

輸出變壓器

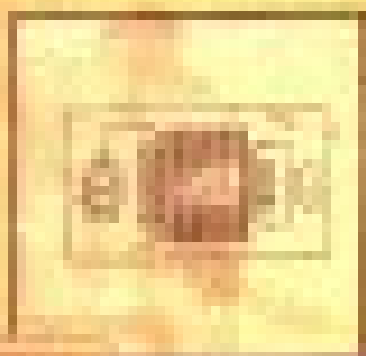


52.G7D

民郵電出版社

724

輸出變壓器



四 聯 電 機 有 限 公 司

С. Н. КРИЗЕ
Выходные Трансформаторы
Госэнергоиздат 1953

輸 出 變 壓 器
蘇 聯 С. Н. 克 里 捷 著

人 民 郵 電 出 版 社

內 容 提 要

在這本供無線電愛好者用的小冊中，用通俗的形式說明了音頻放大器輸出變壓器的原理和計算的基礎，並且也簡明地敘述了小功率輸出變壓器結構計算的知識。

輸 出 變 壓 器

著 者：蘇 聯 克 里 捷
譯 者：謝 壽 熾
出版者：人 民 郵 電 出 版 社
北京西長安街3號
印刷者：郵 電 部 供 應 局 南 京 印 刷 廠
南京太平路戶部街15號
發 行 者：新 華 書 店

書號：1955年6月南京第一版第一次印刷1—7,000冊
787×1092 1/32 18頁 印張1 字數23,000字 定價(8)0.18元
★北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號★

目 錄

輸出變壓器的用途.....	(1)
輸出變壓器的參數.....	(6)
輸出變壓器參數的決定.....	(9)
輸出變壓器電氣計算的舉例.....	(13)
輸出變壓器的結構計算.....	(15)
非推挽線路中用的輸出變壓器的結構計算.....	(18)
推挽線路中用的輸出變壓器的結構計算.....	(26)
附錄：線捲繞線的參考數據表.....	(32)

輸出變壓器是任何一個收音機或音頻放大器中的簡單而又十分重要的元件。它的品質的好壞對整個機器的工作有很大影響。計算不正確的輸出變壓器，可能是產生顯著失真、使輸出級電子管送給外部負荷的功率減低等現象的根源。因此輸出變壓器的參數要選得和負荷，以及輸出級的工作條件（輸出級線路、電子管類型和它的工作方式）嚴格地相適應。

輸出變壓器的用途

收音機或放大器的輸出級電子管使它的屏路內產生出一定功率數值的電波。此功率 P_1 取決於電子管屏路中作用的交流電流 I_1 及交流電壓 U_1 的振幅大小；並可由下列簡單的式子來計算：

$$P_1 = \frac{U_1 I_1}{2} \quad (1)$$

在正常情況下，電子管屏路內交流電壓的振幅與屏極電源的直流電壓 U_0 間的關係常常是：

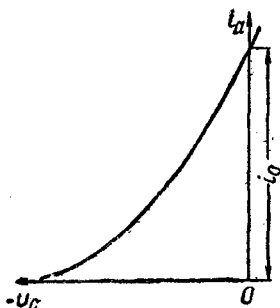
$$U_1 = (0.5—0.7) U_0 \quad (\text{三極管}) ; \quad (2)$$

$$U_1 = (0.7—0.9) U_0 \quad (\text{五極管或集射四極管}) \quad (3)$$

因此五極管與集射管表現了較好的屏壓利用特性，因而這類電子管的效率較高。

屏流交流成分 I_1 的振幅與電流 i_0 之值有關， i_0 相當於電子管

柵壓爲零時的屏流值（圖1），它等於：



$$I_1 = \frac{i_0}{5-7} \quad (\text{三極管}); \quad (4)$$

$$I_1 = \frac{i_0}{2.5-3} \quad (\text{五極管}). \quad (5)$$

對於小功率放大管來說， I_1 的值通常不超過30—50毫安。

電子管能够產生的有效功率等於：

圖1. 輸出級電子管的特性曲線。 i_0 ——控制柵壓爲零時的屏流

$$P_1 = \frac{U_0 \cdot i_0}{20-25} \quad (\text{三極管}), \quad (6)$$

$$P_1 = \frac{U_0 \cdot i_0}{5-8} \quad (\text{五極管或集射四極管}). \quad (7)$$

表1中列出了表明幾種電子管屏路工作方式的基本數據。

在這種情況下，屏路的電壓與電流的振幅值是指定了的。這就對電子管屏路中的負荷電阻 R_a 提出了一定的要求，也就是要求 R_a 的值應該等於：

$$R_a = \frac{U_1}{I_1}. \quad (8)$$

例如：對於工作於甲類方式的五極管6Ф6來說，當屏極電壓 $U_0 = 250$ 伏時，屏路負荷電阻應等於：

$$R_a = \frac{U_1}{I_1} = \frac{200}{27 \times 10^{-3}} = 7400 \text{ 歐}。$$

表 1

電子管類型	工 作 方 式								
	靜止屏流 I_0 (毫安)	屏源極電壓 U_0 (伏)	零的屏壓時流 i_0 (毫安)	屏路 U_1 的交流電壓幅值 (伏)	屏路 I_1 的交流電流幅值 (毫安)	全部輸出功率 (瓦)	屏荷路電阻 R_a (歐)	內阻 R_i (歐)	簾柵電壓 U_g (伏)
輸出三極管									
2C4C	60	250	350	125	50	3.00	2500	800	—
6C2C	10	250	35	160	8	0.32	2000	7000	—
6C4C	60	250	350	125	50	3.00	2500	800	—
ГМ-57	75	600	450	400	60	6.00	6500	1500	—
輸出五極管或輸出集射四極管									
6Ф6	35	250	80	200	27	2.70	7400	75000	250
6П9	30	300	65	250	24	3.00	10000	130000	150
6П6C	45	250	120	180	36	3.20	5000	50000	250
6П3C	70	300	180	250	60	7.50	4100	25000	250

其他類型放大管的屏路負荷電阻大約也應當是這樣的數值，即不低於數千歐。但是電動揚聲器音圈的電阻常常是幾個，或至多為幾十歐。放大器的實際負荷電阻值與輸出級電子管屏路的最理想負荷電阻值顯著不配合的這種情況，就指使我們把輸出變壓器用作為電路的匹配元件。

如果把低阻值負荷電阻直接連到電子管屏極電路中，則將使放大器輸出到負荷的功率顯著減小，此外還可能使產生在輸出級中的非直線失真大為增加。

這可以用比較五極管 6Φ6 的兩種工作方式（即第一種方式時，屏路負荷電阻值為 $R_{a1}=7400$ 歐；第二種方式時為 $R_{a2}=10$ 歐）為例來說明。其中的第二種工作方式就相當於直接將揚聲器音圈接到電子管屏極電路中的情況。

當 $R_a=7400$ 歐時，電子管輸出的有效功率等於

$$P_1 = \frac{1}{2} U_1 I_1 = \frac{1}{2} I_1^2 R_{a1} = \frac{1}{2} \left(\frac{27}{10^3} \right)^2 7400 = 2.7 \text{ 瓦},$$

式中 $I_1=27$ 毫安是當 $R_{a1}=7400$ 歐時的屏流振幅值。

當 $R_{a2}=10$ 歐時得：

$$P_2 = \frac{1}{2} I_2^2 R_{a2} = \frac{1}{2} \left(\frac{30}{10^3} \right)^2 \times 10 = 0.045 \text{ 瓦},$$

式中 $I_2=30$ 毫安是屏極電路短路時的屏流振幅值。

因此，當低負荷時，電子管輸出的有效功率減少到六十分之一。同時產生約從 5%—10% 的非直線失真。

此外，當負荷直接接到屏極電路中時，電子管屏流的直流成分將流過負荷，這在許多情況（例如負荷是揚聲器音圈）下是不允許的。

如果我們把低電阻負荷 R_n 經過降壓變壓器再接入屏路，那麼，就可以看到另一種完全不同的情況了。

在中頻時轉化到初級線捲的負荷電阻 R'_n 將等於：

$$R'_n = \frac{R_n}{n^2}, \quad (9)$$

式中： n ——輸出變壓器的變換比，它等於次級線捲匝數與初級線捲匝數之比。

如為降壓變壓器，則 $n < 1$ ；這就使得甚至在次級線捲接入低阻負荷的情況下，仍可使屏極電路得到對該電子管來說是最理想的負荷阻抗。

能保證得到指定屏路負荷電阻 R_a 的變換比，可由下式〔此式由(9)式導出〕求出：

$$n = \sqrt{\frac{R_u}{R_a}} \quad (10)$$

通常 $R_u < R_a$ ，因此最合適的變換比常小於 1。為什麼必須使用降壓的輸出變壓器，這可從物理方面解釋如下：為了在負荷電阻 R_u 上得到所需的有效功率，但因電阻 R_u 的值是不大的，故必須在這個電阻上通過大的電流。如前所述，在電子管屏極電路中流過的交流電流是比較小的，應用降壓的輸出變壓器 ($n < 1$)，就可以使它的次級線捲中的電流比初級線捲中的電流大。

輸出變壓器的工作可以在某些程度上與機械槓桿的應用相比擬；在槓桿上可能由於在距離上吃虧而在力的方面得到便宜；與此相似地，降壓變壓器將靠電壓的減小，而使電流加大。

在圖 2 上表示了輸出級的兩個主要工作指標（有效功率 P_1 與非直線係數 γ ）和變換比 n

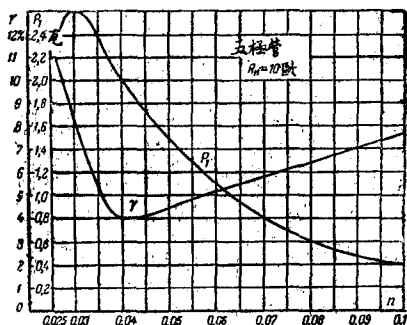


圖2. 當 $R_u = 10$ 歐時，五極管 6φ6 的有效功率 P_1 、非直線係數 γ 與輸出變壓器的變換比 n 之間的關係

間的關係曲線。這個曲線是根據五極管 $6\phi 6$ 按下列方式工作時的情況畫出的：即屏極電源與簾柵電源的電壓為 250 伏；柵極負偏壓 16.5 伏；柵極上的信號電壓振幅為 14 伏；變壓器次級線捲的負荷電阻為 10 歐。從曲線上可以看出：在上述這種工作情況下，輸出變壓器的最理想變換比是在 $n = 0.03 - 0.04$ 這一範圍內；而且在較小值處（ $n = 0.03$ ），有效功率最大；而在較大值處（ $n = 0.04$ ），電子管的非直線失真最小。通常採取 $n \approx 0.035$ ，亦即相當於將輸出變壓器的電壓約降低為二十八分之一，較為合適。此時，在上述這種情況下，可從電子管得到約為 2.4 瓦的有效功率；而非直線失真大約為 5%。

輸出變壓器的參數

輸出變壓器的特性，由下列它的幾個主要參數來說明：

- (1) 變換比
$$n = \frac{\omega_2}{\omega_1};$$
- (2) 初級線捲電感 L_1 ;
- (3) 漏感 L_p ;
- (4) 線捲純電阻（初級線捲為 r_1 ，次級線捲為 r_2 ）。

這些參數和電子管內阻 R_i ，以及負荷電阻 R_n 決定了輸出級的頻率特性。此外還必須知道製造輸出變壓器時應用的一些參數，因為這些參數決定着變壓器的構造數據：如線捲導線的直徑和匝數等。

現在我們來研究一下變壓器參數對輸出級工作的影響。變換

比 n 對輸出級工作的影響在前面已經討論過了，現在我們再來討論一下變壓器的其他參數。

初級線捲電感，由初級線捲磁通所形成的初級線捲的電感，對輸出級在低頻區域內的頻率失真有影響。為了使這些失真不超過規定數值，變壓器初級線捲電感 L_1 應不小於一定值。

在工作於同樣條件下的兩個變壓器中，初級線捲具有較大電感量的那個變壓器，在低頻區域內有着較好的頻率特性。但是要增大 L_1 ，將不得不加大變壓器的尺寸、重量和價格。因此在設計變壓器時要力求將初級線捲的電感限制為最小而必須的數值。

當用磁性材料做鐵心的變壓器工作時，初級線捲電感會隨着它的線捲中的直流電流與交流電流的大小而變更。為了避免頻率失真高過允許的標準，必須在最不利的工作條件下保證變壓器初級線捲電感保持在規定數值。變壓器線捲中的直流電流對它的初級線捲電感的影響，將在以後研討。

變壓器漏感 變壓器漏感是由不能同時和變壓器的兩個線捲交連的那部分磁通形成的。這些磁通經過空氣閉合它的磁路；這些磁通稱作為洩漏磁通（以下簡稱漏磁）。和變壓器兩個線捲交連的主要磁通 $\Phi_{1,2}$ 與漏磁 Φ_1 、 Φ_2 均示於圖3。

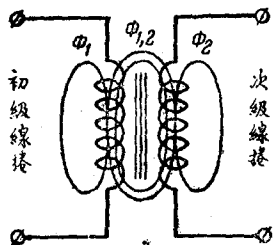


圖3. 變壓器中的磁通分佈圖

輸出變壓器高頻區域內的頻率失真現象就是因為有漏磁及由它而引起的漏感存在。當放大器工作於乙類放大方式時，漏感也會引起非直線失真。故輸出變壓器的漏感應盡可能減小。這可靠改善線捲間的磁

交連，譬如採用交疊分段的線捲來達到減小漏感的目的。但是這種辦法並不是任何時候都採用的，而僅在特別需要的情況下才採用，因為這樣就使變壓器的構造複雜了，並且增加了它的價格。

漏感不應超過由失真數值決定的某一數值。在好的變壓器裏，其漏感 L_p 不超過變壓器初級線捲電感的千分之幾。

變壓器線捲有效電阻 線捲的有效電阻影響着音頻能量在變壓器中損失的大小；並決定變壓器的效率。嚴格的說，變壓器的效率的高低也與鐵心中的損失有關。但在音頻變壓器中，特別是小功率的，鐵心損失永遠比線捲中的損失小。這就允許在計算效率時，僅計算變壓器線捲中的損失，而鐵心損失則可忽略不計。

爲了更好的利用放大器末級電子管產生的功率，總要求輸出變壓器有較高的效率。輸出變壓器的效率可以用減低線捲中的損失，也就是增加變壓器繞線的直徑的方法來提高。這樣勢將使變壓器的尺寸增大和價格增高。在設計變壓器時，應選用一個折中的效率數值，這個數值要能在某種程度上滿足變壓器的損失小、價格低這兩個互相矛盾的要求。

由經驗證明，輸出變壓器效率的數值大概可以根據表 2 來選擇。

選定了變壓器的效率數值後，就可以計算出變壓器線捲的有效電阻和繞線捲的導線的直徑。

表 2

放大器輸出功率 P_{Bax} (瓦)	5 以 下	5—100	100 以 上
輸 出 變 壓 器 效 率 η_T	0.7—0.8	0.8—0.9	0.9—0.95

輸出變壓器參數的決定

爲了決定以前所提到的輸出變壓器參數，必須知道下列決定放大器末級工作條件的各數值。

(1) 低頻 f_n 和高頻 f_B 所組成的一段工作頻帶。

(2) 輸出級內允許有的、在低頻 f_n 與高頻 f_B 時的頻率失真。

頻率失真可由頻率失真係數 M_n 與 M_B 來表明。它們等於

$$M_n = \frac{K_o}{K_n}; \quad M_B = \frac{K_o}{K_B},$$

式中： K_o 、爲中頻時的增益數值；

K_n 及 K_B 相當於圖 4 上所標明的數值。

(3) 放大器外部負荷的數據，也就是有效電阻 R_n 與感抗 L_n 。

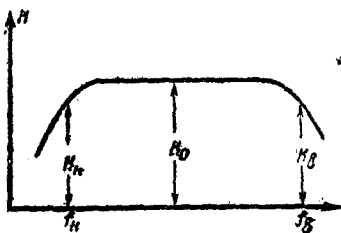


圖4. 輸出級的頻率特性

(4) 輸出級電子管屏路的最理想負荷電阻 R_a 。

(5) 輸出變壓器的效率 η_T 。

輸出變壓器的各項參數可用下面的方法來決定：

變換比由上面述過的公式(8)求得

$$n = \sqrt{\frac{R_n}{R_a}}.$$

如爲推挽線路，計算時應以兩倍 R_a 值代入。

輸出級在低頻區域的頻率特性決定於變壓器初級線圈的電感

L_1 。圖5表示在兩個不同初級線捲電感值 L_1 時的頻率特性。 L_1

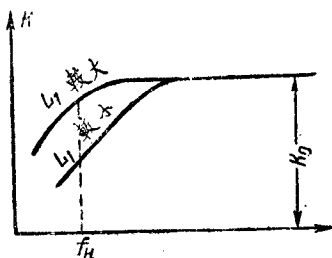


圖5. 輸出變壓器初級線捲電感 L_1 對頻率特性的影響

較大的那根特性曲線較高, 因此, 隨着輸出變壓器初級線捲電感的增加, 頻率失真會逐漸減小。從物理方面說, 這種情況可以解釋為: 當初級線捲電感值 L_1 較大時, 給予電子管負荷的分路影響將較小。我們也可以用下式來決定 L_1 :

$$L_1 = \frac{R}{2\pi f_H \sqrt{M_H^2 - 1}}, \quad (11)$$

式中 R ——輸出級的純電阻。

當輸出級中用三極管時, $R=R_f$; 如用五極或集射四極管時, 則

$$R=R_a \pm 0.1R_f.$$

如果採用 $f_H=80$ 週, $M_H=1.22$, 則確定輸出變壓器初級線捲電感的計算公式將成為下面的形式:

$$L_1 = \frac{R}{350}. \quad (12)$$

如應用推挽輸出線路, 則初級線捲電感應取比公式(11)

與(12)求出的數值大一倍的值。如果輸出級包含負回授電路, 則

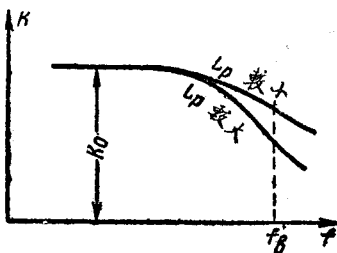


圖6. 輸出變壓器漏感 L_p 對頻率特性的影響

L_p 值大約可以減小為二分之一。

變壓器漏感 L_p 決定放大器的高頻區域內的頻率特性。 L_p 對頻率特性的影響示於圖 6。當漏感增加時，高頻處的放大係數減小，頻率失真增大。當變壓器次級線捲負荷為純電阻時，輸出變壓器的漏感的最大允許值可由下式求得：

$$L_p = \frac{R_a + R_t}{2\pi f_s} \sqrt{M_s^2 - 1} \quad , \quad (13)$$

式中 f_s —— 通過頻帶的最高頻率，

M_s —— 頻率 f_s 時的頻率失真係數。

如果採用 $f_s = 6000$ 週， $M_s = 1.2$ ，則決定漏感的公式將成為

$$L_p = \frac{R_a + R_t}{60000} \quad . \quad (14)$$

如果輸出級負荷有着很大的電感成份，例如當負荷是電動揚聲器的音圈時，則輸出變壓器漏感的允許值要比從公式 (13) 與 (14) 求出的稍大一些。

當次級線捲的負荷是電感負荷時，輸出變壓器的漏感可由下列關係決定

$$L_p \leq L_n \frac{R_t}{R_n} \quad , \quad (15)$$

式中 L_n —— 負荷電感。

電動揚聲器的 L_n 常為 $(0.2 - 1) \times 10^{-3}$ 亨。

當採用推挽線路時，輸出變壓器的漏感值可取用兩倍於目公式 (13)、(14) 與 (15) 所得出的值。如果放大器輸出級應用內阻很大（幾萬歐姆或更多）的五極管或集射管時，則漏感允許值是如此

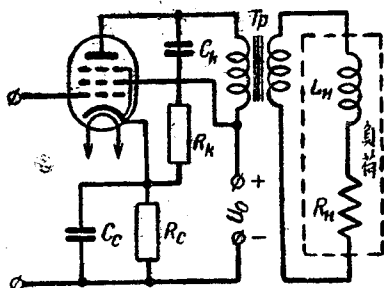


圖7. 應用五極管或集射四極管工作的
輸出級中的修正電路 $C_K R_K$ 的連
接圖

器初級線捲上並聯一個由電容器 C_K 與電阻 R_K 組成的濾波器，如圖7所示。沒有這個濾波器，這級將產生大於允許值的失真。濾波器數據可由下列關係式求得：

$$R_K = (1-2)R_a, \quad (16)$$

$$C_K = \frac{I_p + \frac{L_n}{n^2}}{R^2} \times 10^6. \quad (17)$$

根據指定的效率數值，變壓器線捲的純電阻 r_1 與 r_2 可由下式求出：

$$r_1 = \frac{R_a}{2} (1 - \eta_T); \quad (18)$$

$$r_2 = r_1 n^2. \quad (19)$$

如使 $\eta_T = 0.85$ ，則

$$r_1 = \frac{R_a}{14} \quad (20)$$

之大，以致於任何實際應用的變壓器的漏感都小於該允許值。故輸出級用五極管或集射管時，輸出變壓器的漏感可以不考慮，並且製造變壓器時也不需採取降低漏感的措施。

但是應該注意，當輸出級電子管有大的內阻而無負回授時，必須在變壓