但在大多數情形裏仍夠高的。兩極管電壓表的輸入電容與選用的電子管和輸入部份的構造有關，可以做到只有幾個微微法。

測量電壓的有效值時，可以採用圖 24 和圖 40 的線路。要測量電壓的峯值，必須用圖 25 的線路。

如果用乾電池或蓄電池作電子管絲極的電源，最好用省電式三極管 УБ-240（把柵極與屏極連接在一起）做檢波管。如果用交流電通過變壓器燒熱電子管的絲極，可採用旁熱式

電子管 6X6、655、9004 或 9002。

測量低電壓必須用三極管。

電子管的選擇決定於待測電壓的下限和需要的屏極電壓；當絲極電流由電池供給時，也決定於消耗的電流。

電子管電壓表的靈敏度決定於電子管的互導，而必需的屏壓值是決定於放大因數。因此以選用有高互導和低放大因數的電子管最適宜。

爲能獲得高的輸入阻抗，電子管必須工作在特性曲線上沒有柵流產生的部份。所以固定柵偏壓宜比最大待測電壓大 1.5—2 伏。選擇屏壓時，應依據所用的柵偏壓值配準到工作點恰在所需的特性曲線部份上。對於平方律電子管電壓表，工作點必須放在特性曲線的彎曲部份。對於直線性的電子管電壓表，則應在特性曲線的起點。這時屏壓應等於最大待測電壓乘以放大因數。

如果電子管電壓表是設計用於高達 100—250 千週電壓的測量，檢波器和電子管電壓表本身就可以一同裝在一個箱子裏，無須用特殊隔離的裝置。

若頻率在 100 千週到 30 兆週之間，檢波線路部份應當另外分出，單獨裝在「探極」裏，並且直接地或用極短的導線接到待測電路上。「探極」須有完善的隔離，而且電子管、接線和輸入接線柱要安排適當，務使輸入電容最小。對於 30 兆週以下的頻率，可以用普通的電子管。

若頻率高於 30 兆週，務須採用「橡實」式或「花生」式的超短波電子管。「探極」的輸入接線柱必須用高頻絕緣材料，例如透明塑膠（多苯乙烯）、高頻瓷料等。當頻率高於 100 兆週時，「探極」須做成無導線而直接接到待測電路上。

抵消起始屏流的方法可以任意選擇。在有直流放大器的電子管電壓表裏，最好用圖 9 的線路來抵消放大器電子管的起始屏流。電子管電壓表裏必須用 100—250 微安的微安表。當電流計的靈敏度低時，電子管電壓表不可能得到高的輸入阻抗。靈敏度更高的電流計，構造總是很不牢固的。在直流放大器裏，電流計的靈敏度可以低一些。

電子管電壓表裏換檔用的電阻器需要很穩定的，最好用線繞電阻器。在圖 23 的線路裏，這些電阻器應當沒有潛佈電容和電感。

電源及其他通直流的部份的構造形式可以隨便。舉凡只當調整儀器時方需要用到的一些調節機構，應當隱蔽起來。電流計、換檔開關、零位調節鈕、電源開關和輸入接線柱都應集中在一塊面板上。如果電子管電壓表具有通出的「探極」，則當不用儀器時，在總箱子裏需要有放置「探極」的地位。

作為電子管電壓表電路和機械方面構造的例子，可參考蘇聯出品的 BKC-7 型電子管電壓表。它的詳細規格可查 Г. А. 勒密斯和 С. Г. 依特金著「無線電測量與無線電測量儀器」和 Г. А. 勒密斯著「無線電測量」二書。

# 電子管電壓表的使用法

## 測量前的準備工作

電子管電壓表裏，電子管陰極的加熱需要相當的時間，所以當電子管電壓表接上電源後，必須過幾分鐘方可進行測量。

迨全部線路熱到一定狀況以後，電子管電壓表才示以穩定的讀數。對於直熱式電子管，電源接通後約需3—6分鐘；對於旁熱式電子管，需要較長的時間，大約要10—15分鐘，實際時間的長短與電子管的型式和數目有關，因此電子管電壓表在測量前必須「加熱」10—15分鐘。

如果電子管電壓表有零位調節裝置，在電子管都燒熱後，即須進行零位調節。方法是先把電子管電壓表的輸入端短路，換檔開關撥到最小量限的一檔上，轉動零位調節的旋鈕，使電流計指針指零位。

等待電流計的指針在相當時間裏確已不離開零位之後，再調整其餘各檔的零位，最後把開關撥到量限最大的一檔上。

然後把待測電壓加到輸入接線柱上，再把換檔開關撥到適當的一檔，使電流計讀數看起來最方便。把待測電壓加到電子管電壓表輸入端時，必須把較高電壓的導線聯接到高電壓的接線柱上。

## 音頻電壓的測量

如果待測電源的一端是接地的，則必須把這端接到電子管電壓表的「接地」接線柱上。如果待測的音頻電路裏含有直流電壓，那就只能用並聯輸入式電子管電壓表。如果用串聯輸入式電子管電壓表，則必須串聯一個 8-10 微法的電容器，而且在電子管電壓表的兩接線柱間跨接一個約 10-20 兆歐的電阻器。電容器能阻止直流電壓加到電子管電壓表的輸入端，而電阻器是用來供給電子管的柵偏壓。

如果在測音頻電壓時，輸入線上有相當大的高頻電感，則必須在電子管電壓表的輸入端並聯一個 100—250 微微法的電容器，它能把電感的影響減到極弱，而且對於電子管電壓表讀數準確度的影響異常微小。

當測量非正弦形的音頻電壓時，則宜採用推挽式或平方律的電子管電壓表，它們在這種情況下能產生較小的誤差。

## 高頻電壓的測量

測量 100—150 千週以下的高頻電壓，可以使用高頻部份——探極——不分開裝的電子管電壓表，只需儘量減短接線，同時並減小自感。當自感量顯著時，就能形成一個諧振電路（由導線的自感和電子管電壓表的輸入電容所構成），因之電子管電壓表的讀數將會增大。至於其他的測量程序與測音頻

電壓相同。

測量由 100—150 千週到 30 兆週的電壓時，爲了減小電子管電壓表輸入電容的影響，必須用分裝「探極」的電子管電壓表，不用導線而把電子管電壓表直接接觸待測電源或電路上，特別是在高電位的一端必須這樣做。測量高於 30 兆週的電壓時，電子管電壓表的檢波部份必須用專門的超短波電子管來做；而當頻率高於 100 兆週時，待測電壓必須直接加到電子管的電極上，或者串聯一個品質高超的小電容器。

如果電子管電壓表永遠用在同一電路裏作測量，可以直接把「探極」部份接在這個電路中。

在調諧電路裏，在線圈上或電容器上測量高頻電壓時，必須考慮電子管電壓表輸入電容和輸入阻抗對於電路參數的影響。如果電子管電壓表的輸入阻抗小，把它接到電容器或電感線圈上時，就會增加振盪的阻尼，即增加電路的減幅率。由於並聯上去的電子管電壓表輸入阻抗所引起的電路減幅率的增加，相當於電路裏引入了一個大的串聯電阻器；這個電阻器  $R_{or}$  的數值可由下式計算：

$$R_{or} = \frac{X^2}{R_0}$$

這裏， $X$  是電子管電壓表所聯接到的電感線圈感抗或電容器的容抗。對於電容器， $X_C = \frac{1}{6.28fC}$ ；對於電感線圈， $X_L = 6.28fL$ ； $f$  的單位是週/秒， $C$  的單位是法， $L$  的單位是亨。

電子管電壓表的輸入電容  $C_0$  也會改變電路的參數，改變它的電容量；而對於調諧電路則能改變諧振頻率。要  $R_0$  和  $C_0$  的影響不顯著，則  $R_0$  必須高， $C_0$  必須小。

在測量高頻電壓的低功率電源時，特別需要考慮輸入阻抗的影響。例如測量收音機裏本地振盪器產生的電壓時，電子管電壓表的低輸入阻抗會使振盪器的工作狀況有極大的改變，甚至使振盪停止。

### 電子管儀器的應用

為表明電子管儀器的廣泛應用，讓我們用圖 46 作研究的例子。這是「莫斯科人-B」型收音機的線路。用電子管儀器可以全面研究收音機裏所有各級各部份電路工作狀況。用直

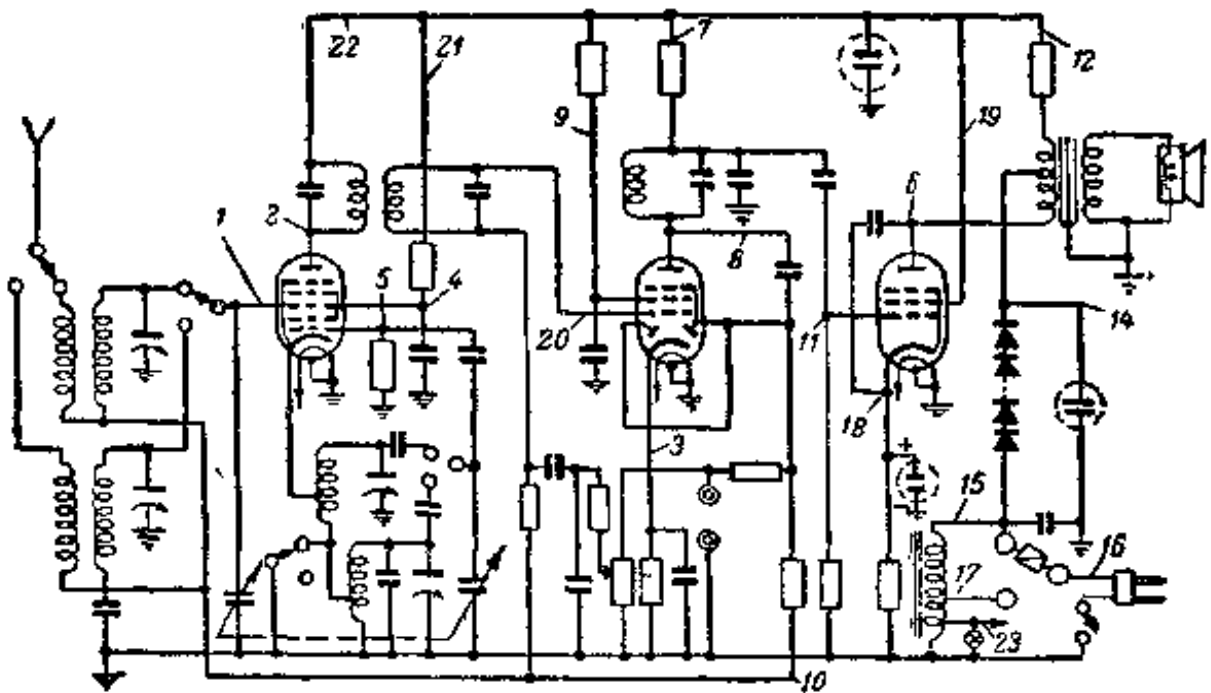


圖 46 用電子管儀器測量收音機電路。



流電子管電壓表能測量電源的直流電壓、柵偏壓、自動音量控制電壓和振盪器的振盪峯值電壓。所有測量的電壓都是對「地」的電壓值。整流後的直流電源電壓可在 14 和 12 兩處測得。電子管的屏壓可在 2、8 和 6 三處測量，簾柵壓在 4、9 和 19 三點測量。柵偏壓在 3 和 18 兩處。自動音量控制電壓在 1、10 和 20 三處測量。

各電子管以及整個收音機所消耗的電流都可以用直流電子管電流表在電路裏測量。把 12 處斷開就可以測總電流；斷開 6、7 和 22 三處可測各電子管屏流；拆斷 9、19 和 21 三處可測各管簾柵流。

用交流電子管電壓表在 16 和 17 兩處可測電源電壓，在 23 處或電子管的插腳上可測電子管的絲極電壓，輸入整流器的電壓在 15 處測量。

在輸出變壓器的初級圈上用並聯輸入式電子管電壓表能測量音頻電壓，加到輸出放大管柵極上的電壓在 11 處測量，前級放大管柵極上的電壓在 20 處測量。

在 14 處可以測量全收音機的交流聲電壓。

用電子管電阻表可以檢查收音機裏所有各部電路是否完好，檢查電路裏的電阻器、變壓器及抗流線圈等等是否正常。

由上面的例子中可以明顯地看到，電子管儀器的應用是多麼廣泛。

# 附 錄 一

適用於電子管電壓表的蘇聯電子管特性表

型 式	名 稱	用 途	特 性 參 數											
			絲 極 電 壓 $U_f$ 伏	絲 極 電 流 $I_f$ 安	屏 極 電 壓 $U_a$ 伏	屏 極 電 流 $I_a$ 毫安	屏 極 控 制 電 壓 $U_{g1}$ 伏	屏 極 控 制 電 壓 $U_{g2}$ 伏	屏 極 電 流 $I_{g2}$ 毫安	互 導 $S$ 毫安/伏	放 大 因 數 $\mu$	內 阻 $R_r$ 歐	屏 極 電 容 $C_{an}$ 微法	輸 入 電 容 $C_{in}$ 微法
6X6	雙兩極管	兩極檢流器	6.3	0.3	150	8.0	—	—	—	—	—	3.4	—	—
6T7	雙兩極三極管	兩極檢波放大	6.3	0.3	150 250	8.0 1.1	— -3	—	—	—	—	3.4	—	—
YB-240	三極管(小型)	檢波放大	2.0	0.12	120	3.5	-1	—	—	—	1.55	2.8	2.8	—
6J57	五極管	檢波放大	6.3	0.3	250	2.0	-3	100	100	0.5	1.7	0.006	7.0	170
6SJ7	五極管	檢波放大	6.3	0.3	250	3	-3	100	100	0.8	1.6	0.005	6.0	7.0
6H7-C	雙三極管	放 大	6.3	0.8	250	7	-3	—	—	—	2.0	2.4	—	—
6SN7-GT	雙三極管	放 大	6.3	0.6	250	10	-8	—	—	—	2.6	4	—	—
6V6-C	集流四極管	放 大	6.3	0.45	180	29	-85	180	180	3	3.7	0.7	9.5	7.5
6Φ6	五極管	放 大	6.3	0.7	250	34	-16	250	250	7	2.5	0.6	7.5	11
955	三極管(橄欖管)	檢 波	6.3	0.15	180	—	—	—	—	—	—	1.4	1.0	—
9002	三極管(花生管)	檢 波	6.3	0.15	90	—	—	—	—	—	—	1.4	1.2	—
6Φ5	三極管	放 大	6.3	0.3	250	0.9	2	—	—	—	1.5	2.0	6.0	—

表中所註是典型工作特性,在不同的電子管電壓表線路裏,電子管的工作特性可能有很大的差異。

## 附 錄 二

電子管電壓表的交直流(不用變壓器)及  
複式電源用的鎮流管特性表

基 本 特 性	鎮 流 管 型 式	
	0.3B65-135	0.3B17-35
電源電壓(伏)	220	110—120
容許過荷電壓(伏)	220	105
鎮流下限電壓(伏)	65	17
鎮流上限電壓(伏)	135	35
運用電流(安)	0.3	0.3
鎮流上限的電流(安)	0.27	0.28
鎮流下限的電流(安)	0.31	0.33

## 附 錄 三

維持電子管電壓表恆定工作特性用的穩壓管特性表

基 本 特 性	穩 壓 管 型 式		
	75C5-30	105C5-30	150C5-30
運用電流範圍(毫安)	5—40	5—40	5—40
保證穩壓管正常工作所需的電壓(伏)	105	135	185
起輝電壓(伏)	100	115	160
作用電壓(伏)	75	105	150
穩壓管電流由5毫安增至40毫安時 電壓的改變(伏)	5	3	4

## 附 錄 二

電子管電壓表的交直流(不用變壓器)及  
複式電源用的鎮流管特性表

基本特性	鎮流管型式	
	0.3B65-135	0.3B17-35
電源電壓(伏)	220	110—120
容許過荷電壓(伏)	220	105
鎮流下限電壓(伏)	65	17
鎮流上限電壓(伏)	135	35
運用電流(安)	0.3	0.3
鎮流上限的電流(安)	0.27	0.28
鎮流下限的電流(安)	0.31	0.33

## 附 錄 三

維持電子管電壓表恆定工作特性用的穩壓管特性表

基本特性	穩壓管型式		
	75C5-30	105C5-30	150C5-30
運用電流範圍(毫安)	5—40	5—40	5—40
保證穩壓管正常工作所需的電壓(伏)	105	135	185
起輝電壓(伏)	100	115	160
作用電壓(伏)	75	105	150
穩壓管電流由5毫安增至40毫安時 電壓的改變(伏)	5	3	4