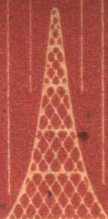
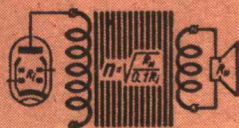


苏联
大众 技术 丛书



輸出變壓器設計

[苏联] C. H. 克利节 著



上海科学技术出版社

內 容 提 要

本書是苏联大众無線电叢書之一，是为初進的無線电業余家寫的。內容包括關於小电力擴音机和收音机里所用變壓器的繞制以及裝合方法和最簡單的測試方面的实用知識。

輸 出 變 壓 器 設 計

Выходные Трансформаторы

原 著 者 [苏联] С. Н. Кризе

原出版者 Госэнергоиздат · 1953年版

譯 者 王 明 德

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

上海市印刷三厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印張 1 12/32 字數 27,000
(原交流、科技版共印 15,020 册 1954年6月第1版)

1959年1月新1版 · 1961年5月第5次印刷

印數 13,001—18,000

統一書号：15119·163

定 价：(十二)0.18元

前 言

輸出變壓器是任何一架收音機或音頻放大器中一個簡單但相當重要的元件。整個機器的工作與輸出變壓器的質量有着極大的關係。一個設計得不正確的輸出變壓器，可能就是高度失真現象、輸出級真空管輸送到外部負載上功率降低等的原因。因此，輸出變壓器的參數，必須嚴格遵照負載的數據和輸出級的工作條件：它的線路、真空管的類型及其工作特性等等來選擇。

目 錄

前言.....	1
輸出變壓器的用途.....	1
輸出變壓器的參數.....	8
初級線圈的電感.....	8
變壓器的漏電感.....	9
變壓器線圈的有效電阻.....	10
輸出變壓器參數的求法.....	12
輸出變壓器特性計算的舉例.....	17
五極管單端放大級的輸出變壓器.....	17
三極管推挽放大級的輸出變壓器.....	18
輸出變壓器的結構設計.....	20
單端式輸出變壓器的結構設計.....	24
例題.....	28
推挽式輸出變壓器的結構設計.....	33
例題.....	35
附錄.....	40

輸出變壓器的用途

收音機或放大器輸出級真空管的屏極電路中，產生着一定的、相當於有效訊號頻率的交流電功率。這個功率 P_1 的大小，是隨真空管屏極電路中的交流電流 I_1 和交流電壓 U_1 的波幅而定，可用下列的簡單公式來計算：

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

真空管屏極電路中，交流電壓的波幅與屏極電源的直流電壓 U_0 有關，在正常的工作情形下通常是

對於三極管：

$$U_1 = (0.5 \sim 0.7) U_0 \quad (2)^*$$

對於五極管和集流四極管：

$$U_1 = (0.7 \sim 0.9) U_0 \quad (3)$$

由此可知，五極管和集流四極管的特點，是屏極電壓的利用率較高，所以這些真空管具有較高的效率。

屏極電流中交流成份 I_1 的波幅，是隨着真空管控制柵極上的電壓是 0 時的屏極電流 i_0 而定（見圖 1），這個電流是：

對於三極管：

* 編者註：符號 \sim 表示在兩數之間；以下全同。

$$I_1 = \frac{i_0}{5 \sim 7} \quad (4)$$

對於五極管：

$$I_1 = \frac{i_0}{2.5 \sim 3} \quad (5)$$

小功率放大管的 I_1 通常不超過 30~50 毫安。

真空管所能輸出的有效功率等於

對於三極管：

$$P_1 = \frac{U_0 i_0}{20 \sim 25} \quad (6)$$

對於五極管和集流四極管：

$$P_1 = \frac{U_0 i_0}{5 \sim 8} \quad (7)$$

表 1 所示是幾種真空管屏極電路工作常數的基本數據。

由此可見，真空管屏極電路中的電流和電壓的波幅是已知值。因而真空管屏極電路中的負載阻抗 R_a 的數值應符合一定的要求。這個阻抗的數值應等於

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

例如：工作在甲類放大的真空管 6Φ6，當屏極電壓 $U_0 = 250$ 伏時，屏極負載阻抗應等於

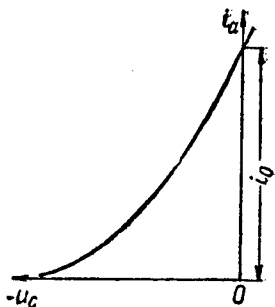


圖 1 輸出級真空管的特性。 i_0 是標偏壓是 0 時的屏極電流。

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

其他各種放大真空管的負載電阻，亦大致在這樣的範圍內(至少約幾千歐姆)。

表 1 幾種真空管的工作數據

真空管號	靜止屏極電流 I_a (毫安)	直流屏極電壓 U_0 (伏)	零柵偏壓時的屏極電流 i_0 (毫安)	屏極電路中交流電壓 U_1 (伏)	屏極電路中交流電流 I_1 (毫安)	輸出有效功率 (瓦特)	負載電阻 R_a (歐姆)	內電阻 R_i (歐姆)	擺幅電壓 U (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	—
7M-57	75	600	450	400	60	6.00	6500	1500	—
輸 出 五 極 管 和 集 流 四 極 管									
6Φ6	35	250	80	200	27	2.70	7400	75000	250
6II9	30	300	65	250	24	3.00	10000	130000	150
6II6C	45	250	120	180	36	3.20	5000	50000	250
6II3C	70	300	180	250	60	7.50	4100	25000	250

但是電動揚聲器的音圈的阻抗，通常只有幾個歐姆，至多幾十個歐姆。放大器的實際負載阻抗，和輸出級真空管屏極電路的最適當負載之間，有着如此巨大的差別，使得必須採用輸出變壓器來作為電路中的匹配元件。

如果把低歐姆的負載阻抗直接接到真空管屏極電路上，那就會使放大器送到負載上的功率大量減少，此外，輸出級內所產生的非線性失真可能顯著增加。

當屏極電路在兩種負載阻抗值時，就是 $R_{a1} = 7400$ 歐和 $R_{a2} = 10$ 歐時，可以舉例來比較五極管 6Φ6 的工作情況。第二種情形就是相當於直接把低歐姆的揚聲器音圈，接到真空管屏極電路中。

當 $R_{a1} = 7400$ 歐時，真空管輸出的有效功率等於：

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

式中： $I_1 = 27$ 毫安是 $R_{a1} = 7400$ 歐時，屏極電路中的巔值電流。

當 $R_{a2} = 10$ 歐時，則得：

$$P_1 = \frac{1}{2} I_1^2 R_{a2} = \frac{1}{2} \times \left(\frac{30}{10^3} \right)^2 \times 10 = 0.045 \text{ 瓦特}$$

式中： $I_1 = 30$ 毫安是當屏極電路短路時的巔值電流。

因此，在低歐姆負載時，真空管輸出的有效功率減少了六十倍。同時非線性失真却大約增加 5% 到 10%。

此外，直接把負載接入屏極電路時，真空管屏極電流的直流成份將通過負載，這在很多情形下（例如，對於揚聲器的音圈）是不允許的。

如果經過降壓變壓器來連接低歐姆負載 R_H ，情形便完全

不同了。在頻率範圍*的中部，加於初級線圈的負載阻抗 R_H' 等於：

$$R_H' = \frac{R_H}{n^2} \quad (9)$$

式中： n 是輸出變壓器的變壓比，這一數值等於次級線圈匝數與初級線圈匝數的比值。

對於降壓變壓器， $n < 1$ ；這就使得在屏極電路中，即使次級線圈是低歐姆負載時，也能得到一個對於這個真空管最適當的阻抗值。

配合規定的屏極負載阻抗 R_a 所需的變壓比，可以根據公式(9)的對比關係所推出的下列公式求得：

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

通常， $R_H < R_a$ ，最適當的變壓比總是小於 1，所以必須採用降壓輸出變壓器的理由，也可以從物理學方面來解釋如下。爲了能在負載 R_H 上獲得必需的有効功率，那就必須有大量的電流通過這個電阻，因爲這個電阻 R_H 的值不大。正如上述，真空管的屏極電路中所流過的交流電流是比較小的。使用了降壓輸出變壓器 ($n < 1$)，就可使流過這個變壓器次級線圈的電流，比較初級線圈內的電流增大不少。

在某種程度上，可以把輸出變壓器的工作，與機械槓桿的

* 編者註：指成音頻率範圍。

作用相比較。槓桿可以依靠在距離方面的損失，而獲得力方面的利益。降壓輸出變壓器與此相同，靠了電壓方面的損失，而獲得電流強度方面的利益。

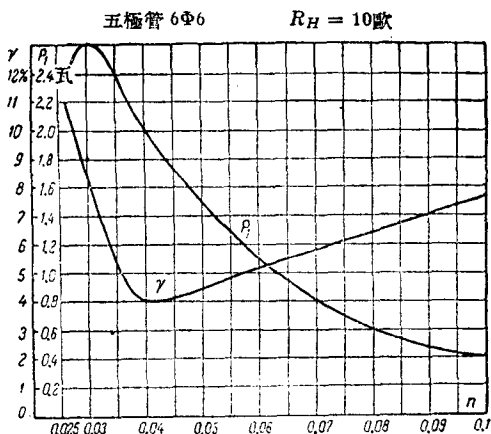


圖2 6Φ6 五極管在 $R_H = 10$ 歐姆時，有效功率 P_1 和非線性失真係數 γ 與輸出變壓器變壓比 n 的關係。

圖2所示是輸出級工作的二個基本參數：有效功率 P_1 和非線性失真係數 γ 與變壓比 n 的關係曲線圖。這一曲線是按 6Φ6 五極管工作於下列情形時所繪出的：屏極電壓和簾柵極電壓是 250 伏；柵偏壓是 16.5 伏；柵極上訊號的巔值是 14 伏；變壓器次級線圈的負載阻抗是 10 歐姆。觀察這曲線就能知道，在上述工作情況下，輸出變壓器的最適當變壓比是 $n = 0.03$ 到 $n = 0.04$ 之間，同時，較小的一個數值 ($n = 0.03$) 能得到最大的有效功率，而較大的一個數值 ($n = 0.04$) 能得到

真空管最小的非線性失真。通常最好選擇 $n = 0.035$ ，就是相當於大約減低輸出變壓器的電壓 28 倍。在上述工作條件下，真空管的輸出有效功率約達 2.4 瓦特。

輸出變壓器的參數

輸出變壓器的性能，可以用下列各基本參數來說明：

- (1) 變壓比 $n = \frac{w_2}{w_1}$;
- (2) 初級線圈的電感 L_1 ;
- (3) 漏電感 L_p ;
- (4) 線圈的有效電阻（初級線圈的 r_1 和次級線圈的 r_2 ）。

這些參數，連同真空管的內阻 R_i^* 和負載阻抗 R_H ，同時決定着輸出級的頻率特性。並且，爲了要製造變壓器，也必須知道變壓器的這些參數，因爲它們決定着變壓器的結構數據，包括線圈導線的直徑、匝數等等。

現在我們來研究一下變壓器參數對於輸出級工作的影響。上面已討論過變壓比 n 對輸出級的影響。現在再來討論變壓器的其他參數。

初級線圈的電感

初級線圈的磁通所產生的初級線圈的電感，能夠影響放大級低頻部份的頻率失真。爲了使這項失真不超過規定值，則變壓器初級線圈的電感 L_1 不應該低於一定的數值。

* 編者註：這就是通稱的屏極電阻 r_p (或 R_p)。

在相同條件下工作的兩個變壓器，初級線圈電感較大的
一個變壓器，在低頻部份具有較好的頻率特性。但是增大 L_1
祇有靠增加變壓器的體積、重量和價值才能辦到。因此在設
計變壓器時，應該盡可能減小初級線圈的必需電感。

當磁性鐵心的變壓器工作時，初級線圈的電感能隨着它
線圈中的直流和交流電流的大小而變化。爲了避免失真超出
允許的數值，必須保證變壓器在最劣條件下工作時，初級線圈
仍有必需的電感。變壓器線圈中直流電流對於初級線圈電感
的影響，將在下面討論。

變壓器的漏電感

變壓器的漏電感就是由未穿過兩線圈的磁通來決定的。
這些磁通穿過空氣而自成閉合的磁路，所以把它叫做漏磁通。
圖 3 所示是同時穿過變壓器中兩個線圈的主要磁通 $\phi_{1,2}$ 以及
漏磁通 ϕ_1 和 ϕ_2 。漏磁通和它產生的漏電感，便是輸出變壓器
中高頻部份出現頻率失真的原因。

當放大器工作於乙類放大時，漏電
感亦可能引起非線性失真。所以輸
出變壓器中的漏電感 L_p 應力求減
少。這一點可以藉改善線圈間的磁
耦合程度而達到，例如可以採用相
間繞製的線圈。但是這種辦法却並

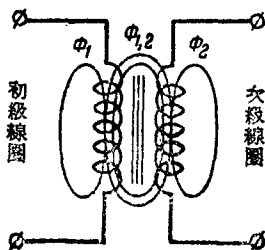


圖 3 變壓器中磁通的分佈。

不常採用，祇在萬不得已時才這樣做，因為這類繞法使變壓器的結構變得複雜，因而增加了變壓器的成本。

漏電感不應超過規定失真所允許的一定值。在良好的變壓器中，漏電感 L_p 不超過它初級線圈電感的百分之一。

變壓器線圈的有效電阻

變壓器線圈的有效電阻直接影響變壓器中音頻電能損失的數值，並決定變壓器的效率。嚴格地說來，效率還與鐵心中的損失有關。但是在音頻變壓器中，特別是小型變壓器內，鐵心中的損失，總比線圈中的損失小得多。這樣，在計算效率時，就祇要考慮變壓器線圈中的損失，而鐵心中的損失則可略去不計。

爲了更好地利用末級放大真空管所產生的功率，輸出變壓器總宜具有較高的效率。增加效率可用減少線圈中損失的方法來達到，也就是加粗變壓器線圈導線。這樣將會不可避免地增大變壓器的體積和成本。在設計變壓器時，應選擇效率的折衷數值，使該數值在某種程度上能滿足兩個相互矛盾的要求：變壓器的損失小和成本低。

經驗證明：輸出變壓器的效率，可以大致根據表 2 來選擇。

知道變壓器的效率後，就可以求出變壓器線圈的有效電阻；再根據有效電阻就可求得線圈所用導線的直徑。

表 2 輸出變壓器的效率

放大器的輸出功率(瓦特)	5	5—100	100 以上
輸出變壓器的效率	0.7—0.8	0.8—0.9	0.9—0.95

輸出變壓器參數的求法

要決定上述輸出變壓器的幾個參數，必須知道下列決定末級放大器工作情況的幾個數值。

(1) 以最低頻率 f_H 和最高頻率 f_B 為限的工作頻率範圍。

(2) 對於輸出級最低頻率 f_H 和最高頻率 f_B 的允許頻率失真。頻率失真可以用頻率失真係數 M_H 和 M_B 來表示，這些係數等於

些係數等於

$$M_H = \frac{K_0}{K_H}$$

$$M_B = \frac{K_0}{K_B}$$

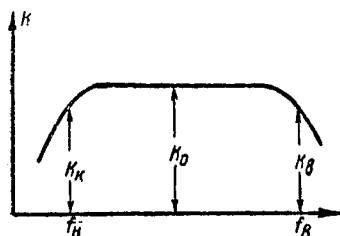


圖 4 輸出級的頻率特性曲線。

式中， K_0 是頻率範圍中段的放大量， K_H 和 K_B 則各如圖

4 所示。

(3) 放大器的外部負載數據，也就是有效電阻 R_H 和電感 L_H 。

(4) 輸出級真空管的最適當屏路負載阻抗 R_a 。

(5) 輸出變壓器的效率 η_T 。

輸出變壓器的參數可用下列方法來決定。

變壓比可由公式(10)求出，就是

$$n = \sqrt{\frac{R_H}{R_o}} \quad (10)$$

對於推挽式電路， R_o 之值應加一倍。

輸出級低頻部份的頻率特性曲線與變壓器初級線圈的電感有關。圖5表示初級線圈電感 L_1 兩種數值的頻率特性。 L_1 較大的特性曲線朝上移動。由此可知，輸出變壓器的頻率失真，能夠隨着初級線圈電感的增加而減小。從物理的觀點來看，這種情形可以這樣解釋：就是當 L_1 的數值較大時，初級線圈的電感對於真空管負載的分流作用較小。 L_1 的值可以用下列公式來決定：

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

式中 R 是輸出級的有效電阻。

當輸出級用三極管工作時， $R = R_i$ ；用五極管或集流四極管工作時：

$$R = R_o \approx 0.1R_i$$

如果定 $f_H = 80$ 週， $M_H = 1.22$ ，則決定輸出變壓器初級線圈的電感公式是：

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

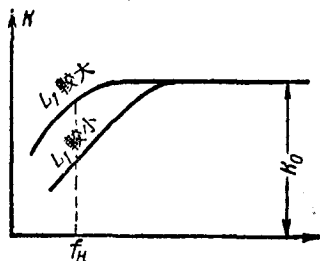


圖5 輸出變壓器初級線圈 L_1 對頻率特性曲線的影響。