

電機機械

黃慶連著

科學技術叢書／三民書局印行



電 機 機 械

(三)

黃 慶 連 著

學歷：大阪大學電機研究所碩士

現職：國立成功大學電機系教授

三 民 書 局 印 行

行政院新聞局登記證 版業字第〇二〇號

中華民國六十九年八月初版

◎電機機械(三)

基本定價貳元肆角肆分

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

電機機械 (三) 目次

交流電機

第三部分 感應電動機

第十章 三相感應電動機	1
10-1 構造型式	3
10-2 轉差率	8
10-3 等值電路	10
10-4 轉矩	17
10-5 損失及效率	20
10-6 圓線圖	21
10-7 三相感應電動機之起動	26
10-8 繞線轉子式感應電動機	32
10-9 鼠籠式感應電動機	36
10-10 雙鼠籠式感應電動機	39
10-11 速率控制	41
10-12 改變旋轉方向	43
10-13 三相感應電動機之試驗	46
10-13-1 絕緣電阻測量	46
10-13-2 直流電阻測量	47

10-13-3 空轉試驗或無載試驗	48
10-13-4 堵住試驗	49
10-13-5 溫升試驗	51
10-14 三相感應電動機之維護	52
10-14-1 三相感應電動機定期維護之必要性	52
10-14-2 定期檢查項目及方法	53
習題	55
第十一章 單相感應電動機	57
11-1 構造	57
11-1-1 定子槽及其繞組	57
11-1-2 定子繞組之連接	60
11-1-3 鼠籠式轉子	62
11-2 雙旋轉磁場	63
11-3 起動方法	66
11-4 分相式電動機	66
11-5 電容式電動機	68
11-6 蔽極式電動機	70
11-7 等值電路	71
11-8 轉矩	74
11-9 單相感應電動機之維護及運用	77
11-9-1 定期維護的檢查項目	77
11-9-2 定期檢查項目的檢查方法	78
習題	83
第十二章 感應電動機保護裝置	85

12-1 三相電動機之保護裝置.....	85
12-2 單相電動機之保護裝置.....	102
習題.....	105

第四部分 單相特殊電動機及伺服電動機

第十三章 單相特殊電動機 107

13-1 單相整流器電動機.....	107
13-2 串激式萬用電動機.....	108
13-3 排斥式電動機.....	115
13-4 單相同步電動機.....	120
13-5 分佈磁場補償式電動機.....	121
13-6 磁滯電動機.....	122
13-7 磁阻電動機.....	123
習題.....	124

第十四章 伺服電動機 125

14-1 二相伺服電動機.....	125
14-2 對稱二相電動機之不平衡運轉.....	128
14-3 自整角電動機與系統.....	132
14-4 步進馬達.....	140
習題.....	144

第五部分 同步變流機及整流器

第十五章 同步變流機 145

15-1	基本原理	145
15-2	構造	146
15-3	電壓比	149
15-4	電流比	155
15-5	起動方法	157
15-6	同步變流機之運用	160
15-7	獲得正確極性之方法	162
	習題	164

第十六章 整流器 165

16-1	半波整流與全波整流	165
16-2	電子管整流器	167
16-3	汞弧整流器	171
16-4	氧化銅整流器	175
16-5	硒整流器	176
16-6	矽整流器	178
16-7	矽控整流器	179
16-8	電解質整流器	184
16-9	整流器應用時應注意的事項	185
	習題	186

交流電機

第三部分 感應電動機

第十章 三相感應電動機

由於多相感應電動機的構造簡單堅固，價格低廉，而且速率穩定，起動轉矩大，起動特性亦佳，所以在工業上的用途非常廣泛。(註)

多相感應機係一由交流激磁感應來供給電能的非同步電動機 (Asynchronous motor)。其主要構造分成兩部分，靜止的部分稱為定子，如圖 10-1 所示。定子內緣周圍有很多槽，槽內嵌裝導體，且每一槽均與外形像空心圓柱形的定子槽相平行。而在定子上並沒有看得見的實體磁極。其轉動的部分稱為轉子，轉子裝在軸上，是一個由鋼片疊成的圓柱，通常可分為兩種：一種是鼠籠式轉子，如圖 10-2 所示，一種是繞線式轉子，如圖 10-3 所示。鼠籠式轉子的表面並不開槽來嵌裝導體，導體係由銅或鋁所製成，從轉子的一端推進，嵌入轉子中，與軸心平行或稍微傾斜（近乎平行）；這些導體不必加以絕緣，祇須在轉子兩端，用兩個粗大的銅環將其短路，而其接法有熔接、銅鐸或螺接三種。因為如果拿掉鐵心，其導體與末端之短路環，外形很像一只鼠籠，所以稱為鼠籠式轉子。至於繞線式轉子，含有由鋼片疊成的鐵心，其上有用以裝載繞組的槽，此繞組必須有和定子繞組相同的極數，不過，可以有不同的相數，通常都是三相，而繞組的

(註) 凡是不限定同步轉速，即轉速 N_2 ，電機極數 P 和電源頻率 f 之間，沒有

$$N_2 = \frac{120f}{P} (\text{rpm}) \text{ 之固定關係的，就稱為非同步電動機。}$$

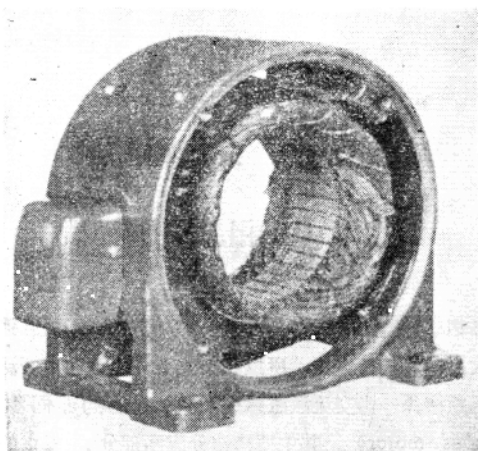


圖 10-1 感應電動機定子之構造

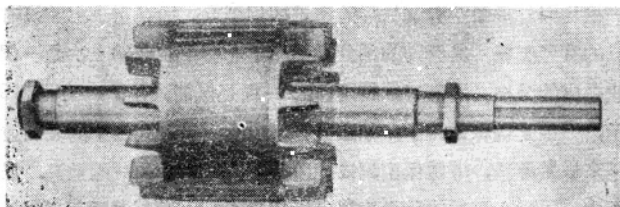


圖 10-2 鼠籠式轉子

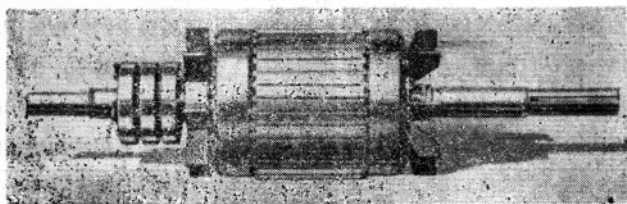


圖 10-3 繞線式轉子

線端則引出至滑環，以便能插入電阻，與繞組串聯，以供起動之用；一般而言，在正常運轉的情況下，皆將線端短路。

10-1 構造型式

三相感應電動機主要分為繞線式轉子(Wound rotor)及鼠籠式轉子(Cage rotor)兩種型式，這是著重轉子繞組之型式而分類的，其他電機亦有類似的情形，例如：直流機分成有或無換向極，變壓器分成內鐵型或外鐵型，同步機分成凸極式或隱極式等。

不論是繞線式轉子或鼠籠式轉子，其定子之構造都與同步電動機相同。鐵心係由矽鋼片疊置而成，每 70~80mm 段，中間夾有約

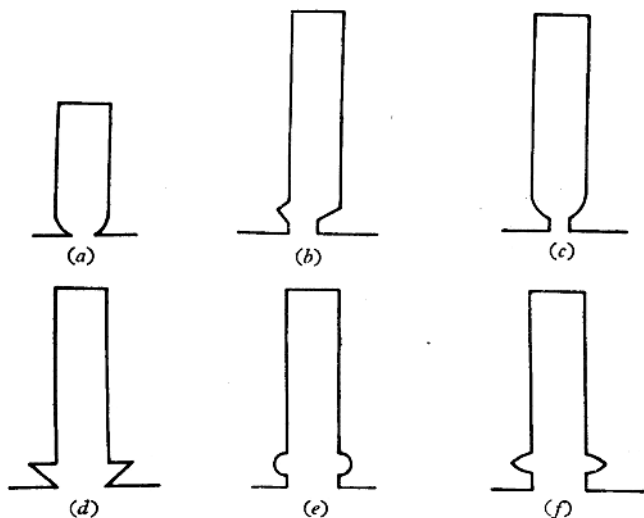


圖 10-4 定子槽形

10mm 的通風道，且大都為半封閉式槽 (Semi-enclosed slot)，如圖 10-4(a), (b), (c) 所示，以減少空氣隙磁通的脈動。

感應電動機的氣隙特別短，所以其氣隙磁通的脈動就特別大，而氣隙短的原因，是由於感應和交流激磁，如果氣隙過長，激磁安匝太多，整個電機的功因就會很低。一般感應電動機的激磁電流高達總電流的 30~50% (變壓器祇有 3~5%)。氣隙最好再縮短，但也不能太短，否則，轉軸就必須加粗；不過，無論多粗，負載時還會彎曲；當軸承磨損後，轉子甚至可能會碰到定子；因此，必須謹慎地設計這個部分。

同時，半封閉式槽還有一個缺點，其線圈邊不能預先絕緣，然後再塞進去，而導體必須一根一根地放入。敞露式槽就可以預先完全絕緣，不過，磁通脈動頗大，常產生噪音和寄生轉矩。

有一種方法可以使線圈預先絕緣，並防止磁通脈動，兼具敞露式與半封閉式槽的優點：就是採用敞露槽，同時使用磁性槽楔 (Magnetic wedge)，圖 10-5 所示即為其構造。

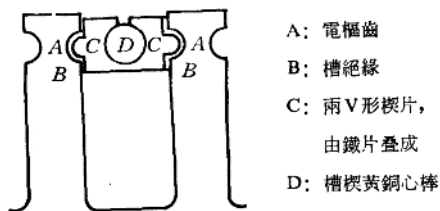


圖 10-5 敞露式槽且使用磁性槽楔

上圖中，C 的功用是在減少氣隙之磁通脈動，D 的作用則在阻隔漏磁路。

上述之內容係簡要地介紹定子鐵心的構造。至於三相感應電動機

的定子繞組 (stator winding)，和同步機沒有什麼區別，大都為短節分佈雙層繞；不過，三相同步機都屬Y形連接，其主要目的在減少所需之絕緣；而三相感應電動機有Y形連接，也有 Δ 形連接，甚至可Y形可 Δ 形連接，其目的是：(a) 可應用於兩種不同的電壓（譬如線路電壓 380 伏特時作Y形連接，220 伏特時作 Δ 形連接），(b) 祇有在起動時作Y形連接，以限制起動電流，而平時則作 Δ 形連接。

轉子鐵心亦成層分段，而且夾有通風道，常用的槽形如圖 10-6 所示。圖 a 是繞線轉子槽形，係雙層，每層之銅條先彎曲一端，再穿過槽中，然後轉彎；而兩層均穿好後，再塞入槽楔。圖 b ~ f 是單層的，而圖 e 及 f 為深槽式 (Deep-slot type)，圖 g 及 h 為雙籠式 (Double squirrel-cage type)，後兩種型式的起動特性都很優良。而且，這種鼠籠端環 (End rings) 都屬銅銲 (Copper brazing)、電銲 (Welding)，甚至連所有導體一起加壓鑄鑄 (Die-casting)。

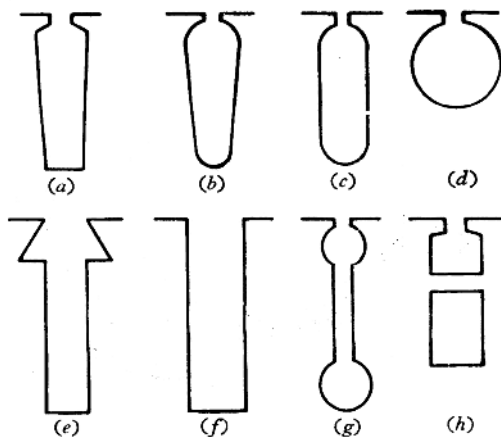


圖 10-6 轉子槽形

繞線式轉子皆屬波繞，其目的在使各相之感應電壓能夠對稱，因為軸承常有磨損，尤其是套筒軸承，使用時間一久，上部的氣隙將會較下部大，亦即上部各極的磁通常常會比下部少。若是疊繞，那麼，旋轉至上部的相經常會感應較低的電壓，而波繞就沒有這種缺點。

圖 10-7 及圖 10-8 所示都是 8 極，48 槽，Y 形連接的波繞圖形，後者係前者的改良形式，如此，可以省掉每相在半途必須彎到第三層的特殊連接。

繞線式轉子之構造不及鼠籠式的簡單牢固；不過，在起動時，經由滑環和電刷，可以從外部插入電阻，以獲得最大的轉矩；而所增加之滑環及電刷，僅用於起動時，待起動後，必須將電刷舉起，以減少磨擦。當電刷舉起時，先使各相短路。因為繞線式轉子皆具有滑環，

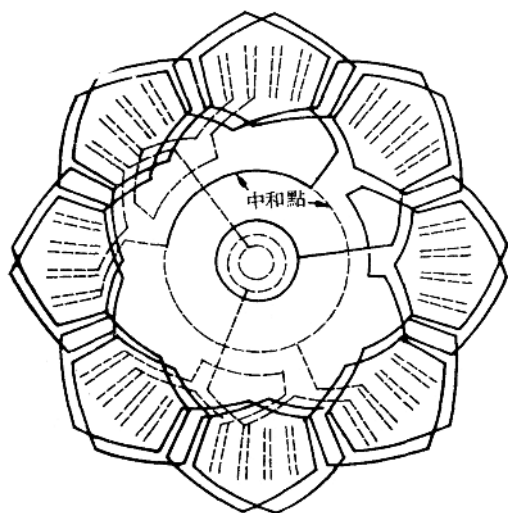


圖 10-7 8 極 48 槽 Y 形波繞感應電動機

所以又稱為滑環式 (Slip ring type)。

至於其他部分的一般構造，可分述於下：

(A)轉軸：通常都屬水平式，不過，爲了在屋外的特別需要，如電動汽笛 (Motor syren)，則採用豎立式。

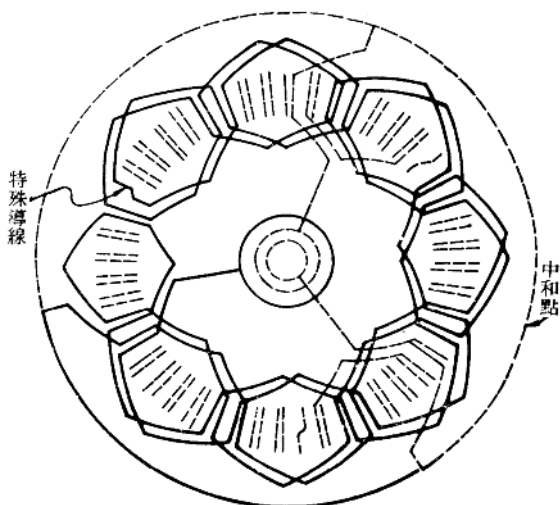


圖 10-8 8 極 48 槽 Y 形波繞 (係圖 5-7 之改良形式) 感應電動機

(B)軸承：中小型的感應電動機都採用球或滾子軸承 (Ball or Roller bearing)，比較不容易磨損，同時，可以設計較小的氣隙。圖 10-9 中的 (a)(c)(e) 都屬球式，而圖 (b)(d) 則為滾子式。滾子式較有力，通常都裝在靠皮帶輪 (Pulley) 的一端，而球式則裝於其反面，藉此來固定轉動的位置。圖 (c) 及 (d) 兩種型式都特別能自動調節，以適應轉軸的些微彎曲 (轉軸並非毫不彎曲的鋼體)；而圖 (e) 則係推力軸承 (Thrust bearing)，專為支持橫推應力而設計，不過也常採

用豎立式。大型電動機一般均採用套筒軸承 (Sleeve bearing)。

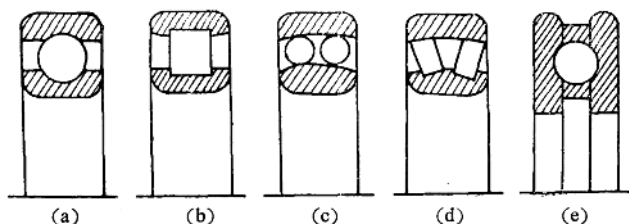


圖 10-9 各種軸承

(C)外架：分爲下列數種型式

(a)敞露式 (Open type)。

(b)半封閉式 (Semi-enclosed type)：在敞露處加裝鋼絲網，網目在 400mm^2 以內，以防止外物掉進機體中，但也不可太小，而妨礙通風情形。

(c)密閉通風式 (Enclosed ventilated type)：除了進出口通風外，其他部分全部密封，織布機馬達就採用這種型式。

(d)全閉式 (Totally enclosed type)。

(e)全閉鼓風冷卻式 (Totally enclosed fan cooled type)：全部密封，並於外架加裝散熱片 (Fins) 和轉動風扇，以達到冷卻的效果。

10-2 轉差率

旋轉磁場沿著定子旋轉的速率，稱之爲同步速率，同步速率的大小，是與外加電壓的頻率及電機繞組的極數有關。假設 f_1 爲定子電壓的頻率 (Hz)，而 P 爲磁極數，則同步速率每秒鐘的轉速 N_s 爲

由 $f_1 = \frac{P}{2} \times N_s$ 得

$$N_s = \frac{f_1}{P/2} = \frac{2f_1}{P} \text{ rps} \quad (10-1)$$

其每分鐘的轉速即為

$$N_s = \frac{2f_1}{P} \times 60 = \frac{120f_1}{P} \text{ rpm} \quad (10-2)$$

下表所列是在頻率 50 赫和 60 赫下感應電動機的同步速率，其他頻率則可由 (10-2) 式推算出來。

磁 極 數	2	4	6	8	10	12
$f_1=50$ 赫的 $N_s(\text{rpm})$	3000	1500	1000	750	600	500
$f_1=60$ 赫的 $N_s(\text{rpm})$	3600	1800	1200	900	720	600

例題 10-1 一三相感應電動機，若磁極有 12 極，外加電壓之頻率為 25Hz，試求其同步速率 N_s 。

$$\begin{aligned} \text{解 } N_s &= \frac{120f_1}{P} \\ &= \frac{120 \times 25}{12} = 250 \text{ rpm} \end{aligned}$$

如果將電樞轉子上的導體（銅棒或線圈）形成通路，然後放在旋轉磁場內，則導體內將感應電流，而因為帶電流之導體在磁場內產生電磁轉矩亦即驅動轉矩（Driving torque），所以轉子將跟著旋轉磁場向同一方向旋轉，惟轉子之速率 N_2 永遠不能達到同步速率 N_s ，這是因為：如果二者相等，磁力線就無法割切轉子的導體，如此一來，電樞內既沒有電流，就不能產生轉矩，而轉子將停止不動了。

旋轉磁場之同步速率 N_s 與轉子旋轉速率 N_2 的差，稱為感應電動機的轉差。譬如，一 6 極，60 赫三相感應機的速率為 1150rpm，因

爲其同步速率爲 1200rpm，所以其轉差 $N_s - N_2$ 等於每分鐘 50 轉。
一般更普遍的表示法是以同步速率的百分數或小數來表示，即

$$s = \frac{N_s - N_2}{N_s} \times 100\% \quad (10-3)$$

上式中， s = 轉差率百分數

N_s = 同步速率 (rpm)

N_2 = 轉子或電動機之速率 (rpm)

商用電動機的滿載轉差大約是 1~10%，依電動機的大小種類而有所不同。

例題10-2 一 4 極，60 赫的三相感應電動機，其滿載速率爲 1740rpm，
試求其轉差及轉差率。

解 同步速率 N_s 爲

$$N_s = \frac{120f_1}{P} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{ rpm}$$

因此，

$$\text{轉差 } s(\text{rpm}) = N_s - N_2 = 1800 - 1740 = 60 \text{ rpm}$$

$$\begin{aligned} \text{轉差率 } s &= \frac{s(\text{rpm})}{N_s} \times 100\% \\ &= \frac{60}{1800} \times 100\% \\ &= 3.33\% \end{aligned}$$

10-3 等值電路 (Equivalent circuit)

多相感應電動機在靜止時，其作用與變壓器相同，此時，轉子電流的頻率與定子電流者相同，而且，此轉子電流也產生旋轉磁場，其速率及方向均與定子的旋轉磁場相同。