

特种铁芯器件设计

(H)

1	中频变压器设计		实例 (1-4) : P4/9	P1-1/9	P198-206
2	脉冲变压器设计		实例 (××4.720.F90/02	P2-1/3	P207-209
3	环形(自耦)变压器设计		××4.052.006	P3-1/8	P210-225
	实例A	输入127V/50C	选冲片壳式铁芯D42-0.35	P3-8/12	
		输出115V/0~140V	××4.722.A90/00.C		
	实例B	输入115V/400C	选环形带绕铁芯D310-0.20	P3-13/16	
		输出0~130V/0.48A	××4.722.A90/00.D		

编著：姚文生 2006年1月 上饶

1、中频变压器设计

一、概述

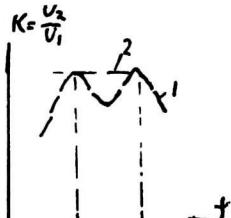
在无线电接收机中，所接收射频信号频率范围很广要将这样宽带均匀放大，在技术上很困难。因此，常采取超外差技术，设法使其得到一个差频，即得到一个很窄的中间频带来进行放大→这种放大器称中频放大器。它可以简化放大系统的装置，并能显著提高接收机的灵敏度。

中频变压器——在频带放大器中的两个耦合的调谐回路作用是抑

制上、下频率，而且允许中间频带通过。

∴亦称中频滤波器。

频带放大器指标：放大信数，选择性，失真度，工作稳定性，体积小。
二、中频变压器基本特性与要求：



频率放大器的
1、实际谐振曲线
2、理想谐振曲线
(图一)

(1) 调谐频率：频率放大器是固定频率（中频）调谐的

中频频率低——↓选择性低、放大系数↓

通常中波中频为 450~480KC

长波中频为 110KC

短波中频为 1600KC

超短波中频为 10~30MC

雷达中频为 30~110MC

(2) 放大系数

$$K_C = \frac{V_2}{V_1} = \frac{\eta}{1 + \eta^2} \times G_M \cdot \omega_0 [L_1 L_2]^{0.5} \cdot [Q_1 Q_2]^{0.5} \quad (1)$$

通常 $L_1 = L_2 = L$, $L_1 L_2$ 及 $Q_1 Q_2$ 为初次级的电感和 Q 值, $Q_1 = Q_2 = \frac{1}{\omega C_r}$,

ω_0 中频的角频率, G_M —电子管的互导, η —相对耦合量 $\eta = KQ$

$$K_0 = \frac{\eta}{1 + \eta^2} \times G_M \cdot \frac{L}{C_r} = \frac{\eta}{1 + \eta^2} \times G_M \cdot R_o \quad R_o = \frac{L}{C_r} \text{ 回路的谐振阻抗} \quad (2)$$

(3) 选择性——排斥通频带以外频率的能力

通常以一定失谐时的放大量与谐振时的放大量的比值表示。

如在失谐 Δf_1 时放大量为谐振时放大量的 $1/Q$, 则 Q_1 即表示

放大器的选择性。 $Q_1 \uparrow$ ——选择性愈好。

(4) 通频带 Δf : Δf 是频带放大器的一个极重要指标, Δf 应等于最高的调制频率两倍,

收音机中 $\Delta f=4\sim 12$ KC。

(5) 失真度：(频率失真，线性失真，非线性失真)

主要是频率失真，指通频带内放大量的变化，通常 Δf 及 频带的电平 δ 来表示

$$\text{即 } \frac{1}{\delta} = \frac{y_{\min}}{y_{\max}} \text{ 通频带内是小、最大放大量，以及有 } \frac{y_{\min}}{y_{\max}} = \sqrt[n]{\frac{1}{\delta}}$$

(6) 矩形系数： $K_n = \frac{\Delta f_{0.7}}{\Delta f_{0.1}}$ 放大量降到 0.7 时，通频带与放大量降到 0.1 时，
频带宽度的比值。 (3)

(7) 稳定性：

三、中频变压器参数确定：

变压器包括两个调谐并耦合，谐振电路、回路的参数如 L、C、Q 及耦合系数。

(1) 电容量选择：

若 C 选择的过大，则回路波阻抗 $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ 很小，谐振阻抗 $R_s = P Q^*$ 小且 $K_o \downarrow$

若 C 选择的过小，当替换电子管时，C 极的谐振曲线变形，这是回路电容器的电容量。

占回路总电容量的比例减少，因而影响大，C ↓ 愈小，失谐愈大。

当 $f_0 < 1$ MC 时，选 $C = 100 \sim 200$ P

$f_0 < 1$ MC 时，选 $C = 100$ P

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{1}{3Q} \quad \begin{aligned} \Delta C & \text{——电子管极间电容的变量 (20\%)} \\ C & \text{——回路的总电容量} \\ Q & \text{——每一回路的品质因数} \end{aligned} \quad (4)$$

(2) 电感量与品质因素的确定

通常 $L_1 = L_2 = L$, $Q_1 = Q_2 = Q$ (根据确定的中频率计算)

Q 按同时满足选择性与通频带的要求而定。

(3) 初次级的耦合系数 $\eta = KQ$ (5)

耦合太松—每级放大量很小谐振曲线形状不好，偏离理想曲线较远。

耦合太紧—谐振曲线有一个凹陷，出现两个峰值

\therefore 耦合系数应当同时满足 δ 和 Δf 来选择

最佳的耦合是谐振曲线接近矩形的耦合。

四、中频变压器参数计算：(参看无线电接收设备—5、u 西福罗夫)

$$\text{当 } \eta \leq 1 \text{ 时，通频带电平的比值，} \frac{y_{\min}}{y_{\max}} = \frac{4\eta^2}{\sqrt{(1 - X_1^2 + \eta^2) + 4X_1^2}} \quad (6-1)$$

$$y \geq 1 \text{ 时}, \frac{y_{\min}}{y_{\max}} = \frac{2\eta}{\sqrt{(1-X_1^2+\eta^2)+4X_1^2}} \quad (6-2)$$

$$\text{通频带边界上的相对失谐量 } X_1 = \frac{\Delta f}{f} Q$$

①当给定 Q 、 f_0 、 Δf 及计算通频率的电平 $\frac{y_{\min}}{y_{\max}}$ 就可以，求出 η 及计算出回路的耦合系数 $K = \eta / Q$

②当给定谐振曲线形状即 η 及 $\frac{y_{\min}}{y_{\max}}$ 就可以

从右图曲线族中，求得到

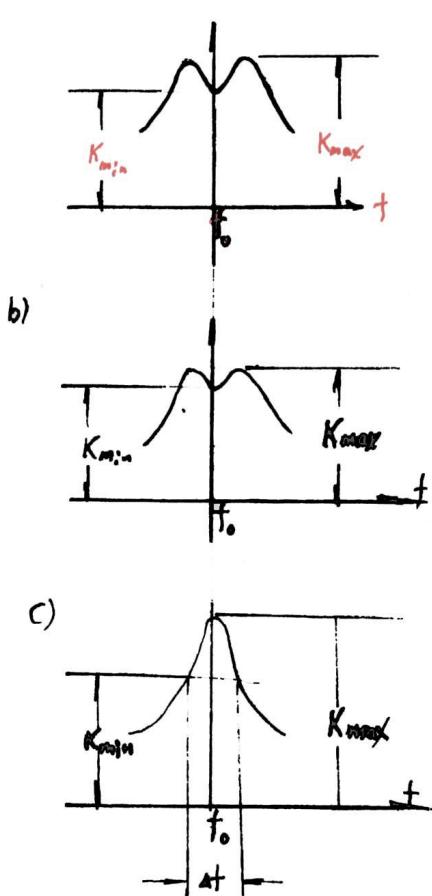
$$X_1 = \frac{Q \cdot \Delta f}{f_0} \text{ 再根据给定的 } f_0$$

Δf ，亦可求得 Q 。

通常 $\eta = 0.5 \sim 1$ 而最常用 $\eta = 1$

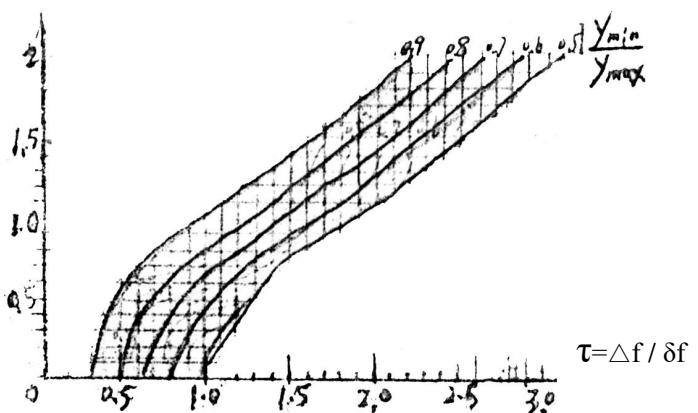
$$\eta = KQ$$

a) 出现双峰



图三，耦合回路三种谐振曲线

η_{onm} 为最佳耦合系数



图二 非最佳品质因数时，计算 η 的曲线

a) 为最佳曲线、 Q 最大，选择性最好，但实际上，不允许去利用最高选择性，

最小的纵坐标 $X=0$, $y_{\min}=1$

$$\text{最大的纵坐标 } X=0, y_{\max} = \frac{1+\eta^2}{2\eta}$$

$$\frac{y_{\min}}{y_{\max}} = \frac{2\eta}{1+\eta^2}$$

$$\eta_{\text{onm}} = \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{y_{\min}}{y_{\max}} \right)^2} \right) / \frac{y_{\min}}{y_{\max}} \quad (7)$$

当给定通频率电平 $(\frac{y_{\min}}{y_{\max}})$ 时，即可以得到 η_{onm} 。

在通频带的边界频率时，即当 $X=X_1=Q\Delta f/f$ 时，谐振曲线的纵坐标等于中频时的纵坐标。因此，可解得 X 的值为 $X=X_1=Q\Delta f/f = 2(\eta^2 - 1)$ 令 $\eta = \eta_{om}$ 可得 (8)

$$\text{最佳品质因素 } Q_{om} = fo \sqrt{2(\eta_{om}^2 - 1)} / \Delta f \quad (9)$$

为了放大器工作稳定，↓电管 R_2 及极间电容的旁路影响 R_s 的数值不宜过大，可按经验

$$\text{公式确定: } R_s \leq \frac{1}{4} R_2 \quad (10-1) \quad R_s \leq \frac{0.32}{\omega \cdot C_{ga} \cdot G_m} \quad (10-2) \quad (10-1/2)$$

计算上述二式取最小 R_s ， C_{ga} ——电管极间电容

从而得回路电容量:

$$C = \frac{L}{R_s \cdot r} = \frac{\omega L}{R_s \omega r} = \frac{Q}{R_s \cdot \omega} \quad (11)$$

同样可得回路电感: 通常电感线圈的品质因素:

$$L = \frac{R_s}{\omega_Q} = \frac{\rho}{\omega} \quad \begin{array}{l} \text{中长波 } Q=50 \sim 100 \\ \text{短 波 } Q=100 \sim 500 \end{array} \quad (12)$$

$$\rho = \frac{1}{\omega C} = LW \quad \rho = \frac{R_s}{Q} \quad L_C = \mu_C \cdot L_0 \quad Q_C = \mu_C \cdot Q_0$$

当 $\eta = KQ = 1$ 时，放大器增益最大

$KQ > 1$ 时，谐振曲线出现双峰

$KQ < 1$ 时，谐振曲线顶端较快

有时采用折衷的方法 $KQ=0.8 \sim 1$ (在一级频带放大器中)

前面一对回路，用松耦合，选择性好，后面一对用过耦合， $KQ > 1$ ，使曲线出现双峰，使峰上凹陷弥补，但 $KQ > 1$ ，有双峰调谐困难，故实际上尽可能避免采用，但当耦合太松时，虽然只有单峰便于调谐，但增益较低。

五、中频变压器参量计算实例:

例一，给定：频带放大器调频放大器 $f=120\text{KC}$ ，通频带 $\Delta f=4\text{Kc}$ 频带电平 $\frac{1}{\delta} = 0.7$

放大器数 $K_O > 8000$

对选择性要求是调谐 9KC 时，放大量至少要降低到 $\frac{1}{\delta_2} = \frac{1}{500}$

采用电子管型号为 $6K3$ ，根据结构条件，确定回路的品质因数 $Q \leq 70$

解：根据给定的 K ，选定放大器用两级放大

①每级有一对耦合回路，再加与混频级耦合有一对回路，因此，回路总对数为 $n=3$

$$\text{每对回路通频带电平为 } \frac{y_{\min}}{y_{\max}} = \sqrt[3]{\frac{1}{\delta}} = \sqrt[3]{0.7} = 0.89$$

②选取 $\eta=1$, 从图二及 $\frac{y_{\min}}{y_{\max}} = 0.89$ 求得: 每对谐振回路的品质因数为

$$\frac{Q\Delta f}{f} = 1 \quad Q = \frac{\Delta f}{\Delta f} = \frac{120}{4} = 3 < 70 \quad \text{上面计算合适}$$

③根据电子管内阻 R_i 的旁路作用及工作稳定性, 可以确定每一回路的谐振阻抗的允许值:

$$R_3 \leq \frac{1}{4} R_i = \frac{1}{4} \times 8 \times 10^5 = 2 \times 10^5 \Omega$$

$$R_3 \leq \sqrt{\frac{0.32}{\omega C_{ga} \cdot G_M}} = \sqrt{\frac{0.32}{6.28 \times 120 \times 10^3 \times 0.003 \times 10^{-10} \times 2 \times 10^{-3}}} = 2.66 \times 10^5 \Omega$$

$$\text{取 } R_3 = 2 \times 10^5 \Omega$$

④计算回路的 $L \cdot C$

$$\text{回路的特性阻抗为 } \rho = \frac{R_3}{Q} = \frac{2 \times 10^5}{30} = 6700 \quad P = \frac{1}{\omega \rho} = \omega L$$

$$\therefore \text{可得 } C = \frac{1}{\omega \rho} = \frac{1}{6.28 \times 120 \times 10^3 \times 6700} = 200 \times 10^{-12} \text{ 法} = 200 \text{ pf}$$

$$L = \frac{f}{\omega} = \frac{6700}{6.28 \times 120 \times 10^3} = 8.9 \text{ mh}$$

从替换电子管时, 维持曲线的稳定性 $C = 200 \text{ pf}$ 是合适的。

⑤求系数:

$$K_0 = \eta / Q = \frac{1}{30} = 0.033$$

$$\text{互感: } M = K L = 0.033 \cdot 8.9^{-3} (\text{h}) = 293 (\mu \text{h})$$

⑥每级放大系数:

$$K_0 = \frac{\eta}{1 + \eta^2} \cdot R_3 \cdot G_M = \left(\frac{1}{1+1} \right) \times 2 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3} = 200$$

$$\text{两级放大系数 } K = K_0^2 = (200)^2 = 40000 > 8000 \quad \text{满足要求}$$

级数选择是正确的

由于 K 超过太多, \therefore 为了工作更稳定, 可适 $\uparrow C$

$$\text{⑦当失谐 } q_{KC} \quad \text{参数 } X = X_2 = \frac{\Delta f}{5} \times Q = \frac{2 \times 9}{120} \times 30 = 4.5$$

按 (6-2) 式可得失谐 $9K_C$ 时, 相对放大量为

$$\frac{y_{\min}}{y_{\max}} = \frac{2\eta}{\sqrt{(1 - X^2 + \eta^2)^2 + 4X^2}} = \frac{2 \times 1}{\sqrt{1 - (4.5)^2 + 1^2 + 4 \times 4.5^2}} = \frac{1}{10.1}$$

三对耦合电路，总的衰减为 $\delta_2 = \frac{y_{\max}}{y_{\min}} = (10.1)^3 = 1030 > 500$ 因此满足选择性条件

例二，计算中频变压器

给定：频带放大器调谐频率 $f_0 = 465\text{Kc}$ ，通频带 $\Delta f = 6\text{KC}$ ，通频带电平 $\frac{1}{\delta} = 0.7$

放大系数 $K \geq 3000$ 选择性失调 9KC ，放大量降到最大的 $\frac{1}{10}$

电子管型号为：6K7 回路品质因素 $Q \leq 50$

解①取放大器的分级系数为 2 级，并取回路因数为 2，则每对回路通频带的电平为

$$\frac{y_{\min}}{y_{\max}} = \sqrt{\frac{1}{\delta}} = \sqrt{0.7} = 0.837$$

②取 $Q=50$ ，计算通频带边界上的变数

$$X = \frac{Q\Delta f}{f} = \frac{50 \times 6}{465} = 0.465 \quad \text{查图=} \quad \eta = 0.55$$

③选择回路电感量为 150 时 P_f ，从工作稳定性是合适的

$$\rho = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{6.28 \times 465 \times 10^{13} \times 150 \times 10^{-12}} = 2280 \quad (\Omega)$$

$$R_o = \rho Q = 2280 \times 50 = 1.14 \times 10^5 \quad (\Omega)$$

“6K7”的内阻 $R_i = 6 \times 10^5 \Omega$ 而 $R_o < \frac{1}{4} R_i$ ，因此选 $C = 150 \mu F$ 是合适的。

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(6.28 \times 465 \times 10^3)^2 \times 150 \times 10^{-12}} = 0.795^{-3} (h) = 0.795^{\mu h} = 795 \mu h$$

④ $K = \eta / Q = 0.55 / 50 = 0.011$

$$M = KL = 0.011 \times 775^{\mu h} = 8.55^{\mu h}$$

$$⑤ K_o = \frac{\eta}{1 + \eta^2} \times G_M \cdot R_o = \frac{0.55}{1 + 0.55^2} \times 1.65 \times 1.14 \times 10^5 = 79.4$$

两级的放大系数为 $K = K_o^2 = 79.4^2 = 6300 > 3000 \therefore$ 选择二级放大是正确的

$$⑥ \text{考核选择性，当失谐 } 9\text{KC} \text{ 时，变数 } X \text{ 为 } X = X_2 = \frac{Q\Delta f}{f} = \frac{50 \times 2 \times 9}{465} = 1.95$$

$$\frac{y_{\min}}{y_{\max}} = \frac{4\eta^2}{\sqrt{(1 - X^2 + \eta^2)^2 + 4X^2}} = \frac{4 \times 0.55^2}{\sqrt{(1 - 1.95^2 + 0.55^2)^2 + 4 \times 1.95^2}} \therefore \delta_2 = 3.7$$

两级回路的衰减为 $\delta_2 = 3.7^2 = 13.7 > 10 \therefore$ 可选的级数 Q 可以保证所需的选择性

例三，计算电视接收机用的频带放大器

$$f = 10\text{MC} \quad \Delta f = 2.5\text{Mc} \quad \frac{1}{\delta} = 0.7 \quad K \geq 100 \quad Q < 30 \quad C_{\min} \leq 30^{\mu f}$$

设定：将用 6K4 管子， $R_i = 10 \times 10^5 \Omega$ ， $G_m = 0.009$ 安/伏， $C_{ga} = 0.015 \mu f$

解：（1）级数和回路对数为 2

$$\text{每级通带电平 } \frac{y_{\min}}{y_{\max}} = \sqrt{\frac{1}{\delta}} = \sqrt{0.7} = 0.837$$

$$(2) \eta_{\text{onm}} = \frac{1 + \sqrt{(1 - y_{\min}/y_{\max})^2}}{y_{\min}/y_{\max}} = \frac{1 + \sqrt{1 - 0.837^2}}{0.837} = 1.85$$

$$Q_{\text{onm}} = \frac{f \sqrt{2(\eta^2_{\text{onm}} - 1)}}{\Delta f} = \frac{10 \sqrt{2(185^2 - 1)}}{2.5} = 8.8 < 30$$

(3) ∵ Q_{onm} 较低, ∴选取 C 应取最大值 即取 $C=30^{\text{pf}}$

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(6.28 \times 10^7)^2 \times 30 \times 10^{-12}} = 8.45 \mu \text{h}$$

$$(4) K = \frac{\eta}{Q} = 1.85/8.8 = 0.21 \quad M = KL = 0.21 \times 8.45 = 1.77 \mu \text{h}$$

$$(5) R_s = \rho Q = \frac{Q}{\omega C} = 8.8 / (6.28 \times 10^7)^2 \times 30 \times 10^{-12} = 4650 (\Omega)$$

$$(6) K_o = \frac{\eta}{1 + \eta^2} \times G_M \cdot R_s = \frac{1.85}{1 + 1.85} \times 9 \times 10^{-3} \times 4650 = 17.5 \\ K = K_o^2 = 17.5^2 = 305 > 100 \quad \text{因此, 级数的选择是正确的}$$

六、中频变压器结构及其计算

按调谐方法分: A、调电容式 B、调电感式

例四, 计算调电感式的中频变压器

设定: $f_o = 405 \text{Kc}$ $C = 200^{\text{p}}$ $K_1 = 0.03$ $Q_L \geq 80$ $S_c = 3.5 \times 3.5 = 12.25 \text{ cm}^2$

$$\text{解: (1)} L_C = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 \cdot C} = 1 / (6.28 \times 465 \times 10^3)^2 \times 200 \times 10^{-12} = 615 \mu \text{h}$$

取骨架直径 $D_o = 12$ 线圈分二段绕, 每段长 $L = 3.5 \text{ m/m}$

两段中心间隙 1.5, 绕组厚度暂定为 $t = 4$

则绕组外径为 $D = D_o + 2t = 12 + 2 \times 4 = 20 \text{ m/m}$

选取矽基铁粉芯 $D_C = 9.6 \text{ m/m}$

表 3-8 ($\mu = 11$)

$$\frac{D}{D_C} = \frac{20}{9.6} = 2.16 \quad K_\mu = 0.18 \quad * \sum l = 21 + 1.5 = 2 \times 3.5 + 1.5 = 8.5$$

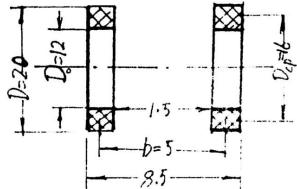
$$\frac{\sum l}{D_C} = \frac{8.5}{9.6} = 0.91 \quad \text{查图 3-33/34 导线系数之修正值 } K = 0.75$$

$$\mu_C = K_\mu \cdot K \cdot \mu = 0.18 \times 0.75 \times 11 = 1.5$$

$$\text{绕组的电感量: } L = \frac{L_C}{\mu_C} = \frac{615 \mu \text{h}}{1.5} = 410 \mu \text{h}$$

加屏蔽罩后 $L \downarrow 15\%$ \therefore 绕组电感要加上 15%，即 $L' = 410 \times 1.15 = 471 \mu H$

绕组分两段绕制，按 $\Phi 3-11$ 查得两段耦合系数为 $K=0.5$



$$\frac{b}{D_{cp}} = \frac{5}{16} = 0.3$$

$$\text{按 } \Phi 3-18 \text{ 计算每段所需的电感量: } S=2 \text{ (二段)} \quad L'_c = \frac{L}{2S-1} = \frac{470}{3} = 156 \mu H$$

(2) 线圈匝数的计算 [参见: 本书 (F) 电感线圈结构与计算]

$$\frac{t}{D} = \frac{4}{20} = 0.2 \quad \frac{1}{D} = \frac{3.5}{20} = 0.175 \quad l = (1.15 \sim 1.25) N_{do}$$

查 $\Phi 3-4$ 多层线圈形状系数 $F=8.2$

$$\text{多层线圈的匝数} \quad N = \sqrt{\frac{L \times 10^3}{F \times D}} = \sqrt{\frac{156 \times 10^3}{8.2 \times 2.0}} = 98 \text{ 匝} \quad L - \mu H \quad D - cm$$

选取 7×0.07 单丝漆包绞股线 (d_{jo}) $d_{jo}=0.34$ m/m

取折弯系数 $Z=4$ 计算绕组尺寸:

$$t_{g\psi_o} = \frac{ZL}{\pi D_o} = \frac{4 \times 3.5}{3.14 \times 12} = 0.37 \quad \Psi_o = 20.2^\circ \rightarrow \sin \Psi_o = 0.35$$

$$\text{角节距 } \beta = \frac{2d_o}{D_o \cdot \sin \Psi_o} = \frac{2 \times 0.34}{12 \times 0.345} = 0.164$$

$$\text{循环数 } N_\psi = N \left(1 - \frac{\beta}{2\pi}\right) = 98 \left(1 - \frac{0.164}{2\pi}\right) = 95$$

$$\text{绕组厚度 } t = 1.5 Z d_o N_\psi \frac{\beta}{2\pi} = 1.5 \times 0.34 \times 4 \times 95 \left(\frac{0.164}{2\pi}\right) = 5 \quad (M/M)$$

比暂定 $t=4$ 略大, 进行再修正计算

$$D' = D_o + 2t' = 12 + 2 \times 5 = 22 \quad \frac{t'}{D'} = \frac{5}{22} = 0.227 \quad \frac{1}{D'} = \frac{3.5}{22} = 0.16$$

$$\text{从图表 } \Phi 3-4 \text{ 查得 } F=7.8 \quad \therefore L = FN^2 \cdot D \times 10^{-3} = 7.8 \times 98^2 \times 22 \times 10^{-3} = 163 \mu H$$

$$N' = \sqrt{\frac{L}{L'}} = 98 \times \sqrt{\frac{156}{163}} = 96 \text{ (匝)} \quad D'_{cp} = 12 + 5 = 17 \quad (m/m)$$

(3) 计算线圈的品质因素

$$t_{g\psi_{cp}} = \frac{Zl}{\pi D_{cp}} = \frac{4 \times 3.5}{3.14 \times 17} = 0.26 \quad \Psi_{cp} = 17.5^\circ \quad \cos \Psi_{cp} = 0.95 \quad S=2$$

查表 3-4 蜂房式线圈的直流电阻

$$r_o = \frac{7aND'_{cp} \times S}{n \cdot d_{o1}^2 \cdot \cos \Psi_{cp}} \times 10^{-6} = \frac{7 \times 1.04 \times 96 \times 1.7 \times 2}{7 \times 0.0072 \times 0.95} \times 10^{-6} = 7.3$$

(4) 计算绕组的高频电阻参数:

$$Z = 0.106 d_o \sqrt{f} = 0.106 \times 0.007 \sqrt{465 \times 10^3} = 0.505$$

查表 3-5/表 3-6

得 $F(z) = 1$

$G(z) = 0.001$

得 $\eta = 7$

得绞股线计算系数 $C=1.82$

两段合并计算 $\Sigma l = 2l + 1.5 = 8.5$

m/m

$$\frac{\sum l}{D_1} = \frac{8.5}{22} = 0.385 \quad \frac{t'}{D'} = \frac{5}{22} = 0.227$$

查Φ3-19 邻近效应的形状系数 $K=10$

按(3-37)式计算高频电阻为 $r_f = r_o \left\{ F(Z) + \left[\left(\frac{nd_1}{d} \right)^2 \cdot C + \left(\frac{KN_{nd}'}{2D} \right)^2 \right] G(Z) \right\}$

$$= 7.3 \left\{ 1 + \left[\left(\frac{7 \times 0.007}{0.025} \right)^2 \times 1.82 + \left(\frac{10 \times 96 \times 7 \times 0.007}{2 \times 22} \right)^2 \right] \times 0.004 \right\} = 7.3 \times 1.46 = 10.7$$

计算磁芯损耗引入的电阻

$$r_B = K_\mu \cdot \delta_\beta \omega L_O \cdot f = 0.18 \times 5 \times 10^{-9} \times 6.28 \times (465 \times 10^3)^2 \times 615 \times 10^{-6} = 0.75 \quad (\Omega)$$

$$r_n = K_\mu \cdot \delta_n \omega L_C = 0.18 \times 0.4 \times 10^{-3} \times 6.28 \times (465 \times 10^3)^2 \times 615 \times 10^{-6} = 0.13$$

$$r_c = \sum r_B + r_n = 0.75 + 0.13 = 0.88$$

∴ 线圈的品质因素为

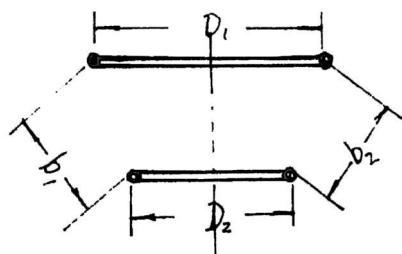
$$Q_L = \frac{\omega L}{r_f + r_c} = \frac{6.28 \times 65 \times 10^3 \times 615 \times 10^{-6}}{10.74 + 0.88} = 156 \geq 80 \quad \text{考虑屏蔽损耗仍能满足}$$

(5) 计算线圈间距离:

按(3-12)计算互感系数: $\Psi = \frac{2M \times 10^3}{N^2 \cdot D_{CP}} = \frac{2 \times 0.03 \times 6.5 \times 10^{-6}}{(96 \times 2)^2 \times 1.7} = 0.59$

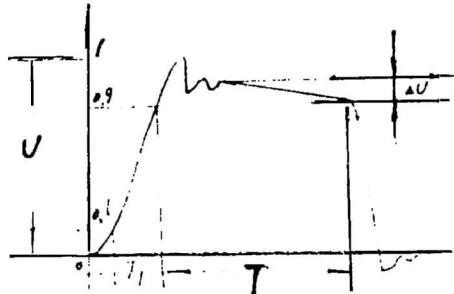
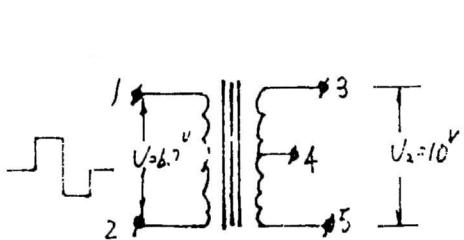
查表 3-2, 得 $\frac{b_1}{b_2} = 0.83$

得线圈间中心距离 $b_2 = \frac{b_1}{b_1} D_{CP} \left[1 - \left(\frac{b_2}{b_1} \right)^2 \right]^{0.5} = \frac{0.83 \times 1.7}{1 - 0.83^2} = 2.54 \text{ cm}$



2、脉冲变压器设计 (资料)

(××4.720.F90/02)



$$N = \frac{W_2}{W_1} = 1.5 \quad P_2 = 0.1^W \quad \Delta = \frac{\Delta V}{U_1} = 3\% \quad \Delta V = 6.7V \times 0.03 = 0.2V$$

$$\frac{\tau_p}{T} = 0.1 \quad \text{脉冲发生器内阻 } R_i = 500 \quad (\Omega)$$

$$\frac{R_H}{R_i} = 30 \quad f_n = 20C \quad R_H = 30 \times 500 = 15K$$

$$\text{解: } V_2 = V_1 n = 6.7 \times 1.5 = 10V \quad T_n = \frac{1}{20} = 0.05 \text{ 秒} \quad \therefore T = \frac{T_p}{2} = 0.025 \text{ 秒}$$

(1) 脉冲变压器“UT”的平均功率及平均电流:

$$P_{CP} = f_n \times T \times P_2 = 20 \times 0.025 \times 0.1 = 0.05^W = 50^mW$$

$$\text{峰值电流: } I_{1\max} = \frac{P_2}{V_1} = \frac{0.1}{6.7} = 0.015 \quad I_{2\max} = \frac{P_2}{V_2} = \frac{0.1}{10} = 0.01 \quad A$$

有效电流:

$$I_{1\phi} = I_{1\max} [f_i T \times k_H \cdot k_{n1}]^{0.5} = 0.015 [20 \times 0.025 \times 2.5 \times 1.5]^{0.5} = 0.015 [1.88]^{0.5} = 20.7 \text{ mA}$$

$$I_{2\phi} = I_{2\max} [f_i T \times k_H \cdot k_{n2}]^{0.5} = 0.01 [20 \times 0.025 \times 2.5 \times 1.5]^{0.5} = 0.01 [1.5]^{0.5} = 12.3 \text{ mA}$$

$$S_{M1} = \frac{I_{1\phi}}{\delta_1} = \frac{20.7}{3 \times 10^{-3}} = 0.007 \text{ mm}^2 \quad \text{选 } d_{o1} = 0.06(0.035) \quad \rho = 6198 \quad (\Omega/\text{km})$$

$$S_{M2} = \frac{I_{2\phi}}{\delta_2} = \frac{12.3}{2 \times 10^{-3}} = 0.0041 \text{ mm}^2 \quad d_{o2} = 0.05 (0.075) \quad \rho = 9000 \quad (\Omega/\text{km})$$

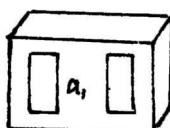
(2) 磁芯材料与尺寸大小:

选坡莫合金片 (1Ni79Mo4)

对 D310—0.35

$$\mu_\Delta = 0.5 \mu_o = 0.5 \times 3000 = 1500$$

$$\rho * = 50 \times 10^{-6} \quad \Omega/\text{cm}$$



$$\mu_\Delta = 1000$$

$$T_\beta = \frac{1}{3} T_\mu = \frac{1}{3} \times 0.025 = 0.008 \text{ 秒}$$

$$\text{坡莫合金厚度: } \delta_{79HM} = \left[\frac{110}{3} \times 10^{-6} \right]^{0.5} = 6.06 \times 10^{-3} \text{ (cm)} \leq 0.0606 \quad (m/m)$$

$$\text{D310 硅钢片厚度: } \delta_{D310} = \left[\frac{P^* \times T_\beta \times 10^4}{2 \mu_\Delta} \right]^{0.5} = \left[\frac{50 \times 10^{-6} \times 0.008 \times 10^4}{2 \times 1500} \right]^{0.5} \text{ (cm)} = 0.015 \text{ m/m}$$

目前现有的材料厚度为 0.2m/m 是可以采用的,但太厚了。

磁芯的截面积:

$$S_c = a_c \times b_c = \frac{10}{\Delta B_C} \left[\frac{\mu_\Delta \cdot t_u \cdot \lambda \Psi \cdot P_2}{0.8} \right]^{0.5} \quad t_u(\mu s) \quad \text{cm}^2$$

$$\alpha = \frac{P_{\text{铁}} \cdot t_u}{\delta^2 \mu_K} = 3.8 \text{ 查表 } \Phi 23 \quad \mu_K = 3000, \text{ 具有 } \mu_\Delta = 6000 \quad (\mu_\Delta = 2 \mu_K) \text{ 但这里暂取 } \mu_\Delta = 1500 \text{ 计算}$$

$$\Delta B_C = 500 \text{ GS}, \quad T_u = 0.025 \text{ 秒} = 25 \times 10^3 \mu \text{ s}$$

$$\text{顶部降落相对值 } \lambda = \Delta = \frac{\Delta U}{U_1} = 0.03 \quad \Psi = \frac{S_c}{l_c} = 0.18 \sim 0.32$$

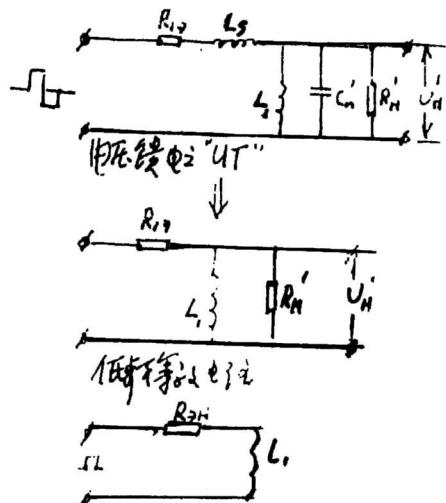
$$\therefore S_c = \frac{10}{500} \times \left[\frac{4 \times 1500 \times 25 \times 10^3 \times 0.03 \times 0.31 \times 0.1}{0.8} \right]^{0.5} = 8.5 \times 2 = 17 \quad \text{cm}^2$$

(3) 初次绕组的匝数:

$$W_1 = \frac{10^2 \cdot U_1 \cdot T_u}{S_c \times \Delta B_C} = \frac{100 \times 6.7 \times 25 \times 10^3}{2 \times 8.5 \times 500} = 1.97 \times 10^3 \quad \text{匝}$$

选 $S_c = 2 \times 8.7 \text{ cm}^2$ 铁芯 E20×50 这不可能, 太大了? 此法不行, 另行计算!

(4) 由等效电路求得:



$$1, R_{1\varnothing} = R_i + r_1 + r'_2 = 0.5 + 2.2 + 2.8 = 5.5 \quad \text{K}\Omega$$

$$2, R_{\varnothing H} = \frac{R'_{1\varnothing} \cdot R'_H}{R'_H + R_{1\varnothing}} = \frac{5.5 \times 6.7}{5.5 + 6.7} = \frac{36.9}{12.2} = 3 \quad \text{K}\Omega$$

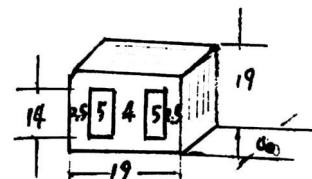
$$3, L_1 = \frac{T R_{\varnothing H}}{\Delta} = \frac{0.025 \times 3000}{0.97} = 77 \quad \text{h}$$

$$4, L = \frac{W_1 \cdot S_c}{L_{cp}} \times \mu_\Delta \times 4\pi \times 10^{-9} \quad \text{h}$$

$$W_1 = \left[\frac{L \cdot L_{cp} \times 10^9}{4\pi S_c \cdot \mu_\Delta} \right]^{0.5} = \left[\frac{77 \times 4.95 \times 10^9}{4 \times 0.32 \times 6000 \times 3.14} \right]^{0.5} = 4 \times 10^3$$

选铁芯 E4×8

坡莫合金 79HM-0.2



$$r_1 = 0.5 R_{a\sim} (1 - \eta) \quad (1)$$

$$R_{a\sim} = r_1 + r'_2 + R_H' \quad (2) \quad \text{解(1)(2)得 } r_1 = \left(\frac{1}{3} \right) R_H' = 2.2 \text{ K}$$

$$\text{令 } r'_2 = R_H' \frac{1 - \eta}{2\eta} = \frac{30 \times 500}{1.5^2} \left(\frac{1 - 0.7}{2 \times 0.7} \right) = \frac{15 \times 10^3}{1.5 \times 1.5} \left(\frac{0.3}{0.7 \times 2} \right) = \frac{45}{15.75 \times 2} \times 10^3 = \frac{2.85}{2} \times 10^3 = 1.42 \text{ K}$$

$$Ra_{\sim} = 2.2 + \frac{2.85}{2} + \frac{15}{2.25} = 10.28 \sim 11.7 \quad K \Omega$$

$$L_{CP} = 2 \times 16.5 + 2 \times 8.25 = 2 \times 24.75 = 49.5 \text{ (mm)} = 4.95 \text{ cm}$$

$$S_C = 4 \times 10 \times 0.9 = 0.36 \text{ cm}^2 \quad 8 = 32^2 = 0.32$$

$$\mu_{\triangle} = 2 \mu_K = 2 \times 3000 = 6000$$

$$W_1 = \sqrt{\frac{380}{24}} \times 10^6 = 4 \times 10^3 \text{ 匝} \quad W_{1-2} = 3800 \quad W_{3-5} = 2 \times 2900 = 5800$$

(5) 结构计算:

$$1、n_{1-2} = \frac{14 - 2 \times 1.5}{1.15 \times 0.07} = \frac{11}{0.086} = 129 \text{ (匝/层)} \quad N_1 = \frac{4000}{129} = 31 \quad N_2 = \frac{6000}{129} = 47 \text{ 层}$$

$$2、\Sigma A_1 + A_2 = (31+47) \times 0.07 \times 1.05 = 5.8 > 5 \text{ 窗口没有余量, 应改变铁芯 E4} \times 10$$

$$3、S_C = 4 \times 10 \times 0.9 = 0.36 \text{ cm}^2, \text{ 令 } L_1 = 70^h$$

$$W_1 = \sqrt{\frac{70 \times 4.95 \times 10^9}{4 \times 3.14 \times 0.36 \times 6000}} = \sqrt{\frac{350}{27}} \times 10^3 = \sqrt{13} \times 16^3 = 3600 \text{ 匝}$$

$$W_2 = 5400 \text{ 匝}$$

$$N_1 = \frac{3600}{129} = 28 \quad N_2 = \frac{5400}{129} = 42 \text{ 层}$$

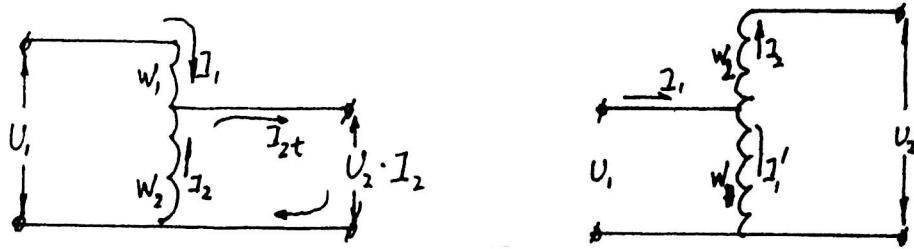
$\Sigma A_1 + A_2 = (28+42) \times 0.07 \times 1.05 = 4.9 < 5$ 可以装下线包, 计算有效

AT

3、小功率电源自耦变压器设计(××4. 052. 006)

一、一般概念：

自耦变压器有别于一般电源变压器，它只有一个绕组，并同时属于第一回路和第二回路，而且通过电和磁的方法来产生由第一回路到第二回路的功率传递的。



$$(a) \text{降压情况 } K = \frac{V_1}{V_2} > 1$$

$$(b) \text{升压情况 } K = \frac{V_1}{V_2} < 1$$

图一 “AT” 线路图

其中：(a) $I_{2t}=I_2-I_1=I_2\left(1-\frac{I_1}{I_2}\right)=I_2\left(1-\frac{1}{K}\right)$ (b) $K'I'_1=K'(I_1-I_2)=I_2-K'I_1=I_2\left(1-K\right)$
 $*K=\frac{I_2}{I_1}=\frac{V_1}{V_2}, \quad K=\frac{1}{K}$

在设计时，若不考虑损耗和磁化电流，那么“AT”的第二回路总功率

实际上将： $P_2=V_2I_2 \approx V_1I_1$

a、降压情况： $K=\frac{W_1+W_2}{W_2}=\frac{V_1}{V_2}>1$

$$P_2=V_2I_2=V_2(I_1+I_2t)=V_2I_1+V_2 \cdot I_2t=V_2I_2\frac{1}{K}+V_2I_2\left(1-\frac{1}{K}\right)=P_3+P_{2t}$$

b、升压情况： $K=\frac{W_1}{W_1+W_2}=\frac{V_1}{V_2}<1$

$$P_2=V_2I_2=V_1I_1=V_1(I_2+I'_1)=V_1I_2+V_1I'_1=V_2K'I_2+U_2K'I'_1=V_2I_2K'+VI\left(1-K'\right)=V_2I_2\left(\frac{1}{K}\right)+V_2I_2\left(1-\frac{1}{K}\right)=P_3+P_{2t}$$

由此可见：在(a)降压情况下，用电的方法由初级到次级的功率为 $P_3=V_2I_2\frac{1}{K}$

用磁的方法由初级到次级的功率为 $P_{2t}=V_2I_2\left(1-\frac{1}{K}\right)$

(b)升压情况下，用电的方法由初级到次级的功率为 $P_3=V_2I_2K'$

用磁的方法由初级到次级的功率为 $P_{2t}=V_2I_2(1-K')$

“AP” 的计算功率 P_{2t} , 由 “AT” 的基本尺寸及其损耗确定, 当给定次级回路功率 $P_2=V_2I_2$ 时, P_{2t} 愈小则变压系数也愈接近于 1.0, 随着计算功率的降低, 自耦变压器尺寸与损耗也随之降纸。

当 $K>1$ 时, “AT” 在这种情况下使用是有利的, ∵在这个 P_{2t} 下比较所给定的 P_2 要少。

因此, 它的尺寸, 重量价值和损耗将大大地小于类似的具有同样功率的这种变压器。

实际上, “AT” 的绕组常是分段的, 以使得能够利用它来作为各种设备的电压的选择和调整。

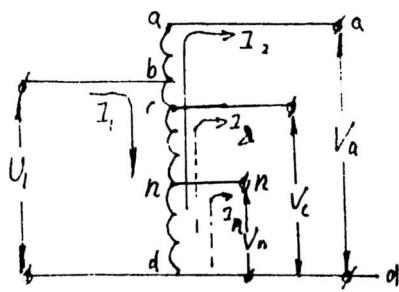
小功率自耦的计算相于一般的小功率电源变压器的计算。

二、小功率自耦变压器的计算:

设计原始数据:

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| (1) 次级回路的额定功率 $P_2(W)$ | (2) 电源频率 f 及相数 m |
| (3) 额定电压 V_1 及 V_2 | (4) 负载功率因数 $\cos \Psi_2$ |

带有分段绕组的 “AT” 在这种场合下, 应该是给定第二回路的功率, 电压和各个部份的负载功率因数 $P_2, P_3, \dots, P_n; V_a, V_c, \dots, V_n$ 和 $\cos \Psi_2, \cos \Psi_3, \dots, \cos \Psi_n$



图二 带有抽头的 “AT” 线路

1、“AT” 计算功率 P_{2t} 的确定:

因为 “AT” 次级回路的功率是用电和磁的方法来待递的, “AT”的主要尺寸确定了用磁的方法待递所次级回路的功率值 P_{2t}

对(a)降压情况: $K=\frac{W_1+W_2}{W_2} \approx \frac{V_1}{V_2} > 1$, 则 $P_{2t}=V_2I_2(1-\frac{1}{K})=P_2(1-\frac{1}{K})$

(b)升压情况: $K'=\frac{W_1}{W_1+W_2} \approx \frac{V_1}{V_2} < 1$, 则 $P_{2t}=V_2I(1-K')=P_2(1-K')$

在带有分段攻组的“AT”的情况下，对全部变压系数所得出的计算值 P_{2t} ，可将得出，结果相应载表 1。

2、“AT” 电流的确定：

对“AT”的各种变压系数的初次级

回路的电流值，能够按公式确定：

A、单相“AT”（图二）

初级电流：

$$(1) \text{ 对 } K_a = \frac{V_1}{V_a} ; I_1 = \frac{P_2 \cos \Psi_2}{V_1 \eta \cos \Psi_2}$$

初级电流的有功分量和无功分量

$$I_{1a} = \frac{P_2 \cos \Psi_2}{V_1 \eta}$$

$$I_{1p} = I_\mu + \frac{P_2 \cos \Psi_2}{V_1 \eta}$$

次级电流：

次级电流的有功分量和无功分量：

$$I_2 = \frac{P_2}{V_a}$$

$$I_{2a} = \frac{P_2 \cos \Psi_2}{V_a}$$

$$I_{2p} = \frac{P_2 \sin \Psi_2}{V_a}$$

$$(2) \text{ 对 } K_c = \frac{V_1}{V_c}$$

$$I_1 = \frac{P_3 \cos \Psi_3}{V_1 \eta \cos \Psi_1}$$

$$I_{1a} = \frac{P_3 \cos \Psi_3}{V_1 \eta}$$

$$I_{1p} = I_\mu + \frac{P_3 \sin \Psi_3}{V_1 \eta}$$

$$I_2 = \frac{P_3}{V_c}$$

$$I_{2a} = \frac{P_3 \cos \Psi_3}{V_c}$$

$$I_{2p} = \frac{P_3 \sin \Psi_3}{V_c}$$

$$(3) \text{ 对 } K_n = \frac{V_1}{V_n}$$

$$I_1 = \frac{P_n \cos \Psi_n}{V_1 \eta \cos \Psi_1}$$

$$I_{1a} = \frac{P_n \cos \Psi_n}{V_1 \eta}$$

$$I_{1p} = I_\mu + \frac{P_n \sin \Psi_n}{V_1 \eta}$$

$$I_2 = \frac{P_n}{V_n}$$

$$I_{2a} = \frac{P_n \cos \Psi_n}{V_n}$$

$$I_{2p} = \frac{P_n \sin \Psi_n}{V_n}$$

B、三相“AT”

$$(1) \text{ 对 } K_a = \frac{V_1}{V_a}$$

表一

K	P	P_{2t}
(V_1/V_a)	P_2	
(V_1/V_c)	P_3	
.....	
(V_1/V_n)	P_n	

$$I_1 = \frac{P_2 \cos \Psi_2}{3V_1 \eta \cos \Psi_1} \quad I_{1a} = \frac{P_2 \cos \Psi_2}{3V_1 \eta} \quad I_{1p} = (I_{\mu 1} + 2I_{\mu 2})/3 + \frac{P_2 \sin \Psi_2}{3V_1 \eta}$$

$$I_2 = \frac{P_2}{3V_a} \quad I_{2a} = \frac{P_2 \cos \Psi_2}{3V_a} \quad I_{2p} = \frac{P_2 \sin \Psi_2}{3V_a}$$

(2) 对 $K_C = \frac{V_1}{V_c}$

$$I_1 = \frac{P_3 \cos \Psi_3}{\sqrt{3}V_c} \quad I_{1a} = \frac{P_3 \cos \Psi_3}{\sqrt{3}V_1 \eta} \quad I_{1p} = \frac{I_{\mu 1} + 2I_{\mu 2}}{3} + \frac{P_3 \sin \Psi_3}{\sqrt{3}V_1 \eta}$$

$$I_2 = \frac{P_3}{\sqrt{3}V_c} \quad I_{2a} = \frac{P_3 \cos \Psi_3}{\sqrt{3}V_c} \quad I_{2p} = \frac{P_3 \sin \Psi_3}{\sqrt{3}V_c}$$

(3) 对 $K_n = \frac{V_1}{V_n}$

$$I_1 = \frac{P_n \cos \Psi_n}{3^{0.5}V_1 \eta \cos \Psi_{1n}} \quad I_{1a} = \frac{P_n \cos \Psi_n}{3^{0.5}V_1 \eta} \quad I_{1p} = \frac{I_{\mu 1} + 2I_{\mu 2}}{3} + \frac{P_n \sin \Psi_n}{3^{0.5}V_1 \eta}$$

$$I_2 = \frac{P_n}{3^{0.5}V_n} \quad I_{2a} = \frac{P_n \cos \Psi_n}{3^{0.5}V_1 \eta} \quad I_{2p} = \frac{P_n \sin \Psi_n}{3^{0.5}V_n}$$

这里: $P_2, P_3, \dots, P_n; V_a, V_b, \dots, V_n; \cos \Psi_2, \cos \Psi_3, \dots, \cos \Psi_n$ 为给定的次级回路的功率, 电压和功率因数。

其中: $I_\mu \approx (40 \sim 50)\% \frac{P_{2t}}{P_2} \%$ —— “AT” 的磁化电流

$I_{\mu 1}, I_{\mu 2}$ 一为三相 “AT” 中间相磁化电流和其他二端 (磁轭) 相的磁化电流

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \frac{1 - n_2 t}{n_2 t} P_{2t}} \quad \text{—— “AT” 有效作用系数的预选值}$$

式中: η_{2t} 为等于 “AT” P_{2t} 值按图三, 粗略地找到功率变压器效率

$$\cos \Psi_1 = \frac{I_{1a}}{\sqrt{I_{1a}^2 + I_\mu^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + L_\mu / I_{1a}^2}} \quad \text{初级回路的功率因数}$$

对全部变压因数可获得的电流值可载于

表 2

已知的	需计算的数据	备注
$K, P, \cos \Psi, \sin \Psi$	$I_2, I_{2a}, I_{2p}, I_1, I_{1a}, I_{1p}, \cos \Psi_n, \eta$	
V_1/V_a		
V_1/V_c		
V_1/V_η		

当 V_2 有别于 V_1 时

而功率不小于 50~75W 时，同时在确定具有足够准确的“AT”的初级电流时，实际上可以作 $\cos \Psi_1$ 和 η 等于 1。

3、“AT”绕组分段部份电流的确定：

“AT”分段部份绕组的电流值，可以用次级回路叠加到初级的方法来确定，并且应当对全部变压因数来计算（图二）。

$$(1) \text{ 对 } K_a = \frac{V_1}{V_a}$$

$$I_{ab} = I_2; \quad I_{bd} = I'_1 - I'_2 = [(I_{1a} - I_{2a})^2 + (I_{1p} - I_{2p})^2]^{0.5}$$

$$(2) \text{ 对 } K_c = \frac{V_1}{V_c}$$

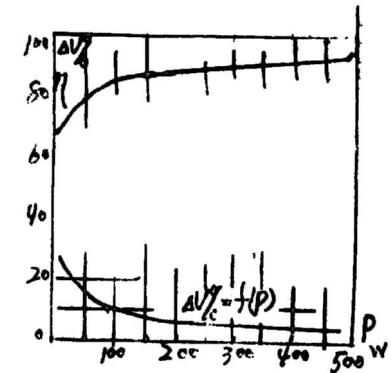
$$I_{ab} = 0; \quad I_{bc} = I_1$$

$$I_{cd} = I'_2 - I'_1 = [(I_{2a} - I_{1a})^2 + (I_{2p} - I_{1p})^2]^{0.5}$$

$$(3) \text{ 对 } K_n \approx \frac{V_1}{V_n}$$

$$I_{ab} = 0; \quad I_{bn} = I_1; \quad I_{nd} = I'_2 - I'_1 = [(I_{2a} - I_{1a})^2 + (I_{2p} - I_{1p})^2]^{0.5}$$

为了方便，可将分段部份的电流计算值载于



图三 “T·M·M” 效率 η 及降压

ΔV 与功率 P 的关系

表 3

K	$V_1/V_a, V_1/V_c, \dots, V_1/V_n$	备注
I_{ab}		
I_{bc}		
I_{cd}		
I_{nd}		

4、“AT”磁感密度的选择：

“AT”磁密(B_C)的选择与小功率电源变压器 B 值的选择相同。

5、“AT” 的电流密度的选择

选择的方法与 $\times \times 0, 052, 000$ 相同。

经验指出，当 $P_{2t}=100W$ 时，允许的电流密度为 $j=2.5 \sim 3.5 A/mm^2$

6、“AT”铁芯中心柱及磁轭截面积确定：

$$S'_C = C \left[\frac{P_{2t} \cdot a \cdot 10^6}{f \cdot B_C \cdot j} \right]^{0.5} / 0.92$$

$$\text{式中: } a = \frac{G_C}{G_m}$$

选择标准铁芯截面 S_C 表 4

对方形骨架心式单相变压器	$C=0.69 \sim 0.72$
对方形骨架壳式单相变压器	$C=0.81 \sim 0.84$
对方形骨架心式三相变压器	$C=0.48 \sim 0.51$

7、“AT” 绕组匝数的确定:

在小功率“AT”绕组中的降压，负荷时，比类似的变压器要小。确定匝数可忽略其影响。

A、对单相“AT”(图二)

$$W_1 = \frac{V_1 \times 10^8}{4.44fB_C \times S_C} ; \quad e_W = \frac{V_1}{W_1}$$

$$W_{ab} = \frac{V_{ab}}{e_w} = \frac{V_a - V_1}{e_w} ; \quad W_{bc} = \frac{V_{bc}}{e_w} ; \quad W_{cn} = \frac{V_{cn}}{e_w} ; \quad \dots \dots \quad W_{nd} = \frac{V_{dn}}{e_w}$$

B、对三相“AT”

$$W_1 = \frac{V_1 \times 10^8}{\sqrt{3} \times 4.44fB_C \cdot S_C}$$

$$W_{ab} = \frac{V_{ab}}{e_w} ; \quad W_{bc} = \frac{V_{bc}}{e_w} ; \quad W_{cn} = \frac{V_{cn}}{e_w} ; \quad \dots \dots \quad W_{nd} = \frac{V_{dn}}{e_w}$$

8、绕组导线截面和线经的确定：由算出预选值，再按手册选定的标准线截面 S_M 确定真值：

$$S'_{ab} = \frac{I_{ab}}{j} ; \quad S'_{bc} = \frac{I_{bc}}{j} ; \quad S'_{cn} = \frac{I_{cn}}{j} ; \quad \dots \dots \quad S'_{nd} = \frac{I_{nd}}{j} \text{ (m/m)²}$$

由电缆手册查出与之相近截面积的标准线经。

9、绕组导线的绝缘选择：(按××O、052、000 附表3选择)

10、铁芯窗口高度与宽度的确定

$$(1) h = \left[K \frac{S_{ab} \cdot W_{ab} + S_{bc} \cdot W_{bc} + S_{cd} \cdot W_{cd}}{100k_o} \right]^{0.5} \quad \text{其中: } K = \frac{h}{b} = 2.5 \sim 3 \\ K_o = 0.2 \sim 0.3$$

查标准铁芯表 NEO、666、000，可得铁芯结构尺寸，叠厚为 $b_o = \frac{S_C}{L_o}$

(2) 铁芯窗口宽度的考核：

绕组厚度的结构计算，可按一般电源变压器进行计算。

11、“AT” 绕组的铜重：

$$G_M = \sum G_{Mi} = \sum l_i g_i \times 10^{-3} = \sum W_i l_{Mi} \times g_i \times 10^{-6} \quad \text{kg}$$

其中: $l_{Mi} = l [(l_o + \beta_1) + 4(\beta_z + \beta_r)] + 2\pi R_i$ g_i ——(kg/km) 查电缆手册

$$\text{参考图四: } R_i = \sum A_{(i-1)} + \sum B_{0(i-1)} + \frac{A_i}{2} \quad (i=1, 2, 3, \dots)$$

三相“AT”的铜重为单相的“AT”的三倍。

12、铜耗

$$(1) \text{ 对 } K_a = \frac{V_1}{V_a}$$

$$P_M = \sum P_{Mi} = 2.4 j_i^2 G_{Mi} \quad W$$

$$(2) \text{ 对 } K_C = \frac{V_1}{V_C}$$

$$P_M = \sum P_{Mi} = 2.4 j_i^2 G_{Mi} \quad W$$

13、“AT”铁重及铁耗：

铁重 G_C 由所选标准铁芯表可查出，

铁耗 P_C 计算可按一般电源变压器

计算方法进行。 $(P_C = G_C \cdot \eta_y)$

14、“AT”空载电流

$$I \mu_0 = \frac{a \omega \sim \times 1c}{W_1}$$

15、“AT”的效率 (K 、 η 、 Δ)

$$\eta = \frac{P}{P + P_M + P_C} \quad \text{其中 } P = P_2 \cos \Psi_2 ; P = P_3 \cos \Psi_3 \dots$$

对不同变压系数的 η ，为清楚起见，可列表写出

表 5

K	P_{Mab}	P_{Mbc}	P_{McM}	P_{Mnd}	P_M	P_C	P	η	备注
V_1/V_a									
V_1/V_c									
$V_1/V \eta$									

16、“AT”在负荷时，电压的变化

“AT”在负荷时的电压变化值确定了“AT”绕组相应部份的有功和感应的电阻。

因为在小功率“AT”中，电压降应分量相对比较类似的变压器要小许多。所以实际上它可忽略不计，对未知电压降值，在这种情况下，可写为： $\Delta V\% = e_a \% \cos \Psi_1$

$$e_a \% = \frac{P_M}{D} \times 100 \quad \text{在“AT”绕组中，在某个负载下，次级回路电压的相对有功降落。}$$

在分段“AT”中，负载时电压的相对变化应当对全部变换系数进行计算，并将结果载于表 6

表 6

K	P _M	e _a %	Cos Ψ ₁	△V%	备注
V ₁ /V _a					
V ₁ /V _c					
V ₁ /V _n					

17、“AT”在负载下的检验

(与小功率电源变压器负荷下检验相同即 AT 温升计算△ τ 类似)

$$e = \frac{P_M + P_C}{a_k \times F_0} + \Delta e_0$$

三、计算实例 A. (××4.722.A90/00) C 选冲片壳式铁芯

给定值 (1) 次级回路的标称功率 P₂=150W

(2) 单相电源 50HZ

(3) 标称电压 V₁=127V, V_a=140V, V_c=115V

(4) 负载功率因数 Cos Ψ₂=1

(5) 其他条件：连续负载开放式空冷冷却重量最小

根据所给条件，选壳式冲片铁芯，取 a = $\frac{G_C}{G_M}$ = 3.5 并选 D42—0.35 作铁芯材料

1、计算“AT”的功率：

$$(1) \text{ 当 } K_a = \frac{V_1}{V_a} = \frac{127}{140} = 0.901, \quad P_{2t} = P_2(1 - K_a) = 150(1 - 0.901) = 13.6 \text{ (升压情况 } K_a = K_a \text{)} \quad W$$

$$(2) \text{ 当 } K_a = \frac{V_1}{V_c} = \frac{127}{115} = 1.1, \quad P_{2t} = P_2(1 - \frac{1}{K}) = 150(1 - \frac{1}{1.1}) = 14 \quad W$$

2、“AT”电流的确定

(1) 当 K_a=0.907

$$I_1 = \frac{P_2 \cos \Psi_2}{V_1 \eta \cos \Psi_1} = \frac{150 \times 1}{127 \times 0.96 \times 1} = 1.23$$

$$\text{有功分量 } I_{1a} = \frac{P_2 \cos \Psi_2}{V_1 \eta} = I_1 = 1.23$$

$$\text{无功分量 } I_{1p} = I_\mu = \frac{I_1 a \times I_\mu \%}{100} = \frac{1.23 \times 4}{100} = 0.05 \quad A$$

$$\text{其中: } I_\mu \% = (40 - 50) \frac{P_{2t}}{n_2} = 40 \times \frac{14}{150} = 4\% \text{ 即为 } I_{1a} \text{ 的 } 4\%$$

K	P (W)	P _{2t} (W)
(V ₁ /V _a)=0.92	150	13.6
(V ₁ /V _a)=1.1	150	14.0

表一

$$\cos \Psi_1 = 1 / \left[1 + \left(\frac{I_{1a}}{I_{1a}} \right)^2 \right]^{0.5} = 1$$

$$\eta = P_2 / [P_2 + \left(\frac{1 - \eta_2 t}{\eta_2 t} \right) P_2 t] = 150 / [150 + \left(\frac{1 - 0.7}{0.7} \right) \times 14] = 0.96$$

$$I_2 = \frac{P_2}{V_a} = \frac{150}{140} = 1.07 \quad I_{2a} = I_2 = 1.07 \quad I_{2p} = 0$$

A

由图三，根据 $P_2 t = 14^W$ 得 $\eta_2 t = 0.7$

(2) 当 $K_C = 1.1$

$$I_1 = \frac{P_2 \cos \Psi_2}{V_1 \eta \cos \Psi_1} = \frac{150 \times 1}{127 \times 0.96 \times 1} = 1.25$$

有功分量 $I_{1a} = I_1 = 1.23$

$$I_2 = \frac{P_3}{V_C} = \frac{150}{115} = 1.3 \quad I_{2a} = 1.3 \quad I_{2p} = 0$$

无功分量 $I_{1p} = 0.05$

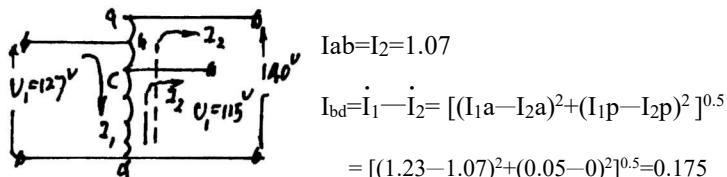
A

表 2

K	P_2	$\cos \Psi_2$	$\sin \Psi_2$	I_2	I_{2a}	I_1	I_{1a}	I_{1p}	$\cos \Psi_1$	η
V_1/V_a	150	1	0	1.07	1.07	1.23	1.23	0.05	1	0.96
V_1/V_C	150	1	0	1.30	1.30	1.23	1.23	0.05	1	0.96

3、分段部份的电流

(1) 当 $K_a = 0.907$



$$I_{ab} = I_2 = 1.07$$

$$I_{bd} = I_1 - I_2 = [(I_{1a} - I_{2a})^2 + (I_{1p} - I_{2p})^2]^{0.5}$$

A

$$= [(1.23 - 1.07)^2 + (0.05 - 0)^2]^{0.5} = 0.175$$

A

(2) 当 $K_C = 1.1 \quad I_{ab} = 0 \quad I_{bc} = 1.23$

$$I_{cd} = I_2 - I_1$$

$$= [(1.3 - 1.23)^2 + (0 - 0.05)^2]^{0.5} = 0.101 \text{ A}$$

K	I_{ab}	I_{bc}	$I_{cd}(\text{A})$
$V_1/V_a = 0.907$	1.07	0.175	0.175
$V_1/V_C = 1.1$	0	1.23	0.101

表 3

4、选 $B_C = 13000 \text{ GS}$

$$5、\text{选 } j = 4 \text{ A/mm}^2, \quad a = \frac{G_C}{G_M} = 3.5$$

$$6、S_C = C \left[\frac{P_{2t} \cdot a \times 10^6}{f B_C \cdot j} \right]^{0.5} = 0.8 \left[\frac{14 \times 3.5 \times 10^6}{50 \times 1.3 \times 10^4 \times 4} \right]^{0.5} = 3.6 \quad S'_C = 3.6 / 0.9 = 3.9 \text{ cm}^2$$

$$7、W_1 = \frac{V_1 \times 10^8}{4.44 f B_C \times S_C} = \frac{127 \times 10^8}{4.44 \times 50 \times 1.3 \times 10^4 \times 3.9} = 1225 \text{ 匝}$$

匝

$$e_w = \frac{127}{1225} = 0.1038$$

V/匝

$$W_{ab} = \frac{V_a - V_b}{e_w} = \frac{140 - 127}{0.1038} = 125 \quad W_{bc} = \frac{V_b - V_c}{e_w} = \frac{127 - 115}{0.1038} = 115$$

匝

$$W_{cd} = \frac{V_c}{e_w} = 1110$$

$$8、S'_{ab} = \frac{L_{ab}}{j} = \frac{1.07}{4} = 0.26S \quad S'_{bc} = \frac{L_{bc}}{j} = \frac{1.23}{4} = 0.304$$

$$S'_{cd} = \frac{L_{cd}}{j} = 0.175/4 = 0.044 \quad \text{mm}^2$$

按通过最大电流来计算，查得标准截石的导线为 Q——

$$S_{ab}=0.273 \quad d_o=0.59(0.64) \quad \rho=64.1 \Omega/\text{km} \quad q=2.48 \text{Kg/km}$$

$$S_{bc}=0.301 \quad d_o=0.62(0.67) \quad \rho=58 \quad q=2.8$$

$$S_{cd}=0.041 \quad d_o=0.23(0.255) \quad \rho=422 \quad q=0.378$$

导线中，电流密度的真值：

$$(1) \text{ 当 } K=0.907 \quad J_{ab} = \frac{I_{ab}}{S_{ab}} = \frac{1.07}{0.273} = 3.91 \quad J_{bc} = \frac{I_{bc}}{S_{bc}} = \frac{0.175}{0.301} = 0.58 \quad \text{A/mm}^2$$

$$J_{cd} = \frac{I_{cd}}{S_{cd}} = \frac{0.175}{0.041} = 3.97$$

$$(2) \text{ 当 } K_c=1.1 \quad J_{ab}=0 \quad J_{bc} = \frac{1.23}{0.301} = 4.08 \quad J_{cd} = \frac{0.175}{0.041} = 2.3 \quad \text{A/mm}^2$$

9、“AT”宽口高度：

$$H = \left[K \frac{S_{cb} \cdot W_{ab} + S_{bc} \cdot W_{bc} + S_{cd} \cdot W_{cd}}{100K} \right]^{0.5}$$

$$= \left[2.8 \times \frac{(0.275 \times 125) + (0.301 \times 115) + (0.041 \times 1110)}{100 \times 0.3} \right]^{0.5} = 3.4 \quad \text{m}$$

$$\text{其中: } K = \frac{H}{b} = 2.5 \sim 3.0 \quad K_o = 0.2 \sim 0.3$$

选相近高度的窄宽口冲片铁芯，查表得

$$H=3.35 \quad l_o=1.9 \quad l_1=l_2=1.2 \quad \text{cm}$$

$$\text{叠厚 } b_c = S'_c / l_o = \frac{3.9}{1.9} = 2.00 \quad \text{cm}$$

$$\text{磁轭净截面积 } S_2 = 0.92 b_c \times l_2 = 0.9 \times 0.20 \times 1.2 = 2.2 \quad \text{cm}^2$$

$$(1) n_{ab}=43(\text{匝}/\text{层}) \quad N_{ab}=3(\text{层}) \quad \text{线包厚 } A_{ab}=1.9 \quad \text{m/m}$$

$$(2) n_{bc}=41 \quad N_{bc}=3 \quad A_{bc}=2.0$$

$$(3) n_{cd}=107 \quad N_{cd}=11 \quad A_{cd}=3.0$$

经宽口核算 $l_1=12$ m/m 是可以容下的。

10、铜耗 (75°C) $P_{M-75^{\circ}}$

$$(1) \text{ 对 } K_a = \frac{V_1}{V_a} = 0.907$$

$$P_{Mab}=2.4J_{ab}^2G_{Mab}=2.4 \times 3.91^2 \times 0.047=1.72$$

W

$$P_{Mbc}=2.4J_{bc}G_{Mbc}=2.4 \times 0.58^2 \times 0.036=0.29$$

$$P_{McD}=2.4J_{cd}G_{McD}=2.4 \times 3.97^2 \times 0.043=1.61 \quad \Sigma P_M=3.62$$

W

$$(2) \text{ 对 } K_a = \frac{V_1}{V_c} = 1.1$$

$$P_{mab}=0$$

W

$$P_{mbc}=2.4 \times 4.08^2 \times 0.036=1.45$$

$$P_{mca}=2.4 \times 2.3^2 \times 0.043=0.54 \quad \Sigma P_M=1.99$$

W

11、铜重 (参看步骤 P6—11) 查手册 $g_i = \text{Kg/Km}$

$$G_M=G_{McD}+G_{Mbc}+G_{Mab}=0.043+0.036+0.047=0.126$$

kg

12、铁重与铁耗:

$$(1) G_{cc}=7.8 \times (h \times S_c) \times 10^{-3}=0.095$$

kg

$$G_{cR}=2 \times 7.8 (h+l_R) S_R \times 10^{-3}=2 \times 7.8 (3.35+6.7) 2.2 \times 10^{-3}=0.344$$

$$G_c=G_{cc}+G_{cR}=0.44 \text{ (与查表结果一致)}$$

$$\text{其中: } l_R=l_0+2l_1+2l_2=1.9+2 \times 1.2+2 \times 1.2=6.7$$

cm

(2) 铁耗:

$$B_R=B_c \times \frac{S_c}{2S_R}=1.3 \times 10^4 \times \frac{3.6}{2 \times 2.2}=10650$$

Gs

$$P_{cc}=K_c \times \left(\frac{B_c}{10^4}\right)^2 \times G_{cc}=1.6 \times \left(\frac{1.3 \times 10^4}{10^4}\right)^2 \times 0.095=0.257$$

W

$$P_{cR}=K_c \times \left(\frac{B_R}{10^4}\right)^2 \times G_{cR}=1.6 \times \left(\frac{10650}{10000}\right)^2 \times 0.344=0.620$$

W

$$P_c=0.25+0.620=0.88 \quad (\text{与计算 } P_c=G_c \cdot P_y=2 \times 0.44=0.88 \text{ W 相同})$$

(3) 空载电流:

$$I_c=I_\mu=\frac{H_\sim \times l_c}{\pi w}=\frac{7.6 \times 10.9}{1110}=0.075$$

A

$$I_{\mu} \% = \frac{I_{\mu}}{I_1} \times 100 = \frac{0.075}{1.23} = 6\%$$

14、效率

$$(1) \text{ 对 } K = \frac{V_1}{V_c} = 0.907 \quad \eta = \frac{P_2 \cos \Psi_2 \times 100\%}{P_2 \cos \Psi_2 + P_C + P_M} = \frac{15 \times 1}{150 \times 1 + 0.88 + 3.62} \times 100\% = 97\%$$

$$(2) \text{ 对 } K = \frac{V_1}{V_c} = 1.1$$

$$\eta = \frac{150 \times 1 \times 100\%}{150 \times 1 + 0.88 + 1.94} = 98\%$$

15、在负载时，电压的相对变化：

$$(1) K_a = 0.907, e_a \% = \frac{P_M}{P_2} \times 100\% = \frac{3.62}{150} \times 100\% = 2.4\%$$

$$\Delta V\% = e_a \% \cdot \cos \Psi_1 = 2.4\%$$

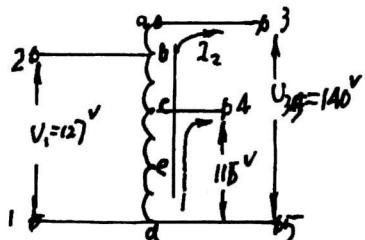
$$(2) K_c = 1.1, e_a \% = \frac{1.99}{150} \times 100\% = 1.3\%$$

$$\Delta V\% = e_a \% \cdot \cos \Psi_1 = 1.3\%$$

16、负载检验：

$$\Delta \tau = \frac{P_M + P_C}{\alpha_K \cdot F_O} = \frac{4.5}{1.3 \times 10^{-4} \times 157} = 22^\circ C$$

四、试验结果



设计要求		I _{ab}	I _{bc}	I _{cd}
a	K _a =0.907	1.07	0.175	0.175
b	K _c =1.1	0	1.23	0.101

$$\text{实验值: } V_a = 127V; \text{ 空载时} \begin{cases} V4-5 = 116V / 0.101A \\ V3-5 = 140V / 1.07A \end{cases}$$

$$\text{空载时} \begin{cases} V4-5 = 116V / 0.101A \\ V3-5 = 140V / 1.07A \end{cases}$$

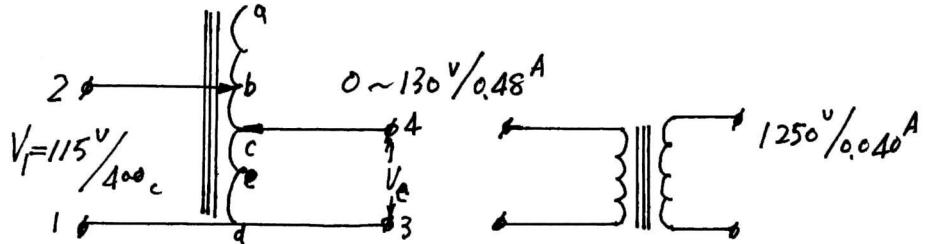
五、参考文献：

Расчёты на помощных Трансформаторов

Н.П.Ермо́ли и А.П.Ба́гров

实例 B $^{115}/_{400}$ 周单相自耦变压器设计

(XX4. 722. A90/₀₀) D



已知: ① $P_2=130V \times 0.48A=62W$, 单相 400c 供电

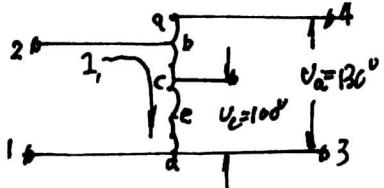
② $V_1=115V$ $V_a=130V$ $V_c=100V$ $V_e=50V$

③假定 $\cos \Psi_2=1$

根据要求电压连续变化, 选环形带绕铁芯, 取 $\alpha = \frac{G_C}{G_M} = 4$ 选 D310-0.2, $B_C=16000Gs$

1、计算“AT”功率

$$\textcircled{1} \text{ 当 } K_a = \frac{V_1}{V_{2t}} = \frac{115}{120} = 0.884 \quad P_{2t}=P_2(1-K_a)=62(1-0.884)=7.2 \text{ W}$$



$$\textcircled{2} K_C = \frac{V_1}{V_C} = \frac{115}{100} = 1.15 \quad P_{2t}=P_2\left(1-\frac{1}{K_C}\right)=62\left(1-\frac{1}{1.15}\right)=8.1 \text{ W}$$

$$K_C = \frac{V_1}{V_C} = \frac{115}{50} = 2.3 \quad P_{2t}=b_2\left(1-\frac{1}{2.3}\right)=35 \text{ W}$$

2、“AT”的确定:

①当 $K_a=0.884$, 由 $P_{2t}=7.2W$ 查得 $\eta_{2t}=0.65$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \left(\frac{1 - \eta_{2t}}{\eta_{2t}}\right)} = \frac{62}{65.9} = 0.9 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{P_2 \cos \Psi_2}{V_1 \eta \cos \Psi_1} = \frac{62 \times 1}{115 \times 0.94 \times 1} = 0.57 \text{ A}$$

$$\text{有功分量 } I_{1a} = \frac{P_2 \cos \Psi_2}{V_1 \eta} = I_1 = 0.57 \text{ A}$$

$$\text{无功分量 } I_{1p} = I_\mu = \frac{I_{1a} \cdot I_\mu^*}{100} = \frac{0.57 \times 23}{100} = 0.13 \quad I_\mu = (40 \sim 50)\% \frac{P_{2t}}{P_2} = 40\% \times \frac{35}{62} = 23\% \text{ A}$$

$$\cos \Psi_1 = \frac{1}{[1 + (I_\mu / I_{1a})^2]^{0.5}} = 1$$

$$I_2 = \frac{P_2}{V_2} = \frac{62}{130} = 0.48 \quad (I_{2a}=0.48A \quad I_{2p}=0) \text{ A}$$

②当 $K_C=1.15$

$$I_1 = \frac{P_2 \cos \Psi_2}{V_1 \eta \cos \Psi_1} = \frac{62 \times 1}{115 \times 0.94 \times 1} = 0.57^A \quad (I_{1a}=0.57^A \quad I_{1p}=0)$$

$$I_2 = \frac{P_2}{V_C} = \frac{62}{100} = 0.62^A \quad (I_{2a}=0.62^A \quad I_{2p}=0)$$

③当 $K_C=2.3$

$$I_1 = \frac{62 \times 1}{115 \times 0.94 \times 1} = 0.57 \quad (I_{1a}=0.57^A \quad I_{1p}=0)$$

$$I_2 = \frac{P_2}{V_C} = \frac{62}{50} = 1.2^A \quad (I_{2a}=1.24^A \quad I_{2p}=0)$$

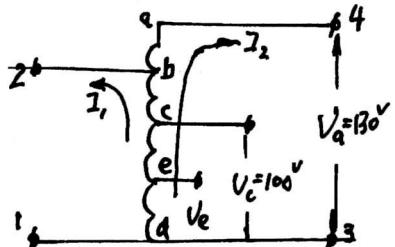
$$I'_2 = \frac{P_2}{V_C'} = \frac{62}{35} = 1.77^A \quad \text{从 } 35^V \sim 130^V \text{ 变化 } \frac{130}{1250} = \frac{35}{X} \quad X=310^V$$

表 2

K	P ₂	Cos Ψ ₂	Sin Ψ ₂	I ₂	I _{2a}	I ₁	I _{1a}	I _{1p}	Cos Ψ ₁	η
$K_a = \frac{V_1}{V_a} = 0.884$				0.48	0.48	0.57	0.57	0		
$K_c = V_1/V_C = 1.15$	62	1	0	0.62	0.62	0.57	0.57	0	1	0.94
$K_e = V_1/V_e = 2.3$				1.24	1.24	0.57	0.57	0		

3、分段部份的电流

①当 $K_a=0.88A$



$$I_{ab}=I_2=0.48$$

$$I_{bd}=\dot{I}_1-\dot{I}_2=[(I_{1a}-I_{2a})^2+(I_{1p}-I_{2p})^2]^{0.5}=[(0.57-0.48)^2+(0.026-0)^2]^{0.5}=0.094$$

A

A

②当 $K_c=1.15$

$$I_{ab}=0 \quad I_{bc}=I_1=0.57 \quad I_{cd}=\dot{I}_2-\dot{I}_1=[(I_{2a}-I_{1a})^2+(I_{2p}-I_{1p})^2]^{0.5}$$

$$=[(0.62-0.57)^2+(0-0.13)^2]^{0.5}=0.142$$

A

③当 $K_e=2.3$

$$I_{ab}=0 \quad I_{bc}=I_1=0.57 \quad I_{cd}=[(1.24-0.57)^2+(0-0.13)^2]^{0.5}=0.655$$

A

$$\text{当 } K'_e = \frac{115}{40} = 2.9 \quad I'_{cd}=[(1.55-0.57)^2+(0-0.13)^2]^{0.5}=1$$

A

$$I_2=P_2/V_e'=62/40=1.55A \quad (I_{2a}=1.55A \quad I_{2p}=0)$$

表 3

K _a =0.884	I _{ab} =0.48 ^A	I _{bc} =0.094 ^A	I _{ce} =	I _{cd} =0.094 ^A
K _c =1.15	0	0.57		0.142
K _e =2.3	0	0.57	0.57	0.695
K' _e =2.9	0	0.57	0.57	1

$$4、\text{选 } B_C=1.6 \times 10^4 \text{ GS} \quad j=4 \text{ A/mm}^2 \quad \alpha = \frac{G_C}{G_M} = 4$$

$$S_C = C \sqrt{\frac{P' t \times 10^6}{f \cdot B_C \cdot j}} = C \sqrt{\frac{35 \times 4 \times 10^6}{400 \times 16000 \times 4}} = C \sqrt{\frac{35}{64}} = 0.8 \times 2.34 = 1.87'$$

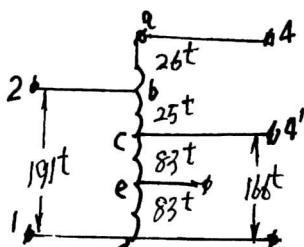
$$S'_C = \frac{S_C}{K_C} = \frac{1.87}{0.91} = 20 \text{ cm}^2$$

$$5、W_{1-2} = \frac{V_1 \times 10^8}{4.44 f B_C \cdot S_C} = \frac{V_1 \times 10^8}{4.44 + B_C \cdot S_C} = \frac{115 \times 10^8}{4.44 \times 400 \times 16000 \times 21} = 203 \text{ 匝} \quad (191) \leftarrow B_C=17000 \text{ GS}$$

$$\epsilon_W = \frac{V_1}{W_1} = 115/191 = 0.6 \text{ V/匝}$$

$$W_2 = W_{ad} = 130/0.6 = 217 \text{ 匝} \quad W_{ab} = 217 - 191 = 26 \text{ 匝}$$

$$W_{bc} = (115 - 100)/0.6 = 25 \text{ 匝} \quad W_{cd} = 100/0.6 = 166 \text{ 匝}$$



$$I_{ab} = 0.48 \quad I_{bc} = 0.57 \quad I_{ce} = 0.57 \text{ A}$$

Ied = 695 Iea = 1 按 $I_{2\max}=1 \text{ A}$ 考虑线经

$$S_M = \frac{I_{2\max}}{j} = \frac{1}{4} = 0.25 \text{ mm}^2$$

$$do = 0.572(0.62) \quad \rho = 68 \Omega/\text{km} \quad K = 2.2 \text{ kg/km}$$

7、铁芯尺寸确定

$S'_C = 2 \text{ cm}^2$, 并根据现有骨架, 已知骨架高 $H = 32 \text{ mm}$, 即为钢带应取的宽度

$$b = H = 32 \text{ mm}, \text{ 则铁芯叠厚 } B = \frac{S'_C}{H} = \frac{2}{3.2} = 0.625 \text{ (cm)} = 6.25 \text{ mm}$$

则钢带应绕的层数

$$N = \frac{B}{E} = \frac{6.25}{0.2} = 31 \text{ 层 (考虑松紧取 } N=30)$$

$$\text{钢带长度: } l = CN = 2 \pi R \times N = 6.28 \left(\frac{61-6}{2} \right) \times 30 = 5200 \text{ (mm)} = 5.2 \text{ km}$$

$$do = 0.57(0.62)$$

$$\Sigma W = 217$$

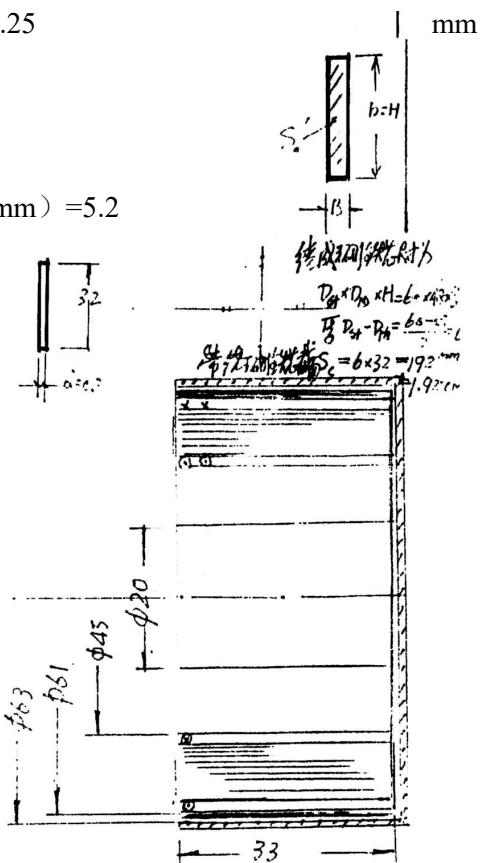
未浸漆铁芯

空载电流 $I_0 \mu = 6$

浸漆铁芯

空载电流 $I_0 \mu = 3$

带绕环形铁芯尺寸:



$$D_{\text{外}} \times D_{\text{内}} \times H = 60_{-1} \times 48_{-1} \times 32$$

$$S_C = 6 \times 32 = 192 (\text{mm}^2) = 1.92 \text{ cm}^2$$

cm²

$$\text{带厚: } \delta = (60_{-1} - 48_{-1}) / 2 = 6 \text{ mm}$$

m/m

最小铁芯周长: m

$$C_{\min} = 2 \pi R_{\min} = 6.28 \times \frac{48}{2} = 150 \text{ mm}$$

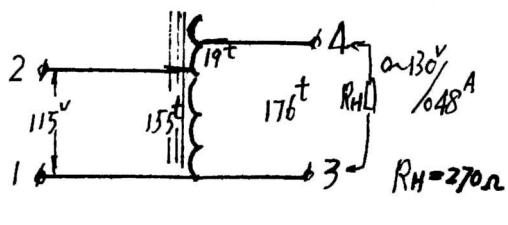
m/m

导线排绕一层的长度: $l = 0.62 \times 217 \times 1.05 = 142 \text{ mm} < 150$ 可以排绕一层

绕制环形铁芯外形尺寸为:

$$D'_{\text{外}} \times D'_{\text{内}} \times H' = 61 \times 45 \times 33$$

另一实例



$$\text{原 } B = 16000 \text{ GS } S_C = 2 \text{ cm}^2 \quad \delta = 6 \text{ mm}$$

$$\text{改变材料: } \downarrow B = 14000 \text{ GS } S'_C = 3.2 \text{ cm}^2$$

$$\delta = \frac{S_C}{b} = \frac{3.2}{3.2} = 1 \text{ (cm)} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{钢带应绕层数: } N = \frac{10}{0.2} = 50 \text{ 层}$$

$$\text{钢带长度: } l = CN = 6.28 \times \left(\frac{60 - 10}{2} \right) \times 50 = 7870 \text{ (m/m)} = 7.9 \text{ m}$$

钢带尺寸: 长 \times 宽 \times 厚 = 7.9 (m) \times 32 (mm) \times 0.2 mm

$$\text{最小铁芯周长: } C_{\min} = 6.28 \times \frac{36}{2} = 113 \text{ mm} \quad \text{仍选 } do = 0.57(0.62) \quad j = 4 \text{ A/mm}^2$$

$$\text{计算匝数: } W_{1-2} = \frac{V_1 \times 10^8}{4.44 f B_C \cdot S'_C} = \frac{115 \times 10^8}{4.44 \times 400 \times 13000 \times 3.2} = 155 \text{ 匝} \quad e_w = \frac{115}{144} = 0.8 \text{ V/匝}$$

$$W_{3-4} = \frac{1304}{0.8} = 176$$

导线排绕长度: $L = 0.62 \times 176 \times 1.03 = 112.4 < 113 \text{ mm}$ 紧一点可以绕排一层

铁芯尺寸: $D_{\text{外}} \times D_{\text{内}} \times H = 58 \times 6 \times 32$

绕制后及铁芯外形尺寸: $D'_{\text{外}} \times D'_{\text{内}} \times H' = 60 \times 34 \times 34$

* (A) $B = 16000 \text{ GS } S_C = 2 \text{ cm}^2 \quad W_{1-2} = 191 \quad W_{3-4} = 217 \quad I_{pa\delta} = 3 \text{ A}$ (铁芯未浸漆)

(B) $B = 14000 \text{ GS } S_C = 3.2 \text{ cm}^2 \quad W_{1-2} = 144 \quad W_{3-4} = 163 \quad I_{pa\delta} = 0.75 \text{ A}$ 但滑头不佳, 易“打火”

(C) $B = 13000 \text{ GS } S_C = 3.2 \text{ cm}^2 \quad W_{1-2} = 155 \quad W_{3-4} = 176$

参考文献			
1	无线电广播、收音、扩音机电源变压器典型计算	NE0.470 000/001	
2	电源变压器和整流器的滤波阻流圈用铁芯	无线电专业标准 NE0、660、000	一机部十局 1955年
3	电源变压器和整流器的滤波阻流圈用硅钢片	无线电专业标准 NE0、777、000	
4	单相电源小功率变压器典型计算	ASO、052、000	1017 所， 姚文生编 1964 年
5	整流用平滑滤波扼流圈典型计算	ASO、052、001	
6	低频变压器设计		苏I.C 采金编
7	小功率单相电源自耦变压器设计		苏 1968 年
8	自动远动电器, 第 II 分册, 磁性元件		清华大学编
9	稳压器与稳流器		苏K.E 马杰里著
10	电感器件 (下册)		西安无线电工业学校编
11	电磁铁设计		
12	电缆手册		
13	电工手册		
14	Трансформаторы Малой Мощности		P. X. Бальян 著 1964 年
15	Расчет Малой Мощности Трансформаторы	H. П. Ермолин и А. П. Ваганов	