

感应电动机文輯

(第一集)

毛 啓 爽 主 編

科 技 卫 生 出 版 社

感应电动机文輯

第一集(修訂本)

毛啓爽	主編
王羣祐	修訂

科技卫生出版社

內 容 提 要

本書選錄曾在“電世界”月刊上發表過有關感應電動機的構造、製造、繞線、啓動、維護、修理、舊電動機改繞、變更速率幾個部門的文字，共 22 篇。除了討論繞線原理和方法的文字而外，對於尋找故障和改繞舊電動機也講得比較多，可供從事實際電工工作同志的參考。

讀者注意：

本書第二篇丁舜年著“感應電動機是怎樣製造的”文中，有部份插圖與文字不相靠近，且次序亦不連續，閱時頗不便利，爲節省篇幅起見，暫仍照舊付印，待重版時再行改正，希請讀者鑒諒，爲幸。

感 應 電 動 機 文 輯

第一集(修訂本)

主 編 者 毛 啓 爽
再版校訂者 王 羣 祐

*

科技衛生出版社出版

(上海南京西路 2004 號)

上海市書刊出版業營業許可証出 093 號

上海洪興印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號：15119·57

(原電世界版印 6,000 冊)

開本 787×1092 耗 1/27·印張 8 2/9·字數 170,000

1956 年 3 月新 1 版

1956 年 9 月第 4 次印刷·印數 5,521—9,520

定價：(10) 1.00 元

前 言

感應電動機是一種最簡單而易於控制的動力機器，凡是有電源供給的地方，如工廠礦山等，都普遍地採用，特別是三相鼠籠式感應電動機。由於採用的廣，工礦企業的職工和感應電動機接觸的機會很多，因此需要有關這方面的知識也很迫切，特別是在維護修理、改裝等方面的。本刊數年來讀者信箱欄讀者來函的問題中，有關感應電動機的，佔一個很大的比重。爲了適應讀者的需要，本刊除答覆許多問題外，差不多每一期刊物中都刊登一兩篇感應電動機的文字。茲選錄其中文字22篇，分構造、製造、繞線、啟動、維護、修理、舊電動改繞、變更速率幾個部門，編成單行本名爲感應電動機文輯第一集。以供讀者的參攷。尙有其他種類文字將與電世界月刊續刊之文字，另輯爲第二集。

本書內對於各種繞組的繞線的原理和方法的共有五篇。如何尋找電動機的故障與如何檢察病症的共有五篇，特別是如何檢察病症及如何檢查修理，講得比較多。如何改繞舊電動機的也有四篇，介紹了計算和改裝的方法。這些選錄的文章，對於從事實際電工工作的同志，是有幫助的。另外介紹了兩種由蘇聯電機工程師所創造的新型電動機，即四端環鼠籠式與加啟動芯子式的，以供讀者研究與學習。

在舊中國所遺留下來的機器，大部份是由英美德日等國家輸入的，或者是在中國參照資本主義國家的標準而自己製造的。所以這些文章裏所講的，一般的還是針對現存的機器情況的，因此，我們祇作爲參攷書籍而推薦給讀者。

編者 毛啟爽

一九五三年六月

目 錄

多相感應電動機的原理和構造.....	莊 標 文.....	1
感應電動機是怎樣製造的.....	丁 舜 年.....	18
三相電動機繞線淺說.....	張 廣.....	56
再談電動機繞組的原理.....	范 錫 普.....	68
三論三相電動機繞組的原理.....	張 廣.....	77
談分數槽數繞線法.....	朱 俊 華.....	84
三相波形繞組的實際聯接法.....	林 剛 漢.....	88
四端環鼠籠式感應電動機.....	孔 昌 平.....	102
加啓動芯子的感應電動機(一).....	白 金 元.....	107
啓動芯子的感應電動機(二).....	白 金 元.....	113
<u>感應電動機的運用</u>	莊 標 文.....	117
<u>感應電動機的接線</u>	標 文.....	130
<u>感應電動機的啓動開關</u>	楊 光 宗.....	136
<u>怎樣診察電動機線圈的病症</u>	王 季 梅.....	147
<u>介紹診察電動機線圈用的電器</u>	王 季 梅.....	157
電動機的障礙與補救.....	標 文.....	162
推斷電動機障礙的原因.....	王 羣 祐.....	168
舊電動機重換繞組的算法.....	俞 偉.....	179
如何改接馬達繞組以適應運用的電壓.....	表 表.....	190
廢棄電動機修復的實例.....	楊 學 綸.....	205
感應電動機的檢修.....	許 萃 萃.....	210

多相感應電動機的原理和構造

莊 標 文

多相感應電動機是用途最廣的交流電動機，也是結構簡單運用方便，而運用原理比較複雜的一種電動機，電工從業員們，雖然天天接觸它們，對於其內容之奧妙恐還不能完全明瞭，就是著者解釋起來，也覺得非常吃力，至於能使讀者得到幾分的瞭解，還要讀者依照所述的例子，多多揣摩。

一、基本物理現象

在初等物理教科書磁學一章中，我們常常可以看到如圖1那樣的實驗：把玻璃盤下面的磁鐵轉動以後，盤上的磁針就會跟隨著轉動。這個

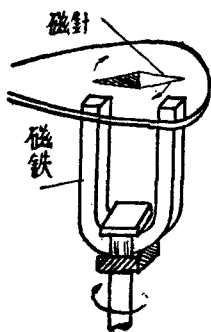


圖1. 磁針隨着磁極而旋轉。

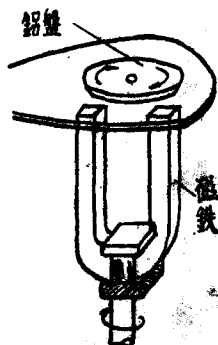


圖2. 鋁質圓盤被磁極感應渦流，隨着磁極而旋轉。

實驗的含義很簡單，我們用磁學中同極相斥異極相引的定律，已經足夠解釋這現象。可是接着如圖 2 那情形，就費解了。因為這裏在磁盤上面的並不是磁針，而是毫無磁性的鋁盤，何以下面磁鐵轉動之後，它也會跟着轉動呢？

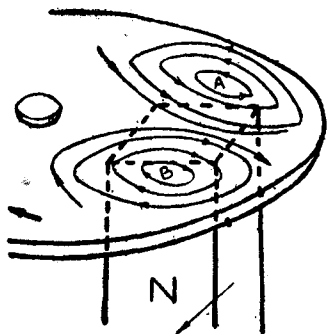


圖 3. 鋁質圓盤上感應而生之渦流。

要明瞭這個現象的真相，我們必須這樣解釋。圖 3 是圖 2 中鋁盤放大的一角，假定磁鐵的右面一個是 N 極，當磁鐵一經轉動（例如順鐘針方向）而鋁盤尚未轉動時，其作用相當於磁極不動，導電的圓盤在一個 N 極向上的磁場中向後轉動（即逆鐘針旋轉）。其結果就引起電磁感應作用，在鋁盤中產生電流。根據佛萊敏氏右手發電機規則，那末此項電流方向是由圓盤中心沿半徑方向向外流到圓盤邊上來。由於整個盤都是導電的，此項電流在流近盤邊之際，就分左右流回去，形成所謂「渦流」。這種渦流的結果使鋁盤在 N 極的左右 A, B 兩處產生兩個無形的磁極。在 A 處 S 極向下， B 處 N 極向下。再根據同極相斥異極相引的定律， A 被磁鐵 N 所吸引， B 被磁鐵 N 所排斥，於是鋁盤也沿着磁鐵轉動的方向（即順鐘針方向）而運動。

把圖3中磁鐵和轉盤的形狀與相互位置稍加變動一下，就成為圖4那種情形，這和實際感應電動機的情形更接近一步了。假定有一個馬蹄形磁鐵，做成圖4上圖的形狀，而這磁鐵是用皮帶拖着旋轉的。在 N 和 S 極間的空隙，有一個可以旋轉的圓筒。現在將 NS 磁鐵順着鐘針方向旋轉起來，其作用相當於磁鐵不動，圓筒向後旋轉（即逆鐘針方向）一樣，於是圓筒割切空隙間的磁力線，感應電壓而產生渦流。根據右手規則，在上半部的電流由後向前，在下半部的電流由前向後，如圖4下圖

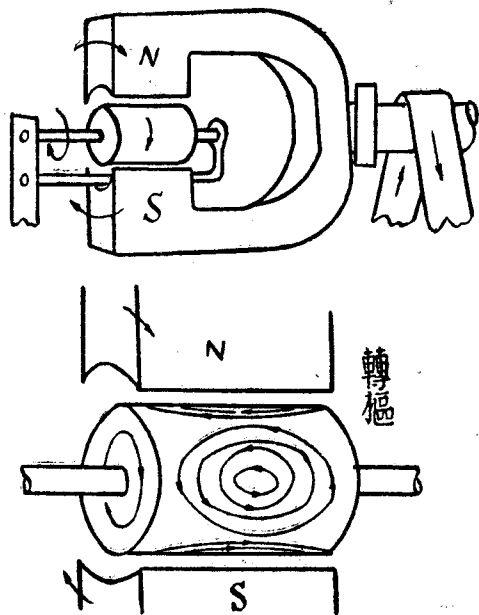


圖4. 上圖——對磁極如果被拖着旋轉，其在磁極間的圓筒也隨着旋轉。
下圖——圓筒上因磁極旋轉而產生之渦流，因而產生旋轉運動。

所示。這電流和磁鐵又發生電動機作用，應用左手規則，可以看出上半部的圓筒要向着讀者運動，下半部的背着讀者運動，於是圓筒也順鐘針方向旋轉起來。

不過圓筒旋轉的速率，不能達到和磁鐵的相同速率，總歸要慢一點。因為倘若二者以相同速率旋轉，二者之間就沒有相互的運動，圓筒不能割切磁力線，無從感應電壓，更談不到渦流和所產生的電動機作用了。唯有圓筒旋得慢點，其作用纔相當於磁鐵不動而圓筒向後旋轉，然後纔有感應電流和電動機作用。圓筒感應電壓之大小，看圓筒割切磁力線之速率而定，亦即磁鐵與圓筒二者間速率之差。這種速率之差稱做轉差。

因為這種電動機之轉動，是靠着轉子上感應而生的電流，不是由外面輸入的電流，所以稱做感應電動機。

但是實際上感應電動機的構造，包括一個靜定子和一個轉動子。靜定子上產生 N 和 S 的磁極在旋轉着，轉動子也就隨着旋轉。不過如果

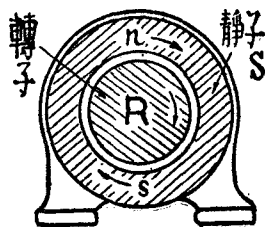


圖 5. 一個感應電動機的簡圖，靜定子產生旋轉的磁場，拖着轉子隨着旋轉。

用機械的方法使 NS 旋轉，再令轉動子跟着旋轉，這根本不成為電動機了。實際上的靜定子像一個圓環，靜止不動的。(圖 5) 我們必須設法使靜定子產生一個旋轉的磁場，這就要藉重多相的電流和靜定子上

多相銀圈的繞法了。

二、旋轉磁場之產生

要明瞭旋轉磁場之所由產生，我們可以先行研究圖 6。在該圖中，假定有一個矢量 V ，其一端 O 是固定的，並假定該矢量逆着鐘針方向以恒定的速率旋轉。當 V 在旋轉時，其在不同角度上所投射於水平軸 BB 及垂直軸 AA 的長度也刻刻不同。如果將在不同角度上 V 所投射於兩軸的長度為縱坐標，以相應之角度為橫坐標，可描繪成兩條曲線。

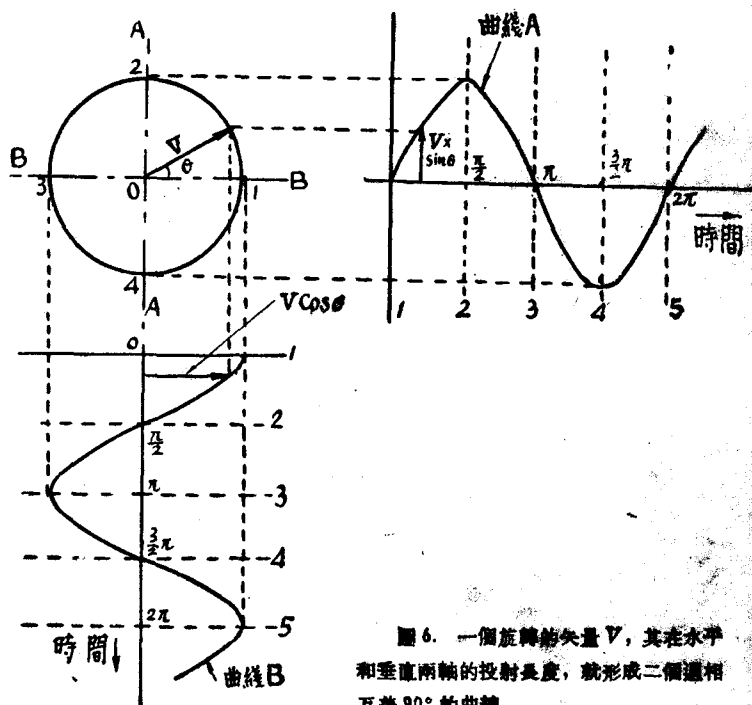


圖 6. 一個旋轉的矢量 V ，其在水平和垂直兩軸的投射長度，就形成二個通相互差 90° 的曲線。

例如圖 6 中，當 V 在 θ 角度時，其垂直軸投射長度是 $V\sin\theta$ ，其在水平軸投射長度是 $V\cos\theta$ ，各對相應的角度畫成曲線 A 和曲線 B 。例如，在 $\theta=0$ ，即在 01 的位置，其垂直投射長度為 0，水平投射長度即為 01。 $\theta=\pi/2$ 時，即旋轉 $1/4$ 週到 02 的位置，其垂直投射長度即 02 之長，水平投射的長度為零。以後由此類推，可描得全部的曲線。將這兩個曲線比較起來。形狀完全一樣，祇是在相角方面， A 的變化比 B 落後 90 度。這一點，和矢量 V 經過 01 位置時較經 02 位置時要早 90 度這一事實相符合。

原始電動機內之旋轉磁場

既然一個旋轉的矢量可以分化為兩個相角互差 90° 的交變量。那末，反過來，我們當然也可以設法把兩相角互差 90° 的交變量合成一個旋轉的矢量，於此，吾們可以舉出范賴利世原始電動機來作為我們解釋的例子。圖 7 中，那電動機的轉樞是一個銅質圓筒，在它的外圍是兩對垂直的電磁鐵。這兩對電磁鐵用同樣的勵磁線卷，同樣的鐵芯組成。現在假定有兩個強度相等而週相差別 90° 度（即差 $\frac{1}{2}$ 週）的交變電流 i_1, i_2 ，各流經這兩個勵磁電路，使兩對磁極各得 N 及 S 的極性，不過這極性是隨着電流的大小和方向而變更的。這兩電流變化的情形，如右面二曲線所示，上者為 i_2 ，下者為 i_1 。在 1 的時候 $i_2=0$ ，而 i_1 為正的最大，磁場完全是由 i_1 所產生即磁通是在水平方向自左向右。水平兩磁極有最大的磁極強度，垂直兩極沒有極性。過一會兒，在 p 的時候， i_1, i_2 都發生作用， i_1 產生水平自左向右的磁通 $\downarrow$ 左極為 N 右極為 S ，不過其磁通不是最大。 i_2 產生垂直自下向上的磁通 $\uparrow$ 左極為 N 上極為 S ，其磁通由零增加起來，還沒有達到最大值。兩束磁通聯合發生作用時，形成一束與水平方向成 θ 度的磁通（左下圖）。相當於 N 極在左下角， S 極在右

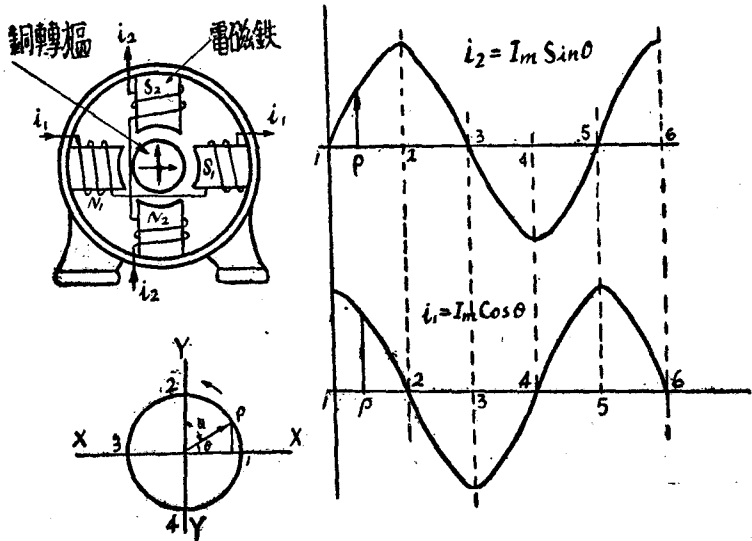


圖 7. 范賴利世原始電動機的原理，以互差 90° 的二相電流，輸入位置互相垂直的兩對磁極，其聯合磁場就在空間變換位置，形成旋轉的磁場。輸入 N_1S_1 勵磁銀卷的電流 i_1 較輸入 N_2S_2 勵磁銀卷的超前 90° 。

上角，其聯合磁場較在 1 點時已傾斜 θ 角度。由於這時 i_1 逐漸減小， i_2 逐漸增加，所以傾斜角 θ 隨時間而增加，至 2 的時候 $i_1 = 0$ ， i_2 為正的最大，此時， N_1S_1 無磁性， N_2S_2 的磁性為正的最強，所以在空腔內的磁通，完全是沿垂直方向自下而上的。換一句話說，二相電流經過 90° 度電工時間（即 $\frac{1}{2}$ 週）的變化，空間的磁場也經過 90° 機工空間度的偏轉。

例如在 3 的時候，由圖 7 的電流曲線知道 i_2 為零， i_1 為負的最大，此時垂直一對磁極無磁性，水平一對磁極的磁性為最強，不過電流較在 1 時反向，所以右面成 N 極左面成 S 極，空間磁通是水平的由右向左。再過 $\frac{1}{2}$ 週到 4 的時候， i_1 為零， i_2 為負的最大，此時水平磁極無磁性，

一對垂直磁極的磁性最強，較在 2 時掉一個極性，空間磁通是由上而下。由此類推，到 5 的時候情形和 1 相同。所以電流在交替地變化，這兩對磁極的聯合作用，所產生的一對磁極，不停地在空間變換位置。電流經 360 度電工時間度（即一週）的變化，這對磁極在空間却巧逆鐘針方向旋了一轉。在靜定子上的兩對磁極雖然是靜止不動的，其聯合效應，相當於一對磁極在空間旋轉著。

二相二極旋轉磁場

現代感應電動機的形式，原理和范賴利世電動機相同，不過構造是不同了。因為實用感應電動機的靜定子上並沒有凸出式的磁極，祇是一個內空的圓環，在其槽內嵌有導線，連接成多相的線圈而已。

參看圖 8，將靜定子上的導線分作兩組，這兩組的位置互差 90° 電工空間角度，分別聯接成兩個線圈 S_1f_1 和 S_2f_2 ，如圖 8 上左所示。這兩個線圈以空間而言，既互差 90° 電工度；其輸入的是二相電流，以時間言，其電流也是互差 90° 電工度的，如圖 8 上右所示。當電流在交替變化時，兩線圈的磁場也在交替地變化，如圖 8 下部 A、B、C、D 等情形。在 A 時，線圈 S_1f_1 的電流 i_1 為最大， S_2f_2 的電流 i_2 為零，其磁通是水平的由右向左，好像有一對磁極 N 在右而 S 在左一樣，依該圖所示的情形循跡下去，（見圖 8 中下半部的四種情形，表示在 A、B、C、D 四個不同瞬間的磁場分佈情形。）可以看出在電流經過一週變化時，在空間好像有一對磁極在旋轉一週。不過這對磁極是無形的，是由空間的聯合磁通所產生的，和前節所述范賴利世電動機的原理正復相同。

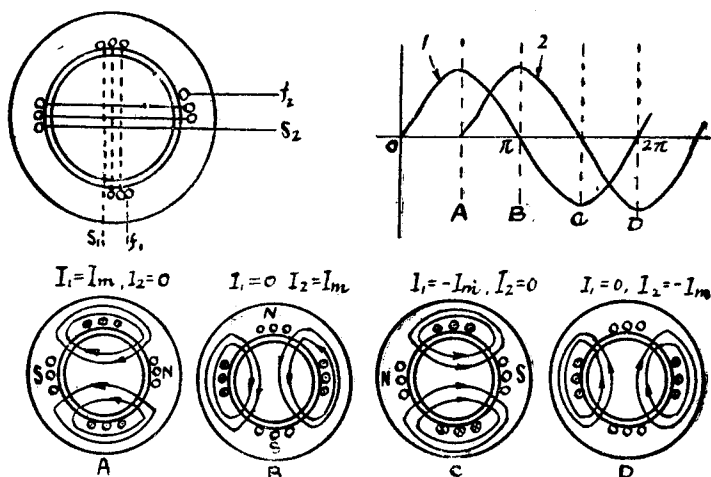


圖 8. 二相二極電動機之線卷組及旋轉磁場。 S_1f_1 甲相線卷電流為 i_1 , S_2f_2 乙相線卷電流為 i_2 , i_1 較 i_2 超前 90° 電工時間度, S_1f_1 與 S_2f_2 在空間亦相差 90° 電工空間度。

三相二極旋轉磁場

如果電動機是用三相電源的,靜定子上的導線就要分做三組,每組與他組互差 120 度電工空間度,分別聯成三個線卷,如圖 9 上左中的 S_1f_1 , S_2f_2 , 及 S_3f_3 等。這三個線卷以空間言,互差 120° 電工度;並通入三相電流,以時間言,其電流也互差 120 度電工度,如圖 9 上右所示。電流 i_1 通入線卷 S_1f_1 , i_2 入 S_2f_2 , i_3 入 S_3f_3 。由同圖下部 A、B、C、D 諸情形,可循跡空間的聯合磁場,在圖中圓圈內一點表示電流流出,圓圈的一叉表示電流流入。在 A 時, i_1 是正的最大, i_2 和 i_3 都是負的為最大值的一半,由各線卷中電流的方向可以知道其聯合磁場是水平的由右向左,就好像有一對磁極 N 在右而 S 在左一樣。在 B 時,電流經過 $1/6$ 週

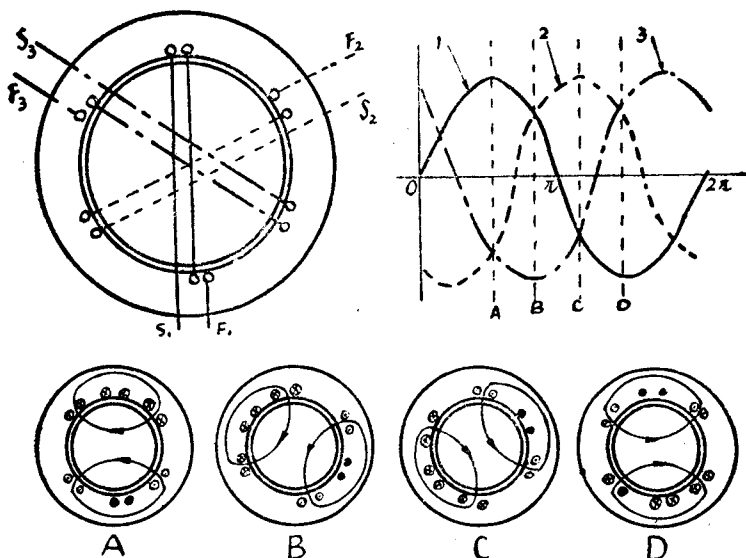


圖 9. 三相二極電動機之線卷組及旋轉磁場。 S_1f_1 甲相，電流 i_1 ， S_2f_2 乙相電流 i_2 ， S_3f_3 丙相電流 i_3 ， i_1 較 i_2 超前 120° ，較 i_3 超前 240° 。即 60° 電工時間度的變化，其聯合磁場在空間也作 60° 之偏轉。以後由此類推，電流經一週之變化，磁場也作一週的旋轉。

所以由上面所解釋的情形看來，凡以多相的電流送入多相的線卷，

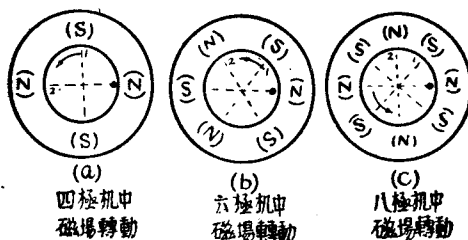


圖 10. 多極電動機中旋轉磁場之情形。

其所產生之磁場並不是靜止不動，而是刻刻在變換方位的，結果相當於一對磁極在空間作恒速的旋轉。注意此地所謂多相電流入多相線圈，是指二相電流入互差 90° 電工空間度的兩組線圈，或三相電流入互差 120° 電工空間度的三相線圈而言，並不是隨便繞兩個或三個線圈，或二相電流送入三相線圈之類。

三相多極旋轉磁場

上述的情形，都是以二極為例的，因為結構簡單容易明瞭，事實上所用的電動機是多極的，如四極、六極、八極之類。其結構和運用原理，也沒有什麼兩樣。例如一個三相四極的定子內，其導線也分作三大組，每大組裏有四小組，這四小組是聯接起來成爲一個線圈的。這三大組中相應各小組的導線在空間必須互差 120° 電工度數。我們知道在四極電機中，一度機工空間度等於兩度電工空間度（見電世界月刊二卷五期講座三相電源之認識一文），互差 120° 電工空間度，即在空間相差 60° 機工度（實際的角度）就是說 A 相第一小組的導線和 B 相第一小組的線應在空間相差 60° 度機工度， B 相第一小組和 C 相第一小組也作如此的安排，就可做成三相四極的線圈組。同理在三相六極機中，靜定子導線分爲三大組，每大組分爲六小組，各相的相應小組導線位置，應互差 $120 \div 3 = 40^\circ$ 度機工度。

根據這許多事實，我們可以作一結論：凡一組平衡的多相電流流經一組平衡的多相線圈組，而各線圈組在靜定子內的佈置，確和各相間之相角差呼應，就能在靜定子的空間產生旋轉磁場，發生感應電動機作用。

三、旋轉磁場的速率和方向

靜定子所生磁場是隨電流之變化而轉動的，其旋轉的速率和電流

變化的快慢，自然有一定的關係。例如在圖 7 或圖 8 中，由 1 至 2，電流變化 $1/4$ 週，即經過 90° 電工時間的變化。磁場的方向由水平變為垂直，就是說旋轉了 90° 的電工空間度。由 1 至 3 電流經半週即 180 電工時間度的變化，磁場方向却巧反轉，就等於旋轉了 180° 的電工空間度。由 1 至 5，電流經一週即 360° 電工時間度的變化，磁場却巧旋了一轉 360° 電工空間度。總之，上述二極電動機裏，電流每變化一週，其旋轉磁場旋了一轉。若電流的頻率是每秒 f 週，就是說每秒經 f 週的變化，磁場也每秒旋轉 f 轉，即每分旋轉 $60f$ 轉。

同步速率

倘若在四極的電機中，電工空間度和機工空間度不同，電流變化一週，磁場雖旋轉 360° 電工空間度，但祇等於 180° 機工空間度，就是祇旋半轉。所以在頻率為 f 時，其磁場每分旋轉 $60 \times \frac{1}{2}f = 30f$ 。同理 360° 電工空間度在六極機中相當於 120° 機工空間度，所以電流變化一週，磁場旋 $\frac{2}{3}$ 轉，每分旋 $60 \times \frac{2}{3}f = 20f$ 轉。2 和 3 是磁極的對數，所以在磁極數為 p 的電機中，磁極的對數是 $p/2$ ，所以磁場的旋轉速率 $60 \times \frac{1}{p/2}f$ 轉。用公式表示出來：

$$\text{磁場旋轉速率的每分轉數} = 60 \times \frac{\text{頻率}}{\text{磁極對數}}$$

$$\text{或} \quad n = 60 \frac{f}{p/2} = 120 \frac{f}{p}$$

轉子速率

由多相電流經多相線卷而生旋轉磁場的速率，和頻率有一定的關係，叫做同步速率。一具感應電機轉子的旋轉速率，決不能達到這個速