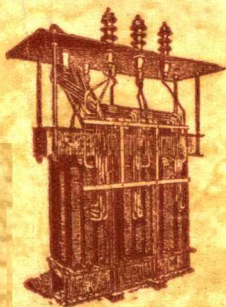


变 压 器 文 輯

(第一集)

汪 世 襄 主 編



科 学 技 術 出 版 社

变 压 器 文 輯

第 一 集

汪 世 襄 主 編

科 学 技 術 出 版 社

內 容 提 要

本書選錄電世界月刊第四卷至第八卷中有关變壓器文字，第一集彙編有关設計及計算的，第二集彙編有关製造、試驗、運用及檢修的，以供從事電工之技術人員參考。第一集文字共十五篇，包括：三相變壓器及特种變壓器，如點焊机變壓器、磁鉄飽和式電壓穩定器等；儀用互感器；及小型單相變壓器之設計及計算程序。介紹蘇聯先進經驗者共九篇，研究一般設計估計者五篇，小型變壓器製造經驗介紹一篇，可供電機工業學校學生及電機製造廠技術人員參考之用。

變 壓 器 文 輯

(第 一 集)

編 著 者 汪 世 襄

*

科 學 技 術 出 版 社 出 版

(上海建國西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可證出○七九號

文明印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經理

*

統一書號：15119·214

(原電世界版印3000冊)

開本 787 × 1092 1/25 · 6 6/25 印張 · 120,000 字

一九五六年五月新一版

一九五六年五月第一次印刷 · 印數 1—2,020

定價：(10) 八角

編輯者話

變壓器是應用最廣泛的一種電器，大型的至小型的，幾乎在各種電工設備裏都缺少不得的。電世界月刊中登載過有關變電器的文字，佔相當的比重。為應許多讀者需要，將近幾卷裏這類文字加以分類彙編，以供從事於這項工作的同志參考。現在將有關設計及計算的文字編為第一集，有關製造、試驗、運用和檢修的文字編為第二集。

本集介紹設計與計算的知識。九篇為蘇聯先進經驗，其中兩篇屬於大中型變壓器設計方法及數據，三篇屬於特種變壓器如點焊機變壓器及磁鐵飽和式電壓穩定器的設計，四篇屬於小型單相變壓器。此外一篇介紹儀用互感器的設計，一篇討論變壓器輸出與過率重量損耗等的關係，二篇關於變壓器容量的估計，均係研究設計及計算的參考資料。另一篇“變壓器設計”概括地介紹了設計的基本原理、基本公式、設計步驟和計算方法，附有兩個類型的實例，雖資料稍嫌陳舊，採用呎磅制及電密磁密用得較低，但可幫助檢修工作人員明瞭設計方法，仍選輯以供參考。最後一篇小型電源變壓器的計算和試做可供業餘無線電者參考。

這些文章所講的，一般的針對現有變壓器的情況，並為這類設計改進方向提供先進經驗資料，尚與現在其他已出版同類書籍內容不同，因此，我們彙編作為參考讀物推薦給讀者。

編者

一九五四年十二月

目 錄

三相變壓器設計.....	屠大魯譯.....	1
蘇聯變壓器的一些數據.....	林剛漢譯.....	19
點焊變壓器的計算.....	許桂澄.....	35
磁鐵飽和式電壓穩定器.....	吳樹海.....	43
再論磁鐵飽和式電壓穩定器.....	吳樹海.....	51
儀用互感器設計.....	鄭景清 顧榮保.....	61
變壓器設計.....	楊學綸.....	81
變壓器輸出與週率重量損耗等的關係.....	林剛漢.....	103
關於變壓器電壓及容量的估計.....	勤為.....	112
減壓起動器用單捲變壓器容量的估計.....	柳金林.....	115
小容量單相變壓器的設計.....	屠德青譯.....	118
小型變壓器的簡便計算法.....	連遐邇譯.....	126
小電力的自耦變壓器.....	蘇凡譯.....	130
輸出變壓器負荷兩隻揚聲器的計算.....	王鴻臺譯.....	144
電源變壓器的計算和試做.....	海屏.....	147

容量 100 仟伏安以下 6 仟伏電壓

三相變壓器的設計

工程師 B.H. 卡柏林著 屠大魯譯

在我們實際運用電力設備的時候，常常有必要用自己的力量來局部或全部修復一些電力變壓器。本文即為城市和鄉村電力線路中所最常用的容量 100 仟伏安以下，電壓 6 仟伏三相電力變壓器的設計要點，本文刊載線圈、鐵心之設計。

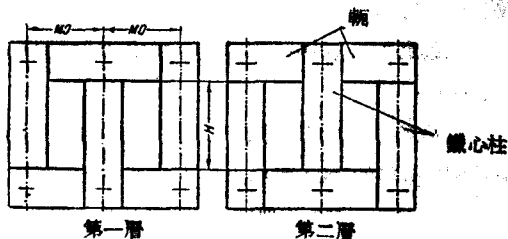
變壓器設計應有的原始數據是：容量的仟伏安數，無載初級電壓和次級電壓（伏），繞組聯接方式和組數，無載損失（鐵內損失），瓦；短路損失（銅內損失），瓦；短路電壓，百分數。

一 磁導體的計算

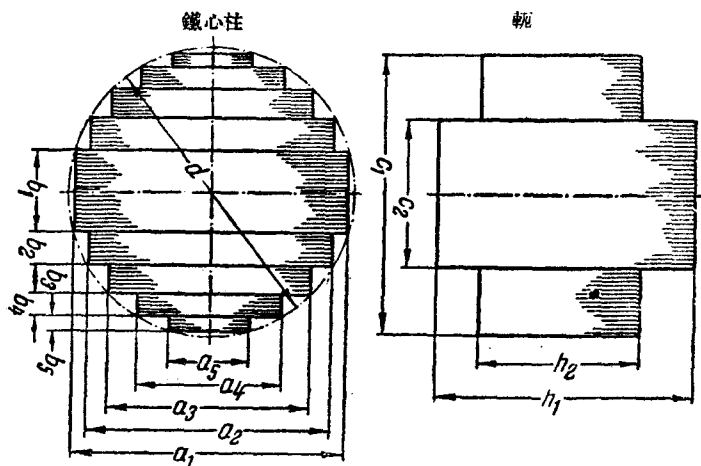
磁導體是用厚度為 0.5 毫米的矽鋼片製成，每片之間用 0.03 毫米的浸過石臘的紙絕緣。磁導體是按交疊法裝配而成（圖一）。

繞組採用圓形，所以磁導體的鐵心柱截面要分級以成圓形（圖二）。在 20—100 仟伏安變壓器，疊片可取 3 至 5 級。如欲得最

大的鐵心柱截面（ Q_c ），則對於鐵心柱每級可利用表一內的數據，其中指出鐵片



圖一 三相磁導體的交疊示意圖



圖二 磁導體鐵心柱和軛的截面

表 一

鐵心柱的級數	鐵心柱各片寬度 (見圖二)				
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
3	0.906	0.707	0.424	—	—
4	0.933	0.795	0.606	0.559	—
5	0.950	0.846	0.707	0.534	0.314

寬度的最有利數值。

在選定 $a_1, a_2, a_3, \dots$ 的寬度所構成磁導體的截面後，可求得疊片的厚度 $b_1, b_2, b_3, \dots$ 。

直角形的鐵心軛最為簡單，但為了使磁通密度在疊片上有更均勻的分佈，故軛亦製成分級的，成十字形（圖二）。

h_1 的尺寸可選取近似鐵心柱鐵片的最大寬度 a_1 ， h_2 的尺寸取其餘寬度 $a_2, a_3, \dots$ 的平均數，在確定軛的截面時再修正之。總之軛的截面 (Q_y) 大約要比鐵心柱的截面大 20% 即：

$$Q_y \approx 1.2 Q_c$$

欲選擇鐵心柱的直徑(d)和級數可利用表二。

表 二

容 量 仟伏安	鐵 心 柱 直 徑 d 毫米	級 數	鐵 心 柱 有 效 截 面 Q_c 平方毫米
20	95	3	52
30	110	3	69
50	120	4	86
75	140	5	120
120	155	5	150

鐵心柱 Q_c 的有效截面是由鋼的幾何截面的疊置係數求出,在紙絕緣的鐵心此係數為 0.875。

磁導體窗口的高度 H (圖一),在容量 20—50 仟伏安者可為 $2.1—2.3d$;在容量 75—100 仟伏安者可為 $1.45—1.6d$,以後在計算繞組時並根據(蘇聯)國定標準所要求的特性再修正之。

鐵心柱軸間之距離(MO 圖一),應以在磁導體窗口內置放繞組為度,以後再為選定。

二 繞組的計算

要計算繞組的匝數,必須先假設鐵心柱內磁通密度之值。

在油浸變壓器磁導體內,磁通密度值主要是受無載時的損耗和電流的限制。鐵心內的磁通密度可在 13800—14500 高斯範圍內選擇。

選定磁通密度後,即可決定低壓繞組一相的匝數。在 20 至 100 仟伏安、次級電壓為 230 及 400 伏的變壓器,其高壓繞組僅聯接成星形(Y 形),而低壓繞組通常多接成中點接出的星形(Y_0 表示),少有接成三角形者。

在額定頻率為 50 週時,低壓繞組的匝數可由下式求得,若低壓繞組的連接為星形時:

$$n_1 = \frac{U_{x2} \times 10^8}{384 B Q_c}$$

低壓繞組的連接為三角形時：

$$n_2 = \frac{U_{A2} \times 10^3}{222 B Q_c},$$

其中 n_2 是低壓繞組一相的匝數； U_{A2} 是低壓繞組在無載時的線電壓，伏； B 是鐵心柱的磁通密度，高斯； Q_c 是鐵心柱的有效截面，平方厘米。

在高壓繞組內要考慮到有 $\pm 5\%$ 的電壓級以調整變壓比。

高壓繞組的匝數由下式決定：如為 YY_0 聯接

$$n_1(+5\%) = \frac{1.05 n_2 U_{A1}}{U_{A2}},$$

$$n_1 \text{ 額定} = \frac{n_2 U_{A1}}{U_{A2}},$$

$$n_1(-5\%) = \frac{0.95 n_2 U_{A1}}{U_{A2}}$$

其中 n_1 是高壓繞組一相的匝數； U_{A1} 是高壓繞組在無載時的線電壓，伏。

三相變壓器的線電流是：在高壓繞組。

$$I_{A1} = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{A1}} \text{ 安；}$$

在低壓繞組：

$$I_{A2} = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{A2}} \text{ 安，}$$

其中 P 為變壓器的額定容量，仟伏安。

相電流在高壓和低壓繞組內流通。如繞組接成星形，則相電流 $I_{\phi 1}$ 和 $I_{\phi 2}$ 等於線電流 I_{A1} 和 I_{A2} 。

線匝的截面由下式決定：

$$S_1 p_1 = \frac{I_{\phi 1}}{\delta_1},$$

$$S_2 p_2 = \frac{I_{\phi 2}}{\delta_2}$$

其中 δ_1 和 δ_2 是高壓和低壓繞組內的電流密度，安/平方毫米； S_1 和 S_2 是高壓和低壓繞組每一導線的截面，平方毫米； p_1 和 p_2 是高壓和低壓繞組線匝的並行導

錄數。

20—100 仟伏安變壓器的電流密度值可在每平方毫米 2.2—4.3 安範圍內選擇。

許可的電流密度，隨繞組的構造及其冷卻面而定。例如視各層線圈是否有垂直的溝道而定，繞組內置有溝道者可以取較大的電流密度值。

電流密度(安/平方毫米)可以用下列參考數值選定：

在高壓繞組 $\begin{cases} 20-30 \text{ 仟伏安} & \text{—} 2.2-2.7 \\ 50-100 \text{ 仟伏安} & \text{—} 3.1-3.8 \end{cases}$

在低壓繞組 $\begin{cases} 20-50 \text{ 仟伏安} & \text{—} 2.6-3 \\ 75-100 \text{ 仟伏安} & \text{—} 3.6-4.3 \end{cases}$

繞組可採用如下各種銅導體：(1)瓷漆絕緣的圓導線，外包密集的棉紗帶；(2)瓷漆絕緣的圓導線，外包三層電纜紙帶；(3)扁導線，以數層電纜紙帶和不很密的一層棉紗帶作絕緣。

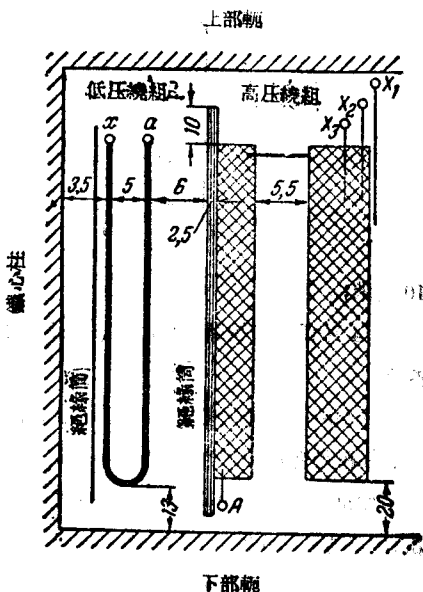
計算好高壓和低壓繞組導線的截面後，再選定繞組的型式和主要絕緣距離，即可進行置放線匝。

6 仟伏高壓繞組的主要絕緣距離可取如下之值(圖三)。

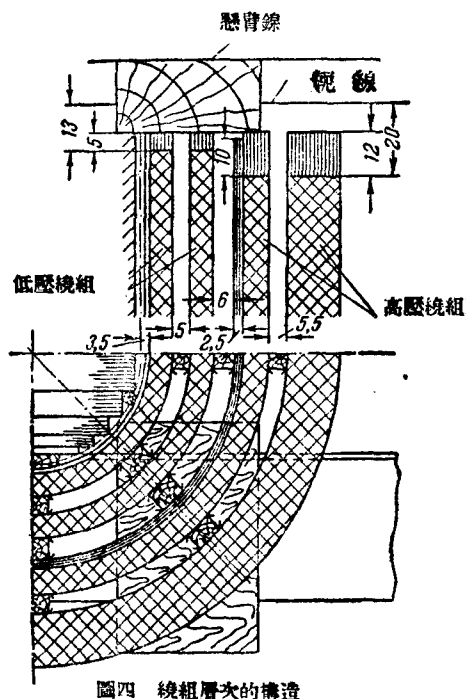
(1)高壓和低壓繞組之間——8.5 毫米(6 毫米為油道，2.5 毫米為絕緣筒的厚度)；

(2)自繞組至鐵心轆：高壓端為 20 毫米，低壓端為 13 毫米；

(3)絕緣筒凸出高壓繞組



圖三 繞組每相佈置示意圖



圖四 繞組層次的構造

10 毫米；

(4) 如電壓（線路的）引入內層而高壓繞組接成星形，則相間最小距離為 7 毫米。

在 20—100 仟伏安之變壓器，多採用同心型繞組。內部置放低壓繞組，其與鐵心柱祇須有較低的絕緣；外部則置放高壓繞組。

如果從繞組 A 和 a 的始端出發，鑲匝有同一之方向（按順時針方向為右行繞組，按反時針方向則為左行繞組），則可保持 12 組。

繞組一般均為左向捲繞，按最內一層繞向為準。

容量 75 和 100 仟伏安變壓器繞組層次的構造如圖四所示。

三 低壓繞組

低壓繞組，通常用圓形或扁形導線製成圓筒形分層線圈。

扁形導線的配置或是寬邊與圓筒的軸心並行，或是狹邊與圓筒的軸心並行。導線的最大寬度不得超過 12.5 毫米，其厚度不得超過 5.5 毫米。容量 20—100 仟伏安的變壓器，通常祇用一根導線，很少有兩根導線並行者。

圓形導線也可以是一根或兩根並行捲繞，可以在厚度為 1.5 毫米絕緣紙製的圓筒上捲繞。

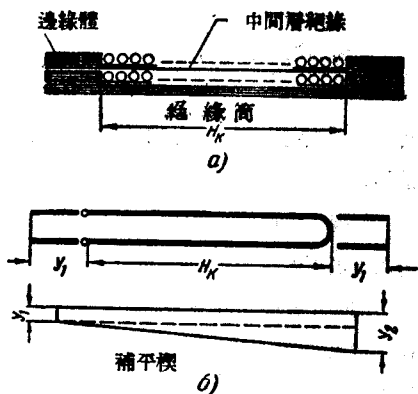
由扁導線繞成的線圈各層之間(在容量為 20—50 仟伏安者)，應加墊厚度為 0.5 毫米的絕緣紙。如採用圓導線時，則加墊厚度為 0.12 毫米的電纜紙。

容量 75—100 仟伏安者，線圈是由扁導線繞兩層而成，且有寬為 5 毫米的油道分隔，油道係作增加線圈的冷卻面之用。

由於在圓筒形的線圈內線匝是按螺旋線路進行，在每層的最後一匝(如用扁導線時)，要從兩邊圈上用絕緣筒或用絕緣厚紙製的有適合線圈線匝螺旋線路斜度的補平端楔(圖五 b)。

端楔的厚度可取近似於每層徑向寬度之數。楔的高度，要根據繞組至鐵心軛的距離、線匝跨距和軛的絕緣配備而選擇。楔的狹邊 y_1 不可少於 5 毫米，寬邊 y_2 應等於 y_1 加上線圈軸向的線匝高度。

如線圈係由圓形導線繞成(圖五 a)，末端絕緣是為邊緣體形，邊緣體就是寬 5—12 毫米，厚 1—1.5 毫米絕緣紙塊，膠上 0.05×40 毫米的電話紙所製的帶子。在纏繞時，導線壓住電話紙，這樣來緊固紙塊不讓它脫落。



圖五 分層的線圈

繞好一層的上面墊放中間層絕緣（厚0.12毫米電纜紙），然後再繞其次一層，再墊中間層絕緣。

四 高壓繞組

高壓繞組為多層的圓筒形線圈，多數用圓形導線製成。

繞線是在厚2.5毫米的電木紙所製的絕緣圓筒上進行。邊緣體的寬度取12毫米，中間層的絕緣用兩層電纜紙（ 2×0.12 毫米）。

為了避免焊接頭，調壓用的分接頭可用導線本身（成迴路狀）。

為了增加冷卻面積，在容量為30—100 仟伏安之變壓器內的各線圈層間，設有5.5毫米的油道。線圈的外表面用棉紗帶製的紮線覆蓋。為了增加線圈的機械強度，高低壓線圈均以一種絕緣漆浸潤並在爐中加以烘培。

圓筒形線圈之尺寸軸向尺寸（見圖五）計算如下法：

$$H_k = 1.03(m+1)ap \text{ 毫米}$$

其中 m 是每層匝數； a 是導線連絕緣的軸向尺寸或即絕緣導線的直徑，毫米； p 是每匝並行導線數；1.03 是係數，因考慮到線匝的繞置不能完全緊密。

如線圈由扁形導線繞成，層數必定要完整。如線圈之長尚多餘3%，則要用絕緣硬紙板做成一些虛匝。第一層通常是要繞完全的，虛匝是放在第二層裏。

如高壓線圈由圓形導線繞成，一般情況是沒有虛匝的。線圈並不根據每層能達到所需要的匝數而算繞完。如果內部（低壓）繞組亦復如是，則每層的匝數必須完整以免在低壓繞組與高壓繞組圓筒之間，塞入木條時傷害繞組。

扁形導線製的雙層線圈的徑向尺寸，等於導線連絕緣的徑向尺寸的兩倍，加中間層絕緣的厚度（油道或固體絕緣），再加0.5—0.7毫米紮線的厚度。而圓形導線製的多層線圈的徑向尺寸，則為絕緣導線和中間層絕緣的尺寸之和。

五 變壓器損失的計算

變壓器的損失，包括磁導體鋼內的損失（或無載損失）和有負荷時繞組內的損失。

磁導體的損失，是依據磁通密度值和磁導體有效鋼的重量而定。

三相磁導體的重量 G (圖一和圖二) 可按式求得：

$$G = G_c + G_n \text{ 公斤,}$$

$$G_c = 7.55 \times 10^{-3} \left[(3 Q_c H) + \left(6 \times \frac{h_1 - h_2}{2} \times Q_{c2} \right) \right] \text{ 公斤,}$$

$$G_n = 7.55 \times 10^{-3} [4 M O Q_n + 2 Q_{c1} h_1 + 2 \cdot Q_{c2} \cdot h_2] \text{ 公斤.}$$

其中 G_c 是鐵心柱重，公斤； G_n 是鐵心軛重，公斤； Q_{c1} 和 Q_{c2} 是鐵心柱的截面，平方厘米。

$$Q_{c1} = 0.875 (a_1 b_1 + 2 a_2 b_2) \text{ (圖二)}$$

$$Q_{c2} = Q_c - Q_{c1}$$

磁導體內的損失可按式求得：

$$P_0 = P_{oc} G_c + P_{on} G_n \text{ 瓦.}$$

其中 P_{oc} 是鐵心柱的損耗率，瓦/公斤； P_{on} 是鐵心軛的損耗率，瓦/公斤，可根據鐵心柱和軛內的磁通密度照表三選定。

負載損失在高低壓繞組分別計算，結果再相加。

表三 矽鋼的損耗率(50週0.5毫米厚)

磁通密度(高斯)	損耗(瓦/公斤)	磁通密度(高斯)	損耗(瓦/公斤)
10000	1.65	12200	2.32
10200	1.71	12400	2.39
10400	1.76	12600	2.45
10600	1.81	12800	2.52
10800	1.88	13000	2.60
11000	1.95	13200	2.67
11200	2.00	13400	2.74
11400	2.08	13600	2.81
11600	2.13	13800	2.87
11800	2.19	14000	2.95
12000	2.26	14200	3.02
		14500	3.12

高壓繞組的損失(P_{k1})和低壓繞組的損失(P_{k2})可按下式決定:

$$P_{k1} = 2.4 \times 0.95 \delta_1^2 G_{u1} \text{ 瓦}$$

$$P_{k2} = 2.4 \delta_2^2 G_{u2} \text{ 瓦}$$

係數 0.95 就是計及在額定級時所計算得的損失。 G_{u1} 和 G_{u2} 是高壓和低壓(無絕緣)繞組導線之重, 公斤, 2.4 是繞組在標準溫度 $+75^\circ\text{C}$ 時的係數。

扁形導線所製繞組的損耗, 應再加計算損耗的 2—3%, 以及渦流損耗。

三相變壓器繞組導線的重量可按下式求得:

$$G_{u1} = 8.9 \times 3 \pi d_{cp1} n_1 S_1 p_1 \times 10^{-6} \text{ 公斤},$$

$$G_{u2} = 8.9 \times 3 \pi d_{cp2} n_2 S_2 p_2 \times 10^{-6} \text{ 公斤},$$

其中 d_{cp1} 和 d_{cp2} 是高壓和低壓繞組的平均直徑, 毫米。

六 熱 的 計 算

油浸電力變壓器內上層的油, 高出周圍空氣的最高容許溫昇(在額定容量下長期運轉後)不得超過攝氏 60° , 而繞組的溫昇(按電阻法之平均值)不得超過 70° 。

20—30 千伏安變壓器多採用平直油箱, 50—100 千伏安變壓器則多採用帶一系列管子的油箱。

油箱的導熱面等於其實際(幾何)面積乘上表面係數 K 。在平直油箱 $K=1$, 因此其導熱面即等於平直箱壁的幾何面。

容量 20—75 千伏安變壓器箱蓋面並未計及, 因變壓器上並無儲油器或係膨脹箱, 故其蓋並不與油接觸。

容量 100 千伏安變壓器是裝有儲油器的, 所以蓋子亦有導熱作用。蓋的導熱面等於其幾何面乘以係數 0.75, 因蓋的一部份為管系附件所遮住。

有管的油箱通常採用外徑為 51 毫米的管子, 其排列是在油箱四周, 每管中心相距 70 毫米。

有管油箱的導熱面用下法計算: 未裝管子的箱壁面取係數 $K=1$, 即其導熱面等於幾何面。有管子配佈的箱壁面為管子幾何面的總和再乘以係數 $K=$

0.882。

油箱的容積是根據繞組對接地部份的絕緣情況加以選擇。從繞組到置放出線一端的箱壁要相距 30—50 毫米，而在無出線一端的箱壁要相距 30 毫米。然後選擇箱的高度和冷卻管的數量。

在選定了箱的結構和計算其總導熱（有效）面 Q_6 以後，求出表面負荷率，瓦/方公尺米。

$$q_6 = \frac{P_0 + P_{K1} + P_{K2}}{Q_6} \text{ 瓦/平方米}$$

按表四決定油高出周圍空氣之上的平均溫昇 τ_n 。

表四 油高出空氣溫度和繞組高出油溫的平均溫升

油 的 溫 升		繞 組 的 溫 升	
q_6 瓦/平方米	τ_n 度（攝氏）	q 瓦/平方米	τ_o 度（攝氏）
520	39	500	12.5
540	40	600	14
560	41.5	700	15.5
580	42.5	800	17
600	44.5	900	18.5
620	45	1000	20
640	46	1100	21.5
660	47	1200	22.5
680	48	1300	24

平直油箱油高出周圍空氣的最高溫昇是：

$$\tau = \tau_n \times 1.2^\circ$$

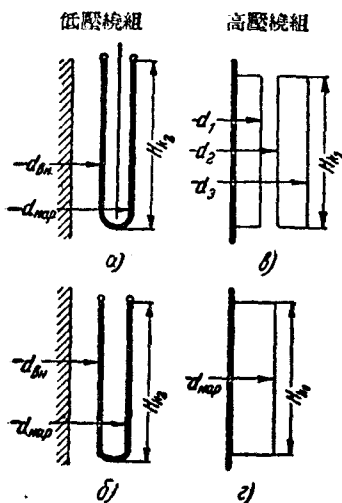
有管油箱的最高溫昇：

爲

$$\tau = \tau_n \times 1.2 + 4^\circ$$

如上所規定，繞組高出空氣的平均溫昇不得超過 70° ，此值包括兩數值：即油的平均溫昇 τ_n 和繞組的平均溫昇 τ_o ，即：

$$\tau_n + \tau_o < 70^\circ$$



圖六 計算繞組導熱面的示意圖

在20—100仟伏安之變壓器， τ_n 在 42° 至 40° 之間，因此 τ_o 許可在 28° 至 30° 之間。

繞組高出平均油溫 τ_o 的溫昇可根據繞組表面的熱負荷率決定。

對於如圖六 b 和 r 所示的線圈，所得的熱量應再加上 2—3°，這是計及在絕緣內所損失的熱 $\Delta\tau_o$ ，因此在多層線圈，繞組高出空氣溫度的溫昇是：

$$\tau_n + \tau_o + \Delta\tau_o$$

高壓和低壓繞組的熱負荷率 q_1 和 q_2

可按下式求得：

$$q_1 = \frac{P_{K1}}{O_{KH}} \text{ 瓦/平方米}$$

$$q_2 = \frac{P_{K2}}{O_{KH}} \text{ 瓦/平方米}$$

其中 O_{KH} 和 O_{KH} 是高低壓繞組的面積，平方米。

繞組的冷卻面等於它的幾何面減去為木條所蓋住的面(閉圖)即：

$$(1) O_{KH} = 3\pi(0.5d_{\delta H} + d_{HAP})H_{K2} - 3 \times n \times 0.015H_{K2} \text{ 平方米,}$$

$$(2) O_{KH} = 3\pi(1.5d_{\delta H} + 2d_{HAP})H_{K2} - 3 \times n \times 0.015H_{K2} \text{ 平方米,}$$

$$(3) O_{KH} = 3\pi(d_1 + d_2 + d_3)H_{K1} - 3 \times 2 \times n \times 0.015H_{K2} \text{ 平方米,}$$

$$(4) O_{KH} = 3\pi d_{HAP}H_{K1} \text{ 平方米.}$$

其中 n 是溝內中間木條的數量，0.015 是木條的寬度，米。

線圈的尺寸全以米(公尺)計。

找出高低壓繞組的熱負荷率之值後，就可按表四決定繞組高出油溫的溫昇。

七 計算實例

試設計一有如下數據的三相變壓器：容量100仟伏安，線電壓 $6000 \pm 5\%$ /400