

磁 放 大 器



國防工業出版社

74.15573

磁 放 大 器

第一机械工业部研究所編



國防工業出版社

在各种自动控制和远距离操纵系统中磁放大器是一个重要的元件。与其他类型放大器比较，磁放大器具有体积小重量轻，寿命长和放大系数高等许多优点，因此能获得广泛应用。

本书中收集了近两年苏联杂志上发表的有关磁放大器的论文6篇。文章论述了各种型式磁放大器的特性、线路和减少放大器尺寸、重量的设计参数的计算方法，对于设计轻型磁放大器有很大参考价值。

本书适合于动力、电器部门的研究人员、工程技术人员阅读，也可做高等学校的教学参考材料。

第一机械工业部四〇研究所编

磁 放 大 器

第一机械工业部四〇研究所 编

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

*

787×1092耗 $1\frac{1}{32}$ ·印张 $3\frac{5}{16}$ ·69,000字

一九五八年九月第一版

一九五八年九月第一次印刷

印数：0,001—4,000册 定价：(10)0.55元

NO.2204

目 录

一	帶阻抗負荷的扼流圈式磁放大器的計算	4
二	推挽式功率磁放大器的計算	28
三	反饋磁放大器的計算	50
四	帶直流輸出的推挽式磁放大器	62
五	磁調制式磁場強度傳感器的計算	79
六	磁放大器及“二次諧波”型磁調制式測磁器原理 上的某些問題	95
	有关磁放大器及磁性元件方面的書刊目錄	105

一 帶阻抗負荷的扼流圈式 磁放大器的計算

Н. П. 瓦西里也娃, О. А. 謝德哈

本文論述扼流圈式磁放大器的計算方法, 以便在磁放大器的尺寸或重量為最小的條件下, 用這個方法求得放大器的全部參數。

計算的原始數據是在最大信號下負荷的最大功率、負荷的 $\cos \varphi$ 、電流的倍數與放大係數。

引出放大器鋼的單位體積與最大感應磁場強度的關係曲綫。

我們知道, 在給定的最大負荷功率下, [1-6] 不能用簡單的計算方法求出放大器鋼的最小體積, 以及整個放大器的最小體積或重量。

本文是為了推導一種扼流圈式磁放大器的計算方法, 其目的是求當放大器的重量、尺寸或價值為最小時放大器的全部參數。

計算的原始數據是在最大信號下, 負荷的最大功率、負荷的 $\cos \varphi$ 、電流倍數與放大係數。

計算按磁放大器的兩個極限工作狀態進行: 沒有信號的條件與信號為最大的條件。

假設在這兩種工作狀態下, 放大器的電流與電壓是近於正弦的。這是這種計算方法的基本假設。並且這種假設用於磁放大器的極限工作狀態比用於中間工作狀態要正確得多 (例如: 計算磁放大器特性採用負荷橢圓圖時 [6])。

本文中的第二种假设就是将放大器中的损耗忽略不计。

在推导计算式时采用下列符号： $U_{\sim}$ ——电源电压(伏)， $Z_H = R_H + jX_H$ ——负荷阻抗(欧)， $P_1 = I^2 Z_H$ ——负荷的最大视在功率(伏安)； B_0 ——没有感磁时扼流圈铁心的磁感应强度(高斯)(振幅值)， H_0 ——没有感磁时的磁场强度(安/公分)(振幅值)， I_0 ——没有感磁时的电流(安)(有效值)， U_0 ——没有感磁时的扼流圈线卷的电压(伏)(有效值)； B_K ——在最大感磁信号下铁心的磁感应强度(高斯)(振幅值)， H_K ——在最大感磁信号下的磁场强度(安/公分)(振幅值)， I_K ——在最大感磁信号下的电流(安)(有效值)， U_K ——在最大感磁信号下的扼流圈线卷的电压(伏)(有效值)； $k = I_K / I_0$ ——负荷中电流倍数， $W_{\sim}$ ——每个扼流圈交流线卷的匝数， S_{cm} ——铁心的截面积(公分²)， l_{cm} ——磁导体的平均长度(公分)， S_0 ——铁心窗的截面积， l_w ——线卷一个线匝的平均长度(公分)， W_y ——主控线卷的匝数。

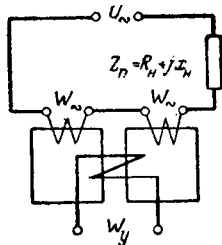


图 1

本计算适用于扼流圈线卷 $W_{\sim}$ 的串联线路(图 1)。

1. 求扼流圈铁心钢的体积

当图 1 所示线路中电压与电流作正弦变化时，可以写成下列方程：

a) 没有信号时

$$U_{\sim}^2 = (U_0 + I_0 X_H)^2 + I_0^2 R^2, \quad (1)$$

6) 信号最大时

$$U_{\sim}^2 = (U_{\kappa} + I_{\kappa} X_{\mu})^2 + I_{\kappa}^2 R_{\mu}^2 \quad (2)$$

扼流圈綫卷的有效电阻暫略去不計。

由于 $I_{\kappa} = I_0 k$, 并将方程 (1) 与 (2) 相減, 則

$$U_0^2 - U_{\kappa}^2 + 2X_{\mu}I_{\kappa}\left(\frac{U_0}{k} - U_{\kappa}\right) + I_{\kappa}^2(X_{\mu}^2 + R_{\mu}^2) \\ \left(\frac{1}{k^2} - 1\right) = 0. \quad (3)$$

由于

$$U = 4.44f2W_{\sim}S_{cm}B10^{-8},$$

則 (3) 式可改写成

$$S_{cm}^2 + \frac{2I_{\kappa}X_{\mu}\left(\frac{B_0}{k} - B_{\kappa}\right)}{8.88fW_{\sim}(B_0^2 - B_{\kappa}^2)10^{-8}} S_{cm} + \\ \frac{I_{\kappa}^2(X_{\mu}^2 + R_{\mu}^2)\left(\frac{1}{k^2} - 1\right)}{(8.88fW_{\sim}10^{-8})^2(B_0^2 - B_{\kappa}^2)} = 0. \quad (4)$$

从这个方程可以求出扼流圈鉄心的截面积:

$$S_{cm} = \frac{I_{\kappa}X_{\mu}\left(B_{\kappa} - \frac{B_0}{k}\right) \pm I_{\kappa}\sqrt{X_{\mu}^2\left(\frac{B_0}{k} - B_{\kappa}\right)^2 + Z_{\mu}^2}}{8.88fW_{\sim}(B_0^2 - B_{\kappa}^2)10^{-8}} \\ \left(1 - \frac{1}{k^2}\right)(B_0^2 - B_{\kappa}^2) \quad (5)$$

根式前面的負号要去掉, 因为 S_{cm} 不可能小于零。

从方程 $H_{\kappa}l_{cm} = \sqrt{2}I_{\kappa}W_{\sim}$ 中求出 l_{cm} 值, 并将其乘以方程 (5)。因此即得出扼流圈一个鉄心的鋼的体积 $V_{cm} = S_{cm}l_{cm}$:

$$V_{cm} = \frac{\sqrt{2}I_{\kappa}^2\left[X_{\mu}\left(B_{\kappa} - \frac{B_0}{k}\right) + \sqrt{X_{\mu}^2\left(B_{\kappa} - \frac{B_0}{k}\right)^2 + Z_{\mu}^2}\right]}{8.88fH_{\kappa}(B_0^2 - B_{\kappa}^2)10^{-8}} \\ \left[1 - \frac{1}{k^2}\right](B_0^2 - B_{\kappa}^2) \quad]。$$

由于負荷的視在功率 $P_i = I^2 Z_n$ 与 $X_n/Z_n = \sin \varphi$, 所以最后得出:

$$V_{cm} = \frac{1.6 \times 10^7 P_i \left[\sin \varphi \left(B_\kappa - \frac{B_0}{k} \right) + \sqrt{\left(B_\kappa - \frac{B_0}{k} \right)^2 + \sin^2 \varphi \left(1 - \frac{1}{k^2} \right) (B_0^2 + B_\kappa^2)} \right]}{f H_\kappa (B_0^2 - B_\kappa^2)} \quad (6)$$

如果負荷是純电阻, 則 (6) 式即可大大化簡:

$$V_{cm} = \frac{1.6 \times 10^7 P \sqrt{1 - \frac{1}{k^2}}}{f H_\kappa \sqrt{B_0^2 - B_\kappa^2}} \quad (7)$$

若是純感抗負荷則

$$V_{cm} = \frac{1.6 \times 10^7 P_i \left(1 - \frac{1}{k} \right)}{f H_\kappa (B_0 - B_\kappa)} \quad \circ$$

当 $k \gg 1$ 时 (6) 与 (7) 式可以稍稍化簡, 因为 $\frac{1}{k^2}$ 項与 1 比起来可以略去不計。

那么当 $k \gg 1$ 时, 对于阻抗負荷得出

$$V_{cm} = \frac{1.6 \times 10^7 P_i \left[\sin \varphi \left(B_\kappa - \frac{B_0}{k} \right) + \sqrt{\sin^2 \varphi \left(B_\kappa - \frac{B_0}{k} \right)^2 + (B_0^2 - B_\kappa^2)} \right]}{f H_\kappa (B_0^2 - B_\kappa^2)} \quad (6')$$

同时相应的对于純电阻負荷則为

$$V_{cm} = \frac{1.6 \times 10^7 P}{f H_\kappa \sqrt{(B_0^2 - B_\kappa^2)}} \quad \circ \quad (7')$$

当 $k = 4$ 时, 由于略去 $\frac{1}{k^2}$ 項而产生的誤差不超过 3%。

(6) 与 (7) 式表明, 鉄心的鋼的体积与負荷的功率成正比, 与电源頻率和交变磁場强度成反比, 但是此时与决定于选定的交变磁場强度和必需的負荷电流倍数的 B_κ 和 B_0 ,

的比值有关。

下面将可看出，磁放大器最佳参数的选择问题是与交变磁场和稳定磁场强度的选择紧密相关的。

铁心的钢的体积，可以借助于铁心材料的特性曲线族 $B_{\sim} = \varphi(H_{\sim} H_y)$ (圖 2) 按公式 (6) 或 (7) 求出。铁心的钢的体积按材料特性曲线族的两条曲线计算：当 $H_y = 0$ 时按主磁化曲线计算，当 $H_y = H_{y\text{ макс}}$ 时按曲线 $B_{\sim} = \varphi(H_{\sim})$ 计算。在曲线 $B_{\sim} = \varphi(H_{\sim})$ 上给出一工作点 (例如：圖 2 中的点 A，那里 $H_{y\text{ макс}} = 4$ 安/公分)，求该点上的 H_K 与 B_K ，然后求等于 H_K/k 的 H_0 ，并按主磁化曲线求 B_0 的相应值。求出 H_K ， B_K 与 B_0 ，再按公式 (6) 或 (7) 求铁心体积。对曲线 $B_{\sim} = \varphi(H_{\sim}, H_{y\text{ макс}})$ 上其它数点也如此作图，然后作出铁心体积与 B_0 数值 (或 H_K 或 H_0 ，因为它们都是相連系

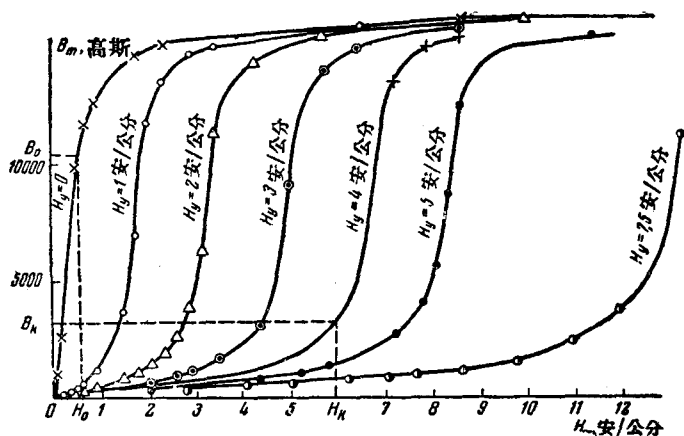


圖 2

● $H_{y\text{ макс}}$ — $H_{y\text{ 最大}}$ 。 — 譯者

的)的关系曲线。这个用曲线表示的铁心体积的关系, 在 B_0 (H_0 与 H_K)的某一值下是最小的。

鋼的單位体积关系曲线 $V_{cm}/P_i = F_1(B_0)$ [或 $F_2(H_0)$ 或 $F_3(H_K)$], 当 $H_y = \text{常数}$ 时可以按最大感磁磁場强度 $H_{y, \max}$ 的各个值作出, 其形状如图 3 所示。对于不同的負荷电流倍数, 关系曲线 $V_{cm}/P_i = F_1(B_0, H_y)$ 将是不同的。鋼的單位体积随电流倍数的增大而增大。因此, 在給定的負荷电流倍数与給定的負荷 $\cos \varphi$ 下, 鋼的單位体积与选定的 B_0 (或 H_0 或 H_K) 和 H_y 有关, 并且在某一 B_0 值为最小, 这时 $H_y = \text{常数}$ 。

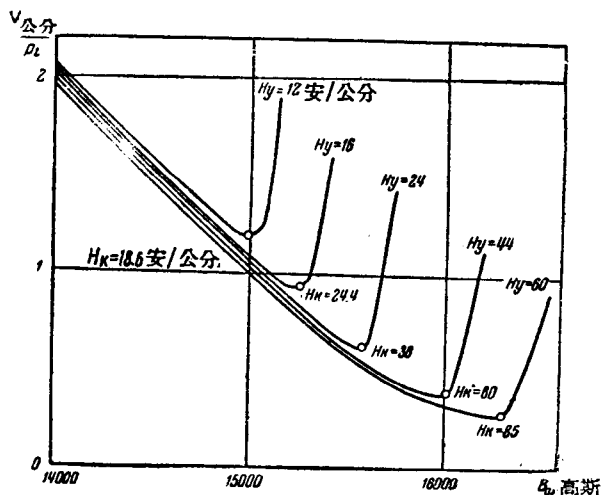


圖 3

如果借助于某一函数取曲线族 $B_{\sim} = \varphi(H_{\sim}, H_y)$ 的近似值, 則按公式 (6) 与 (7) 将可用解析法求出这个最小值。

鉄心体积依 H_y 的量而單調地改变, 随 H_y 的增大而减小。

必須指出特性綫族 $V_{cm}/p_i = F(B_0, H_y)$ 的下列性質很重要。這是在一系列計算中發現的。

對於某種磁性材料來講，如電流倍數與 $\cos \varphi_k$ 已給定，並當 B_0 和 H_k 改變而 $H_y = \text{常數}$ ，鐵心體積每項均達到其最小值。這時對該種材料來講， H_k/H_y 的比值實際上不變而幾乎與 H_y 的量無關。上述比值以 n_{onm} 來表示。

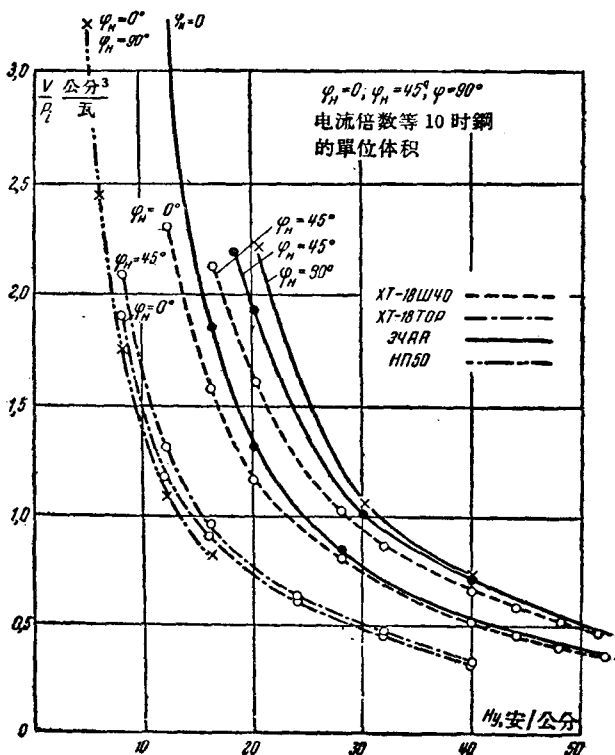


圖 4

● n_{onm} ——最佳的比值。——譯者

对 Э4АА, XT-18 与 H 50 材料来讲, 当 $k=10$ 时 $n_{onm} \approx 1.4$ (见附录 II)。

严格说来, 对于给定的电流倍数, n_{onm} 并不是常数。但是, 在工作磁场强度为 10-15 安/公分时, 在实际计算中这个量可以被视作常数。

这样最好是每种磁性材料在最佳值 n_{onm} 的条件下按不同电流倍数与 $\cos \varphi_H$ 来作曲线图 $V_{cm}/P_i = \varphi(H_y)$ 。作图时可利用公式 (6) 与 (7), 将两式中的 H_K 值换以 $n_{onm} H_y$ 。

钢的单位体积与 H_y 的关系非常近似于双曲线。

在 n_{onm} 的条件下, 有效负荷电流倍数为 5 与 $10 \cdot \varphi = 90^\circ$

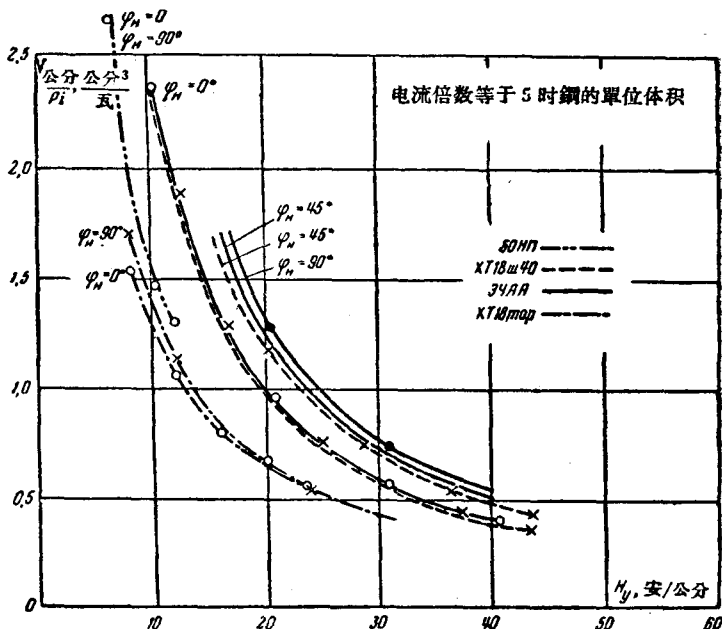


圖 5

与 $\varphi_n = 45^\circ$ 时, 34AA、XT-18 与 H 50 材料的关系曲线图 $V_{cm}/P_i = \varphi(H_y)$ 如图 4 与图 5 所示。

图 6 所示是这些材料的主要磁化曲线。

在讲述求铁心体积一节结束之际应该指出, 磁放大器的计算, 有时要依据放大器负荷与放大器线圈内阻抗在最大信号下的匹配条件, 如在参考文献[1]中的例子。

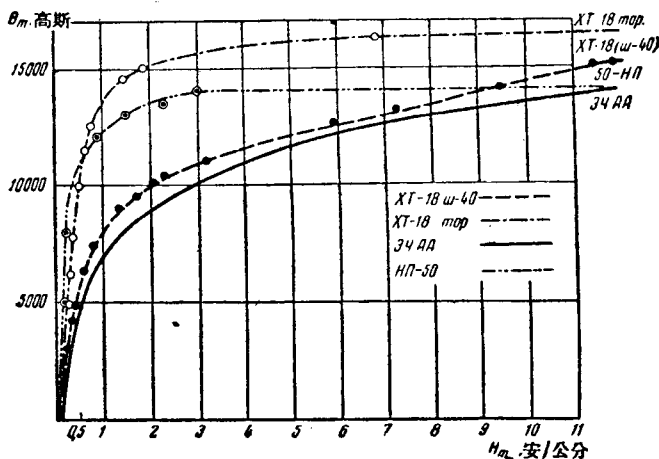


图 6

但是可以指出, 按不同 H_y 值得出钢的最小体积, 就提供了选择负荷与放大器电阻间不同比值的条件。此时, Z_n 与 X_{gp} 之间的最佳比值依量 H_y 与铁心材料而改变。

现在就讲一下这问题。扼流圈线圈的感抗 X_{gp} 可按下式得出:

$$X_{gp} = 2 \times 2\pi f \mu \frac{0.4\pi W^2}{l_{cm}} S_{cm} 10^{-8}。$$

● 从图 4 中 H1750 曲线所得出的钢的体积可以乘以 1.256。

由于

$$S_{cm} = \frac{V_{cm}}{I_{cm}}, \text{ 而 } I_{cm} = \frac{\sqrt{2} I_K W}{H_K}$$

同时 $\mu = \frac{B_K}{0.4\pi H_K}$, 得出

$$X_{gp} = 2\pi f V_{cm} \frac{H_K B_K}{I_K^2} 10^{-8} \text{ 欧姆。} \quad (8)$$

为了简便起见, 现在来分析负荷是纯电阻时的情况。这时将 (7) 式代入 (8) 式则得:

$$X_{gp} = R_u \frac{B_K}{\sqrt{B_0^2 - B_K^2}} \quad (9)$$

或

$$\frac{X_{gp}}{R_u} = \frac{B_K}{\sqrt{B_0^2 - B_K^2}} \quad (10)$$

在相应于铁心重量最小的放大器的最佳工作状态下, 得出的比值与铁心的材料和选定的 H_y 值有关。例如, 在主控磁场强度 $H_y = 20$ 安/公分时, 对 H 50 合金

$$\frac{X_{gp}}{R_u} \text{ 最佳} = 0.4。$$

在 $H_y = 20$ 安/公分时, 对 ЭЧАА 合金

$$\frac{X_{gp}}{R_u} \text{ 最佳} = 0.72。$$

在 $H_y = 23.6$ 安/公分时, 对 XT-18 合金

$$\frac{X_{gp}}{R_u} \text{ 最佳} = 0.61。$$

从这些例子中可以看出, 负荷的匹配条件以磁放大器的计算为基础是不正确的。

2. 决定感磁磁场强度

上面讲过, 铁心体积随着感磁磁场强度的增大接近于双

曲綫的規律而減小。

因此，選擇 H_y 的值就要尽可能大些。但是 H_y 的致放大系数的減小。

現在，按 H_y 來求鐵心的控制功率值 P_y 。

我們知道

$$P_y = I_y^2 R_y。$$

此處

$$R_y = \rho \frac{l_{wy} W_y}{S_{np}},$$

式中 $S_{np} = \frac{S_{oy} k_s}{W_y}$ 。那麼

$$P_y = \rho \frac{l_{wy} W_y^2 I_y^2}{S_{oy} k_s},$$

式中 S_{oy} ——控制綫卷所占的鐵心窗的面積， l_{wy} ——控制綫卷一個綫匝的平均長度， k_s ——填充系数。

由於

$$W_y I_y = H_y l_{cm}$$

所以得出

$$P_y = \rho \frac{H_y^2 l_{cm}^2 l_{wy}}{k_s S_{oy}}。 \quad (11)$$

此式還不能用來分析，因為 l_{cm} 、 l_{wy} 與 S_{oy} 值隨鋼的體積而變，同時鋼的體積又隨 H_y 而變。

為了搞清這些關係，就把問題轉到扼流圈式磁放大器的鐵心結構方面來。

現在來分析由 III 型片疊成的放大器鐵心。

III 型片的立體圖如圖 7 所示。圖中也同樣表示出綫卷在由雙鐵心組成的磁放大器中的位置。

這種結構的鐵心可以寫出下列的關係：

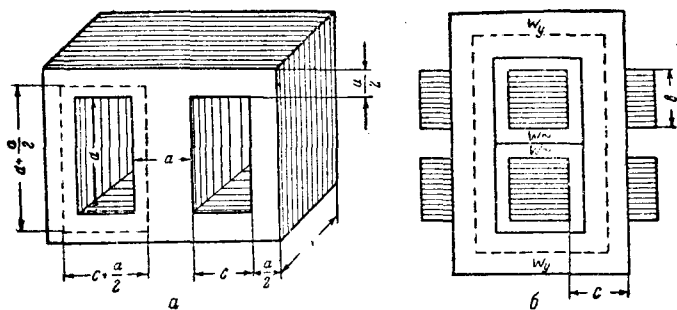


圖 7

$$l_{cm} = 2(a + c + d), \quad (12)$$

$$S_{cm} = ab, \quad (13)$$

$$S_0 = cd = S_{oy} + S_{o\sim}, \quad (14)$$

$$b = \frac{V}{l_{cm}a}. \quad (15)$$

如果交流綫卷与感磁綫卷所占的鉄心窗面积間的比为

$$\frac{S_{o\sim}}{S_{oy}} = \beta, \quad (16)$$

則

$$S_{o\sim} = \beta \frac{S_0}{1 + \beta}, \quad (17)$$

$$S_{oy} = \frac{S_0}{1 + \beta}, \quad (18)$$

$$l_{w\sim} = 2 \left(a + b + \frac{2c\beta}{1 + \beta} \right), \quad (19)$$

$$l_{wy} = 2 \left(a + 2b + \frac{2c(3\beta + 1)}{1 + \beta} \right). \quad (20)$$

除了这些純結構上的关系外，在計算磁放大器时再可以利用放大器交流綫卷的溫升条件，这个条件可以用来計算綫卷 $w_{\sim}$ 所需鉄心窗的最小面积。

这个条件可以用下式表示：

$$S_{o \sim k_s} = \frac{I_K W \sim}{\Delta}$$

或

$$S_{o \sim k_s} = \frac{H_K l_{cm}}{\sqrt{2} \Delta}, \quad (21)$$

式中 Δ ——最大的允許电流密度 (安/公分²)。

那么, 再轉回来求控制功率, 将方程 (14) 与 (21) 的 S_{oy} 值代入方程 (11):

$$P_y = \frac{H_K^2 l_{cm}^2 l_{wy} \Delta \rho \sqrt{2}}{\sqrt{2} S_0 \Delta k_s - H_K l_{cm}}. \quad (22)$$

从方程 (14)、(16) 与 (21) 中求出 $\beta = \left(\frac{S_0 \sqrt{2} \Delta k_s}{H_K l_{cm}} - 1 \right)^{-1}$, 将此值代入方程 (20), 同时利用方程 (15), 那么

$$l_{wy} = 2 \left[a + \frac{2 V_{cm}}{a l_{cm}} + 2c \left(\frac{2 H_K l_{cm}}{\sqrt{2} \Delta k_s S_0} + 1 \right) \right]. \quad (23)$$

由于放大器的工作状态必需在值 n_{onm} 下选择, 所以方程 (22) 与 (23) 中的 H_K 值代之以 $n_{onm} H_y$ 值; 这时加以代换, 同时将 (23) 式代入 (22) 式, 最后得出

$$P_y = \frac{2 \sqrt{2} \rho \Delta H_y^2 l_{cm}^2}{\Delta \sqrt{2} k_s S_0 - n_{onm} l_y l_{cm}} \left[a + \frac{2 V_{cm}}{a l_{cm}} + 2c \left(\frac{\sqrt{2} n_{onm} H_y l_{cm}}{\Delta k_s S_0} + 1 \right) \right]. \quad (24)$$

此式完全表示出在一定的鉄心叠片尺寸下控制功率与控制磁場間的关系。

为了利用此式計算放大器, 必須作一 $k_y = \frac{P_u}{P_y}$ 与 H_y 的关系曲綫圖, 在作圖时要考慮到鉄心的 V_{cm} 随 H_y 的改变而改变。鉄心的 V_{cm} 值可以从圖 4 与 5 所示的曲綫圖中求出, 或从与其类似的圖中依材料、电流倍数与 $\cos \varphi_u$ 而求出。如果放大系数已給定, 求出的感磁磁場强度的可能最大值是單