

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（ $\times \times 4.720.F90/02$	P2-1/3	P207-209
3	环形（自耦）变压器设计		$\times \times 4.052.006$	P3-1/8	P210-225
	实例A	输入127V/50C 输出115V/0~140V	选冲片壳式铁芯D42-0.35 $\times \times 4.722.A90/00.C$	P3-8/12	
	实例B	输入115V/400C 输出0~130V/0.48A	选环形带绕铁芯D310-0.20 $\times \times 4.722.A90/00.D$	P3-13/16	

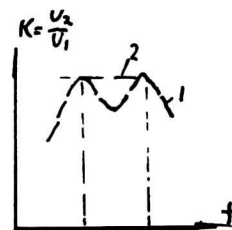
编著：姚文生 2006年1月 上饶

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。



频率放大器的
1、实际谐振曲线
2、理想谐振曲线
(图一)

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：

(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

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

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

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

(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 $\Delta f=4\sim 12\text{KC}$ 。

(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 $R_0 = \rho Q$ 小且 $K_0 \downarrow$

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 \downarrow 愈小，失谐愈大。

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

$f_0 < 1\text{MC}$ 时，选 $C=100\text{P}$

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

(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—Б、u 西福罗夫)

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

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

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

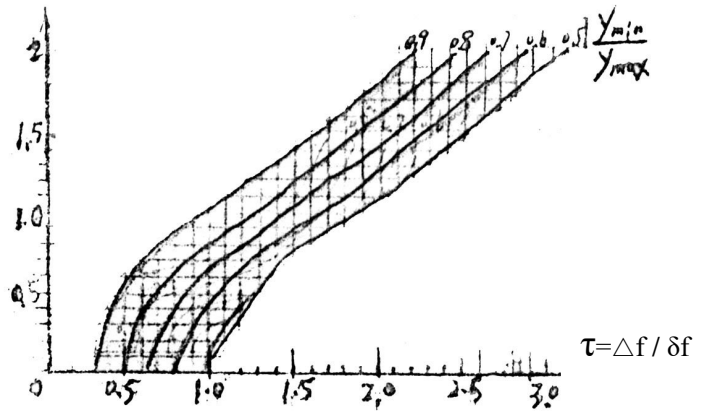
从右图曲线族中，求得到

$$X_1 = \frac{Q \cdot \Delta f}{f_0} \text{ 再根据给定的 } f, \Delta f, \text{ 亦可求得 } Q.$$

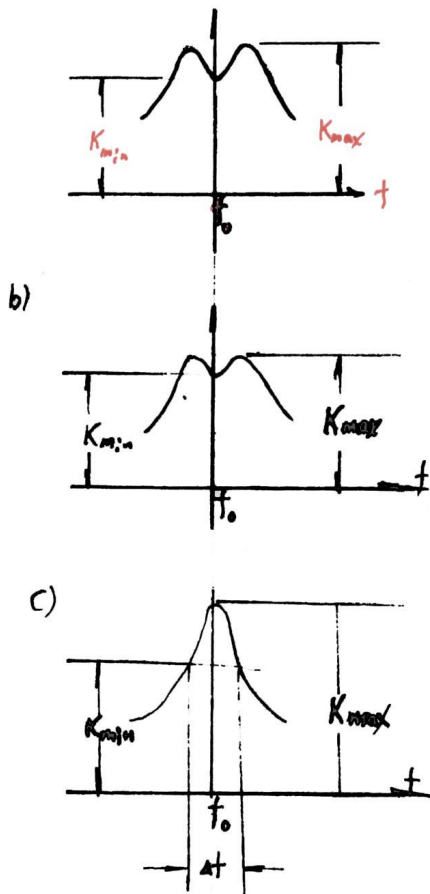
通常 $\eta = 0.5 \sim 1$ 而最常用 $\eta = 1$

$$\eta = KQ$$

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 $X=0$ ， $y_{\min}=1$

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

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

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

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

图三，耦合回路三种谐振曲线

η_{onm} 为最佳耦合系数

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

$$\text{最佳品质因素 } Q_{onm}=f_0\sqrt{2(\eta_{onm}-1)}/\Delta f \quad (9)$$

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

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

计算上述二式取最小 R_o C_{ga} ——电管极间电容

从而得回路电容量:

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

同样可得回路电感: 通常电感线圈的品质因素:

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

$$\rho = \frac{1}{\omega C} = LW \quad \rho = \frac{R_o}{Q} \quad L_c = \mu_c \cdot L_o \quad Q_c = \mu_c \cdot Q_o$$

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

有时采用拆衷的方法 $KQ=0.8 \sim 1$ (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 $\eta=3$

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

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

$$\frac{Q\Delta f}{f}=1 \quad Q=\frac{\Delta f}{\Delta f}=\frac{120}{4}=30 < 70 \quad \text{上面计算合适}$$

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:

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

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

$$\text{取 } R_{\vartheta} = 2 \times 10^5 \quad \Omega$$

④计算回路的 $L \cdot C$

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

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

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

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:

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

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

⑥每级放大系数:

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

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

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 $\uparrow C$

$$\text{⑦当失谐 } q_{KC} \quad \text{参数 } X = X_2 = \frac{\Delta_2 f}{5} \times Q = \frac{2 \times 9}{120} \times 30 = 4.5$$

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 Pf ，从工作稳定性是合适的

$$\rho = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{6.28 \times 465 \times 10^3 \times 150 \times 10^{-12}} = 2280 \quad (\Omega)$$

$$R_0 = \rho Q = 2280 \times 50 = 1.14 \times 10^5 \quad (\Omega)$$

“6K7”的内阻 $R_i = 6 \times 10^5 (\Omega)$ 而 $R_0 < \frac{1}{4} R_i$ ，因此选 $C = 150 \text{ Pf}$ 是合适的。

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

④ $K = \eta / Q = 0.55 / 50 = 0.011$

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

$$\textcircled{5} K_0 = \frac{\eta}{1 + \eta^2} \times G_M \cdot R_0 = \frac{0.55}{1 + 0.55^2} \times 1.65 \times 1.14 \times 10^5 = 79.4$$

两级的放大系数为 $K = K_0^2 = 79.4^2 = 6300 > 3000$ \therefore 选择二级放大是正确的

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

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

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

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

设定：将用 6Ж4 管子， $R_i = 10 \times 10^5 (\Omega)$ ， $G_m = 0.009 \text{ 安/伏}$ ， $C_{ga} = 0.015^{\mu\text{f}}$

解：（1）级数和回路对数为 2

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

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

$$Q_{\text{onm}} = \frac{f \sqrt{2(\eta_{\text{onm}}^2 - 1)}}{\Delta f} = \frac{10 \sqrt{2(1.85^2 - 1)}}{2.5} = 8.8 < 30$$

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

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

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

$$(5) \quad R_3 = \rho Q = \frac{Q}{\omega C} = 8.8 / (6.28 \times 10^7)^2 \times 30 \times 10^{-12} = 4650 \quad (\Omega)$$

$$(6) \quad K_0 = \frac{\eta}{1 + \eta^2} \times G_M \cdot R_3 = \frac{1.85}{1 + 1.85^2} \times 9 \times 10^{-3} \times 4650 = 17.5$$

$$K = K_0^2 = 17.5^2 = 305 > 100 \quad \text{因此, 级数的选择是正确的}$$

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

$$\text{设定: } f_0 = 405 \text{Kc} \quad C = 200^{\text{p}} \quad K_1 = 0.03 \quad Q_L \geq 80 \quad S_c = 3.5 \times 3.5 = 12.25 \quad \text{cm}^2$$

$$\text{解: (1) } L_c = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot C} = 1 / (6.28 \times 465 \times 10^3)^2 \times 200 \times 10^{-12} = 615 \quad \mu\text{h}$$

$$\text{取骨架直径 } D_0 = 12 \quad \text{线圈分二段绕, 每段长 } L = 3.5 \quad \text{m/m}$$

$$\text{两段中心间隙 } 1.5, \text{ 绕组厚度暂定为 } t = 4$$

$$\text{则绕组外径为 } D = D_0 + 2t = 12 + 2 \times 4 = 20 \quad \text{m/m}$$

$$\text{选取羰基铁粉芯} \quad D_c = 9.6 \quad l_c = 10 \quad \text{m/m}$$

表 3-8 ($\mu = 11$)

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

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

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

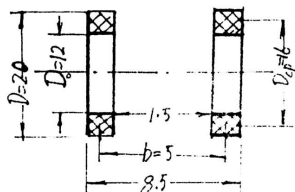
$$\text{绕组的电感量: } L = \frac{L_c}{\mu_c} = \frac{615 \mu\text{h}}{1.5} = 410 \quad \mu\text{h}$$

加屏蔽罩后 $L \downarrow 15\%$

\therefore 绕组电感要加上 15%, 即 $L'=410 \times 1.15=471 \mu\text{h}$

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

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



按 $\Phi 3-18$ 计算每段所需的电感量: $S=2$ (二段)

$$L'_c = \frac{L}{2S-1} = \frac{470}{3} = 156 \mu\text{h}$$

(2) 线圈匝数的计算 [参见: 本书 (F) 电感线圈结构与计算]

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

查 $\Phi 3-4$ 多层线圈形状系数 $F=8.2$

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

$L - \mu\text{h}$
 $D - \text{cm}$

选取 7×0.07 单丝漆包绞股线 (d_{jo}) $d_o=0.34$

m/m

取折弯系数 $Z=4$ 计算绕组尺寸:

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

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

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

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

比暂定 $t=4$ 略大, 进行再修正计算

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

从图表 $\Phi 3-4$ 查得 $F=7.8$ $\therefore L = F N^2 \cdot D \times 10^{-3} = 7.8 \times 98^2 \times 22 \times 10^{-3} = 163 (\mu\text{h})$

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

(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

$$r_o = \frac{7aND_{cp} \times S}{n \cdot d_{ol}^2 \cdot \cos \psi_{cp}} \times 10^{-6} = \frac{7 \times 1.04 \times 96 \times 1.7 \times 2}{7 \times 0.0072 \times 0.95} \times 10^{-6} = 7.3$$

(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 $\Sigma l = 2l + 1.5 = 8.5$ $\frac{\Sigma l}{D_1} = \frac{8.5}{22} = 0.385$ $\frac{t'}{D'} = \frac{5}{22} = 0.227$

查 $\Phi 3-19$ 邻近效应的形状系数 $K = 10$

$$\text{按 (3-37) 式计算高频电阻为 } r_f = r_o \left\{ F(z) + \left[\left(\frac{\eta d_1}{d} \right)^2 C + \left(\frac{K' N_{nd}}{2D} \right)^2 \right] G(z) \right\}$$

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

计算磁芯损耗引入的电阻

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

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

$$r_c = \Sigma r_B + r_n = 0.75 + 0.11 = 0.88$$

\therefore 线圈的品质因素为

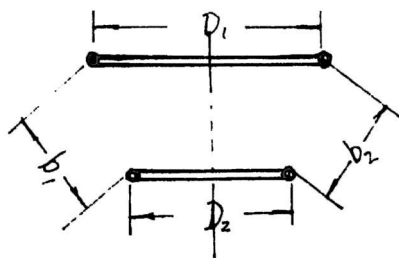
$$Q_L = \frac{\omega L}{r_f + r_c} = \frac{6.28 \times 65 \times 10^3 \times 615 \times 10^{-6}}{10.74 + 0.88} = 156 \geq 80 \quad \text{考虑屏蔽损耗仍能满足}$$

(5) 计算线圈间距离:

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

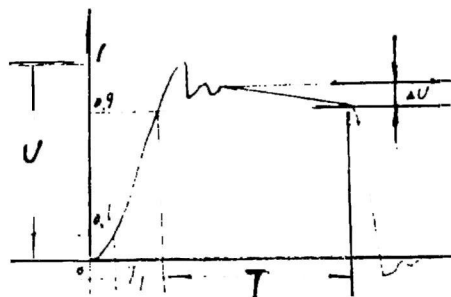
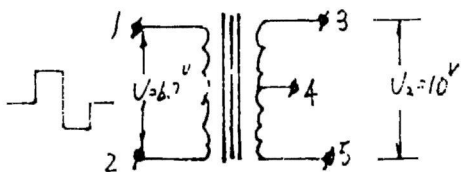
查表 3-2, 得 $\frac{b_1}{b_2} = 0.83$

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



2、脉冲变压器设计（资料）

(××4.720.F90/02)



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

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

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

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

(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:

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

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

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

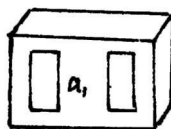
$$S_{M2} = \frac{I_{2\phi}}{\delta_2} = \frac{12.3}{2 \times 10^{-3}} = 0.0041 \quad mm^2 \quad d_{o2} = 0.05 (0.075) \quad \rho = 9000 \quad (\Omega/km)$$

(2) 磁芯材料与尺寸大小:

选坡莫合金片 (1Ni79Mo4)

对 D310—0.35

$$\mu_{\Delta} = 0.5 \quad \mu_o = 0.5 \times 3000 = 1500$$



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

$$\mu_{\Delta} = 1000$$

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

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

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

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:

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

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

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

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

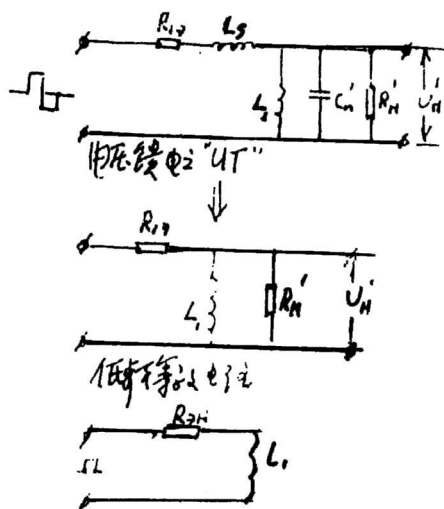
$$\therefore S_c = \frac{10}{500} \times \left[\frac{4 \times 1500 \times 25 \times 10^3 \times 0.03 \times 0.31 \times 0.1}{0.8} \right]^{0.5} = 8.5 \times 2 = 17 \quad \text{cm}^2$$

(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:



$$1、R_{1\text{э}} = R_i + r_1 + r_2' = 0.5 + 2.2 + 2.8 = 5.5 \quad \text{K}\Omega$$

$$2、R_{\text{эH}} = \frac{R_{1\text{э}}' \cdot R_H'}{R_{1\text{э}}' + R_H'} = \frac{5.5 \times 6.7}{5.5 + 6.7} = \frac{36.9}{12.2} = 3 \quad \text{K}\Omega$$

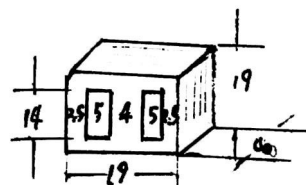
$$3、L_1 = \frac{TR_{\text{эH}}}{\Delta} = \frac{0.025 \times 3000}{0.97} = 77 \quad \text{h}$$

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

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

选铁芯 E4×8

坡莫合金 79HM-0.2



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

$$R_{a\sim} = r_1 + r_2' + R_H' \quad (2) \text{ 解(1)(2)得 } r_1 = \left(\frac{1}{3} \right) R_H' = 2.2 \text{ K}$$

$$\text{令 } r_2' = R_H' \frac{1 - \eta}{2 \eta} = \frac{30 \times 500}{1.5^2} \left(\frac{1 - 0.7}{2 \times 0.7} \right) = \frac{15 \times 10^3}{1.5 \times 1.5} \left(\frac{0.3}{0.7 \times 2} \right) = \frac{45}{15.75 \times 2} \times 10^3 = \frac{2.85}{2} \times 10^3 = 1.42 \text{ K}$$

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

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

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

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

$$W_1 = \sqrt{\frac{380}{24}} \times 10^6 = 4 \times 10^3 \quad \text{匝}$$

$$\text{实际选取 } W_{1-2} = 3800 \quad W_{3-5} = 2 \times 2900 = 5800 \quad \text{匝}$$

(5) 结构计算:

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

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

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

$$W_1 = \sqrt{\frac{70 \times 4.95 \times 109}{4 \times 3.14 \times 0.36 \times 6000}} = \sqrt{\frac{350}{27}} \times 10^3 = \sqrt{13} \times 16^3 = 3600 \quad \text{匝}$$

$$W_2 = 5400 \quad \text{匝}$$

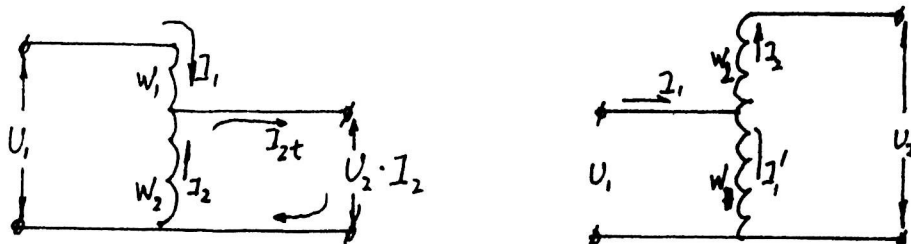
$$N_1 = \frac{3600}{129} = 28 \quad N_2 = \frac{5400}{129} = 42 \quad \text{层}$$

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

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) 降压情况 $K = \frac{V_1}{V_2} > 1$

(b) 升压情况 $K = \frac{V_1}{V_2} < 1$

图一 “AT” 线路图

其中: (a) $I_{2t} = I_2 - I_1 = I_2(1 - \frac{I_1}{I_2}) = I_2(1 - \frac{1}{K})$ (b) $K'I_1' = K'(I_1 - I_2) = I_2 - K'I_1 = I_2(1 - K)$

$$*K = \frac{I_2}{I_1} = \frac{V_1'}{V_2} \quad K = \frac{1}{K}$$

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: $P_2 = V_2 I_2 \approx V_1 I_1$

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

$$P_2 = V_2 I_2 = V_2(I_1 + I_{2t}) = V_2 I_1 + V_2 \cdot I_{2t} = V_2 I_2 \frac{1}{K} + V_2 I_2(1 - \frac{1}{K}) = P_\phi + P_{2t}$$

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

$$P_2 = V_2 I_2 = V_1 I_1 = V_1(I_2 + I_1') = V_1 I_2 + V_1 I_1' = V_2 K' I_2 + U_2 K' I_1' = V_2 I_2 K' + V_1(1 - K') = V_2 I_2(\frac{1}{K}) + V_2 I_2(1 - \frac{1}{K}) = P_\phi + P_{2t}$$

由此可见: 在(a)降压情况中, 用电的方法由初级到次级的功率为 $P_\phi = V_2 I_2 \frac{1}{K}$

用磁的方法由初级到次级的功率为 $P_{2t} = V_2 I_2(1 - \frac{1}{K})$

(b)升压情况下, 用电的方法由初级到次级的功率为 $P_\phi = V_2 I_2 K'$

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低。

当 $K>$ 时，“AT”在这种情况下使用是有利的， \therefore 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。

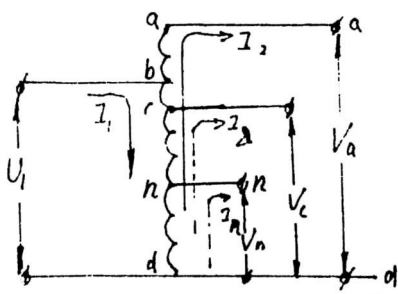
小功率自耦的计算相于一般的小功率电源变压器的计算。

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 $P_2、P_3\cdots\cdots P_n$ ； $V_a、V_c\cdots\cdots V_n$ 和 $\cos \Psi_2、\cos \Psi_3\cdots\cdots \cos \Psi_n$



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传递的，“AT”的主要尺寸确定了用磁的方法传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 $P_{2t}=V_2I_2(1-K')=P_2(1-K')$

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

$$I_{1a} = \frac{P_2 \cos \psi_2}{V_1 \eta} \quad I_{1p} = I_{1a} + \frac{P_2 \sin \psi_2}{V_1 \eta}$$

次级电流：

次级电流的有功分量和无功分量：

$$I_2 = \frac{P_2}{V_a} \quad I_{2a} = \frac{P_2 \cos \psi_2}{V_a} \quad I_{2p} = \frac{P_2 \sin \psi_2}{V_a}$$

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

$$I_1 = \frac{P_3 \cos \psi_3}{V_1 \eta \cos \psi_1} \quad I_{1a} = \frac{P_3 \cos \psi_3}{V_1 \eta} \quad I_{1p} = I_{1a} + \frac{P_3 \sin \psi_3}{V_1 \eta}$$

$$I_2 = \frac{P_3}{V_c} \quad I_{2a} = \frac{P_3 \cos \psi_3}{V_c} \quad I_{2p} = \frac{P_3 \sin \psi_3}{V_c}$$

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

$$I_1 = \frac{P_n \cos \psi_n}{V_1 \eta \cos \psi_1} \quad I_{1a} = \frac{P_n \cos \psi_n}{V_1 \eta} \quad I_{1p} = I_{1a} + \frac{P_n \sin \psi_n}{V_1 \eta}$$

$$I_2 = \frac{P_n}{V_n} \quad I_{2a} = \frac{P_n \cos \psi_n}{V_n} \quad I_{2p} = \frac{P_n \sin \psi_n}{V_n}$$

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

$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \frac{1-n_{2t}}{n_{2t}} P_{2t}}$ —— “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

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

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_n		

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) 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) 对 $K_c=\frac{V_1}{V_c}$

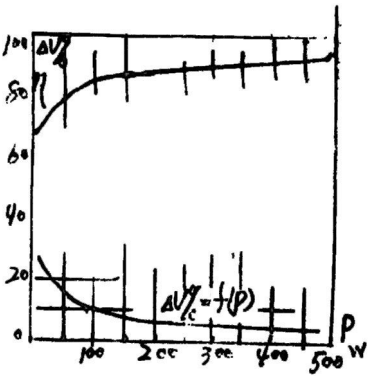
$$I_{ab}=0; \quad I_{bc}=I_1$$

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

(3) 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	$V_1/V_a、V_1/V_c\cdots\cdots V_1/V_n$	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 $P_{2t}=100^W$ 时，允许的电流密度为 $j=2.5\sim 3.5A/mm^2$

6、“AT”铁芯中心柱及磁轭截面积确定：

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

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）

$$W_1 = \frac{V_1 \times 10^8}{4.44 f B_c \times S_c} ; \quad e_w = \frac{V_1}{W_1}$$

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

B、对三相“AT”

$$W_1 = \frac{V_1 \times 10^8}{\sqrt{3} \times 4.44 f B_c \bullet S_c}$$

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

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：

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

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 $\times \times O$ 、052、000 附表 3 选择）

10、铁芯窗口高度与宽度的确定

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

$$K_o = 0.2 \sim 0.3$$

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：

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

其中： $l_{Mi} = l[(1 + \beta_l) + 4(\beta_z + \beta_r')] + 2\pi R_i$ g_i ——(kg/km) 查电缆手册

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

三相“AT”的铜重为单相的“AT”的三倍。

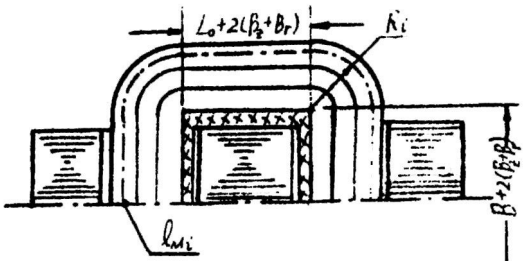
12、铜耗

(1) 对 $K_a = \frac{V_1}{V_a}$

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

(2) 对 $K_c = \frac{V_1}{V_c}$

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



图四 铁芯中线圈布置图

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。($P_c = G_c \cdot P_y$)

14、“AT”空载电流

$$I_{\mu 0} = \frac{a \omega \sim \times l_c}{W_1}$$

A

15、“AT”的效率 (K 、 η 、 Δ)

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

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_η									

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： $\Delta V\% = e_a\% \cos \Psi_1$

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

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	ΔV%	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 Δτ 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：连续负载开放式空氧冷却重量最小

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：

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

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

2、“AT”电流的确定

(1) 当 K_a=0.907

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

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

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

$$\text{其中: } I_\mu \% = (40 - 50) \frac{P_{2t}}{P_2} = 40 \times \frac{14}{150} = 4\% \text{ 即为 } I_{1a} \text{ 的 } 4\%$$

表一

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

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

$$\eta = P_2 / [P_2 + \left(\frac{1 - \eta_{2t}}{\eta_{2t}} \right) P_{2t}] = 150 / [150 + \left(\frac{1 - 0.7}{0.7} \right) \times 14] = 0.96$$

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

A

由图三，根据 $P_{2t} = 14W$ 得 $\eta_{2t} = 0.7$

(2) 当 $K_C = 1.1$

有功分量 $I_{1a} = I_1 = 1.23$

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

无功分量 $I_{1p} = 0.05$ A

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

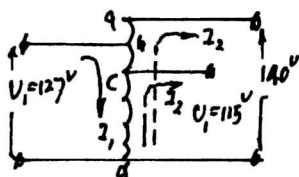
A

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
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 $K_C = 1.1$ $I_{ab} = 0$ $I_{bc} = 1.23$

表 3

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

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

A

K	I _{ab}	I _{bc}	I _{cd} (A)
V ₁ /V _a = 0.907	1.07	0.175	0.175
V ₁ /V _c = 1.1	0	1.23	0.101

4、选 $B_C = 13000GS$

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

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

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

匝

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

V/匝

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

经宽口核算 $l_1=12 \text{ m/m}$ 是可以容下的。

10、铜耗 (75°C) P_{M-75°

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

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

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

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

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

$$P_{mab} = 0 \quad W$$

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

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

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

$$G_M = G_{Mcd} + G_{Mbc} + G_{Mab} = 0.043 + 0.036 + 0.047 = 0.126 \quad \text{kg}$$

12、铁重与铁耗:

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

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

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

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

(2) 铁耗:

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

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

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

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

(3) 空载电流:

$$I_c = I_\mu = \frac{H_\mu \times l_c}{W} = \frac{7.6 \times 10.9}{1110} = 0.075 \quad A$$

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

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：

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

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

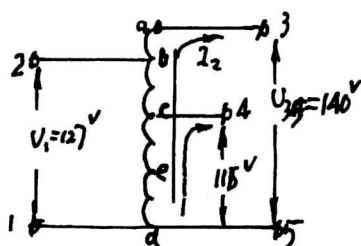
$$(2) K_c = 1.1, e_a \% = \frac{1.99}{150} \times 100\% = 1.3\%$$

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

16、负载检验：

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

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

$$\text{实验值: } V_a = 127\text{V}; \text{ 空载时 } \begin{cases} V_{4-5} = 116\text{V}/0.101\text{A} \\ V_{3-5} = 140\text{V}/1.07\text{A} \end{cases}$$

$$\text{空载时 } \begin{cases} V_{4-5} = 116\text{V}/0.101\text{A} \\ V_{3-5} = 140\text{V}/1.07\text{A} \end{cases}$$

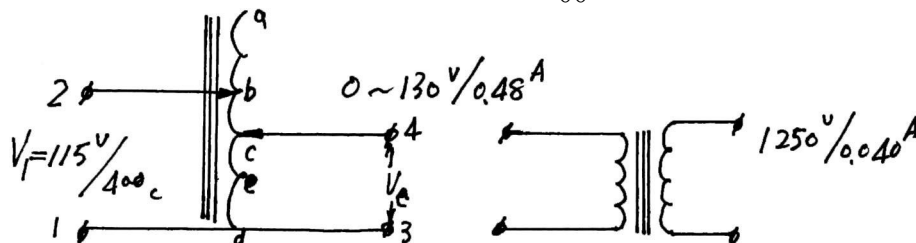
五、参考文献：

Расчёт Мощных Трансформаторов

Н. П. Ермо Л и и И А. П. Ва Г анов

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

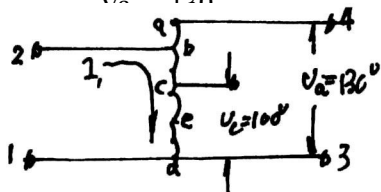
② $V_1 = 115V$ $V_a = 130V$ $V_c = 100V$ $V_e = 50V$

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

$$\textcircled{1} \text{ 当 } K_a = \frac{V_1}{V_c} = \frac{115}{100} = 0.884 \quad P_{2t} = P_2(1 - K_a) = 62(1 - 0.884) = 7.2 \quad W$$



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

$$K_C = \frac{V_1}{V_C} = \frac{115}{50} = 2.3 \quad P_{2t} = P_2(1 - \frac{1}{2.3}) = 35 \quad W$$

2、“AT”的确定:

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

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

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

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

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

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

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

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 $K_C=2.3$

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

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

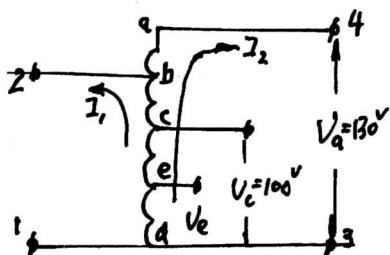
$$I_2' = \frac{P_2}{V_C'} = \frac{62}{35} = 1.77^A \quad \text{从 } 35^V \sim 130^V \text{ 变化 } \frac{130}{1250} = \frac{35}{X} \quad X=310^V$$

表 2

K	P_2	$\cos \Psi_2$	$\sin \Psi_2$	I_2 I_{2a}	I_1 I_{1a} I_{1p}	$\cos \Psi_1$	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 $K_a=0.884$



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

A

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

$$= [(0.57 - 0.48)^2 + (0.026 - 0)^2]^{0.5} = 0.094$$

A

②当 $K_C=1.15$

$$I_{ab}=0$$

$$I_{bc}=I_1=0.57$$

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

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

A

③当 $K_e=2.3$

$$I_{ab}=0 \quad I_{bc}=I_1=0.57$$

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

A

$$\text{当 } K_e' = \frac{115}{40} = 2.9$$

$$I_{ed} = [(1.55 - 0.57)^2 + (0 - 0.13)^2]^{0.5} = 1$$

A

$$I_2 = P_2/V_e' = 62/40 = 1.55A$$

$$(I_{2a}=1.55A \quad I_{2p}=0)$$

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

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

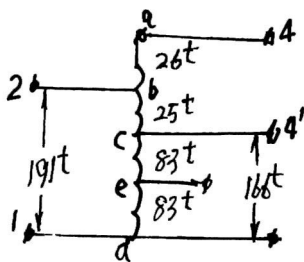
$$S'_C = \frac{S_C}{K_C} = \frac{1.87}{0.91} = 20 \quad \text{cm}^2$$

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

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

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

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



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

$$I_{ed} = 695 \quad I_{ea} = 1$$

按 $I_{2\max} = 1\text{A}$ 考虑线径

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

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

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

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

则钢带应绕的层数

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

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

$$d_o = 0.57(0.62)$$

$$\Sigma W = 217$$

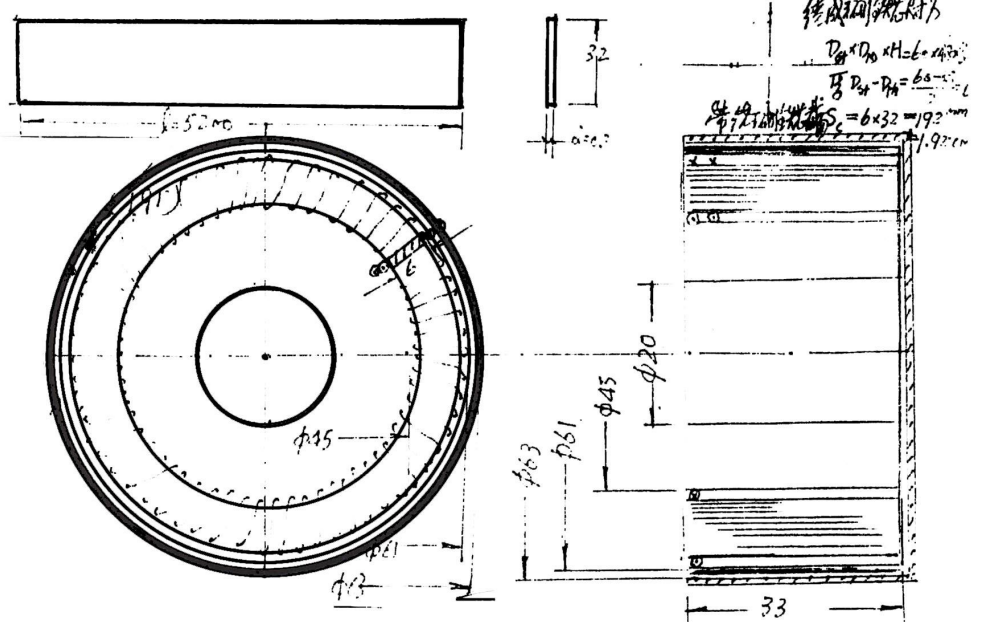
未浸漆铁芯

$$\text{空载电流 } I_o \mu = 6$$

浸漆铁芯

$$\text{空载电流 } I_o \mu = 3$$

带绕环形铁芯尺寸:



$$D_{\text{外}} \times D_{\text{内}} \times H = 60.1 \times 48.1 \times 32$$

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

cm²

$$\text{带厚: } \delta = (60.1 - 48.1) / 2 = 6$$

m/m

最小铁芯周长: m

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

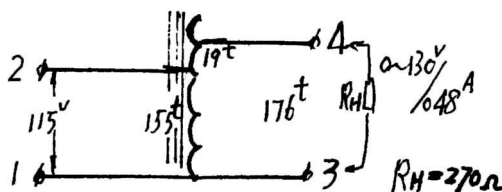
m/m

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



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

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

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

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

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

$$\text{钢带尺寸: 长} \times \text{宽} \times \text{厚} = 7.9 (\text{m}) \times 32 (\text{m/m}) \times 0.2 \text{m/m}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

参 考 文 献			
1	无线电广播、收音、扩音机电源变压器典型计算	NE0470000/001	
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	自动运动电器，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	Транс Форматоры Малой МошНосТи		Р. Х. Бальян 著 1964 年
15	Расчёт Малой МошНосТи ТрансФормаТоры	Н. п. Ермоли и А.п. Ваганов	