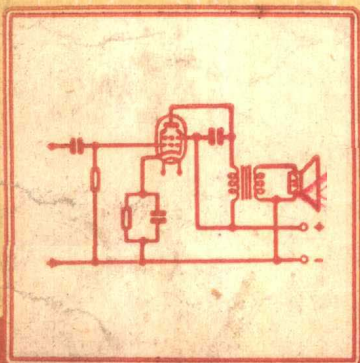


無線電收音机的輸出級



目 錄

什麼是輸出功率	(1)
輸出功率與什麼有關係	(7)
輸出級中的失真	(13)
根據電子管特性曲線計算輸出級	(22)
推挽輸出級	(43)
負阻授	(51)
用於收音機輸出級的電子管的標準運用狀態	(58)

什麼是輸出功率

輸出功率所指的是輸送到收音機輸出級負荷上或低頻放大器負荷上的有效聲頻功率。

《有效功率》這一概念需要特別解釋一下。

首先我們應當區別電功率和聲功率。

電功率是輸送到輸出級負荷的功率，它可以利用電氣測量儀器直接量出或者根據這些儀器的讀數算出。這個電功率是用來使發聲系統——揚聲器動作的。在揚聲器中電能變換為聲能，聲能或聲功率使揚聲器周圍空氣的質點發生振動，這些機械振動就直接作用到我們的耳朵中，因之產生了一定的聲效應。

因此，放大器的輸出功率最後是以一定聲功率的形式來利用的。聲功率可用測定發聲系統（即揚聲器）在一定條件下所產生的聲壓的方法來測量。

聲功率的測定有很大的困難，只有在具有專門設備的聲學實驗室中才能進行。

將電的輸出功率變成聲功率的換算，主要地是與揚聲器效率的測定有關。因此在實際情況下，設計收音機時只對輸出級進行電方面的計算，並藉助於輸出功率的最有效的利用，就要靠應用高質量的揚聲器來得到，這揚聲器應具有優良的聲特性（包括高的音效率在內）。

最簡單的輸出級原理電路圖如圖 1 所示。為了討論

簡單起見，圖上輸出級的負荷 R_a 直接接在電子管的屏路內。

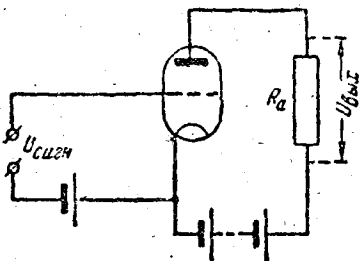


圖 1. 最簡單的輸出級原理電路圖

輸送到負荷上的聲頻電振盪功率係按下式決定

$$P_{B1X} = \frac{U_{B1X}^2}{R_a} \quad (1)$$

式中 U_{B1X} ——輸送到負荷上的聲頻電壓，單位伏；

R_a ——屏極負荷電阻，單位歐姆；

P_{B1X} ——輸出功率，單位瓦特。

如果 U_{B1X} 代表電壓的峯值（振幅值），那麼上式求出來的就是功率的峯值。如果 U_{B1X} 表示輸出電壓的有效值，那麼 P_{B1X} 也就代表輸出功率的有效值。

當 U_{B1X} 表示交變電壓的振幅時，輸出功率的有效值係根據下式決定：

$$P_{B1X \cdot \text{eff}} = \frac{U_{B1X \cdot \text{am}}^2}{2R_a} \quad (2)$$

在實際情況下，由於下面即將說明的理由，負荷，即揚聲器通常不是直接接在電子管的屏路內，而是通過

變壓器連接的。在這種情形下，輸出級的電路具有如圖 2 所示的形式。如果電壓是直接負荷上測量的，則輸

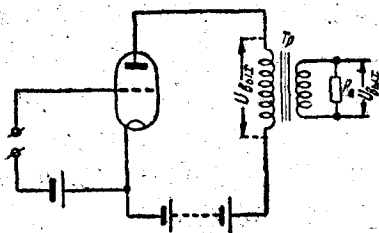


圖 2. 以變壓器輸出的輸出級的原理電路圖

出功率按同一公式(1)計算。如果電壓是在變壓器初級線捲上測量的，則輸出功率應按下式計算

$$P_{BLX} = \frac{U'_{BLX}{}^2}{n^2 R_a}$$

式中 U'_{BLX} ——變壓器初級線捲上的聲頻電壓， n ——變壓係數。

根據上述各式來測定輸出功率，需要量出輸出電壓，並進行適當的計算。

利用直接指明輸送到負荷上的功率的特別儀器，也可以直接量出輸出功率。這種儀器叫做功率測量計。這種功率測量計的作用原理大致如下：以電氣測量儀器

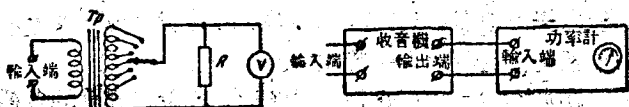


圖 3. 功率測量計電路圖

（例如氧化銅交流伏特計）與電阻 R 連接，而 R 的數值在測量時則保持一定（圖3）。這樣在作儀器的刻度時，就能夠不刻成伏特而直接刻成瓦特或毫瓦特。

當測量輸出功率時，將收音機的負荷（揚聲器）開斷，接上功率測量計。但這時電阻 R 不是直接接在收音機（或放大器）的輸出電路內，而是通過一個變壓係數可以調節的變壓器 T_p 連接上去。這樣的連接法可以改變接在輸出管上的負荷電阻的大小，因之就可以選擇出必要的負荷值（關於從次級綫捲轉變成初級綫捲的電阻的換算可參看11頁。

這種功率測量計的實際電路可能比圖3所示的更為複雜，因為這種電路通常都設計得可以在很大範圍內變化負荷電阻以測量輸出功率。

到這裏為止，我們所談的是放大級所產生的輸出功率，並沒有詳細說明這功率的質量指標。同時簡單說明了怎樣計算輸送到輸出級負荷的聲頻功率。

但是還在這一節的開始，我們即已提到過所謂《有效輸出功率》，有效輸出功率就是可以直接利用的功率，或者換句話說，就是可以用揚聲器變換為聲音的輸出功率。

有效功率只是那可以無失真地，或者更確切地說，無重大失真地變換為聲音的功率。因為在某種程度上，失真總是伴隨着放大而發生的。

關於各種失真形式和在低頻放大時所能容許的各種失真的大小的問題，將在下面詳細討論。

爲各種不同目的所需的輸出功率的大小也不同。

必要的有效輸出功率值也就決定了那些應當向收音機輸出級提出來的要求。同時還應當考慮到這種情況：任何聲音廣播，特別是音樂廣播，都是由從最微弱的（輕的）聲音起到最響止的各種不同響度的聲音組合而成的。例如，當交響樂隊演奏的時候，響度最大的聲音的功率比最微弱的聲音要大一百多萬倍（60分貝以上）。顯然，輸出級應當計算和裝置得能夠保證最響聲音不發生失真，並且也就應當根據這個來計算這一級的最大輸出功率。但在放送節目時，輸出級發出的平均聲功率通常只是這最大功率的一小部分。這平均功率也就決定了在放送該節目時我們收聽到的聲音的平均響度。

爲了能對在不同情況下所需功率的大小有一個印象，表中列舉了在各種情況下的平均功率的參考數字。

放送廣播的性質和收聽條件	平均輸出功率	附註
1. 在寂靜的中等大小的居住房間中，毫不費力地收聽語言廣播所必須的響度	25—50毫瓦	用普通的電動揚聲器
2. 在噪雜的房間中爲收聽語聲和音樂廣播所必須的響度，在這房間中有普通聲音的談話，可聽到街上的噪雜聲等。	100—200毫瓦	全上
3. 在居住房間中放送很響的音樂廣播，在廣播進行時要想談話只有高聲喊叫才行。	0.5 瓦	全上
4. 在可容納50人的大房間中有很大響度的廣播，其收聽情況與第3項同	1—2瓦	全上

• 5 •

輸出級供給的最大有效輸出功率，應當比上述情況下所必須的平均功率大幾倍。通常認為最大輸出功率應為平均響度所需功率的10倍。在省電式收音機（用電池供電）中則採用較小的功率儲藏係數。

實際上，當用普通的電動揚聲器工作時，輸出級的功率可以取用下述各值。

1. 電池收音機，在無閒雜噪聲的中等大小的居住房間中，要保證足夠響度的接收，所需功率為0.15—0.2瓦。

2. 交流收音機，在中等大小的居住房間中，在普通生活情況下，要保證有大聲的廣播，所需功率為0.5—1瓦。

3. 交流收音機在很大的，有噪雜聲的房間中，要保證有大聲的廣播，所需功率為3—5瓦。

當需要保證以接近樂隊演奏的響度來作高質量的音樂廣播放送時，上述功率儲藏係數還應當大得多。因此對於個人使用的上等收音機來說，其輸出級的有效功率有時可達幾十瓦以上。這個儲藏係數愈大，最大響度的聲音的失真便愈小，收音機所重發的廣播將具有一般所謂發聲《洪亮》的特點。輸出級功率增加的限度決定於經濟上的考慮；因為放大器本身的價值在很大程度上是決定於它的輸出級的。而輸出級的價值則決定於輸出功率的大小。

前面已經指出，輸出功率雖說是確定聲音響度的主要指標，但畢竟不是唯一的指標。揚聲器的質量也是十

分重要的。揚聲器因構造不同，可能有不同的效率，因此，在輸入功率相同的情況下，它們可能產生不同的聲壓。其中最好的是在同樣輸入電功率下能產生較大聲壓的揚聲器。揚聲器效率的提高對於電池收音機具有特殊的意義，因為這可以減小輸出級的功率，因而就能減小電池的電流消耗，即更能節省收音機的供電電源。

輸出功率與什麼有關係

考慮到末級電子管是用來產生輸出功率的這一事實，就不難了解，在計算這一級時電子管的選擇是有重要意義的。

大家知道，輸出管的工作原理是，由於加到電子管柵極的某一較小聲頻交變電壓的作用，電子管的屏路中即可產生出放大的屏流振盪。這振盪通過屏極負荷時，就在負荷中產生一定的同樣聲頻的功率。根據電子管的類型及其運用狀態的不同，在負荷上可得到或大或小的功率。廣播收音機中所用電子管的輸出功率，可從十分之幾瓦（在電池收音機中）一直到幾十瓦，甚至還可以大一些（在交流收音機中）。

輸出管以致於其他任何放大管特別有價值的特性就是在其屏路中可以產生相當大的交流振盪功率，而在它的柵路中則或者是完全不消耗功率，或者是即使消耗也只是極小的功率。這就是說，在電子管屏路中產生某種聲頻功率時，收音機本身實際上並不耗費這一頻率的任

何功率^①。

電子管屏路中的聲頻功率是藉該管從電源，即屏極電池、整流器或其他電源中所取用的電能產生的。電子管本身只是耗用這個能量的控制器，而在加到它柵極去的那個交變電壓的作用下工作。柵極電位的變化引起電子管屏路電流的變化，即屏極電池所供給的電流的變化。電子管特別可貴的特性在於它是一個沒有慣性的控制器，它不僅可以反應和控制聲頻範圍內任一頻率的電流，而且可以反應和控制射頻範圍內任一頻率的電流。

雖然電子管具有這個可貴的特性，但是在能量方面，它還遠不是一個完善的器具。甚至不如說是剛好相反：就能量指標的標準來說，就效率來說，放大管必須列入最不完善的器具這一類。因為電子管的工作需要耗費一定的能量來燒熱陰極，耗費一定能量來產生屏流的直流成份。而更複雜的電子管，如五極管、四極管等還要消耗一部分附加能量以供給簾柵電路。

這樣一來，輸出管的總效率就應表示為：

$$\eta = \frac{P_{abl}}{P_n + P_a + P_g} = \frac{P_{abl}}{I_n \cdot U_n + I_a \cdot U_a + I_g \cdot U_g}$$

式中 P_n ——燈絲功率；

P_a ——耗費在電子管屏路中的功率；

P_g ——耗費在簾柵電路中的功率；

I_n 和 U_n ——分別為燈絲電流和電壓；

① 只有當輸出級電子管工作在 B 類狀態的情形下才是例外。這種狀態的特點將在 (47—50 頁) 討論。

I_a 和 U_a ——分別為屏流和屏壓；

I_s 和 U_s ——分別為簾柵電流和簾柵電壓。

大多數輸出管的效率 η 都很低，通常不超過15—20%。

在收音機或放大器中，可以應用推挽輸出級來提高效率，這種輸出級由工作在AB類或B類狀態的特殊結構的電子管（五極管或四極管）組成。（參看47—50頁）。

下面舉幾個說明輸出管效率的例子：

1. 三極管6B4（最好的三極輸出管之一）。

這個電子管耗費的功率用下列各數字表示：①

燈絲		屏極		
$U_H = 6.3$ 伏	}	$P_H = 6.3$ 瓦；	$U_a = 250$ 伏	}
$I_H = 1$ 安		$I_a = 60$ 毫安	$P_a = 15$ 瓦。	

有效輸出功率 $P_{B_{MAX}} = 3.5$ 瓦，由此可知這個電子管的效率等於：

$$\eta = \frac{P_{B_{MAX}}}{P_H + P_a} = \frac{3.5}{6.3 + 15} \times 100 \approx 16\%。$$

2. 集射四極管6V6：

燈絲		屏極		
$U_H = 6.3$ 伏	}	$P_H = 2.9$ 瓦；	$U_a = 250$ 伏	}
$I_H = 0.45$ 安		$I_a = 45$ 毫安	$P_a = 11.25$ 瓦；	

簾柵極

$U_s = 250$ 伏	}	$P_s = 1.1$ 瓦。
$I_s = 4.5$ 毫安		

有效輸出功率 $P_{B_{MAX}} = 4.5$ 瓦，由此可知，效率等於：

$$\eta = \frac{P_{B_{MAX}}}{P_H + P_a + P_s} = \frac{4.5}{2.9 + 11.25 + 1.1} \times 100 \approx 30\%。$$

① 關於電子管工作狀態的標準數據列舉在59—63頁

同一集射四極管6V6，用於AB₁類推挽電路（柵極上有很大的偏壓）

兩管耗費的功率：

燈絲	屏極	簾柵極
$P_H=5.8, U_a=250\text{伏}$	$P_a=17.5\text{瓦};$	$U_g=250\text{伏}$
$I_a=70\text{毫安}$	$I_g=5\text{毫安}$	$P_g=1.25\text{瓦}.$

兩管的有效輸出功率 $P_{out}=10\text{瓦}$ ，因此，效率等於：

$$\eta = \frac{10}{5.8 + 17.5 + 1.25} \times 100 \approx 38\%.$$

在正確計算輸出級和正確選擇輸出級各元件的情形下，輸出管可得到最有效的運用。爲了使輸出管產生最大的有效功率，首先必須選配最適宜的電子管屏極負荷。這個問題是極端重要的，因爲同一個電子管所產生

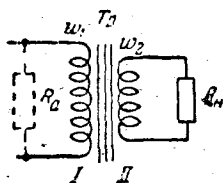


圖 4. 轉移到變壓器初級
繞圈內的負荷電阻的換算

有效功率的大小，要看屏極負荷電阻值選擇的正確程度而定。要決定最適當的屏極負荷電阻值，或者可用實驗方法（例如，用功率測量計），或者可用電子管特性曲綫來計算的方法。實驗方法是在不同負荷電阻值的情況下來

測量輸送到負荷上的功率。計算方法中最通用和最方便的是根據電子管屏極特性曲綫族進行的圖解計算法。這個方法不僅可以決定在不同屏極負荷電阻值下輸出功率的大小，而且同時還可以決定出隨放大而產生的非綫性失真。

輸出級的圖解計算法在下面敘述。

對應用最廣泛的輸出管來說，最適當的負荷電阻通常是幾千歐姆，但是，用作輸出級電子管負荷的揚聲器的音圈電阻只有幾個歐姆。利用輸出變壓器可供實在負荷（揚聲器）和電子管所要求的負荷得到匹配。如果輸出變壓器初級線捲的匝數和次級線捲匝數之比 $\frac{\omega_1}{\omega_2} = n$ （圖 4），揚聲器的電阻為 R_n ，那麼轉移到初級線捲內（同時也就是轉移到電子管屏路內）的電阻將為：

$$R_a = R_n \times n^2. \quad (3)$$

若已知最適合的負荷電阻值和揚聲器的電阻，就可以算出輸出變壓器的變壓係數，這樣，就可以將負荷和電子管匹配起來。

例如，6V6 的最適合的屏極負荷電阻是 5000 歐姆，標準電動揚聲器的音圈電阻 R_n 通常是 4 歐姆左右。因此（參看公式 3），輸出變壓器的變壓係數應為：

$$n = \sqrt{\frac{R_a}{R_n}} = \sqrt{\frac{5000}{4}} \approx 35.$$

在小功率收音機和放大器的輸出級中採用的電子管有三種：1) 三極管；2) 五極管；3) 集射四極管。

這三類電子管都有他自己的一些特點。因為放大時的失真問題以後才能講到，所以現在我們算是早走一步，先來講講其中的某些特點。

例如，三極管具有很小的內阻，就頻率失真方面說來，這是很可貴的特性；但與此同時，三極管的功率靈敏度卻很小，這就是說，要想得到一定的輸出功率，就要在三極管的控制柵極加入很大的聲頻信號電壓。

五極管具有相當高的內阻，因此就低聲頻範圍內的頻率失真方面說來，它的工作情況是較壞的。但是它却具有很高的功率靈敏度。因此，爲了從五極管得到同樣的輸出功率，加到它的控制柵極的信號電壓可以比加到三極管柵極的信號電壓小得多。

集射四極管具有五極管在靈敏度和內阻方面的全部特點，同時具有更有利的屏極特性曲線形狀，所需簾柵電流也較小。和五極管比起來這是四極管的重要優點。因爲有了這些可貴的特性，在現代收音機的輸出級中採用的差不多都是集射四極管。

現在應用最多的末級三極管是旁熱式真空管 6B4；應用最廣的旁熱式輸出五極管是 6Φ6，直熱式五極管是 211Π，廣泛應用的旁熱式集射四極管是 6V6 和 6J6 (6Π3)。

爲了了解各種構造的輸出管的靈敏度的區別，可以比較一下下列的數字：爲得到同樣是 1 瓦的有效輸出功率，在同樣的屏壓的情形下必須加到電子管柵極的聲頻電壓各爲：

6B4 (三極管)，17 伏有效值

6Φ6 (五極管)，7 伏有效值

6V6 (集射四極管)，4.2 伏有效值

輸出級中的失真

前已指出，有效輸出功率可以理解成爲這樣的輸出功率，在這個功率的條件下，揚聲器所重發的聲音廣播沒有失真，更確切地說，沒有人耳能感覺到的重大失真。加這麼一句話是必要的，因爲失真多多少少總是伴隨聲音振盪的放大而發生的，而揚聲器的重發自然也就會有失真。在失真很小時，人耳是感覺不到的；這種失真是可以容許的。但是當失真超過可容許的限度時，它們顯著地改變了揚聲器重發廣播聲音的自然狀態，人耳就可以很明顯地感覺到有失真存在。

最討厭的一種失真是所謂非綫性失真，發生這種失真的原因很多^①，其中主要原因是由於電子管特性曲綫的非綫性。這種失真的實質是，聲頻振盪經電子管放大時波形發生了畸變，就是說如果在放大以前的振盪具有純粹正弦波形，那麼，經過電子管放大以後，電子管屏流的振盪波形就多多少少與純粹正弦波形不同了。圖 5 是這種失真的圖示，從圖中可以看出，當電子管的工作狀態選擇不正確時，屏流振盪波形可能與加到電子管柵極的純粹正弦振盪有很大的差別。

由圖 5 的曲綫圖可知，只有當電子管的屏流振盪僅在特性曲綫直綫部分的範圍內進行而不跑到它下面的彎

①例如，其原因之一可能是電子管工作狀態選擇不正確而出現了柵流。

曲點時，屏流變化的波形才能和加到它柵極上的電壓振盪波形完全相同（圖 5. a）。

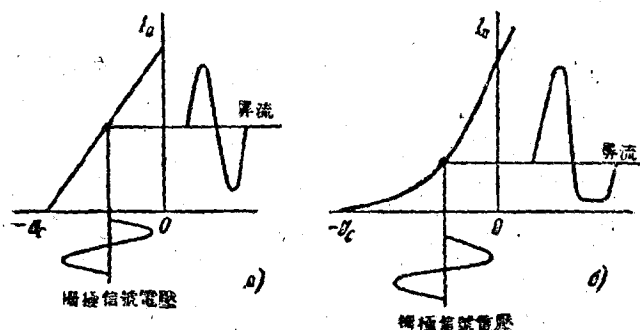


圖 5. 由於電子管特性曲線的非線性而引起的正弦振盪的失真

如果電子管的柵極特性曲線不是直線，那麼屏流曲線的波形就好像是柵極電壓的有畸變的相片（圖 5. b），而且當柵極電壓伸展到特性曲線彎曲部分去的愈多，失真就愈大。這種失真的原因可能是電子管柵極的起始偏壓選擇得不正確，或者是輸入振盪過大，因之在負半週時它們進入特性曲線的彎曲部分去了。

由分析可以看出，有畸變的振盪已不再是一個簡單的振盪，而是一個很複雜的振盪了，它是由基本（被放大的）頻率的振盪和許多新出現的所謂諧頻或諸波振盪總合而成的。諧頻就是基頻的倍數的意思。換句話說，如果在電子管柵極加入頻率為 f 的振盪，那麼經過放大以後在屏路中出現的除了這個頻率以外，還有它的諸波，即頻率為 $2f$, $3f$, $4f$ 等等的振盪。電子管特性曲

綫的曲率或非綫性愈大，基本（被放大的）振盪的失真就愈大，而發生的諧波也將愈大。

非綫性失真的程度可根據所謂非綫性失真係數或諧波係數來判斷，這係數指出在放大的振盪中所含諧波的相對大小。

非綫性失真係數在數學上可表示為所有諧波的總功率和基頻功率之比的平方根值，即

$$\text{非綫性失真係數} = \sqrt{\frac{\text{所有諧波的功率}}{\text{基頻功率}}}。$$

但實際上經常測量的不是諧波功率和基頻功率，而是測量這些頻率的電流或電壓。負荷（揚聲器）電阻在測量頻率範圍內可以近似地看作是保持不變的（實際上，這是可容許的，特別是應用電動揚聲器時），不會引起很大的誤差。計算證明，在這種假定下，非綫性失真係數可以不用功率比值而用相應諧波的電流或電壓比值求得，從測量的觀點來看，這樣做要方便的多。

如果用 U_1 表示電子管屏路中基頻電壓的振幅，用 U_2 ， U_3 ， U_4 等分別表示二次、三次等諧波的振幅，那麼非綫性失真係數 K 就可用所有諧波的有效電壓值與基頻電壓之比來表示，即

$$K = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1} \quad (4)$$

當測量的不是各諧波的電壓而是它們的電流時，那麼非綫性失真係數可表示為

$$K = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} \quad (5)$$