

計 設 明 壓 變

姚可均 編譯

通志書局出版

# 變 壓 器 設 計

姚可均編譯

重 慶 嘉 慶 出 版

本書係根據 M. Liwschitz, Die Elektrischen Maschinen  
第三卷，並參照其他有關文獻編譯的。內容專門講述變壓  
器設計問題。

書編號 60 印冊數 3000 頁數 4 冊 書字數 54,000

益 亨 書 局

天津宮北大街通慶里一號 營業許可證津出字第三號

一九五三年七月初版

天津聯合印刷廠印

## 序

本書是從 Liwschitz 博士著 Die Elektrischen Maschinen 第三冊（電機設計與計算）中摘錄變壓器部分根據日譯本編譯的，適合學生與技術員工學習及設計人員參考之用。僅在六、八、十各節有一部分較深的數式，但並不妨礙初學的同志們對變壓器設計方法與進程序的瞭解。書中對設計用的常數等均有圖表可供作根據，溫昇部分比較詳盡，計算單位全用公制，以及三相的例題，亦合我國情形（絕緣的安全係數較大）。茲特於序後引錄一段三相變壓器的優點，也正是我國製造變壓器的趨向，以供讀者參考。譯者學識有限，譯錯與不妥之處請讀者隨時指正。

姚可均一九五年五月一日於大連，

『在蘇聯製造變壓器凡容量在 10—10,000kVA 的，皆為三相，如特殊原因要單相產品，必須經國家批准。三相變壓器較單相變壓器優點如下：

1. 製造成本低：同容量的變壓器三相的較單相的在製造成本上要低 15% 左右，因為主要的材料如矽鋼片，銅線等用得多，採用三相變壓器是符合增產節約意義的；
2. 佔地少：同容量的變壓器三相的較單相的可節省廠地 30%；
3. 節省電力：三相可以節省 7% 的電力損耗；
4. 結線簡單，操作方便。

所以根據以上幾點，沒有任何理由是值得採用單相變壓器的。

美日帝國主義採用單相變壓器的理由是：1.三台單相變壓器△結線時，如有一台發生事故，可以改成V—V結線，則尚可有58%的電力供應，2.單相變壓器有一台預備單位，可以保證「連續供電」，3.體積小，便於交通運輸。但是根據現在變壓器製造技術的增長，保護設備的日臻完善，由於變壓器本身發生事故的可能已減至很低，同時使用三相變壓器時，將配電方式由直線式改為環線式，則當一台變壓器發生故障時，可以繼續由其他幾台供給不至於造成停電現象。相反地單相變壓器組發生事故由預備單位替換時，並不能保證連續供電；因為這樣的操作工作，即使很熟練的技術，也需要若干時間，只有在運輸條件困難及孤立地區情況下使用單相變壓器是較合適的。』

（摘錄東北工業92期對電工局電器產品採用蘇聯標準的意見—工業部計劃處機電室）

## 目 次

公式符號說明	1
一 芯式變壓器與殼式變壓器	7
二 鐵芯截面的形狀和繞線法	9
三 變壓器的損耗	16
四 損耗比	21
五 磁通密度與電流密度	24
六 變壓器的漏磁電抗	27
七 阻抗電壓	31
八 捷路電流及因此發生的機械力	33
九 溫度升高與冷却方式	35
十 線捲與鐵芯中的熱傳導	43
十一 鐵芯截面積	51
十二 鐵芯開框的尺度	53
十三 鐵芯與線捲的重量及損耗計算法	57
十四 油浸式變壓器計算例題	60
十五 氣冷式變壓器計算例題	72

## 公式符號說明

$A$  = 安匝分佈指數。

$a$  = 盤式線圈的芯柱方向的長度（高度）；圓筒形線圈的放射方向的長度（寬度）。

$a$  = 常數。

$B$  = 磁通密度。

$B_k$  = 鐵芯芯柱的磁通密度。

$B_i$  = 磁軛部分的磁通密度。

$B_f$  = 鐵芯開框的寬度。

$b$  = 銅線寬度。

$b_{cu}$  = 芯柱方向的銅線實際寬度總和。

$b_w$  = 線圈寬度。

$b$  = 盤式線圈的寬度；圓筒形線捲的高度。

$b$  = 常數。

$C$  = 鐵芯截面積常數。

$C$  = 常數。

$c$  = 並聯導體數。

$c$  = 比熱。

$D$  = 包含絕緣材料在內的導體寬度。

$d$  = 導體寬度。

$\Delta$  = 線圈間的空距。

$E$  = 電壓。

$E_{sch}$  = 每柱鐵芯的感應電壓。

$E_r$  = 每柱鐵芯的線捲電阻壓降。

$E_s$  = 每柱鐵芯的線捲電抗壓降。

$F$  = 表面積。

$F'$  = 容器最小表面積。

$F_D$  = 容器頂蓋的表面積。

$f$  = 周率。

$f_e$  = 鐵芯空間因數。

$f_k$  = 銅線空間因數。

$G$  = 重量。

$G_{Fe}$  = 變壓器鐵芯重量。

$G_k$  = 變壓器銅線重量。

$G_{Fek}$  = 鐵芯芯柱重量。

$G_{Fej}$  = 磁軛部分的重量。

$H, h$  = 磁場強度。

$H, h$  = 高度。

$H$  = 變壓器鐵芯的芯柱高度。

$H_k$  = 容器高度。

$H_w$  = 容器的有效高度。

$H$  = 線圈高度、厚度。

$h_w$  = 線圈高度、厚度。

$h$  = 銅線寬度。

$h$  = 散熱係數。

$h_s$  = 輻射作用散熱係數。

$h_k$  = 自然對流散熱係數。



$J, i$  = 電流。

$J_k$  = 永久捷路電流。

$i_{ks}$  = 突發捷路電流。

$J_1$  = 初級線捲的電流。

$J_2$  = 次級線捲的電流。

$K, k$  = 係數。

$K$  = 交流直流電阻比。

$k = K - 1$  表示由於交流而增加的電阻。

$k_e$  = 鐵芯疊片因數。

$k$  = 導熱係數。

$k_{cu}$  = 銅的導熱係數。

$k_i$  = 絕緣材料的導熱係數。

$k_g$  = 矽鋼片垂直方向的鐵芯導熱係數。

$L, l$  = 長度。

$l_1$  = 導體長度 (或每匝長度)。

$l_k$  = 平均匝長。

$l_{Fe}$  = 鐵芯全長 (即磁路長度)。

$L$  = 電感

$L_S$  = 漏磁電感。

$m$  = 相數。

$m$  = 重疊的導體條數。

$N_S$  = 定格輸出。

$P, p$  = 力。

$Q$  = 熱量。

$Q_{空氣}$  = 冷却空氣量。

$Q_w$  = 冷却水量。

$q$  = 線圈數。

$q$  = 截面積。

$q_{Fe}$  = 鐵芯截面積。

$R, r$  = 電阻。

$r_1$  = 初級線捲電阻。

$r'_2$  = 次級線捲電阻。

$r_2$  = 折合到初級方面的次級線捲電阻。

$R$  = 直流電阻。

$R_w$  = 交流電阻。

$S$  = 電流密度。

$U$  = 電壓。

$U_k$  = 阻抗電壓。

$u'$  = 容器周圍最小長度。

$V, v$  = 損耗。

$V_k, V_{cu}$  = 銅耗。

$V_{Fe}$  = 鐵耗。

$v_k$  = 銅的損耗指數。

$v_{,0}$  = 矽鋼片的損耗指數。

$v_H$  = 磁滯損耗。

$v_w$  = 渦電流損耗。

$V_D$  = 容器頂蓋散出的熱量。

$V_w$  = 冷却水散出的熱量。

$W_m$  = 磁動勢。

$w$  = 串聯導體數（線捲匝數）。

$W_1$  = 初級線捲匝數。

$W_2$  = 次級線捲匝數。

$W_{1sch}$  = 每一芯柱初級線捲匝數。

$W_{2sch}$  = 每一芯柱次級線捲匝數。

$X_s$  = 漏磁電抗。

$\alpha$  = 電阻的溫度係數。

$\beta$  = 線圈的散熱面積修正係數。

$\gamma$  = 比重。

$\gamma_k$  = 銅的比重。

$\gamma_{Fe}$  = 鐵芯比重。

$\Delta$  = 矽鋼片的厚度。

$\delta$  = 絕緣材料的厚度。

$\zeta$  = 雜散鐵耗係數。

$\eta$  = 有關矽鋼片品質的係數。

$\theta$  = 溫度昇高，溫度差。

$\theta_1$  = 容器壁的溫昇。

$\theta_2$  = 油與容器的溫差。

$\theta_L$  = 空氣的溫昇。

$\theta_w$  = 冷却水的溫昇。

$\theta_m$  = 線圈的平均溫昇。

$\theta_{i1}$  = 鐵芯溫度梯度。

$\lambda$  = 熱的透過係數。

$\xi$  = 導體的等價高度。

$\rho$  = 固有電阻。

$\rho_{20}$  = 20°C時導體的固有電阻。

$\sigma_H, \sigma_w$  = 有關鐵芯材料的常數。

$\sigma$  = 容器有效周圍長度與最小周圍長度的比值。

$\Phi$  = 磁通。

$\varphi$  = 相位角。

$\psi$  = 計算溫升用的係數。

## 一 芯式變壓器與殼式變壓器

變壓器普通可以分爲芯式與殼式兩大類別。芯式變壓器的線卷繞在外面（圖1），殼式的線卷則全部被鐵芯包圍（圖2）。

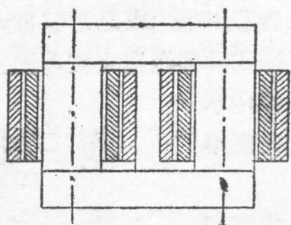


圖 1 芯式變壓器

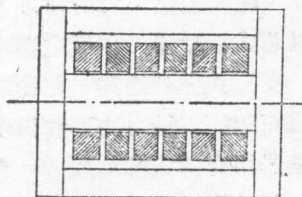


圖 2 殼式變壓器

芯式變壓器一般多用同心式排列線卷（圖3），低壓線圈靠近鐵芯在裏面，高壓線圈裝在外邊，兩線卷中間裝進絕緣材料製成的圓筒，因此它的絕緣較好而手續簡單。

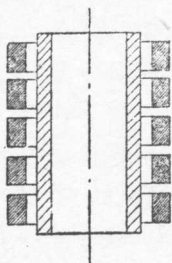


圖 3 同心式排列線捲

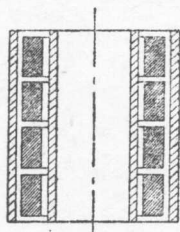


圖 4 低壓線捲分成兩部分的同心式排列線捲

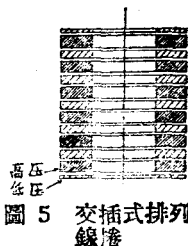
由於變壓器的中間抽頭或端線圈，有時線卷的構造不對稱，因此捷路時就要受到較大的機械力，同心式排列線卷的軸

(芯柱)方向的壓力在  $50 \sim 60 \text{kg/cm}^2$  以下即無妨碍。此種線捲的缺點就是漏磁較多，減少漏磁的辦法是將低壓線捲分為兩部分，把高壓線捲放在中間(圖4)。

交插式排列線捲，適用於捷路時構造要堅固、漏磁要少的場合。此種線捲是把高壓和低壓的線圈互相交替疊合起來(圖5)，絕緣需佔很大的地方，因此製造出來的成品形狀也大。所以芯式變壓器，在低電壓時用交插式排列線捲才較為適宜。

交插式排列線捲，在捷路時因線捲不對稱而起的機械力的影響很小，因此調壓變壓器用交插式排列線捲。

殼式變壓器的冷卻作用較好，但修理製造都不方便。近年來殼式變壓器漸被芯式所驅逐，僅大電流(如電爐)變壓器因其引出的接線短還用殼式鐵芯。



## 二 鐵芯截面的形狀和繞線法

殼式變壓器大部分都用長方形的鐵芯截面和長方形線圈。長方形的線圈修理不便而捷路時的機械強度又比圓形線圈弱，對同一鐵芯截面積的銅線長度也長。因此長方形鐵芯截縱橫兩邊的比率不使超過 2。為加強鐵芯表面的冷卻作用，每隔 100 mm 留一 10 mm 寬的空槽。

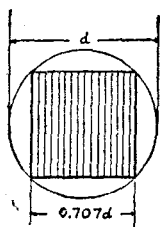


圖 6 鐵芯截面

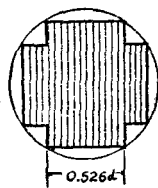


圖 7 鐵芯截面

芯式變壓器，為了工作方便和捷路時的構造堅固起見，用圓形線圈，鐵芯截面的形狀也使之配合圓形線圈。僅功率極小的變壓器用正方形鐵芯（圖 6）。0.3mm 厚的矽鋼片疊片因數為  $k=0.91$ ，正方形鐵芯的實際截面積與其外接圓面積的比值如以  $f_e$  表示（即鐵芯的空間因數）則  $f_e=0.58$ 。中、小級功率的變壓器用十字形鐵芯截面（圖 7）。這樣鐵芯如用 0.5mm 厚的矽鋼片，則  $f_e=0.71$ 。

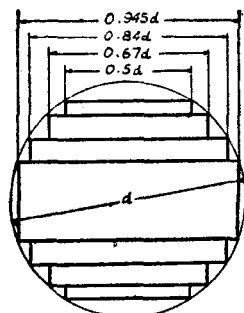
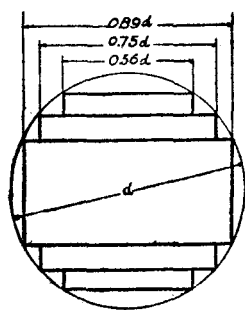


圖 8 鐵芯截面（三級圓形鐵芯） 圖 9 鐵芯截面（四級圓形鐵芯）

一般隨鐵芯之增大多將其截面分為數級，圖8、9所表示的截面尺寸是最適當不過的。若僅由鐵芯的外部表面不能充分冷卻時，芯式變壓器與殼式變壓器同樣地要在鐵芯內設置油槽。與矽鋼片面垂直方向的油槽比平行方向的油槽冷卻效率大。因為垂直方向的油槽熱量可以通過導熱係數大的鋼鐵直接散出。

磁軛的截面大部分都是方形，為了減少磁阻和鐵耗，它的截面積比芯柱的截面積約須加大15~30%。

鐵芯的芯柱部分與磁軛均用0.35~0.5mm厚的矽鋼片，矽鋼片的厚度愈薄損耗愈小，0.35mm厚的高度的鋼片的損耗指數（參考三節）為1.0w/kg。

交插式排列線捲和同心式排列線捲的高壓線捲，都繞成盤繞線圈（圖10）。每層繞有很多匝數的線圈，從一層接連繞向另一層時，必須多算入一匝。

導體的截面積大時，則用每層一匝的盤式線圈。此種線圈銅的空間因數較大。線圈如用帶有紙的中間絕緣的光銅線繞製



時，冷卻作用也好（圖11）。

6000V 以上的空氣冷卻式變壓器爲了防止輝光放電，線圈之間灌入充填瀝青。

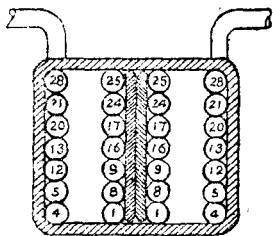


圖 10 盤繞線圈

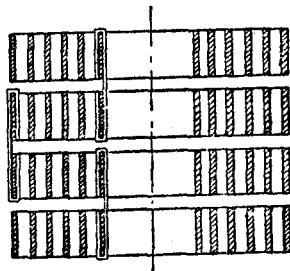


圖 11 盤式線圈

導體的絕緣材料用絕緣漆、棉紗或紙。

普通線圈用截面積  $4\text{mm}^2$  以下的圓銅線繞製時，其絕緣材料的厚度大致如下表內所記數值：

表 1 圓銅線的絕緣厚度

銅線直徑 mm	絕緣材料	絕緣厚度(兩側)mm
0.3~0.45	絕緣漆與棉紗	0.15
0.5~1.4	紙 2層	0.2
	紙 3層	0.3
1.5~2	紙 2層	0.3
	紙 3層	0.4

使用圓銅線時，每層常繞很多匝數。普通線圈的層間絕緣如（圖12）。