

变 压 器

馬 大 强 編 譯

5.10.5.3

9

商 务 印 书 馆

实用电工丛书

变 压 器

馬大強編譯
黃煥焜校訂

商 务 印 书 馆

1960年·北京



變壓器提要——此書是實用電工叢書第四種，係根據 1946 年美國柯尼電工學校 (Coyne Electrical School) 出版的該校技術人員編著的「實用電工叢書」(Applied Practical Electricity) 第四冊編譯而成。計分四章：第一章變壓器和與它有關的種種，第二章變壓器的連接，第三章特種變壓器，第四章表用互感器。現代遠距離的大量電力輸送，是靠高壓交流電的採用，交流電的主要優點就是它的電壓可用變壓器來提高，而高壓輸電在實際上又是今日最經濟的輸電方法。讀者欲於此項電氣工業上的重要設施有明確的認識和應用，此書實可給以相當的幫助。

實用電工叢書

變 壓 器

馬大強編譯

商 務 印 書 館 出 版

北京東總布胡同 10 號

〔北京市書刊出版業營業許可證出字第 107 號〕

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 上 海 廠 印 刷

統一書號 15017·49

1954 年 7 月初版

1966 年 5 月 3 版

1960 年 4 月上海第 6 次印刷

印張 33/16

開本 787×1092 1/32

字數 57,000

印數 54,001—64,000

定價：(9) 0.36 元

實用電工叢書序

這部叢書，是浙江大學的幾位同志在課餘時間中依照柯尼氏電氣技術學校所編著的應用電工叢書而編譯的，惟在內容方面則稍有增刪。這部叢書的主要優點，在於非常實用，不涉高深理論，以很淺近的解釋來說明各種電機電器的運行原理，以及電機電器的維護與修理。因此它不僅是學習電氣技術者的良好的自學資料，同時也可作為其他工程工作人員在工作中查考之用。我想這部叢書的出版，對於科學技術知識的普及和解決工作中的問題，一定可以起一些作用。為了使這部叢書的收效更大，內容更充實而適合於我國情況起見，希望讀者能多多提供意見，以為修訂時的參考。

編者

目 錄

第一章 變壓器和它有關的種種	1
1. 變壓器的式樣	2
2. 變壓器的構造	4
3. 變壓器的繞組	6
4. 單相和多相變壓器	10
5. 變壓器的損耗	11
6. 變壓器的冷卻	12
7. 強迫通風冷卻的變壓器	13
8. 油冷變壓器	13
9. 油管散熱式變壓器	16
10. 油浸水冷式變壓器	17
11. 變壓器的運行溫度	18
12. 特殊的溫度或負載指示器	19
13. 絕緣套管	20
14. 變壓器的作用原理	23
15. 匝數比和次級電壓	23
16. 變壓器的輸出功率	25
17. 次級負載電流對初級電流的影響	26
18. 變壓器的極性	28
19. 三繞組變壓器	30
20. 變壓器的試驗	31
21. 變壓器的管理和維護	32
22. 變壓器的烘乾	34
23. 水份對變壓器油的影響	34
24. 試驗變壓器油	36
25. 變壓器油的淨處理	37
第二章 變壓器的連接	41
1. 次級分段的單相變壓器	42

2. 分段變壓器次級的引線試驗	43
3. 單相變壓器的並聯運用	44
4. 單相變壓器作並聯運用時辨別次級引線的極性試驗	46
5. 變壓器初級的串聯運用	47
6. 變壓器的三相接法	48
7. 星形(Y)和三角形(Δ)接法——電壓,電流比	48
8. 三相的 Y-Y 接法	50
9. 三相的 Δ - Δ 接法	53
10. 三相的 Y- Δ 接法	54
11. 三相的 Δ -Y 接法	55
12. 在輸電線上變壓器 Y 接法的優點	56
13. 三相的 V 形接法	58
14. 幾個實用的例題	61
15. 變壓器的接地	62
16. 三相變壓器的並聯運用	65
17. 三相四線系統	65
第三章 特種變壓器	67
1. 搭接變壓器	67
2. 自耦變壓器	69
3. 感應電壓調整器	72
4. 變壓器的設計數據	77
5. 變壓器設計的公式	81
6. 製造變壓器的一般事項	83
7. 電焊變壓器	88
第四章 表用互感器	89
1. 電流互感器	89
2. 電流互感器應注意的事項	91
3. 極性標記和電流比	92
4. 電流互感器的優點和應用	93
5. 電壓互感器	94

第一章 變壓器和它有關的種種

現代遠距離的大量電力輸送均是採用高壓交流電的。交流電的主要優點就是它的電壓可以用變壓器來提高，而高壓輸電又最經濟。

變壓器是一種可以昇降交流電壓的設備。當某一電路採用變壓器將電壓升高或降低時，它的電流容量同時要跟着變更，變更的情況正同電壓變化相反。就是說，電壓升高，電流就減小；電壓降低，電流增大。例如，一電路具有 5,000 瓦特的功率，而電壓是 100 伏特；那末，它的電流將是 $5,000 \div 100 = 50$ 安培。如果把這電路的電壓升高到 1,000 伏特而輸出功率仍舊不變，電流當是 $5,000 \div 1,000 = 5$ 安培。

承荷 5 安培電流所用的導體很明顯地要比承荷 50 安培的細得多，所以利用了高壓電，同樣的功率，可以用較細的導體來傳輸。當大量電力要向某些遠方輸送時，電壓經過變壓器加以升高，而所需的電流便可以對應地減小。這樣不但減少輸電線路的銅線用量，同時可以減低線路損耗而增加輸電效率。此外，

銅線較小，所需的支持建築像電桿木，銅架等也可以輕便些，同時所用的絕緣子也可以小些。

因為輸電線上所用的銅的價格很高，而電桿木和銅架等建築也是一筆很大的投資，所以採用高壓輸電，這方面的節省是很可觀的。例如，50,000 仟瓦的電力可以在 100,000 伏特的電壓下輸送許多公里而祇用相近於 1 吋直徑的導線，但是同樣的功率，如以 500 伏特來輸送而損耗要維持一樣的話，導線的直徑就要 1 呎以上。

從上面所說的幾點來看，遠距離的電力傳輸用交流電最是方便，也最是經濟。在發電廠一端電壓可用變壓器來升高，而電力輸送到用電處所時，用變壓器又可把它降低至適宜的安全數值。

許多電力設備採用的電壓大都是 110 到 440 伏特，但是有一些大型電動機需要 2,300 到 6,600 伏特，高的甚至於可能達 12,000 伏特。

變壓器是一種效率最高的電氣設備，要是容量很大，效率可達 99% 以上。這樣高的效率是由於它沒有轉動或磨蝕部份，因而沒有摩擦或機械損耗。

由於同樣的理由，變壓器除了它的繞組需要維持一定的絕緣或冷却以外，毋須其他過份的照料。

1. 變壓器的式樣 變壓器主要包括着一隻鐵心和兩隻放在鐵心上的繞組。鐵心是作磁通路徑用的。兩隻繞組一隻叫

做高壓繞組，一隻叫做低壓繞組。高壓繞組具有許多匝數，而低壓繞組的匝數較少。這兩繞組通常也有叫做初級繞組和次級繞組。初級繞組是指那接在電源的繞組，而次級繞組是指那經由感應作用接受初級電功率而把它傳輸到負載上去的繞組。

變壓器的式樣依照它的鐵心構造可以有下列幾種：內鐵式，外鐵式，和分佈式。它們的區別可從每種所具的磁路數目來幫助記憶；一隻簡單的內鐵式變壓器具有一磁路，外鐵式有二磁路，而分佈式有三或四磁路。

圖 1 和 2 表示這幾種不同式樣的變壓器鐵心和繞組的佈置。圖 1 是一隻內鐵式變壓器，它有四個邊或稱四鐵腳，做成方的或矩形的式樣。初級和次級繞組可以繞在相對的兩鐵腳上，如圖所示，而實際上也有繞在同一鐵腳上的。

當初級繞組接到交流電源時，鐵心裏便產生交變的磁通（磁力線），而這磁通同時鏈貫着次級繞組。隨着初級電流的交替換

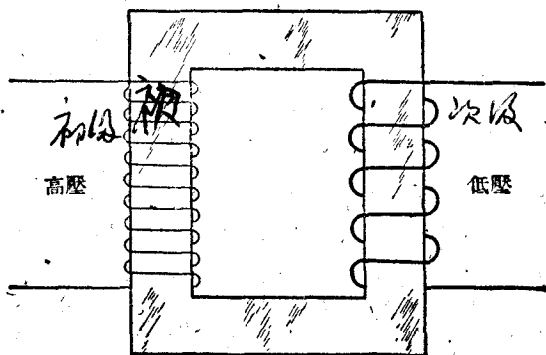


圖 1. 簡單變壓器的鐵心和繞組。

變，磁通也在交替脹縮，因而切割了次級繞組的各匝，而在這繞組裏由電磁感應作用產生感應電壓。這電壓的大小同初級和次級繞組的匝數有關。如果次級的匝數比初級的少，電壓就會降低；如果次級匝數比初級多，電壓就會升高。

一隻普通的變壓器可以作昇壓或降壓之用，祇要看那一繞組當爲初級，就是說，那一繞組接到電源，匝數少的做初級，那就是升壓變壓器，匝數多的做初級，就成爲降壓變壓器。

2. 變壓器的構造 變壓器的鐵心是給磁通造成了一條低磁阻的路徑用的，因此它需由一種特殊的軟鐵或矽鋼的疊片集疊做成。在這些疊片之間，由一層塗上的絕緣漆或熱處理過程中在它們表面上所形成的氧化膜互相絕緣開來，這樣可以減少

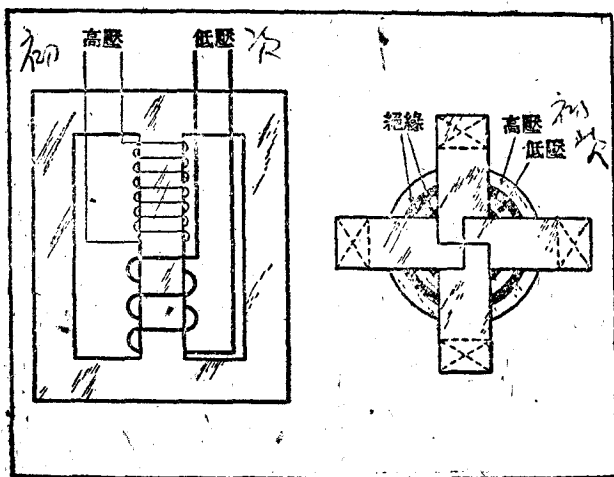


圖 2. 外鐵式變壓器。

渦流, 如果不然, 由交變磁通所產生的渦流就會使鐵心發熱。

圖 2 所示的是一隻外鐵式變壓器; 左圖表示它的高壓和低壓繞組在中心鐵腳上放置的情況; 右圖是它的俯視圖, 從這圖上可以看出繞組在中心鐵腳上是被外面幾個鐵腳包圍起來的。

這種分佈外鐵式的鐵心主要是用在 50 仟伏安以下的低壓配電變壓器上的, 分佈在線圈四周的鐵心面積大, 所以“空載”損耗很低, 對於負載經常很小的照明電路來說, 使用起來更為合適。

內鐵式和外鐵式適用於容量大而電壓高的變壓器。如果電壓很高, 內鐵式更其合式, 因為它的線圈比外鐵式容易繞製而且

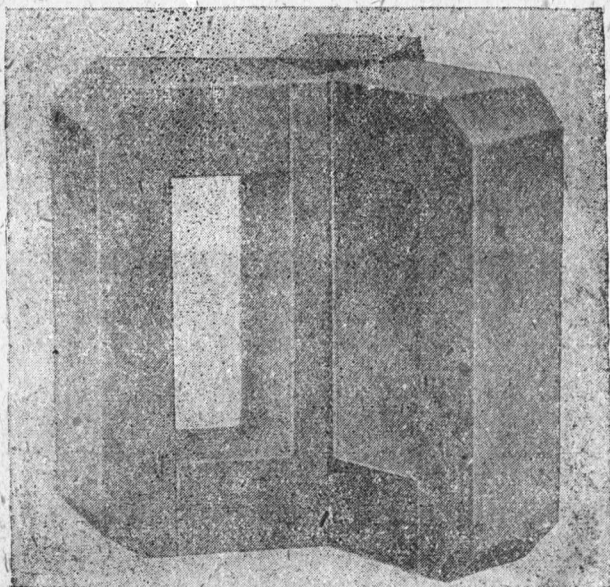


圖 3. 分佈式變壓器的鐵心。

容易絕緣。內鐵式的繞組是放在鐵心的外圍的，因此熱從繞組裏散逸出來比較迅速。

在外鐵式的變壓器裏，繞組是放置在中心鐵腳上面，而四周又有鐵腳保護着，因此，從鐵殼裏裝拆鐵心時，不易損壞繞組。這種鐵心最適宜於中等電壓而電流很大的變壓器。

圖 3 所示的是一隻完整的 3 腳分佈式變壓器的鐵心。這個鐵心是由薄的疊片疊成的，在鐵心轉角的地方，疊片是交替重合的，因而磁路的磁阻很低。

3. 變壓器的繞組 變壓器的線圈是用絕緣包裹的銅線繞製的，小型的一般採用圓的銅線，而中型和大型的幾乎都是採用方的或長方形的導體。

用方的和長方形的導體，繞製的線圈不但可以緊湊堅固，同時繞組裏的熱量也較易向外傳導。線圈通常是製成好幾層的，而每兩層間都有很好的絕緣。

除了幾種很小的變壓器的繞組是直接繞在鐵腳上外，一般中型和大型的變壓器線圈都是用模型繞製的，成形後再放到鐵心的鐵腳上面去。

線圈在繞好之後，需要在烘箱裏徹底烘乾，再浸以絕緣漆，以使每一匝與其餘相隣各匝之間很好的絕緣開來。在許多情況下，浸絕緣漆的操作是要在密合不透氣的桶中進行的，當繞組放在這密合的桶中時，首先把桶抽成真空使線圈裏的水氣和空氣全部逸出，然後壓入熱的絕緣漆，這樣，絕緣漆就可深入繞組各

匝間每一小的空隙。

經過浸漆之後，線圈再行徹底烘焙，以使絕緣漆乾燥而硬化，於是線圈表面就能平滑而堅牢，因此在運用時可以防止水氣，灰塵污穢的侵入。

線圈經過徹底絕緣和烘焙之後，就把它們放入墊有絕緣物的鐵腳上。鐵腳絕緣通常是由幾層番柏或青殼紙做成的；如果電壓很高，也有採用特殊的膠木管。

圖 4 表示分佈式變壓器的部份鐵心，和準備放到中心鐵腳上去的初級和次級線圈，這些線圈在鐵腳墊襯了絕緣之後就可放到鐵腳上去。中圖所示的是一隻有幾層經綑帶絕緣着的模繞初級繞組。圖左所示的是次級繞組，它是許多各別的線圈做成的，每一各別繞圈相互之間有着良好的絕緣。這些線圈再串聯在一起形成一完整的高壓繞組。這種構造能使次級繞組有較好

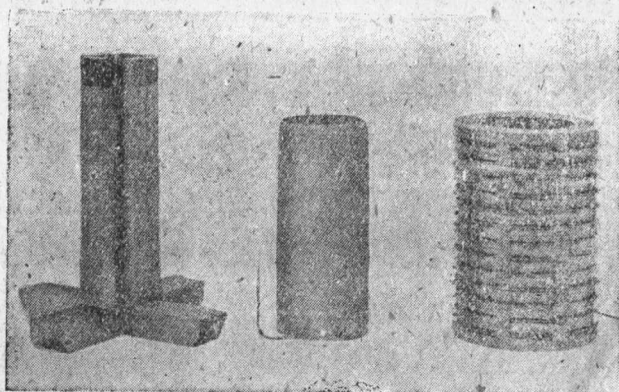


圖 4. 已裝集成的初級和次級繞組和分佈式鐵心的一部份。

的分段間隔與絕緣，而在這些分段間是存在着很高的電壓的。在低壓和高壓繞組間也有一層厚的上等絕緣套管，以防止從高壓到低壓的線圈之間的閃弧。

當低壓和高壓繞圈放在鐵心上後，線圈必定要楔緊或縛牢，以防止它們在變壓器負載突增或偶然短路時由線圈周圍所產生的強大磁力作用所引起的任何可能的移動或變形。

把線圈緊固不動也可防止由交變磁通在鐵心疊片裏產生的微小震動而使線圈同鐵心之間發生摩擦，而破壞絕緣等情事。

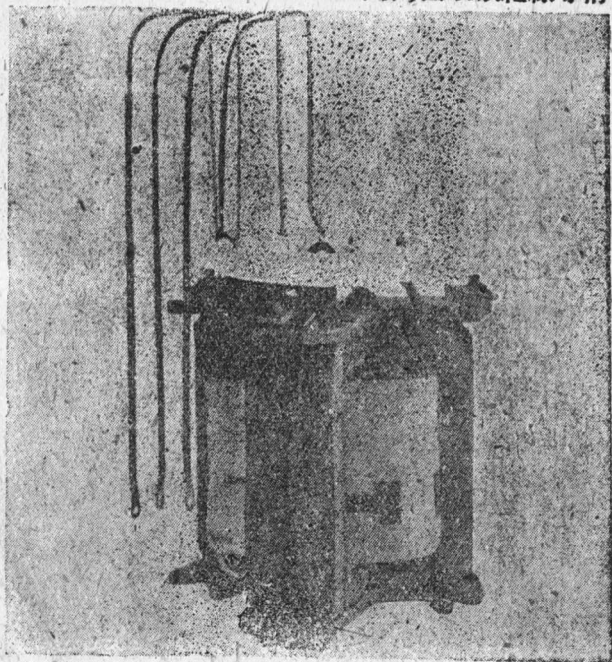


圖 5. 完整的變壓器鐵心和繞組。

圖 5 表示一完整的變壓器的鐵心，繞組已經裝好在鐵心的上面，鐵心外邊和上邊的疊片是在繞組放在中央鐵腳之後裝集起來的，整個鐵心外面用螺釘來夾緊，以防止疊片發生的顫動。如果這些疊片不加以一起夾緊，交變磁通將使它們在變壓器運用時發生震動而產生很大的噪音。疊片太鬆往往也會使絕緣擦傷。

在圖 5 中還可以看見各繞組的引接線頭，這些線頭是接到殼外的瓷料或其他絕緣材料做成的接線板上去的。

圖 6 表示另一種變壓器繞組，它是由集成幾層的模繞線圈所組成。各層線圈相互之間是用木條間隔開來的，在繞組的左

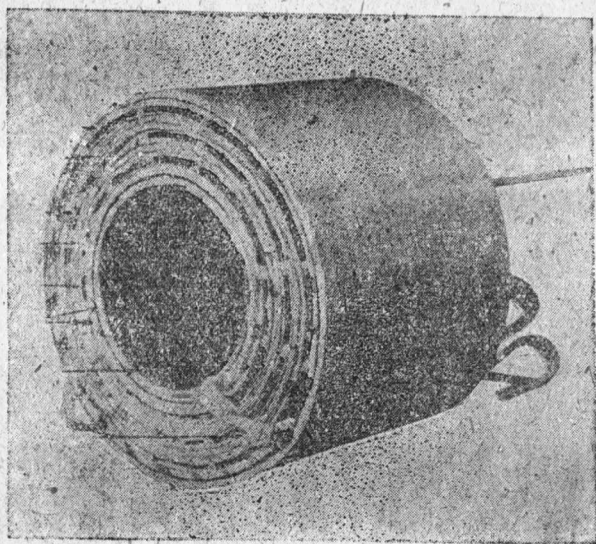


圖 6. 分層的變壓器繞組。

端可以看到這些木片的一端。這種構造不僅可使線圈彼此間絕緣開來,而且備置了空隙以供冷却空氣或油在內部循環,使容易帶走繞組裏的熱量。

這樣做成許多段層的繞組,每段層之間的連接可以依照變壓器所需的電壓和電流容量接成並聯或串聯。

4. 單相和多相變壓器 上電所敘述和圖示的變壓器都是單相的。變壓器也可以做成多相的,圖7所示的就是一隻3相的變壓器。它的初級和次級每相繞組是分置在鐵心三個分開的

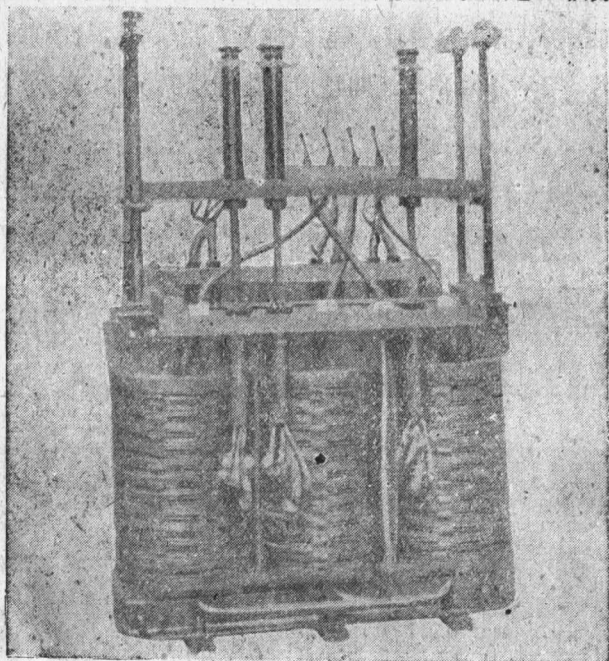


圖 7. 3相變壓器的鐵心和繞組。

鐵腳上。從這構造來看那就很容易了解到：一隻3相變壓器就是由三隻單相變壓器裝集在同一個鐵心上而組成的。圖7所示的變壓器的低壓繞組是放在高壓繞組裏面，靠近鐵心，外面所看見的就是分段的高壓繞組。各段線圈之間是相互絕緣的，同時在相繞組與相繞組間也放置着絕緣的隔檔以避免一相線圈與附近的另一相線圈之間的閃弧。線圈接到供電線的引線都是經過小心包紮並做有記號，而後分別固定鐵心上各別支架上的。

以同樣的容量來說，3相變壓器所需的鐵心材料比三隻單相的變壓器少；這是由於3相變壓器裏三相磁通交替間隔着 120° ，而每相磁通也交替地利用了同一鐵心之故。因此，3相變壓器同三隻單相變壓器在同一容量下比較起來具有下列幾優點：所需鐵材料較少；重量較輕；而所佔的地位也較小。

3相變壓器也有一個缺點，就是在繞組或絕緣發生故障或損壞而要修理時，所有三相電源須完全解除，而在用三隻單相變壓器組合成三相系統中，祇須把有故障的一隻拆出修理，而電源的供應可以另外換上一隻變壓器或者就用留下的二只變壓器接成的V形連接（見後）繼續供電而不致中斷。

不過，在新型的變壓器裏，線圈的構造和它的絕緣在平常的運用情況下損壞機會卻並不多。

5. 變壓器的損耗 雖然變壓器是一種效率很高的設備，但它的繞組和鐵心裏面仍有一些很小的損耗，這些損耗通常叫做銅耗和鐵耗。