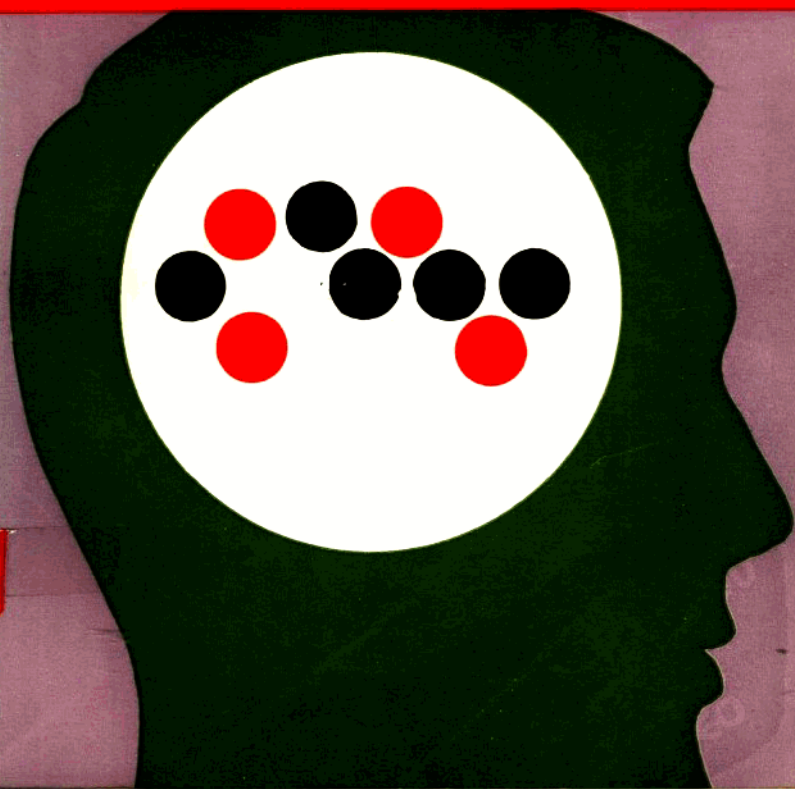


電機機械

黃慶連著

科學技術叢書／三民書局印行



電 機 機 械

(二)

黃 慶 連 著

學歷：大阪大學電機研究所碩士

經歷：國立成功大學電機系副教授

三 民 書 局 印 行

中華民國六十九年二月初版

◎電機機械(三)

——基本定價 貳元伍角

版權
所有

著者 黃慶連
發行人 劉振強
出版者 三民書局股份有限公司
印刷所 三民書局股份有限公司

臺北市重慶南路一段六十一號
郵政劃撥九九九八號

行政院新聞局登記證 局版臺字第〇二〇〇號

電機機械 (二) 目次

交流電機

第一部份 變壓器

第一章 變壓器原則及構造

1-1	鐵心及線圈	1
1-2	絕緣套及油櫃	6
1-3	冷卻設備	8
1-4	感應電動機及磁通量	12
1-5	理想變壓器及安匝數	16
1-6	漏磁電抗與激磁電流	19
1-7	向量圖	26
1-8	等值電路	29
1-9	近似等值電路	34
1-10	電壓調整率	39
1-11	變壓器的標么值	40
	習題	43

第二章 變壓器的各種試驗及效率

2-1	短路試驗	45
-----	------	----

2 電 機 機 械

2-2	開路試驗及無載試驗	47
2-3	變壓器的效率	50
2-4	直流電阻之測量及絕緣電阻試驗	54
2-5	變壓器的絕緣耐壓試驗及衝擊試驗	57
2-6	變壓器的極性試驗	59
2-7	變壓器溫度之測定	60
	習題	62

第三章 變壓器的結線法及運用

3-1	星形結線	65
3-2	三角形結線	71
3-3	Δ 形結線與Y形結線阻抗之等值變換	74
3-4	標么值計算法	76
3-5	Y-Y結線	77
3-6	Y- Δ 結線及 Δ -Y結線	83
3-7	Δ - Δ 結線	85
3-8	V-V結線	86
3-9	T型結線法	90
3-10	雙T型結線法	93
3-11	三相變換為六相方法	96
3-12	三相相序試驗	99
3-13	並聯運用	100
	習題	103

第四章 特殊變壓器

4-1	自耦變壓器	105
-----	-------	-----

4-2	比壓器	111
4-3	比流器	113
4-4	定流變壓器	114
4-5	感應型電壓調整器	116
4-6	三繞組變壓器	117
	習題	120

第五章 變壓器的維護

5-1	內部檢驗	121
5-2	變壓器的乾燥	122
5-3	變壓器的清油作用	125
5-4	變壓器的定期維護	127
	習題	131

第二部分 交流同步電機

第六章 交流同步發電機的基本構造及電樞繞組

6-1	構造概要	133
6-2	能量變換	137
6-3	電動勢的產生及頻率	139
6-4	轉子結構	146
6-5	靜子或電樞	149
6-6	導線槽	151
6-7	電樞繞組	152
6-8	單相繞組	155

6-9	二相繞組.....	158
6-10	三相繞組.....	160
6-11	通風方法.....	164
6-12	電樞繞組絕緣.....	165
6-13	繞組因數.....	166
	習題.....	173

第七章 旋轉磁勢及非凸型同步交流發電機

7-1	電樞磁勢.....	175
7-2	旋轉磁場.....	177
7-3	空隙向量和的磁通量及磁勢.....	182
7-4	特性曲線.....	184
7-5	同步電抗及等值電路.....	187
7-6	無載試驗及捷路試驗.....	193
7-7	電功率及功率角.....	195
7-8	轉矩及轉矩角.....	197
7-9	並聯運轉.....	199
	習題.....	202

第八章 凸極型同步發電機

8-1	空隙電壓.....	205
8-2	漏磁電抗.....	208
8-3	飽和同步電抗及磁場電流.....	210
8-4	凸極交流發電機的雙反應觀念.....	214
8-5	凸極同步發電機之電功率.....	216
	習題.....	219

第九章 同步電動機

9-1	轉矩·····	224
9-2	磁勢及 V 形曲線·····	227
9-3	起動方法及追逐作用·····	232
9-4	同步電動機的應用·····	237
	習題·····	238

交流電機

第一部分 變壓器

第一章 變壓器原則及構造

1-1 鐵心及線圈

變壓器鐵心之構造有二基本形式，一爲內鐵式，一爲外鐵式；此二式之區別，乃在銅導體之安排與鐵心間之關係，於內鐵式中，銅線圈係包住鐵心，而外鐵式中，則鐵心包住銅線圈。

由圖 1-1 可知，內鐵式變壓器之整個磁路乃一中空之長方形；而其鐵心係矩形或 L 形之矽鋼片所疊成，線圈則繞於兩腿，如圖 1-2 所示。若兩線圈分繞於高壓側及低壓側，則漏電抗將太大，欲使兩繞組中能獲致最大連繫，可將每一腿之線圈皆由高壓與低壓兩種繞組所組成，由圖 1-3 可知，於鐵心兩腿之橫截面中，高壓繞組圍繞住低壓繞組，而兩線圈間僅需一層高壓絕緣。若高壓係於鐵心附近，則鐵心與線圈間尚須加一層高壓絕緣。

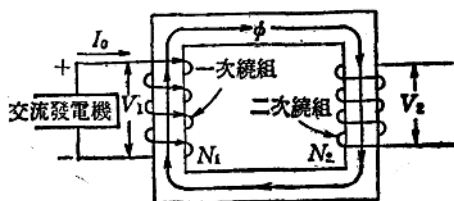


圖 1-1 簡單之變壓器（副路中無負載）

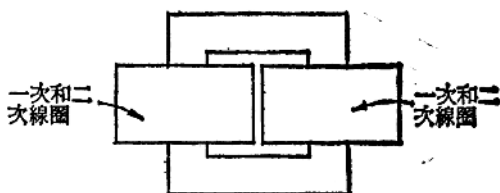


圖 1-2 內鐵式變壓器

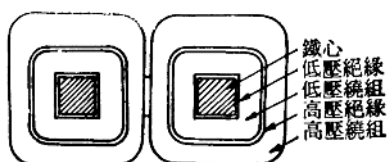


圖 1-3 內鐵式變壓器之橫截面

圖 1-4 所示者，為外鐵式變壓器，鐵心幾致完全包住銅線圈。此鐵心係以 *E* 形或 *F* 形之疊片構成，堆積為長方之 8 字形狀。全部繞組均置於中心腿上；且每一高壓圈均與低壓圈相鄰近，以減少漏磁；此等線圈實已佔據兩窗口之全部空間，而成扁平狀或烤餅形，一般而言，係由銅條所構成。同時，為減少高壓之絕緣容量，低壓線圈通常置於鐵心鄰近。

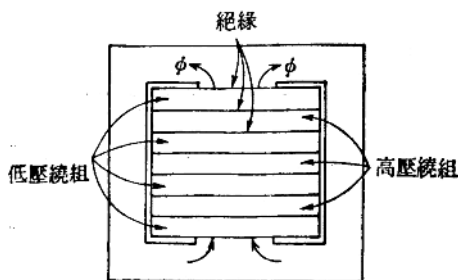


圖 1-4 外鐵式變壓器

內鐵式變壓器之磁路較外鐵式者長，而每匝平均長度較短。於內鐵式變壓器中，高壓線圈之絕緣容易，較為經濟，故更利於高壓、低或中容量電路之使用。

變壓器除兩種基本形式外，尚有

(一) 十字形鐵心變壓器：如圖 1-5 所示，係以若干大小不等之疊片，組成一可繞圓形線圈之正交鐵心。此種十字形式鐵心之製造，花費較大，然易於纏繞所用之圓形線圈；尤於短路時，更可供給較大之機械應力。

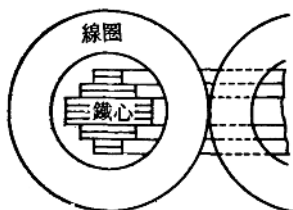


圖 1-5 十字形鐵心之構造

(二) 分佈外鐵式變壓器：分佈之外鐵式變壓器有一可環繞線圈之中間鐵心，此分佈式之鐵心，異於上述之外鐵式者，乃具有供給磁場四條回路之腿，即較圖 1-4 者多兩條回路，且多兩個直角。於圖 1-6

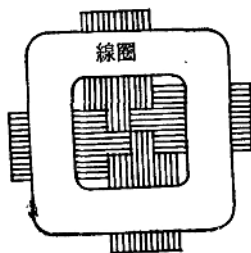


圖 1-6 分佈之外鐵式變壓器

之截面中，可知此變壓器與線圈平行。此種設計，磁路較短，每線圈每匝之平均長度亦較短，故可縮小變壓器每仟伏安容量之體積。

（三）螺旋捲鐵心變壓器：若磁通與鐵之顆粒方向相同，則磁導係數增加，而鐵心損失減少。依據此理，將螺旋式之鋼條繞於已完成之線圈窗口，則其結構較分片疊成者堅固；且因磁通為連續狀態，無個別分片末端之阻礙及接縫之介入，故磁路之磁阻可減低。圖 1-7 所示者，即此種螺旋捲鐵心之變壓器，係由美國奇異公司所製造。

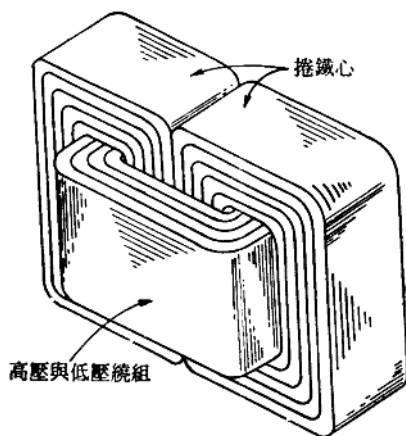


圖 1-7 螺旋捲鐵心變壓器

變壓器之繞組一般均以絕緣材料包裹之銅線繞製而成，小型者採用圓銅線，而中型及大型者則多採用正方形或長方形之銅條。如圖1-8所示，即為一三相大型變壓器之繞組，此繞組以長方形扁銅條繞製而成。此種繞組既堅固緊湊，且繞組之熱量較易散發。繞組通常以數層繞製而成，而每層間再以絕緣材料作良好之絕緣。除少數小型變壓器之繞組係直接繞置於鐵心外，一般中型或大型變壓器之繞組，均先以

模型繞製，成形後再放置鐵心上。當繞組以模型繞製完成後，須放置於乾燥室中予以烘乾，俟後，再浸於絕緣漆中，使每匝導線相鄰各匝之間有良好之絕緣。大多數情況下，繞組塗以絕緣漆之過程，須於密閉不通風之容器中進行。繞組置密閉之容器後，即將容器抽成高度真空，使繞組中之空氣及水份等全部散發出；再加高壓於加熱之絕緣漆，以使絕緣漆能滲入繞組各匝間之每一小空隙中。而浸漆後之繞組，須加熱予以烘乾，使絕緣漆乾燥及硬化，則繞組表面即呈平滑堅實，當其實際運用時，必可防止水份或灰塵等污穢物之侵蝕。繞組經如此微

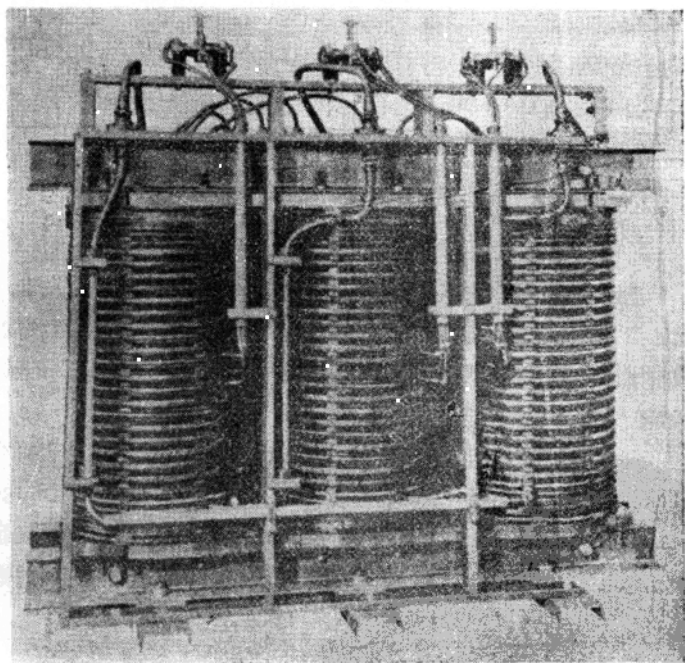


圖 1-8 變壓器之繞組

底絕緣及烘乾後，即可置於墊有絕緣物之鐵心上，以備隨時運用。

繞組中，鋁為僅次於銅之優良導電材料，近年來，因銅之產量不敷社會需求，且價格較貴，故各國均致力於鋁材料之開發工作。純鋁之導電度為 61%，抗拉強度約為銅之 $1/2$ ，其比重 2.7，約為銅之 $1/3$ 。設使用之鋁線電阻值與銅線相同時，則鋁線直徑須為銅線之 1.27 倍，重量為 0.5 倍，抗拉強度為 0.7 倍。下表所示為鋁線與銅線性質之比較。

	比重	導電度 (%)	膨脹係數	彈性係數 kg/mm ²	抗拉係數 kg/mm ²	熱傳導率 卡/cm- sec°C
硬 銅 線	9.00	97	17×10^{-6}	12,300	44	0.895
鋁 線	2.71	61	24×10^{-6}	7,200	17	0.504

1-2 絕緣套及油櫃

油櫃(Oil tank)又名油箱，其形式頗多，有平直者，有皺紋者，有四周加設油管者，亦有於兩旁製置散熱器者。油櫃之高度約為鐵心與線圈外形之兩倍。其目的在預防變壓器油逐漸消耗後，油面將過份低落；是故，可維持相當之油壓，以利於絕緣。

自密封油櫃中引出或引入一高壓線並非易事，故變壓器引接端(Leading-in-terminal)之絕緣極為重要，而外來之衝波電壓(Surge voltage)，首居要位，若絕緣不佳，則貽害匪淺。引接端因過於接近大地等電位(零電位)之鐵箱，所受之電壓應力甚大，故須先研討絕緣套管(Bushing)之設計及其構造之可靠性。

常用之絕緣套管可分為下列數種：

(1) 單一型套管(Solid type bushing)：係一簡單之中空圓筒瓷

管，套於引入線周圍。此型構造簡單，價格低廉，然絕緣耐力低，僅適用於 30KV 以下之變壓器。

(2) 充油型套管 (Oil-filled bushing): 此型具一圓筒形瓷套，中心為導體，導體周圍繞以數層同心絕緣物，且經常浸油，以增加其絕緣強度。瓷套外面則有油表，以顯示儲油量之多寡。

(3) 絕緣膏型套管 (Compound-filled bushing): 此型除中心導體周圍繞以數層同心絕緣物外，且於瓷管與導體間之空隙處，以絕緣膏予以凝結密封，則可防止空氣滯留或濕氣侵入，因而提高絕緣能力。於此型中，所採之絕緣膏須絕對可靠，否則，當溫度上升時，絕緣膏將流出；而溫度過低時，則有裂開之虞。同時，此型尚有分解檢查困難之弊，故目前除少數桿上用變壓器及儀器用變壓器 (70KV 以下) 外，已不常採用。

(4) 電容器型套管 (Condenser bushing): 於此型中，中心導體與瓷管間之絕緣體，係以極多層絕緣紙及金屬交替繞疊而成，故實際上，整個絕緣套包括頗多串聯之電容器，此種設計之目的，乃在使各電容器之電壓相等或成比例分配，亦即積極控制自導體表面至油櫃口間之電場分佈，以避免局部電場強度過大而導致電暈 (Corona) 現象。此型適用於 30KV 以上之變壓器。

至於變壓器油，除須有良好之絕緣特性外，尚須具備不易燃燒之特性，即其引火點須高，同時，欲便於對流作用，其黏性不可過高。變壓器油因廠商之不同，而有各種不同之商用名稱。

近年來，如三氯聯苯 (Trichloro-diphenyl)、五氯聯苯 (Pentachloro-diphenyl) 等不燃性之合成絕緣油，均被採用為礦山、高樓建築等變壓器之絕緣油。

使用變壓器油有兩種目的：一為輔助絕緣，二為幫助散熱 (即冷卻作用)。

1-3 冷却設備

變壓器之銅損失及鐵損失，消耗電能變為熱能，雖損失能量之百分數極小，然於大型變壓器內卻頗為可觀，故此種熱量若不予以散發，則愈積愈多，必至燒毀線圈。而散發之方法，或增加其散熱面積，或利用輔助散熱法，或二者兼用，茲詳述於下：

(1) 空氣自然對流：一般小容量及儀器用之小型變壓器均不用鐵殼，而直接裝置於牆壁或場房地板等處，且不用油冷卻，以避免發生火災。空氣與發熱之線圈及鐵心接觸，即受熱而上升，由冷空氣予以補充，藉自然對流作用，使變壓器冷却。

(2) 鼓風冷却：低於 40000 伏特電壓，而欲減少其佔用空間與重量之變壓器，常採鼓風予以冷卻，如圖 1-9 所示。此種冷却方法，可

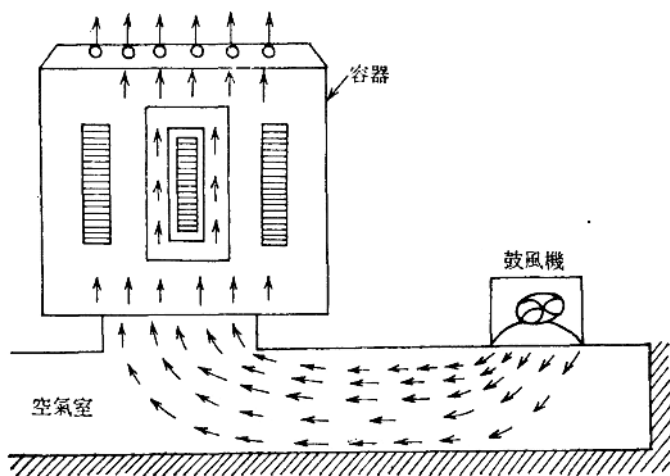


圖 1-9 鼓風冷却式變壓器

用於火車及電車之變壓器。

(3) 油浸自冷式：變壓器冷卻最普遍之方法為：將其浸於油中，而油之對流作用即可使變壓器內部之熱傳導而散發至外，如圖1-10所示。油之另一重要作用，即作為線圈間之絕緣質。因變壓器油之導熱性較空氣為佳，其絕緣強度亦較空氣為大，故變壓器油須具備下列條件：(a) 高比熱，(b) 高介電強度，(c) 高燃燒點，(d) 低冰點，(e) 極低之黏滯性，(f) 極佳之導熱性，(g) 不氧化及結殼，(h) 無酸性、鹼性及硫質之侵蝕作用。由於含極少量之水份與雜質，將影響其絕緣強度，故通常使用特種裝置，以防止油與空氣之直接接觸。

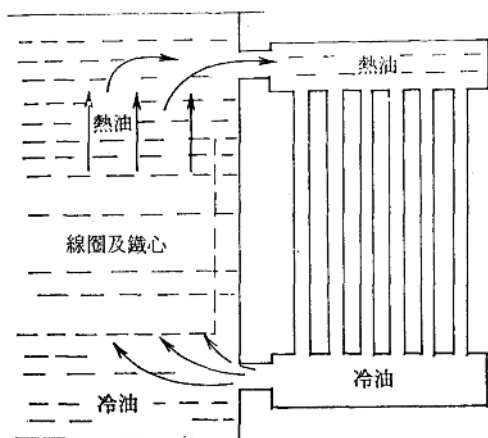


圖 1-10 油浸自冷式變壓器

油浸自冷式之變壓器，其鐵心及線圈所產生之熱，藉油之對流作用將熱傳導至容器表面，再由空氣自然冷卻。小型電力變壓器之容器，其表面平滑；而一般較大型之電力變壓器，其容器表面恆成綹摺，以增加散熱面積。或於容器四周加裝油管，如圖 1-11 所示，熱油於容