

大學用書選譯

# 電機工程學

下 冊

*Clarence V. Christie* 著

盛 慶 球 譯

教 育 部 出 版  
世 界 書 局 發 行

大學用書選譯

電 機 工 程 學

下 冊

Clarence V. Christie 著

盛 慶 球 譯

教 育 部 出 版  
世 界 書 局 發 行

中華民國六十六年二月再版

大學用  
書選譯  
電機工程學 下冊

(全二冊) 平裝本 基本定價 陸圓壹角玖分 整

著者：Clarence V. Christie

譯者：盛慶球

出版者：教育部

發行所：世界書局

發行人：蕭宗謀

地址：臺北市衡陽路二十號三樓

電話：三一〇一八三

本局登記證字號：行政院新聞局版臺業字第〇九三一號

印刷者：世界書局

版權所有  
禁止翻印

# **ELECTRICAL ENGINEERING**

*by*

**Clarence V. Christie**

*Copyright 1952 by*

*McGraw-Hill Book Company, Inc.*

*New York, U. S. A.*

Published in Chinese Translation

*by*

**COMMITTEE FOR TRANSLATION AND  
COMPILATION OF COLLEGE TEXTBOOKS**

**MINISTRY OF EDUCATION**

Taipei, Taiwan, China

1960

## 第九章 同步電機

### 293. 同步發電機

同步交流發電機之最簡單形式爲一開啓的線圈以均勻之速率迴轉於一對不同磁極間之磁場中（圖 299）。

其磁場係由直流電流所激磁，此直流電來自一稱爲激磁機之另一電機，通常爲 125 或 250 伏特者。

在滑環  $a$  與  $b$  之間發生一交變電動勢其瞬時值爲

$$e = n \frac{d\phi}{dt} 10^{-8} \text{ 伏特} \quad (350)$$

此中  $n$  爲線圈中之匝數而  $\frac{d\phi}{dt}$  爲與線圈鏈穿的磁束之改變率或線圈切割磁速之速率。若電樞爲靜止而磁場迴轉其結果相同。

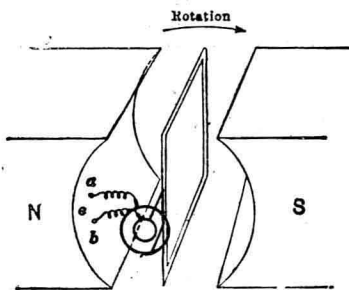


圖 299. 單相交發電機，迴轉電樞式

### 294. 交流發電機之型式

交流發電機有三種主要型式：

1. 迴轉電樞式。
2. 迴轉磁場式。
3. 感應器式。

型式 1 係說明於圖 299 中。其磁極爲靜止的而電樞迴轉於其間。繞組之端點被引出至二個（單相電機中）或三個以上（多相電機中）之滑環而電流乃爲銅或炭刷所集取。

電樞必須爲小型的，因圓周速率受有限制且甚少絕緣空間之故。電樞導體上受到離心力而趨於將其推出於槽外。故迴轉電樞式祇適合於小型及低壓之電機。然而在迴轉變流機中因同一之電樞繞組載有交流及直流二者之故必須爲迴轉電樞式。

2. 說明於圖 300 及 301 中之廻轉磁場式幾乎通用於所有大小及電壓。電樞爲其靜止部分而磁極則廻轉。此型式較諸廻轉電樞式有許多優點：(a) 即使爲多相電機亦祇需要二個滑環，且此種滑環祇載有由磁場繞組所供給之直流電，而負載電流則係取自靜止的端點。(b) 有較多之空間可置電樞繞組，且彼等不受到離心力。故其絕緣及通風可以較佳。磁場繞組係由銅條所製成，而廻轉部分則甚爲牢固而不受由廻轉而生的應變之影響；是以可用速較型式 1 中爲高之圓周速率，因而材料更加經濟。

廻轉磁場部分有二種形式，即凸極轉子及圓柱轉子。有凸出磁極之轉子（圖 300 及 301）係用於除由蒸汽透平所驅動者以外之所有電機中。圓柱轉子（圖 408）則係用於極大輸出之透平發電機中，此種發電機必須於極端高之速率運轉俾可獲得每磅材料之最大輸出。其圓周速率可高至 40,000 呎每分鐘，且由於離心力之故而發生極大之應力。轉子係由合金鍛鋼所製成或由許多鋼盤釘合而成並刻槽以裝載磁場繞組。

圓柱轉子可得出一沿整個圓周有幾乎均勻的長度及磁阻之氣隙，且磁場磁動勢爲分佈的。此使其較有改變的磁阻及集中的磁場磁動勢之凸極轉子更易於分析處理。圖 351 至 354 中之向量圖對於有圓柱轉子之電機甚爲滿意之結果，但對於有突出磁極之電機則僅爲近似的。

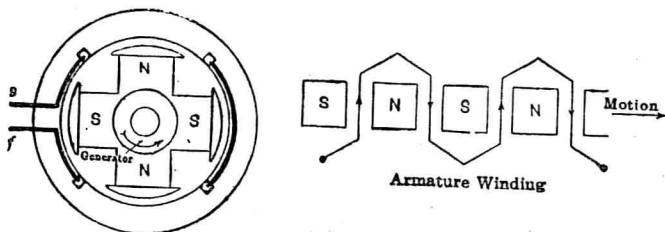


圖 300. 單相交流發電機，廻轉磁場式

Generator ..... 發電機  
 Armature Winding ..... 電樞繞組  
 Motion ..... 運動

3. 感應器發電機幾乎已經廢棄。在此中電機中其磁場及電樞繞組均為靜止的而磁路鐵心之一部分則廻轉，因而產生磁路磁阻之週期的脈動以及與電樞繞組鏈穿的磁束之變化。圖 302 代表感應器發電機之一型。其靜止磁場繞組為  $f$ ， $f$  產生磁束  $\phi$ ， $\phi$  係於圖中所示之方向。電樞線圈  $a, b, a, b$ ，可或為串聯或為並聯。磁路之廻轉部分  $I$  稱為感應器而其上所有之極形突出均為北極。發自感應器而與電樞線圈鏈穿之每極磁束量則視感應器突出及載有電樞線圈之突出間之相對的位置而定。

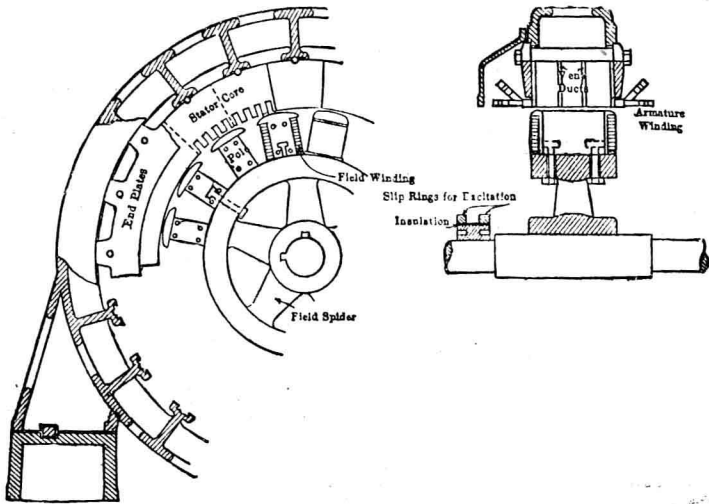


圖 301. 廻轉磁場交流發電機

- End Plates ..... 端板
- Stator Core ..... 定子鐵心
- Pole ..... 磁極
- Field Winding ..... 磁場繞組
- Field Spider ..... 磁場蛛狀架
- Slip Ring for Excitation ..... 激磁滑環
- Insulation ..... 絕緣
- Vent Ducts ..... 通風孔道
- Armature Winding ..... 電樞繞組

在圖 303 中，曲線 1 代表自最大值之位置（圖 302）開始的

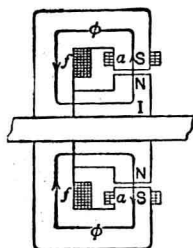
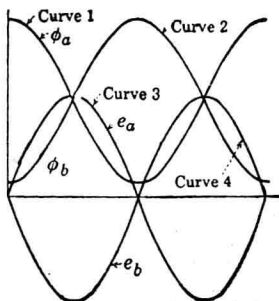
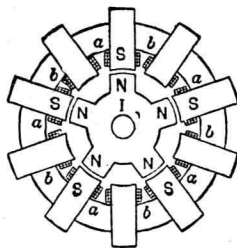


圖 302. 感應器交流發電機

圖 303. 感應交流發電機中之磁束及電動勢  
Curve ..... 曲線

與一電樞線圈  $a$  鏈穿之磁束變化。曲線 2 代表此變動的磁束於線圈  $a$  中所發生之電動勢。當  $\phi_a$  減少時，有一電動勢發生於正的方向，而當其再增加時則有一電動勢發生於負的方向。是以雖磁束並不換向且永不達到零，但在電樞線圈中則發生一交變電動勢。若磁極塊有適當之形狀，將有一正弦波之電動勢產生。曲線 3 及 4 代表線圈  $b$  中磁束及電動勢之變化。線圈  $b$  中之電動勢與線圈  $a$  中者間有 180 度之位移，故在將二者串聯之前必須將其中之一的端點顛倒。

感應器發電機極重而且昂貴，故已為其他型式之電機所代替。此三種型式之任何一種均可繞為單相或多相電機。

同步發電機視其所用原動機之型式可分為下列數類：(1) 汽機式，(2) 水輪式，及 (3) 蒸汽透平驅動式。

1. 汽機式發電機係逕接於蒸汽或柴油機，而需要一大飛輪效應以保證均勻的角速度。

2. 水輪式發電機之速率自 50 至 400 轉每分不等，主要視可利用之水頭而定。水臥輪之角速度為均勻的，而不需要飛輪。水輪發電機可為水平的或為垂直的。

3. 蒸汽透平驅動發電機或透平發電機為特高速發電機，通



常25周波者為750或1,500轉每分而60周波者則為1,800或3,600轉每分，各相應於四極或二極轉子。普通係用圓柱轉子因其有較大的機械強度，及較小風力損耗之故。由於每磅材料有較大的輸出，故需要強迫通風以保持溫度於所需的限度之內，因而此種電機必須為完全封閉的。

### 295. 電動勢公式

圖 299 代表一二極單相發電機。其電樞繞組為一  $n$  匝之單獨線圈於恒定速率迴轉。其磁場係假定為均勻的。

繞組內發生之電動勢於每一轉間經過一全周波，是以頻率以周波每秒表示等於其速率以轉每秒表示或  $f$  = 轉每秒。

線圈之角速度為  $\omega$  弧度每秒，故

$$\omega = 2\pi \times \text{轉每秒} = 2\pi f \quad (351)$$

若  $\Phi$  為線圈所包圍之最大磁束，即當線圈為垂直如圖所示時所包圍的磁束，而時間即係自此瞬時量起，則在時間為  $t$  而線圈已迴轉經過一角度  $\theta$  時，所包圍之磁束為  $\phi = \Phi \cos \theta$ ，而發生於線圈內之電動勢為

$$\begin{aligned} e &= -n \frac{d\phi}{dt} 10^{-8} \\ &= -n \frac{d}{dt} (\Phi \cos \theta) 10^{-8} \end{aligned}$$

但

$$\theta = \omega t = 2\pi ft$$

是以

$$\begin{aligned} e &= -n \frac{d}{dt} (\Phi \cos 2\pi ft) 10^{-8} \\ &= 2\pi fn\Phi 10^{-8} \sin 2\pi ft \text{ 伏特} \quad (352) \\ &= E_m \sin \theta \end{aligned}$$

此為一正弦波其最大值為

$$E_m = 2\pi fn\Phi 10^{-8} \text{ 伏特} \quad (353)$$

而其有效值為

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 4.44fn\Phi 10^{-8} \text{ 伏特} \quad (354)$$

此為產生正弦波電動勢並有一集中的繞組，即所有匝均繞為一單獨線圈的發電機之電動勢公式。

此結果亦可求得如下：線圈每匝每秒所切割之磁束為  $4f\Phi$  線，故線圈中發生之平均電動勢為

$$E_{av} = 4fn\Phi 10^{-8} \text{ 伏特} \quad (355)$$

但對於一正弦波最大縱座標與平均縱座標之比為  $\pi/2$ ，故其最大電動勢為

$$E_m = \frac{\pi}{2} E_{av} = 2\pi fn\Phi 10^{-8}$$

而其有效值為

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 4.44fn\Phi 10^{-8}$$

所發生之電動勢係與頻率  $f$ ，串聯之匝數  $n$ ，及每極下之磁束  $\Phi$  成正比。

在二極電機中，1 轉，或 360 機械度，相當於 1 周波，或 360 電氣度，而頻率乃等於每秒之轉數；在一  $p$  極電機中當線圈移動經過一對磁極時電動勢經過一全周波，是以在 1 轉中電動勢經過  $p/2$  周波。在此情形中，360 機械度 =  $\frac{p}{2} \times 360$  電氣度，或 1 機械度 =  $\frac{p}{2}$  電氣度。

在一  $p$  極發電機中其頻率以周波每秒表示為

$$f = \frac{p}{2} \times \text{轉每秒} \quad (356)$$

## 296. 波形因數

若氣隙中之磁束並不如此分佈使得得到一正弦波電動勢，發生電動勢之平均值仍由公式 (355) 所表示，

$$E_{av} = 4fn\Phi 10^{-8}$$

但最大值與平均值之比並非為  $\pi/2$  而有效值與最大值之比亦非為

滿意。單相電機除在特殊情形中，例如供應功率於單相電氣鐵路系統等外，僅製造為小型的。

### 298. 電樞繞組

現共有甚多種特殊的電樞繞組，但其中大多數可歸入鏈繞組及雙層繞組二類。

圖 308 示每極每相有一槽的電樞之四極單相，二相，及三相鏈繞組。此種繞組均為集中繞組。

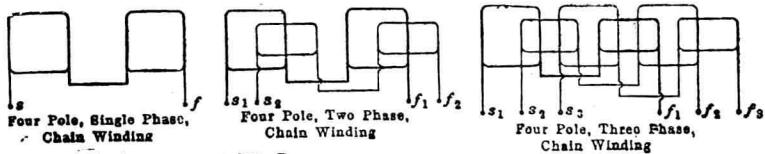


圖 308. 集中鏈繞組

- Four Pole, Single Phase, Chain Winding.....  
四極，單相，鏈繞組
- Four Pole, Two Phase, Chain Winding.....  
四極，二相，鏈繞組
- Four Pole, Three Phase, Chain Winding.....  
四極，三相，鏈繞組

圖 309 示其相應的雙層繞組。

圖 310 示一四極單相鏈繞組分佈於每極六槽中。圖 311 示同一電機之另一繞組祇用每極六槽中之四，如第 300 節中所說明者。

圖 312 示圖 310 中電樞上之二相鏈繞組。此繞組之分佈為每極每相三槽。

圖 313 示一相同電樞之三相鏈繞組，分佈於每極每相二槽中。

圖 314 至 317 示相應於圖 310 至 313 之雙層繞組。

### 299. 波形繞組

圖 314 至 317 中之繞組圖中聯接各線圈組之越接體必須有與繞組導體相同之截面。當每槽祇有二個大導體時，越接體甚大而

此繞組爲一三相繞組而此發電機爲一三相發電機。有三個大小相等但相位各相差 120 度之電動勢產生。

若三相之繞組始於  $s_2, s_3,$  及  $s_3$  而終於  $f_1, f_2,$  及  $f_3,$  此三相可有二方法相互聯接：(1) 將  $f_1$  接至  $s_2, f_2$  接至  $s_3,$  而  $f_3$  接至  $s_1,$  此爲三角連接 (圖 306) ; (2) 將  $s_1, s_2,$  及  $s_3$  接在一起而將  $f_1, f_2$  及  $f_3$  接至三個端點，此爲星或 Y 連接 (圖 307)。

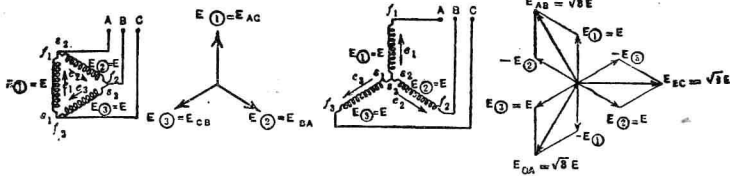


圖 306. 三角連接

圖 307. 星或“Y”連接

對一已定的每相匝數，Y 連接得一較三角連接爲高之端電壓及一相應的較小電流輸出。

多相迴路中之電動勢、電流、及功率已於第六章中討論。

單相發電機中在任何瞬時所發生之功率爲其電動勢及電流的瞬時值之乘積 (圖 99)。此功率於一最大正值  $\frac{E_m I_m}{2} (1 + \cos \phi)$  與一負值  $\frac{E_m I_m}{2} (1 - \cos \phi)$  間脈動，而其平均值爲  $E I \cos \phi$ 。

單相發電機之電樞磁動勢亦類此，而於  $n I_m$  與零之間脈動，此處  $n$  爲電樞之匝數，但其方向相對於電樞而言維持固定，而對於磁極則按同步機速率迴轉。

三相發電機中所發生之功率爲在三相中所發生的瞬時功率之和；在任何瞬時之值爲  $e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3 = 3 E I \cos \phi$  而維持恒定。

多相發電機中各相之電樞磁動勢併合而產生一恒定的電樞反應磁動勢其方向對於磁極爲固定的而對於電樞則爲按同步速率迴轉。

是以多相發電機或同步電動機之運轉情況遠較單相電機者爲

滿意。單相電機除在特殊情形中，例如供應功率於單相電氣鐵路系統等外，僅製造為小型的。

### 298. 電樞繞組

現共有甚多種特殊的電樞繞組，但其中大多數可歸入鏈繞組及雙層繞組二類。

圖 308 示每極每相有一槽的電樞之四極單相，二相，及三相鏈繞組。此種繞組均為集中繞組。

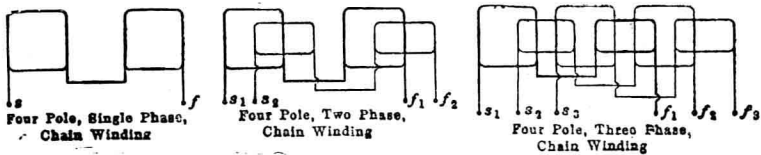


圖 308. 集中鏈繞組

- Four Pole, Single Phase, Chain Winding.....
- 四極，單相，鏈繞組
- Four Pole, Two Phase, Chain Winding.....
- 四極，二相，鏈繞組
- Four Pole, Three Phase, Chain Winding.....
- 四極，三相，鏈繞組

圖 309 示其相應的雙層繞組。

圖 310 示一四極單相鏈繞組分佈於每極六槽中。圖 311 示同一電機之另一繞組祇用每極六槽中之四，如第 300 節中所說明者。

圖 312 示圖 310 中電樞上之二相鏈繞組。此繞組之分佈為每極每相三槽。

圖 313 示一相同電樞之三相鏈繞組，分佈於每極每相二槽中。

圖 314 至 317 示相應於圖 310 至 313 之雙層繞組。

### 299. 波形繞組

圖 314 至 317 中之繞組圖中聯接各線圈組之越接體必須有與繞組導體相同之截面。當每槽祇有二個大導體時，越接體甚大而

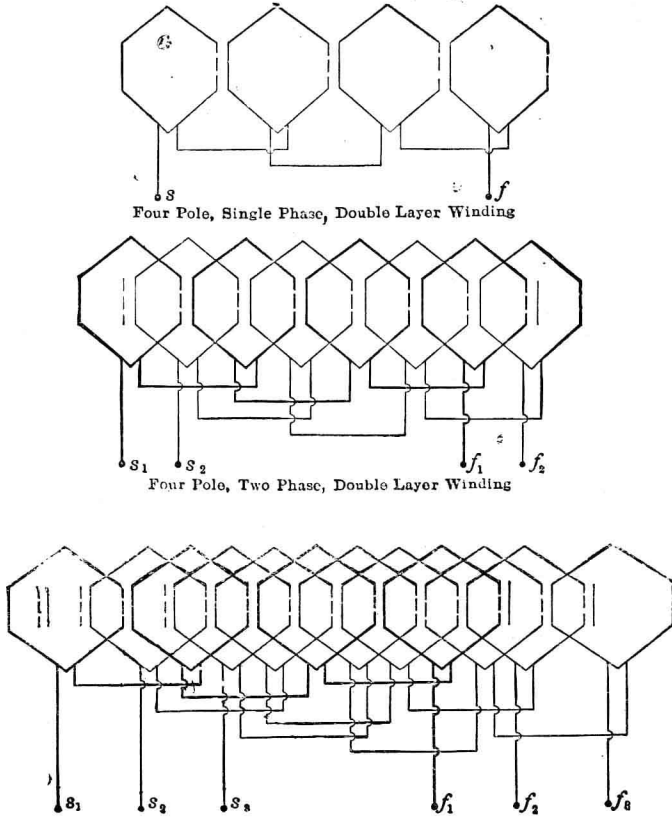


圖 309. 集中雙層繞組

- Four Pole, Single Phase, Double Layer Winding.....
- 四極, 單相, 雙層繞組
- Four Pole, Two Phase, Double Layer Winding.....
- 四極, 二相, 雙層繞組
- Four Pole, Three Phase, Double Layer Winding.....
- 四極, 三相, 雙層繞組

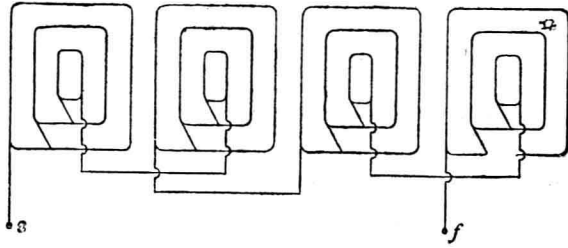


圖 310. 四極單相鏈繞組分佈於每極六槽中

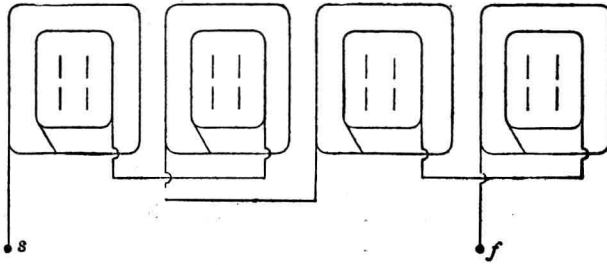


圖 311. 四極單相鏈繞組祇用每極六槽之四

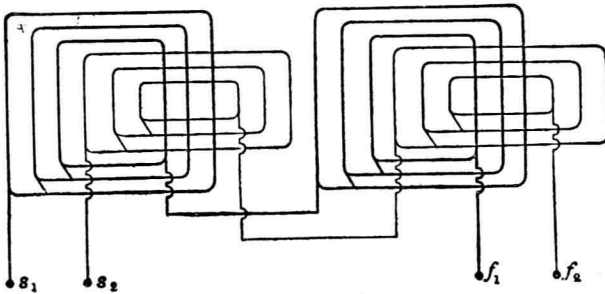


圖 312. 四極二相鏈繞組分佈於每極每相三槽中

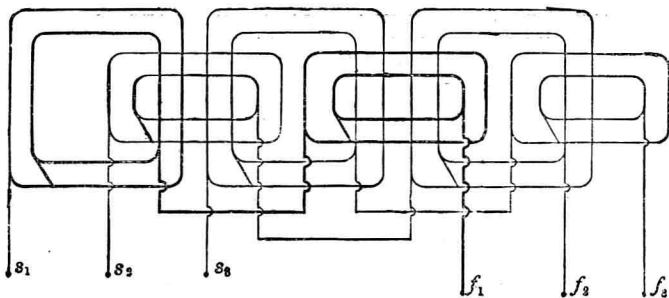


圖 313. 四極三相鏈繞組分佈於每極每相二槽中

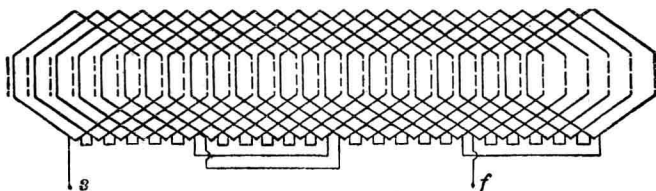


圖 314. 四極單相雙層繞組分佈於每極六槽中

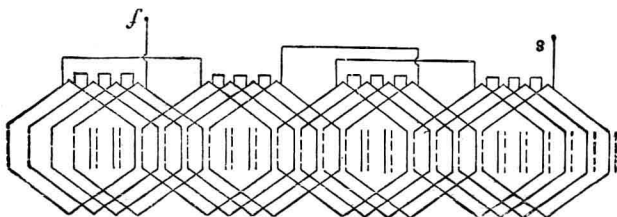


圖 315. 四極單相雙層繞組祇用每極六槽之四

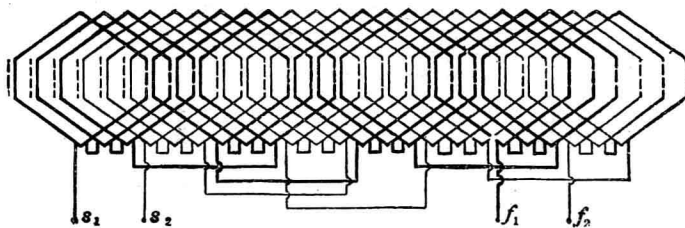


圖 316. 四極二相雙層繞組分佈於每極每相三槽中



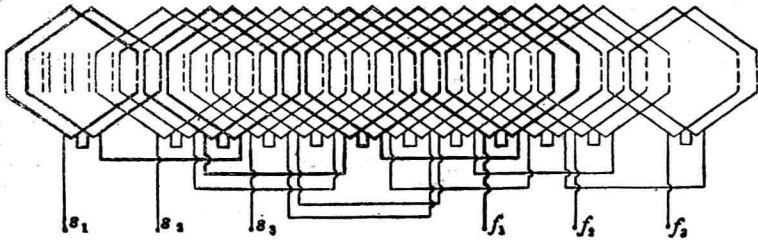


圖 317. 四極三相雙層繞組分佈於每極每相二槽中

且昂貴並佔取甚多的空間。在此種情形中普通用圖 318 中所示之繞組形式，因其需要極少之越接體。此種型式之繞組乃稱為波型繞組。

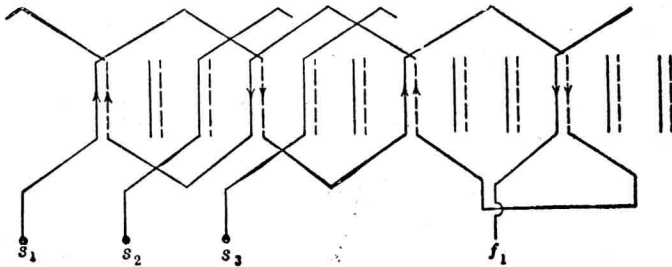


圖 318. 四極三相波形繞組

### 300. 分佈因數

圖 308 及 309 中之繞組均為集中繞組，即彼等係置於每極每相一槽中。

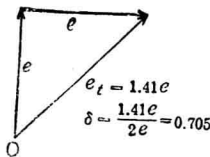


圖 319.

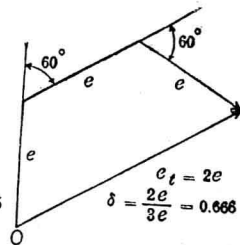


圖 320.

當一繞組係由置於分開的槽中之許多線圈所組成時，在各線圈中發生之電動勢相位間均有位移而其端點電動勢乃較繞組為集