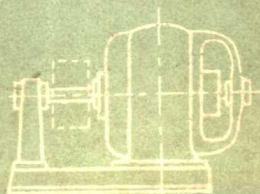


电机工人適用

电工学

第八分册 交流电动机

章 炎 福著



電力工業出版社

內 容 提 要

“电机工人適用电工学”是專为具有高小文化程度的人編寫的，也可供初学电工的讀者學習。全書分十二册，第一至第十一分册的內容包括：电的基本概念、直流电路、磁和电磁、交流电路、直流电机、交流发电机、变压器、交流电动机、量电仪器、整流器和內燃机电气設備等；第十二分册是“电工學習題詳解”。本書文字通俗，內容淺顯，沒有特別高深的理論和繁雜的計算公式。

第八分册介紹了同步电动机及各种类型感应电动机和單相电动机的構造特性和运行原理。詳細講述了感应电动机的轉差率、轉矩和轉速的調節，感应电动机和同步电动机的起 动方法。書中对各种交流电动机的用途也分別作了介紹。

电 工 学

第八分册 交流电动机

章 炎 福 著

*

385D144

电力工業出版社出版 (北京府右街26号)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082号

北京市印刷一厂排印 新華書店發行

*

編輯：沈昌培 刘作嬰 校对：王 誠

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 2号印張 * 41千字

1956年8月北京第1版

1956年8月北京第1次印刷(1—45,106册)

統一書号：T15036·34 定价(第9类)0.28元

目 錄

交流电动机概說	2
一、交流电动机的原理	3
二、交流电动机的类型	8
第十五章 同步电动机	10
一、同步电动机的構造	10
二、同步电动机的运行原理	12
三、同步电动机旋轉磁場和轉子間的位移	14
四、同步电动机的擺动和穩定	15
五、同步电动机的功率因数和同步电容器	17
第十六章 感应电动机	19
一、感应电动机的構造	19
二、感应电动机的运行原理	23
三、感应电动机的轉差率	24
四、轉子电流頻率和感应电动势	25
五、感应电动机轉子的感抗、阻抗、电流和功率因数	27
六、感应电动机的轉矩	28
七、感应电动机的起动	33
八、双鼠籠感应电动机和深槽感应电动机	41
九、同步电动机的異步起动机	45
十、感应电动机轉速的調節	49
十一、自整角电动机	56
第十七章 單相电动机	59

一、單相感應電動機的運行原理.....	59
二、裂相電動機.....	64
三、電容電動機.....	66
四、蔽極電動機.....	67
五、排斥電動機.....	70
六、串激普通電動機.....	73
七、單相同步電動機.....	76

交流电动机概說

一、交流电动机的原理

1. 交变磁場和旋轉磁場

交流电动机运行的原理大多是利用交变电流的旋轉磁場。圖 1 表示兩個互相垂直的綫圈 A 和 B 。當我們把直流電接通綫圈 A 時，在垂直的方向會產生一個兩極磁場，如圖 1 甲所示。要是把交流電接通綫圈 A ，那么在垂直的方向就產生一個來回交變的磁場。當我們把直流電或交流電接通綫圈 B 時，在水平方向也可產生一個方向一定的或交變的磁場。如果在這兩個綫圈中都接通直流電，因為每一個綫圈都能產生磁場，結果就造成一個傾斜的合成磁場。這合成磁場的方向，決定於兩個綫圈中電流的方向和強度。當綫圈中電流強度相同的時候，那么合成磁場的方向和水平方向成 45° 的斜角，如圖 1 乙所示。如果綫圈 A 的電流大於綫圈 B 的電流，那么合成磁場和垂直方向所成的角度便小於 45° ，因為綫圈 A 的磁場比綫圈 B 的強。但是不論這兩個綫圈中直流電的強度如何，合成磁場仍具有一個固定的方向，我們可以用磁針來顯示合成磁場分佈的情況。

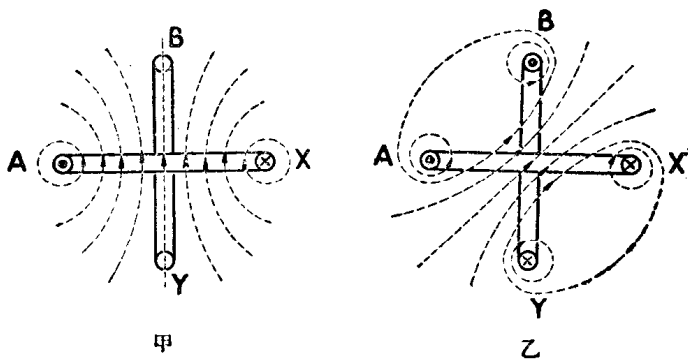


圖 1 兩垂直線圈的磁場

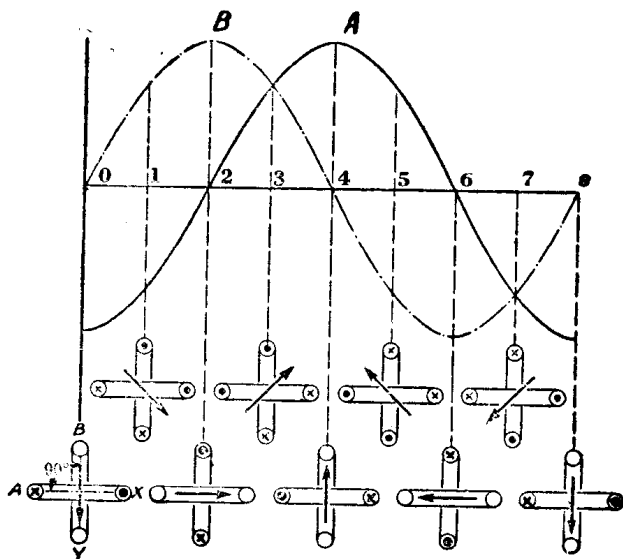


圖 2 兩相交流的旋轉磁場

如果在这两个线圈中接通两相的交流电(如图2上部所示),为了便于明了起见,可假定电流由起端(A, B)到终端(X, Y)的方向为正,根据每一个瞬息间电流变动的情况,会随时改变合成磁场的方向。图2下部表示在各个不同瞬息间由交变电流所产生的合成磁场。当时间为“0”时,线圈 $A-X$ 的电流是负方向的最大值,线圈 $B-Y$ 的电流为零,这时两线圈合成磁场的方向如图2下部对应于“0”处所示。当时间为“1”时,线圈 $A-X$ 和 $B-Y$ 的电流方向相反、大小相等,合成磁场的方向如图2下部对应于“1”处所示。同样,在“2”“3”“4”等各瞬间可以产生如图所示的不同方向的合成磁场。可知两相交流的合成磁场,能够不断地改变着它的方向,造成一个旋轉磁场。如果把 $A-X$ 或 $B-Y$ 任何一线圈的两端互换,都可以使旋轉磁场的方向相反。

2. 三相交流的旋轉磁场

在实用上除小型的单相电动机外,大多数交流电动机都是三相的。三相交流电动机定子的构造和三相交流发电机完全相同,也是有三组互成 120° 电气角度的线圈,每一组线圈由三相交流发电机或变压器的一相绕组来供给电流,定子线圈的接法可以是星形,也可以是三角形,相间的电流各相差 120° 电气角度。

图3上部表示三相交流和时间关系。这里仍假定电流由起端(A, B, C 各线圈)到终端(X, Y, Z 各线圈)的方向为正。由图可知在任何瞬息间总是有一相(或二相)的电流方

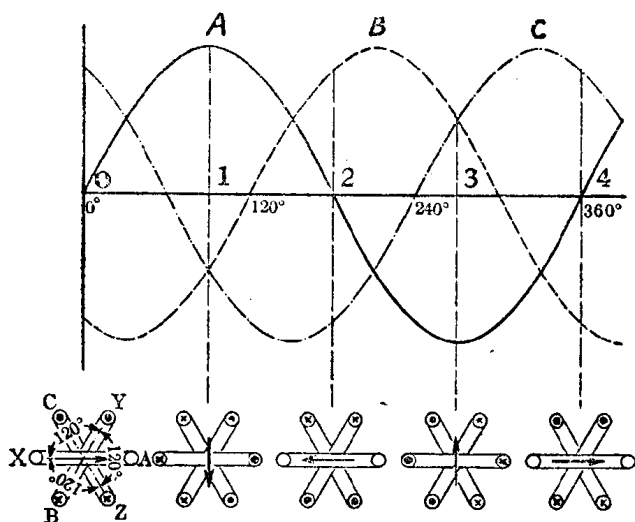


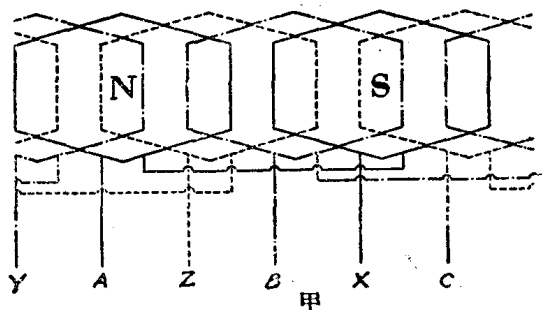
圖 3 三相交流的旋轉磁場

向為正，另二相（或一相）的電流方向為負，並依次作規律性的變換。圖中 0、1、2、3 各點表示各該瞬息間繞圈中電流通過的情況，圖中下部表示這些瞬息間合成磁場的方向。

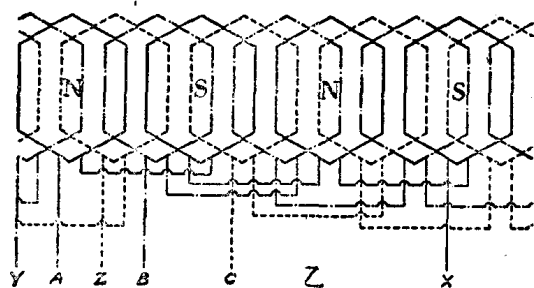
當時間為“0”時，繞圈 A-X 的電流為零（ $i_a=0$ ），繞圈 B-Y 的電流（ i_b ）為負值，繞圈 C-Z 的電流（ i_c ）為正值；這時電流在各繞圈中所產生的合成磁場的方向如圖下部對應於“0”處所示。當時間為“1”時，各繞圈中都通有電流（ i_a 為正值， i_b, i_c 為負值），這時合成磁場的方向如圖中下部對應於“1”處所示。同樣，圖中“2”“3”等各點也分別表示其他瞬息間合成磁場的方向。因此，和前面所談的二相交流一樣，三相交流也可以產生一方向不斷改變的旋轉

磁場。

以上所談的旋轉磁場(不論二相或三相)都只有兩個磁極，在兩極交流電動機的定子繞組中每一相常含有兩組繞圈如圖 4 甲所示，交變電流每變動一周，合成磁場的兩極也旋轉了一整圈。



甲、兩極交流電動機定子繞組的接法



乙、四極交流電動機定子繞組的接法

圖 4

圖 4 乙 表示三相四極交流電動機 定子 繞組的接法，在圖中每一相繞組各具有四個繞圈。根據繞圈通電後磁場分佈的情況，可知交變電流每變動一周，旋轉磁場可移動

一对磁極的距离。讀者可按照上述方法画出六極、八極的定子繞組，來進行研究。

假定以50赫的交流電輸入任何电动机，那么旋轉磁場每秒鐘就能夠移动 50 对磁極的距离，或每分鐘移动 $50 \times 60 = 3000$ 对磁極的距离。如果电动机只有一对磁極，那么磁場的轉速是 3000 轉/分，如果电动机有兩对磁極，那么旋轉磁場的轉速是 1500 轉/分。这一个頻率；磁極和轉速的关系，称为交流电动机的同步速率，在第四分册“交流电路”和第六分册“交流發電机”中都已经談过。即：

$$f = p n / 60$$

式中 n ——同步速度(以轉/分为單位)；

f ——頻率(以赫为單位)；

p ——磁極对数。

二、交流电动机的类型

交流电动机以相数分，有多相电动机、單相电动机；以运行原理分，有同步电动机、感应电动机(又称“異步电动机”)。感应电动机的种类又分为：三相鼠籠式感应电动机、繞繞式感应电动机、双鼠籠感应电动机、深槽感应电动机和換極电动机等。單相电动机的种类又分为：串激普用电动机、蔽極电动机、裂相电动机、电容电动机和推斥感应电动机等。

我們在本書第五分册中已經談过直流电动机的特性和適用的場合，但是在各种交直流电动机中，不論是按照电机的功率，或使用的範圍來說，都是以三相鼠籠式感应电

动机用得最多最廣，因为这种电动机構造簡單結实，沒有滑动的接触，可用於在比較潮湿或具有易燃性气体的地方，一般不需要完全封閉，並且起動方便，不需要特殊的技能。鼠籠式感应电动机的缺点是調節轉速的特性較差，有滯后的功率因数和較小的起動轉矩等。它們適用於比較穩定的負荷；容量由 100 瓦到 100 瓩以上。

綫繞式感应电动机具有比鼠籠式感应电动机好的起動特性(起動轉矩大、起動电流小)，在低於同步速率的範圍內，可以平穩地調節轉速，但是在降低轉速时电动机的效率也降低，这是因为很大的一部分能量被消耗在变阻器里。適用於升降机、軋鋼机、卷揚机等；容量由几瓩到几百瓩。綫繞式感应电动机的缺点是構造复雜，起動时不及鼠籠式感应电动机方便。近年來由於特殊形式的鼠籠式感应电动机(例如双鼠籠感应电动机、深槽电动机和換極电动机等)的应用和推廣，對於不需要調節轉速的一般負荷，綫繞式感应电动机已逐漸为鼠籠式感应电动机所代替。

同步电动机的优点是可由調節激磁电流的强度來改变功率因数，实际上不但可以提高到單位功率因数，甚至还可以得到越前的功率因数。適用於空气压缩机、冷藏机、大型水泵、抽水机、打風机和其他持續平穩的負荷。这种电动机的容量一般在 50 瓩以上。

鼠籠式感应电动机的特性一般和直流分激电动机相似，適用的范围也大致相同。直流复激电动机、串激电动机和交直流兩用的串激电动机具有較高的起動轉矩，適用於電車、起重機、升降机、卷揚机、打風机等。这些电动

机的容量可大到 100 瓩以上。

小型的串激普通电动机常具有較高的轉速(1000轉/分到 10 000 轉/分以上)，特別適用於電鑽、電吹風等手提工具；容量一般不超過 1 瓩。

單相交流电动机中以蔽極电动机的構造最為簡單，但是起動轉矩最小，運轉特性也較差，常用於負荷很小的風扇中。

裂相电动机和电容电动机的起動轉矩較大，適用於小容量平穩的負荷，如电气冰箱、小工作机械等。

推斥感应电动机的起動轉矩最大，但是構造比較複雜，在电容起動的裂相电动机和电容电动机未發展以前，应用得較多^①。除了推斥感应电动机的容量可能大到十多瓩外，單相电动机的容量一般都很小。

以下各章將分別敘述各种交流电动机的構造特点和运行原理等問題。

第十五章 同步电动机

一、同步电动机的構造

同步电动机是三相交流电动机的一种，構造上和同步發電机大致相同。在实用上，为了適合低轉速負荷的需

① 电容起動的裂相电动机和电容电动机过去因受到大容量电容器制造困难的限制，在很長的一段时期內沒有發展。

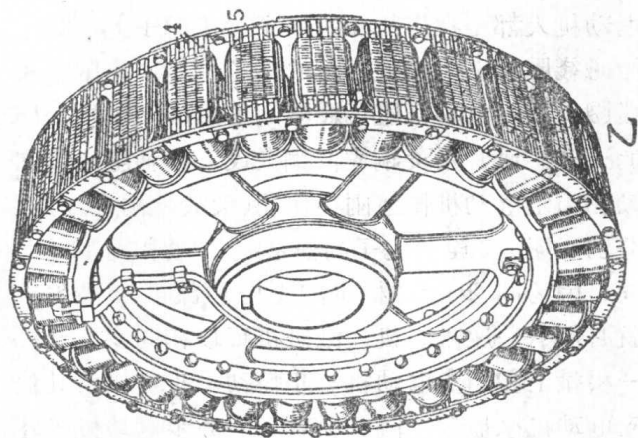
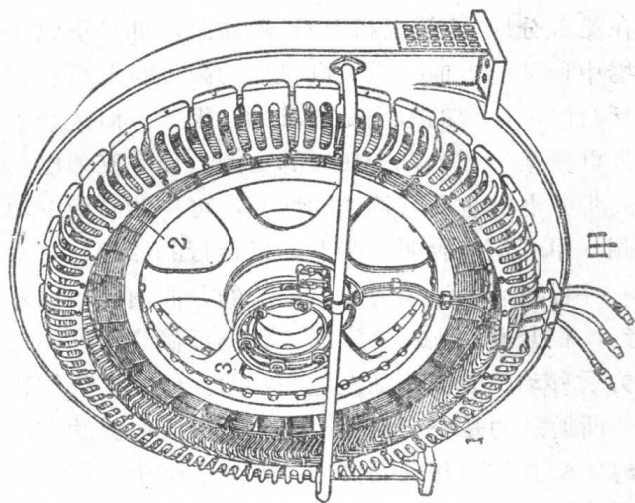


圖 5 同步电动机 乙、轉子

甲、外形

1—定子繞組；2—轉子磁場；3—滑環；4—阻尼綫圈；5—阻尼綫圈端接。

要，同步电动机大都是採用凸極的轉子。在轉子上，除了主要的有激磁繞圈外，在靠近極面的槽子里並嵌有兩端短路的阻尼繞圈。同步电动机阻尼繞圈的电阻，一般地比同步發電機的大些，通常用黃銅或青銅做成。這種阻尼繞圈是具有起動和穩定电动机轉速兩種作用（關於這兩種作用，將在後面分別說明）。至於定子的構造，一般和同步發電機完全相同。因為同步电动机也需要用直流電來產生磁場，所以就必須有一座激磁機，激磁機可以和同步电动机聯接在同一根軸上和同步电动机一起轉動，也可以由其他較小的感應电动机來拖帶。圖5甲表示一同步电动机的外形，圖5乙表示一同步电动机的轉子。

二、同步电动机的运行原理

我們在第五分冊“直流电机”中已經談過，如果不改變導體在磁場中移動的方向，直流电机作為發電機運行和作為电动机運行時，電流的方向是相反的。因此，直流發電機可以由供電繞路中引入方向相反的電流，使它成為电动机。交流同步發電機也具有這樣的性質，可作為同步电动机運行。圖6甲可用來說明同步电动机運行的原理。圖中在N極下有一根通有電流的導體，電流的方向由書本向外（面向讀者），根據电动机左手定則，我們可確定這導體在N極下受力後移動的方向是從左邊向右邊。假定這導體在固定磁極下所通過的是交變電流，因為下半周電流的方向相反，使導體受到方向相反的推力，因此在整個周期中導體所受的淨力矩為零。這就是同步电动机停着時的情形。

如果电机的磁極由直流电產生固定的磁性，同时在电樞繞組中引入交变电流，並不能使电机轉动，也就是同步电动机並沒有起动的轉矩。

如果能設法把这一根帶电的導體在 N 極下順着作用力的方向向前推动，使它在進入 S 極下的時候恰巧改变电流的方向，那么在 S 極下作用力的方向可保持不变，这就是同步电动机运行时的情形。当導體以每半周一極的速率向前移动时，導體和磁場間就可連續產生方向不变的力矩。

虽然我們在前面說明導體和磁場間相互作用

用的時候，是假定通有交变电流的導體以每半周一極的速率在固定的磁極下移动；可是实际上，一般同步电动机的構造都是由轉动的磁極在通电的定子繞組下受着方向相反的作用力，因此磁極轉动的速率也必須和电流的变动符合，才能產生連續的轉矩。

同步电动机的运行，也可以假想是由於定子电流的旋轉磁場和轉子磁極間的吸力，如圖 6 乙所示， N_s, S_s 表示

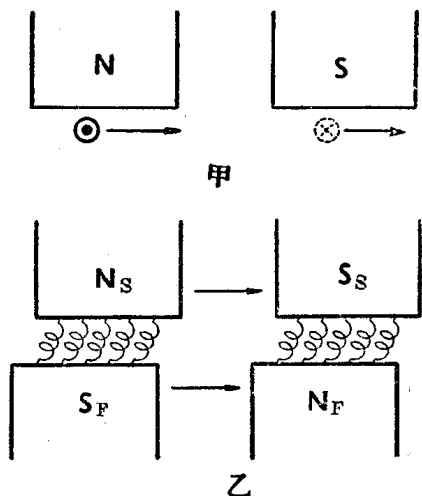


圖 6 同步電動機的運行原理

甲、根據電動機左手定則

乙、根據異性磁極間的吸力

交变电流在定子繞組中所產生的旋轉磁場，当轉子以同步的速率轉动时，这些定子旋轉磁場的磁極和轉子上異性磁極 N_f, S_f 間的吸力，可以使轉子在旋轉磁場中保持同步的轉速。在圖中表示定子磁極和異性轉子磁極間的磁力綫，好像是联接在定子和轉子間有拉緊作用的彈簧。通过这些“彈簧”，定子的旋轉磁場可以把轉子拖帶着一起轉动。

三、同步电动机旋轉磁場和轉子間的位移

增加直流电动机的負荷，会影响电动机的轉速，同时須由供电綫路对电樞供給較强的电流，使它產生較大的轉矩。至於增加同步电动机的負荷，会不会影响它的轉速，

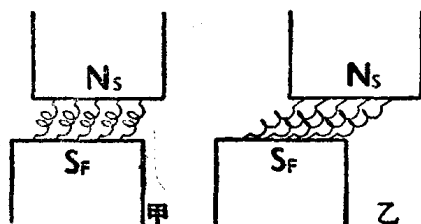


圖 7 旋轉磁場和轉子間的位移
甲，輕負荷时 乙，重負荷时

可以由圖7來說明。我們可假想在定子旋轉磁場和轉子的異性磁極間是联接着許多彈簧，这些彈簧能使定子的旋轉磁場把轉子拖帶着一起轉动。要是負荷和摩擦、

風阻等損耗都很小，那么磁極間联接的彈簧只受到很小的一些拉力，旋轉磁場和轉子間的位移很小，如圖7甲所示。可是当負荷增加而反抗着轉子旋轉的时候，結果必然使彈簧拉長，直到彈簧的拉力恰巧等於負荷增加后所需的拉力为止。在这新的平衡位置下又能繼續以同步的速率轉动。彈簧的伸長表示轉子更多地落在定子磁場的后面（位移加大），可是同步电动机在最后並沒有失去它的同步速

率，而只是在一个很短的时间內頓挫了一下，經過短期的一些波动，就可以恢复原有的轉速。这样，在不同的負荷下，定子旋轉磁場和轉子磁場間的相对位置是有些改变的。

四、同步电动机的擺动和穩定

關於同步电动机运行的情形，前面已經談过定子和轉子間的吸力好像是由联接着的彈簧產生的，定子的旋轉磁場把轉子拖帶着一起轉动，並且根据負荷的大小來決定彼此間相对的位置。

假定同步电动机在运行时突然增加(或減少)了負荷，在这瞬息間將影响轉子的速率；並且如上所說，根据負荷的大小來決定轉子和定子間新的位移，在新的平衡关系下繼續以同步的速率旋轉。但是由於轉子和負荷的慣性，当轉子向后或向前偏移时(都是对定子的旋轉磁場來說)並不是立刻進入新的平衡位置，而是在平衡位置的前后發生往复擺动，也就是轉子的速率在同步速率的上下有一些波动。这种現象通常叫做步調的追逐。

要是轉子擺动的角度过大，超过了旋轉磁場和轉子間的吸力範圍，很可能滑脫一對磁極，甚至使电动机停止轉动。

利用極面上嵌置的阻尼綫圈，可以在負荷变动时抑制轉子的擺动，使电动机的轉速很快地穩定下來。当轉子和定子的旋轉磁場以同步的速率轉动时，因为阻尼綫圈和旋轉磁場間沒有相对的运动(就是綫圈对磁場的运动速度为