

萬 有 文 庫

第一集一千種


王雲五主編

電 機 設 計

尤佳章著

商務印書館發行





電 機 設 計

著 章 佳 尤

工 學 小 叢 書

編主五雲王
庫文有萬
種千一集一第

著單注元

路南海海上
五雲王 人行發

路南海海上
館書印務商 所刷印

埠各及海上
館書印務商 所行發

版初月二十年二十二國民華中

究必印翻權作著有書此

The Complete Library

Edited by

Y. W. WONG

ELECTRIC MACHINE DESIGN

BY YOU CHIA CHANG

PUBLISHED BY Y. W. WONG

THE COMMERCIAL PRESS, LTD.

Shanghai, China

1933

All Rights Reserved

電機設計

目錄

第一編	直流電機	一
第一章	直流電機構造	一
第二章	磁路設計	八
第三章	發電子設計	三〇
第四章	電動機設計	五八
第二編	交流電機	八二
第五章	交流電機構造	八二
第六章	旋轉磁場設計	八七
第七章	設計程序	一〇七

第三編 感應電動機……………一四四

第八章 感應電動機構造……………一四四

第九章 設計程序……………一四八

第四編 變壓器……………一九三

第十章 變壓器構造……………一九三

第十一章 設計程序……………二〇〇

電機設計

第一編 直流電機

第一章 直流電機構造

電機之製造，實爲機械工程學中之一支，但於電氣現象則非有充分之智識不可。第一圖表明直流機一般的構造，此等電機之輸出量，可大至一百匹馬力，每分鐘六百轉。

(1) 發電子——圖中之M爲發電子鐵心，以0.014吋厚之薄鋼片集合而成，分片愈薄，則鐵心中之渦流損失 (eddy current loss) 愈小，惟更較0.014吋爲薄者，則製造時較爲困難矣。各片之間塗以油漆，使互相絕緣，然後直接裝於機軸上，以圖中K點所示之管釘管之。在管孔

處，另有一小方孔，名標記孔。蓋各片皆係鑿成，邊部不無突緣，若不以同一方向排列，則鐵心必有鬆疏之處。今有此標記，則無此虞。

薄片之外周，鑿成齒形，以納發電子線圈G。圖中所示之槽形，為通用之式，名開口槽（open slot）。另一種名閉口槽，偶亦用之。用閉口槽者，線圈須從端部穿入。開口槽較閉口槽有一優點，即發電子線圈可在安放機中之先，予以完善之絕緣，裝入後，如有損壞，則取出修理，重裝，皆較閉口槽為便利。

發電子鐵心分為數段，以白銅通風環分隔之，見圖中P點；通風溝之目的，在令空氣得自由流通於機中，使鐵心散熱。每段鐵心厚約三吋，溝闊約 $\frac{1}{8}$ 吋。溝過狹則易於閉塞，通風無效；溝過寬則散熱效力亦並不增加，徒佔鐵心之地位而已。

通風環亦直接套在軸上，與分片集合後，以二個鑄鐵（cast-iron）端部環N夾緊之。此端部環上，裝有線圈座L，由臂桿支之，桿形如扇葉，轉動時，使空氣通入機中。

發電子線圈用五組鋼線紮住，以免為離心力引出槽外。

(2) 磁極及軛——發電子線圈旋轉於勵磁圈 (exciting coil) A 所生之磁場中，此圈繞於磁極 B 上，但與磁極絕緣。在第一圖中，磁極為圓形截面，俾可以最短之勵磁圈之平均一匝之長度，得同等之磁流 (flux) 面積。磁極用椎鋼 (forged steel) 製成，其下以螺釘裝置分片合成之磁極面 E，此係 0.025 吋厚之鋼片集成，所以減小渦流之損失。

極面分片以四釘釘合，長短視發電子鐵心而異。從條一圖觀之，則見每一端部分片，有一突緣，用以承受磁場之線圈。

磁極之軸長 (axial length)，如圖所示，較發電子鐵心之軸長短去 $\frac{3}{8}$ 吋。所以稍短者，為使發電子可在軸線上前後擺動，不致使電壓增減，且令承軸及軸領為油槽所擦損也。苟欲任其擺動，則空氣隙 (air gap) 之磁阻 (reluctance)，必須在兩極端之位置，無所變更，故發電子鐵心須較極面略長或略短，相差之數，等於許其擺動之距離，普通為 $\frac{3}{8}$ 吋。此指五十匹馬力，每分鐘九百轉以下之機，其較大者，則改用 $\frac{1}{2}$ 吋。

磁極以螺釘釘於軛 (圖中之 C) 上，軛上並裝有承軸蓋 D，如此可使全機堅實，軛之截面，僅

須足以流通磁流，不必過巨也。

兩端之承軸蓋，以貫穿之長管釘夾緊於軛上。軸蓋對軛須許其作九十度或一百八十度之旋轉，庶此機可裝於牆上或天花板上。所以必須旋轉者，因承軸用油環潤滑，而油池常在動軸下也。

(3) 整流子——整流子 (commutator) 以硬抽銅 (hard drawn copper) 之圓截片集成，各片之間以雲母絕緣，厚自 0.02 吋至 0.06 吋，視整流子之直徑，及截片之厚薄而異。此處所用之雲母，以軟性者為宜，庶可與銅截片同時消損。

其雲母片與銅片，以兩個 V 形之鑄鐵夾夾之，並用 1/8 吋厚之雲母為絕緣。整流子鐵夾及支架中，留有通風孔 R，用以散熱。

整流截片以連接線 H 與發電子線圈相連。在新式電機中，此諸線之間亦留通風隙，俾空氣藉發電子之鼓風作用，吹過整流子之表面。此空氣流最易使整流子散熱。

(4) 承軸——圖中所示為一普通承軸之構造，觀圖自明。但有數點宜注意者：一為油孔蓋上之突出物 T，此物能阻止油環躍起而掛於襯軸 (bushing) 上；二為軸上之突緣，此係防止滑

油沿軸流出，致承軸乾燥；三爲襯軸，裝於承軸殼中，如用久消損，可取出更換；四爲洩油口，在承軸底部，可使滑油由此流出，惟平時則用螺釘封閉之。承軸中之油面，得與承軸殼之大部分面積相觸，故極易散熱。在U點有小孔，使承軸中之油不致過滿，多則由此溢出。

刷子裝於柄上，柄與旋轉臂V絕緣。此臂裝於承軸上，能旋轉，轉至適當位置，則夾緊之。

(5) 滑軌——若此機須用皮帶拖動他機，或用皮帶被他機拖動，則於軛足應製成軌槽，如上圖所示，庶可裝於軌道上，另設較準皮帶寬緊之具，使其移動。

(6) 大電機——大電機之構造，與上述略有不同處。第二圖爲一直接連接引擎之大電機。凡發電機之直徑大過30吋者，卽不能以一片鑿成，必須以數片合成，每片用鴿尾(Dovetails)裝於輪幅上。相間各層之鑿片，互相掩過，庶使鐵心堅固，無有隙縫。

此機中之通風溝，以鋼條裝於邊部成之，如圖V點所示；此鋼條以分片之突出物支之，上升至齒部，以支持其齒，通風溝位於鐵心端部，半爲通風，半爲支持齒部。

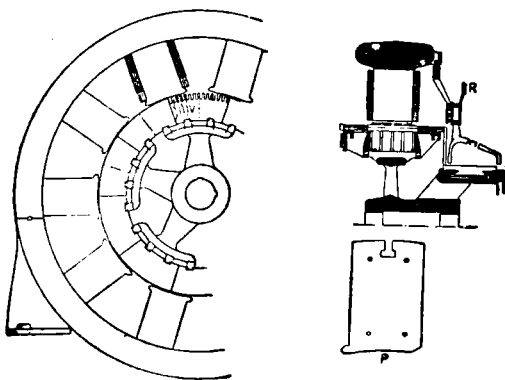
磁極之截面作長方形，亦以薄片合成，如圖中P所示。此薄片厚0.025吋，一邊有尖，一邊截去，

鄰近二片之尖端對向，故極尖之磁力飽和，以此爲整
流之助。此諸薄片用釘釘合，成一整塊之磁極，然後以
螺釘裝於軛上。

此機之動軸，承軸，及基礎，普通皆由引擎製造者
製成。其承軸與第一圖相類，軸襯鑄成後，納入承軸殼
中，每長 ∞ 吋，即用一油環。

動軸既由引擎製造者供給，則整流子自應裝於
發電子之輪幅上，其裝法見上圖。刷子之支架，亦應裝
在機上，普通裝於軛上，如上圖。刷子之屬於同極者，以
銅環R連之，由此環將全部電流送至總線。

大直流發電機之軛，往往分成數塊，俾發電子遇
損壞時，軛之頂部可以移去，不必將發電子取出，即可



第二圖 引擎式之直流發電機

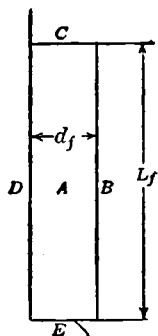
從事修理矣。

第二章 磁路設計

本章所欲解決之問題，乃就已知之發電機及其定額 (rating)，而設計該機之磁極，軛，及磁場線圈是也。

(1) 磁場圈之發熱——第三圖表示一直流電機之磁極，及其磁場線圈。其勵磁電流 (exciting current) 流入此圈，漸令溫度增高，至線圈散熱之速度，與圈中生熱之速度相等乃止。

線圈之最熱點在 A 點，此熱須從該點傳至 B, C, D, E 等散熱面上，故在 A 點與線圈散熱面之間，必有一溫度之漸變線 (temperature gradient)，第四圖即表示在線

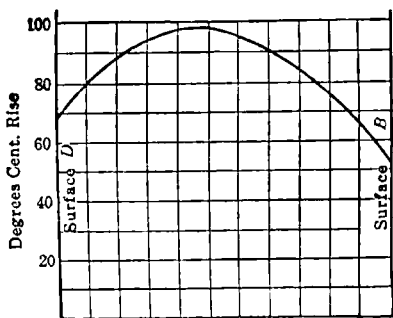


第三圖——直流機之磁場線圈

圈厚薄不等各點之溫度。

線圈之最高溫度，所以限制線圈安全負載電流之數量，惟此項溫度不易計量。線圈外表之溫度，可以溫度表量之，其平均溫度可以線圈電阻之增加量算得之，因銅在任何溫度 t 之電阻，可從 $R_t = R_0 (1 + 0.004t)$ 之公式計之，式中 R_0 為在 0°C 之電阻， t 乃攝氏溫度表之度數。

從實驗求得，最高溫度與平均溫度之比，鮮有超過 1.2 者，平均溫度與表面溫度之比，則自 1.4 至 3 不等。舊式電機，在磁場線圈之外包有繩帶，第二數 3 倍，即指此圈。照近時絕緣法，則平均溫度與外表溫度之比約為 1.5，惟線圈之厚不過 2 吋，線上除雙層之紗包外，不再包裹，線圈在某種化合物中浸過，此物較線間之空氣為易傳熱，且為較 O 為之絕緣物。如用雙層布帶，半掩包裹，則此比率約增至 1.7；如再用一層 $1/16$ 吋厚之硬紙板包於外面，以保護線圈，則比率增至 2 倍以上皆係平均數，蓋



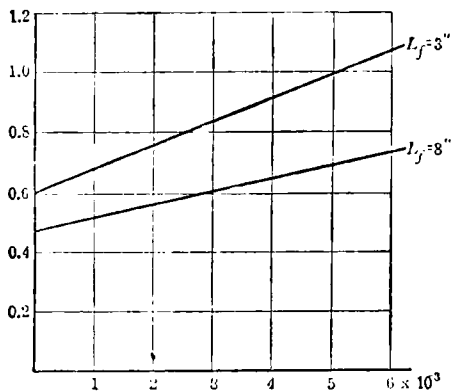
第四圖一 磁場線圈中之溫度漸度線

尚須視發電子扇風之效用若何，及所用化合物之種類，線上絕緣物之厚薄，磁極與軛之輻射力而異，D面之輻射力即視此二物為斷。

磁場線圈之發熱常數，可有多種方法定之，須視以何者為輻射面而定。雖B, C, D, E諸面，均能散熱，但輻射之效力不等，故為便利計，僅以B面為輻射面。

浸過化合物之線圈，如外表面，除線上之絕緣物外，無他絕緣，則每方吋外表面所能輻射之熱量，約自0.5至1.0瓦特，假定表面增溫攝氏40°，即等於平均增溫60°C，或最高增溫70°C。此散熱量之大小，隨線圈之長短及發電子之圓周速率而異。發電子之扇風作用，頗易明了，故第五圖曲線之斜度，亦無須更為說明矣。從此圖觀之，則知短線圈之

外表面散熱常數每方呎瓦特數(指增溫40°C)



發電子之圓周速率每分鐘呎數
第五圖 磁場線圈之發熱常數

雖B, C, D, E諸面，均能

散熱，較長線圈爲易，蓋散熱常數乃依據於總輻射面積 B, C, D, E 與外表面 B 之比率而定，今此比率，短線圈較長線圈爲大，且因線圈長者，其爲發電子扇風作用所及者，祇貼近發電子之一部分耳。線圈之散熱面可以設法增加，法於線圈中部加通風溝，如下第六圖所示。此法似可將散熱面增加一倍，實則通風溝內兩面之散熱，不及線圈內外而之有效也。此種磁場圈中，每圈厚一吋，兩圈相隔半吋，其外表面每方吋之瓦特數可較第五圖所示者增加百分之五十。

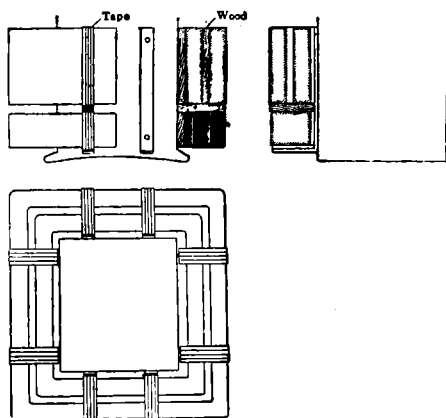
(2) 磁場線圈線之大小：

設 E 爲每一磁場線圈兩端之電壓，

I 爲線圈中之磁流，

N 爲線圈中之圈數，

ML 爲線圈一周之平均長度，以吋計，



第六圖——通風之磁場線圈

為所用線之截面面積，以圓密爾 (circular mil) 計，

則線圈之電阻 $\parallel \frac{E_r}{I_r} = \frac{MT \times T_r}{M}$ ，因銅之電阻，每吋長度每一圓密爾面積，約為一歐姆

(ohm) 故也。

又

$$M = \frac{I_r T_r \times MT}{E_r}$$

故若已知磁場線圈每圈所用之電壓及安培圈數

(ampere-turns)，則線之大小即可從此式決定矣。

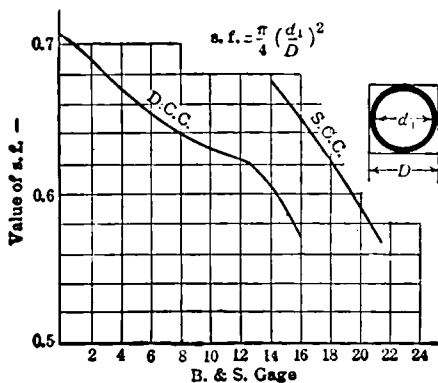
(3) 磁場線圈之長度 L_r ——如前第三圖中，該

線圈所輻射之瓦特數，等於外表面積乘每方吋瓦特數。

線圈中銅線之總截面 $= d_1 \times L_r \times a.f.$ 方吋。式中 $a.f.$ 即

線之空間因數 (space factor)，即以線之截面面積，被

該線在線圈中所佔之空間除得之數。此數可從第七圖



第七圖——線之空間因數

歐姆

得之。

銅線在線圈中之截面 $= \frac{d_1 L_1 \times \text{sf.}}{T_1}$ 方吋

$$= \frac{d_1 \times L_1 \times \text{sf.} \times 1,270,000}{T_1} \quad \text{圓密爾}$$

$$= M$$

每線圈損失之瓦特數 $= \frac{M T_1 \times T_1 \times I_1^2}{M}$

以前式 M 之值代入上式之分母，得 $\frac{M T_1 \times T_1^2 \times I_1^2}{d_1 \times L_1 \times \text{sf.} \times 1,270,000}$

又每線圈損失之瓦特數亦 \parallel 外表面積 \times 每方吋瓦特數

\parallel 線圈之外周 $\times \Gamma \times$ 每方吋瓦特數。

故將此二值作等式，得

$$L_r^2 = \frac{MT \times T_r^2 \times I_r^2}{\text{外周} \times \text{每方吋瓦特數} \times d_r \times \text{sf.} \times 1,270,000}$$

則
$$L_r = \frac{I_r T_r \sqrt{MT}}{1000 \sqrt{\text{外周} \times \text{每方吋瓦特數} \times d_r \times \text{sf.} \times 1.27}}$$

此 L_r 之數值應為若干，可先假定下列之平均值，從上式求之：

sf. 空間因數 = 0.6

d_r 線圈厚度 = 2.0 吋

每方吋瓦特數 = 0.6

外周 = $1.2 \times$ 線圈一周之平均長度 (MT)

由此得 L_r 線圈之長度，約 = $\frac{I_r T_r}{1000}$ 。

(4) 磁場線圈之重量及厚薄——磁場線圈之重量 = $0.32 \times MT \times L_r \times d_r \times \text{sf.}$ 磅，內

0.32 乃每立方吋銅之重量，

$$\begin{aligned} \text{又 } L_1 &= \frac{I_1 T_1}{1000} \sqrt{\frac{M^2 P}{\text{外周} \times \text{每方吋瓦特數} \times d_1 \times \text{sf.} \times 1.27}} \\ &= I_1 T_1 \frac{\text{一常數}}{\sqrt{d_1}} \end{aligned}$$

故磁場線圈之重量

$$\begin{aligned} &= 0.32 \times M^2 P \times I_1 T_1 \times \frac{\text{一常數}}{\sqrt{d_1}} \times d_1 \times \text{sf.} \\ &= \text{一常數} \times \sqrt{d_1} \end{aligned}$$

此式可解釋如下： d_1 之值愈大，則 L 之值愈短，散熱之面積愈小，而每線圈可許之損失限度亦愈低。從上第 2 節觀之，磁場線圈線之截面面積為一固定值，僅恃乎安培圈數及每圈之電壓，故欲減低可許之損失，必須減小 L 之值， L 小則 d_1 必大，如是則線圈之成本愈昂。又線圈薄則成本輕，但

有一點不可忽視，蓋 ρ 減小後，磁場銅線之成本固輕，但 l 則增加，於是磁極及軛之成本亦增高矣。故欲求磁場成本最低之 ρ 之數值，必將此點顧及，可先試用數個數值，然後確定之。 ρ 之平均值為2吋。

(5) 磁場系設計之程序

1. 空氣隙之大小可以下法求之：

AT'_{g+} ，為每極對於空氣隙及齒之安培圈數

|| $1.2 \times$ 每極之發電子安培圈數 (此指發電機)

|| $1.2 \times$ 每極之發電子安培圈數十每極之減磁安培圈數 (此指並列電動機)

從發電子實錄 (data)，可求得每極對於齒部之安培圈數 AT'_g 。

再從公式 AT'_g ，空氣隙之安培圈數 $= \frac{B_g \times C \times \delta}{3.2}$ ，求得 δ ，即空氣隙之大小，其中 B_g 乃空

氣隙中之磁線密度， C 為卡特係數 (Carter coefficient)。

2、製飽和曲線圖。

作此曲線之前，須納略計算磁路之大小，其法如下：

今假定無負載之勵磁力 $= 1.25(AI_{e+})$ ，又 $L_r = \frac{\text{漏磁匝數}}{1000}$ ，見上第3節；此線圈長

度可增加百分之三十，俾需用直列線圈時，為留一餘地。

求磁極之截面，可先假定極之密度為每方吋 95,000 線，其漏磁因數 (leakage factor)

可從下表求之；由此得 A_p ，即

$$\text{磁極截面} = \frac{\phi_p \times \text{漏磁因數}}{95,000} \text{ 方吋。}$$

漏磁因數表

四極機，發電子直徑在10吋以下	1.25
多極機，發電子直徑在10吋至30吋之間	1.2

發電子直徑在30吋至60吋之間 1.18

發電子直徑在60吋以上 1.15

表中數值亦適用於第二圖之大電機。

軛之面積可以相同之法求之，假定軛中之磁線密度，如係鑄鋼，為每方吋15,000線，如係鑄鐵，則為每方吋40,000線。

至此即可按比例尺繪一磁路圖樣，並求其飽和曲線。惟此等圖樣將來仍須改換。

3、並列磁場線圈之設計。

從飽和曲線求無負載勵磁力。

從下列公式求磁場圈中線之大小，

$$M = \frac{I_c T_c \times MT_c}{E_c}, \text{ 見上第二節}$$

內 $E_c =$ 每圈之電壓 $= \frac{\text{端部電壓}}{\text{磁極數}} \times k$

此式中之 K ，在複式發電機為 0.8；其百分之二十，假定為磁場電路中電阻器所吸收，故其並列勵磁，遇需要時，可較常值增百分之二十。

在並列電動機， $k=1.0$

在並列發電機， K 之數值則隨各種需要而定；如欲自無負載至所需之過負載，常維持一定之電壓，則必須有充分之磁場調節。

L_r 可自下式求之

$$L_r = \frac{I_r T_r}{1000} \sqrt{\frac{MT}{\text{外周} \times \text{每方吋瓦特數} \times d_r \times \text{sf.} \times 1.27}} \quad \text{見上第三節。}$$

L_r 乃線圈圈數，線之截面為 M ，其佔據之地位為 $L_r \times d_r$ 。

4、直列磁場線圈之設計。

直列線圈在滿負載之勵磁力，可自飽和曲線上求之，將發生所需線端電壓之勵磁力，減去在同一電壓之並列線圈勵磁力，即得直列勵磁力。

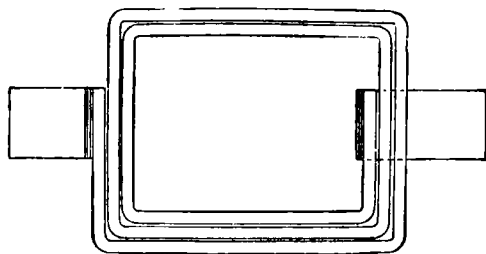
直列線圈之圈數 $= \frac{\text{直列勵磁力}}{\text{滿負載電流}}$ 此數在新式設計中往往

增加百分之二十，因預定之滿負載飽和曲線，不易正確也。如線圈繞法如上第八圖所示者，線圈常有半圈之零數，例如圖中之線圈共有二圈半。

直列線圈中之電流密度，及其外表面每方吋之瓦特數，常較同機中之並列線圈大百分之二十，因直列線圈較為貼近發電子，故受發電子之吹冷亦較易也。

例——10極，400 啓羅瓦特，240 弗打無負載，240 弗打滿負載，1670 安培，200 轉每分鐘之發電機，詳見第九圖。今欲設計其磁場系。

1、求空氣隙之大小。



第八圖——直列磁場線圈

$$\text{每極之發電電子安培圈數} = \frac{800 \times 167}{2 \times 10} = 6700$$

$$\text{每極之安培圈數(氣隙十齒部)} = 1.2 \times 6700 = 8100$$

齒部之每極安培圈數可以下式求之：

$$\phi_a = \frac{240 \times 60 \times 10^8}{800 \times 200}$$

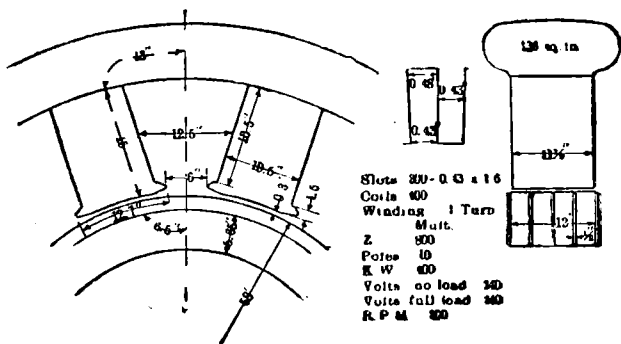
$$= 9 \times 10^6$$

$$\text{每極之最小齒面積} = 0.43 \times \frac{200}{10} \times 0.7 \times 9.45$$

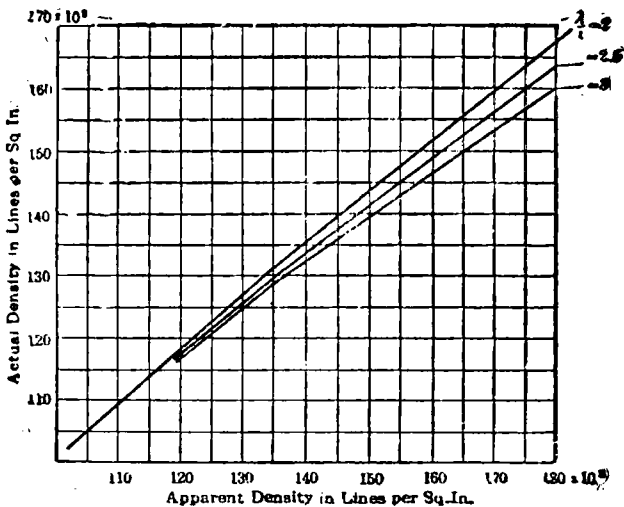
$$= 57 \text{ 方吋}$$

$$\text{最大之齒部磁線密度} = \frac{9 \times 10^6}{57}$$

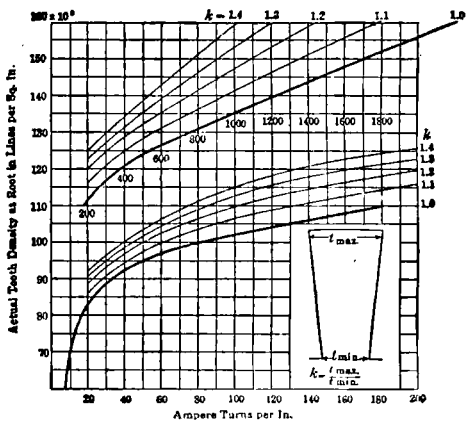
$$= 158,000 \text{ 每方吋線數, 表面的。}$$



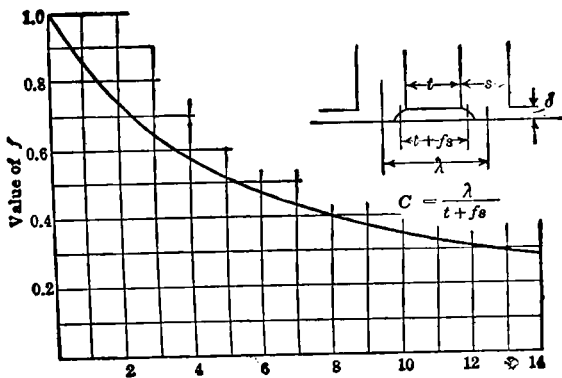
第九圖——磁路圖



第十圖——發電子齒中之磁線密度



第十一圖——鋼片之磁化曲線



第十二圖——卡特收縮常數

|| 150,000 每方吋線數，實在的（見第十圖。）

齒之斜度 || $\kappa = 1.12$

齒部之每極安培圈數 || 1300×1.6 （見第十一圖）|| 2080

氣隙之每極安培圈數 || $8100 - 2080 = 6020$

外表的氣隙密度 || $\frac{9 \times 10^6}{18.2 \times 0.7 \times 12} = 59,000$ 線每方吋

$$C \times \delta = \frac{3.2 \times 6020}{59,000} = 0.328$$

故 $C = 1.12$ （見第十二圖。）

$\delta = 0.26$ （今定氣隙為 0.3 吋。）

2、作飽和曲線。

無負載勵磁 || 1.25×8100

＝10,100安培圈，約數。

$$I_r = \frac{10,100}{1000} = 10 \text{ 吋，約數。}$$

留百分之三十，爲直列線圈之餘地，故線圈地位＝13吋。

$$\text{磁極面積} = \frac{9 \times 10^6 \times 1.18}{95,000} = 112 \text{ 方吋，約數。}$$

$$\text{軛面積} = \frac{9 \times 10^6 \times 1.18}{2 \times 40,000}$$

$$= 132 \text{ 方吋，約數。}$$

從上所求得諸數值，即可依比例尺作磁路圖，並繪無負載及滿負載之飽和曲線圖。

3、設計並列磁場線圈。

無負載勵磁力＝9990安培圈

$$E_1, \text{ 每圈電壓} = \frac{240 \times 0.8}{10} = 19$$

$$MT, \text{ 一周平均長度} = 53 \text{ 吋}$$

$$\text{線圈之外周長度} = 61 \text{ 吋}$$

$$\text{並列圈線之大小} = \frac{9990 \times 53}{19} = 28,000 \text{ 圓密爾};$$

用 $5\frac{1}{2}$ 號 B. & S. 線，此為第 5 號及第 6 號之間之特別線，其面積為 29,500 圓密爾，如加雙層外包，則其直徑為 0.19 吋。如無此種特別號碼之線，可改用相當圈數之 5 號線，與相當圈數之 6 號線直列連接，如此則線圈之電阻，即與 28,000 圓密爾之線繞成者相同。

$$L_1 = 10.5 \text{ 吋, 假定 } d_1 = 2 \text{ 吋}$$

$$\text{af.} = 0.65$$

$$\text{每方吋瓦特數} = 0.6$$

在此二吋厚之線圈中之層數 = $\frac{2}{0.19} = 10$

每層在 10.5 吋之長度中之圈數 = $\frac{10.5}{0.19} = 55$

每一線圈之圈數 = $10 \times 55 = 550$

並列線圈中之電流 = $\frac{9990}{550} = 18.2$ 安培

在線圈線中之電流密度 = $\frac{29,500}{18.2} = 1600$ 圓密爾每安培

4、設計直列線圈。

在滿負載及規定電壓之勵磁力 = 12,800 安培圈

在規定電壓之並列勵磁力 = 9,990 安培圈

故在滿負載之直列勵磁力 = 2810 安培圈

直列線圈之圈數 = 2.5

$$\text{直列電流} = \frac{2810}{2.5} = 1120$$

直列圈分路中之電流 $= 1670 - 1120 = 550$ 安培

在直列線圈線中之電流密度 $= \frac{1600}{1.2} = 1330$ 圓密爾每安培

直列線圈線之大小 $= 1330 \times 1120$

$$= 1,500,000 \text{ 圓密爾}$$

$$= 1.2 \text{ 方吋}$$

此線 2.5 圈之電阻 $= \frac{53 \times 2.5}{1,500,000} = 8.8 \times 10^{-5}$ 歐姆

在一個直列線圈中之電壓降 $= 8.8 \times 10^{-5} \times 1120$

$$= 0.1 \text{ 弗打}$$

在一個直列線圈中之損失 $= 0.1 \times 1120$

|| 112瓦特

每一方吋外表面可許之瓦特數 || $0.6 \times 1.2 = 0.72$

必需之散熱面 || $\frac{112}{0.72} = 155$ 方吋

線圈之外周 || 61吋，約數。

直列線圈之長度 $L_1 = \frac{155}{61} = 2.5$ 吋

直列線圈線之厚度 || $\frac{\text{線截面}}{L_1}$

$$= \frac{1.2}{2.5}$$

$$= 0.5$$

繞此線圈之線，以四根銅帶合成，每根闊 2.5 吋，厚 0.125 吋，庶可彎曲成圈。

第三章 發電子設計

(1) 輸出量之公式

$$E = Z \phi_a \frac{\text{每分鐘轉數}}{60} \times \frac{\text{極數}}{\text{路數}} 10^{-8} \text{ 弗打}$$

$$= Z (B_g \psi L_c \tau) \frac{\text{每分鐘轉數}}{60} \times \frac{\text{極數}}{\text{路數}} 12^{-8} \text{ 弗打}$$

$$\text{又 } q = \frac{ZI_a}{\text{路數}} \times \frac{1}{\pi D_a}$$

式中 Z = 發電子上導線之總數 ϕ_a = 每一極之磁力線 B_g = 空氣隙中之磁線密度 ψ = 磁極遮掩發電子之百分數

L_c = 發電子鐵心之長度

r = 磁極距離

q = 每吋長之安培導線數

D_a = 發電子直徑

由上式得

$$EI_a = Z (B_g \psi L_c \tau) \frac{\text{每分鐘轉數}}{60} \times \frac{\text{極數}}{\text{路數}} 10^{-8} \times \frac{q \times \text{路數} \times \pi D_a}{Z}$$

$$= R_g \times \tau p \times L_c \times \psi \times \text{每分鐘轉數} \times q \times \pi D_a \times \frac{10^{-8}}{60}$$

$$= B_g L_c \times \psi \times \frac{\text{每分鐘轉數}}{60} (\pi D_a)^2 \times 10^{-8} \times q$$

故 $D_a^2 L_c = \frac{\text{瓦特數}}{\text{每分鐘轉數}} \times \frac{60.8 \times 10^8}{B_g \times \psi \times q}$

式中 B_g 乃空氣隙中表面的平均磁線密度，此值為 B_m （最高度之齒部磁線密度）之可許值所限制。 B_g 之可許值，在每秒 30 周波以下，約為每方吋 150,000 線。 B_g 之值亦隨電機之直徑而異，其理可從第十三圖見之。直徑愈小，則齒之斜度愈大，以同一之齒底密度言，氣隙之密度較小。

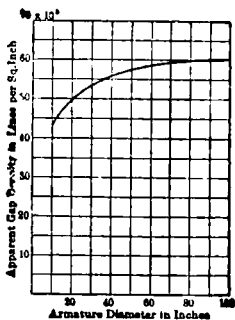
第十四圖表示普通電機 B_g 與 D_g 之關係；如周波率在每秒三十周波以下，則應用較小之 B_g 之數值。

q （每時安培線數）之值，半為發熱所限，半為整流作用所限。設於同一定額而增加 q 之值，或增加導線數目，或減小發電子之直徑。若導線數目增加，則反抗電壓增。若直徑減小，則機架應加長，方可負載磁流，且線槽亦應加深，否則即不能容納多數之安培線數於每時之圓周上，此二者皆足增加反抗之電壓。故欲使反抗電壓在合理之限度以內，必先限制 q 之值。

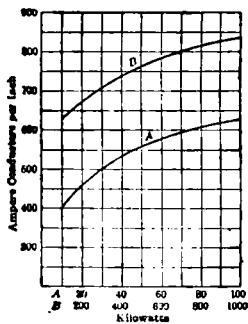
此 q 主要與電機之輸出量有關，其在普通電機之關係，見第十五圖。此曲線可用於初步之設



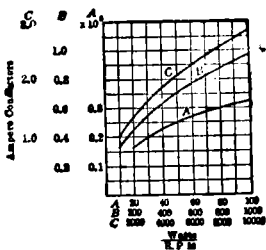
第十三圖——發電子直徑與齒之斜度之關係



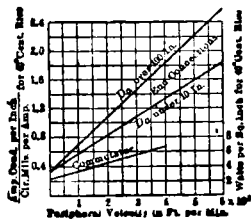
第十四圖



第十五圖



第十六圖



第十七圖

第十四圖至第十七圖——用於初步設計之曲線

計。

(2) D_a^2 與 L_c 之關係—— $D_a^2 L_c$ 之數應如何分析，方可得最佳之電機，實無簡單之方法，其唯一滿意之方法，為假定各對之 D_a 與 L_c 之數值，以每對數值設計之，然後擇其成本較輕運用最善之一對而用之。

(3) 磁力與電力之負載

$$E = Z \phi_a \frac{\text{每分鐘轉數}}{60} \times \frac{\text{極數}}{\text{路數}} 10^{-8} \text{ 弗打}$$

故 $E I_a = \frac{Z I_a}{\text{路數}} \times (\phi_a \times \text{極數}) \frac{\text{每分鐘轉數}}{60} 10^{-8} \text{ 瓦特}$

又 $\frac{\text{瓦特數}}{\text{每分鐘轉數}} = \left(\frac{Z I_a}{\text{路數}} \right) (\phi_a \times \text{極數}) \frac{1}{60 \times 10^{-8}}$

式中之 $\frac{Z I_a}{\text{路數}}$ 名曰電力負載，此為發電子圓周上之安培導線總數；此數量愈大，則發電子所用

之銅量愈多，而所用之鐵量則愈少。

ϕ × 極數名曰磁力負載，乃流入發電子之磁線總量；此值愈大，則機中所用之鐵愈多，而用銅愈少。

欲從一指定之機架，取得最大可能之輸出量，則電力負載與磁力負載二者之值，應盡量增加。磁力負載與電力負載之比率，有一定之數值，使機之成本為最賤。

此比率 $\frac{\text{磁力負載}}{\text{電力負載}} = \frac{\phi_a p}{ZI}$

$$= \frac{B_g \psi I_c p}{ZI}$$

$$= \frac{B_g \psi I_c}{q}$$

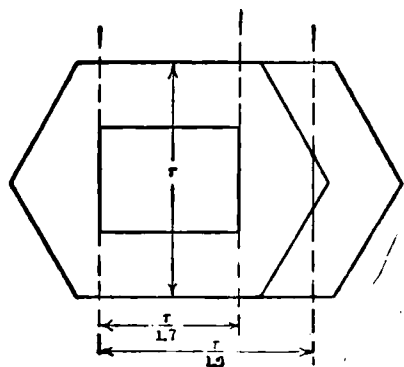
故亦恃乎發電子之長度 I_c 而異，此數所受之限制如下：

第十八圖表示一直流電機中之一磁場線圈及一發電子線圈。單就磁場系言，圓載面之磁極

最爲經濟，以其能以最短之平均圈長，得最大之面積也。若磁極載面作長方形者，則以正方形爲能以最短之平均圈長，得最大之面積。普通極距 (pole pitch) 與架長 (frame length) 之比率，即 $\frac{r}{L}$ ，在 1.1 與 1.7 之間。

極距大小爲發電子反應 (armature reaction) 所限制；故爲整流便利計，每極之發電子安培圈數不應超過 7500。又每極之磁場安培圈數 (氣隙十齒部) 與每極發電子安培圈數之比，亦不應小過 1.2。故若增加每極之發電子磁動力，必至增總磁場之磁動力，並增加磁極之輻射長度 (radial length)。故與其令發電子之安培圈數超過 7500，不如增加極數之爲經濟，如此不致使磁極之輻射長度過大。

若每極之發電子安培圈數爲 7500，每吋之安培導線數爲 800，則極距約



第十八圖——磁場圈與發電子圈之形狀

$$= \frac{7509 \times 2}{900}$$

$$= 17\text{吋}$$

故如上述， L_0 之值不應超過 $\frac{17}{1.1} = 15\text{吋}$ ，唯除特別事例，如圓周速率早已極高，直徑不能再增，則非用極長之發電子，不能得規定之輸出額。

若 L_0 ，架長 $= 15\text{吋}$

B_g ，平均氣隙密度 $= 60,000$ 線每吋

ψ ，磁極遮掩度 $= 0.7$

q ，每吋之安培導線數 $= 900$

則 k ，即 $\frac{\text{磁力負載}}{\text{電力負載}} = 700$

若某電機之發電子直徑小者，其最經濟之架長應不及 15 吋；例如一機，直徑 5 吋，架長 15 吋，與

$D_2 L_0$ 同等之另一機較，其直徑為 9 吋，架長 4.5 吋，則前者必更貴而多困難。案 K 值既持平，而異，則自亦隨機之直徑而異。

$$\frac{\text{瓦特數}}{\text{每分鐘轉數}} = \text{電力負載} \times \text{磁力負載} \times \frac{1}{60 \times 10^{-8}}$$

$$= k \times (\text{電力負載})^2 \times \text{一常數}$$

故對於每一 $\frac{\text{瓦特數}}{\text{每分鐘轉數}}$ 之值，即有一 K 值，及電力負載之值，為能製成最經濟之電機。第十六圖表

示無中間磁極之電機中此二種數量之關係。該項曲線可用於初步之設計中。

但當知 K 之數值，可變更至極大之限度，而不致影響及於機之成本，至任何可議之程度。此 K 之值，亦受工價之影響，故常隨各種製造情形而異。

(4) 發電機設計之諸公式

$$A \frac{\text{瓦特數}}{\text{每分鐘轉數}} = k (\text{電力負載})^2 \times \text{一常數}$$

內電力負載 = $\%I_c$

$$B \quad D_a^2 I_c = \frac{\text{瓦特數}}{\text{每分鐘轉數}} \times \frac{60.8 \times 10^3}{B_p \phi q}$$

$$C \quad \frac{\text{極距}}{\text{架長}} = 1.1 \text{ 至 } 1.7$$

$$D \quad E = Z \phi_a \frac{\text{每分鐘轉數}}{60} \times \frac{\text{極數}}{\text{路數}} \times 10^{-9}$$

$$E \quad \text{線圈數} = k \frac{P}{2} \pm 1 \text{ 指直列波式線圈}$$

$$\text{線槽數} = k \frac{P}{2} \pm 1 \text{ 指直列波式線圈}$$

$$= k \frac{P}{2} \quad \text{指並列之迴繞線圈, 有均壓線者}$$

F 每極之線槽數,

小機應有十二個以上

大機應有十四個以上

$$G \quad \text{反抗電壓} = k \times S \times \text{每分鐘轉數} \times I_a \times L_a \times T^2 \times \frac{\text{齒數}}{\text{磁數}} 10^{-4}$$

式中 $k = 1.6$, 指直列線捲及全距迴繞線捲;

$$= 0.93, \text{指短距迴繞線捲。}$$

H 反抗電壓 $= 0.7$ (弗打每對刷子) 如刷子置於中心線上;

$$= 1.0 \text{ (弗打每對刷子) 如刷子移過中心線。}$$

如用直列線捲, 其反抗電壓可較此數大百分之二十;

如用短距迴繞線捲, 則應減少百分之三十。

J 每極發電子安培圈數 $= \frac{ZI_a}{\pi D_a}$, 應在 7500 以下。

K $\frac{\text{最大齒闊度}}{\text{線槽闊度}} = 1.1$ 指大機;

＝1.0 指小機；

此皆係經驗上得到之約數。

┌ 磁線密度從下表得之

每秒周波數	齒部磁線密度 每方吋線數	鐵心中磁線密度 每方吋線數
30	150,000	100,000
40	140,000	85,000
60	125,000	75,000

M 整流子直徑＝0.6 發電子直徑，指大機；

＝0.75 發電子直徑，指小機。

此皆從實驗所得之值。除與蒸汽臥輪機 (turbine) 並用之發電機外，整流子之圓周速率，應不使超過每分鐘3500呎。如欲減低速率，在此限度以下，可改用較小之直徑。

N 整流子面因磨擦而減損，其可許擦去而不至使整流子面過於薄弱之厚度，曰消蝕厚度 (wearing depth)，5吋整流子可許擦去0.5吋，50吋之整流子，可許擦去1.0吋。

P 刷子弧長應小於 $\frac{2.5Z}{12} \times \frac{\text{發電子直徑}}{\text{發電子直徑}}$ ，不可掩過三個截片以上。

Q 每方吋刷子接觸面之瓦特數 ≈ 35 約數。

R 刷子磨擦損失 $= 1.25A \frac{V_r}{100}$ 瓦特

內 V_r 爲刷子磨擦面，以方吋計

V_r 爲磨擦速率，以每分鐘呎數計

(5) 初步設計——爲使初步設計之工作簡便計，所有需用之公式及曲線，已羅列於上，今述其程序如下：

從第十六圖，依指定之定額，求電力負載 ZI_c 之值。

從第十五圖求 $q = \frac{ZI_c}{\pi D_a}$ 之值。

從以上二值，求發電子直徑 D_a 。

自此立三個設計：一用較此大百分之二十之直徑，又一用較此小百分之二十之直徑。

從第十四圖求表面的氣隙中之磁線密度 B_a 。

從上節公式 τ 求架長 L_a 。

求磁極數 p ，此值應使 $\frac{L_a}{\tau}$ 在 1.1 及 1.7 二數之間。

求每極磁力線 $\phi_a = B_a \psi \tau L_a$ ， $\psi = 0.7$ 約。

從公式 D 求發電子面部之導線數 Z 。

擇一最廉之線捲，其所生反抗電壓應在所需限度以內；直列線圈普通為最價廉者，以其所需線圈數及整流子截片為最少也。

從 Z 之值及擇定之線圈式樣，求整流子截片數 ω 。

令整流子直徑 $D_s = (0.6 \text{ 至 } 0.75) \times (\text{發電子直徑})$ 作為初步之約計。

從公式 τ 求刷子弧長。

求整流之長度，須使刷子接觸面每方吋之瓦特數在 35 以下。

在此數種設計中擇取一種。

例——試就下列額定值，求一直流發電機約略之構造。

400 啓羅瓦特，240 弗打，1670 安培，200 轉每分鐘。

設計工作可列成下表：

安培導線數..... 1.33×10^5 ，從第十六圖

每吋安培導線數.....733，從第十五圖

發電子直徑.....58吋 45吋 70吋

表面的氣隙密度..... B_g 58,000 56,500 59,000，從第十四圖

架長..... L_a 12吋 20.5吋 8吋，公式B

極數..... p 10 8 16，公式C

極距..... τ 18.2吋 17.6吋 13.8吋

每極磁線數..... ϕ_p 8.8×10^6 14.3×10^6 4.55×10^6

發電子面導線總數.....Z	820	505	1590, 公式 D
線捲.....	單圈短距迴繞式		
整流子截片數.....S	410	252	795
反抗電壓.....RV	1.5	2.0	1.2, 公式 G
整流子直徑.....D。	35吋	27吋	42吋, 公式 M
刷子弧長.....	0.91吋	0.88吋	0.69吋, 公式 P
刷子長度.....	10.5吋	13.5吋	8.5吋
每方吋刷子接觸面之瓦特數.....	35	35	35
磁力負載 = $\frac{\phi_a P}{Z I_c}$	640	1090	440
電力負載.....			

上表中之第二機，其發電子直徑為 5 吋，每極磁線數最多，故發電子鐵心最長，軛亦最重。因此鐵心價最貴。惟線圈數及整流子截片數均極少，故線捲及整流子二部工料最廉。

第三機之發電子直徑 7 吋，每極磁線數最少，鐵心最短，軛最輕，機身最短，故鐵心成本最廉。惟

線圈數及整流子截片數最多，故線捲及整流子之製造，工本最貴。

第一機之成本，大約較前二機為廉；且具較低之反抗電壓，其整流作用必較滿意。

在按照 3/8 吋之直徑，完成其設計之前，宜將各種磁極數先作簡略之設計如下：

磁極數	8	10	12
發電子直徑	58吋	——	——
架長	12吋	——	——
表面氣隙密度	58,000	——	——
極距	22.8吋	18.2吋	15.2吋
每極磁線數	11.0×10^6	8.8×10^6	7.4×10^6
發電子面導線總數	658	820	975
線捲	單圈短距迴轉式		
反抗電壓	1.5	1.5	1.5

每極發電子安培圈數.....	8550	6900	5700
整流子直徑.....	35mm	35mm	35mm
刷子弧長.....	1.14mm	0.91mm	0.76mm
刷子長度.....	10.5mm	10.5mm	10.5mm

上表第一機最爲費料，因每極磁線最多，因鐵心最長，軛之截面亦最大。

第三機工價最費，因線圈數及整流子截片數最多。

此三機之反抗電壓相同，惟第一機之每極安培圈數最多，第三機最少，故就整流言，第三機最佳，第一機則不宜用也。

發電子設計——既約略計算機身各部之大小，然後再詳細設計發電子，茲將各項依次排列如下表：

今擇取10極之設計爲最適當者，則其

發電子之外直徑爲.....58mm，從初步設計

架長.....12吋，從初步設計

中央通風溝數.....3，每溝闊0.5吋

架長中鐵心之總長.....10.5吋

架長中鐵心之實長.....9.45吋

磁極數.....10

極距.....18.2吋

每極大約磁線數..... 8.8×10^6 從初步設計

發電子面之大約導線數.....820 從初步設計

線捲 每極之最少線槽數 = 14, 公式 F, 故最少之線槽總數 = 140,

與此最近之適當數目為 200

每槽中之線數 = 4

線圈數 = 400

整流子截片

$$= 400$$

線捲

= 單圈短距迴繞式

反抗電壓

$$= 1.5, \text{ 公式 G}$$

$$\text{每吋安培導線數} = q = \frac{167 \times 800}{\pi \times 58} = 730$$

$$\frac{\text{每吋安培導線數}}{\text{每安培圓密爾數}} = 1.3 \text{ 限 } 40^\circ \text{C 最高溫度從第十七圖}$$

$$\text{每安培圓密爾數} = 560$$

$$\text{在滿負載每線之安培數} = 167$$

$$\begin{aligned} \text{導線截面面積} &= 167 \times 560 = 93,500 \text{ 圓密爾} \\ &= 0.073 \text{ 方吋} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{線槽距} &= \frac{\pi \times 58}{200} \\ &= 0.91 \text{ 吋} \end{aligned}$$

$$\text{大約線槽闊度} = \frac{0.91}{2.1} = 0.43 \text{ 吋, 公式 K}$$

在此 0.43 吋闊之線槽內，

0.064 爲線槽內部絕緣物之闊度

0.04 爲線圈與槽壁之空隙

0.326 爲銅線本身及其外包絕緣物之地位。

用長方形之扁銅帶，以二帶並置於槽內；每帶厚 0.14 吋，以 0.006 吋厚之布帶雙層半掩（half lapped）包裹。如此可適合 0.326 吋之闊度。導線闊度 $= \frac{0.073}{0.14} = 0.52$ 吋；增加此數至

0.55 吋，俾線角可以磋圓。

線槽深度，求之如下：

0.55 爲每一導線之深度

0.024 爲每一導線（即扁銅帶）上絕緣物之厚度

0.084 爲線槽絕緣之深度

0.658 爲每個絕緣線圈之深度

2 爲上下疊之線圈數

1.316 爲線圈所佔之深度

0.2 爲線槽頂部蓋片之厚度

1.516 爲線槽必需之深度；今定爲 1.6 吋深。

在線槽底部之發電子直徑……………54.8 吋

在線槽底部之槽距……………0.86 吋

最小之齒部闊度……………0.43 吋

每極之齒面積 $= \frac{200}{10} \times 0.7 \times 0.43 \times 9.45 = 57$ 方吋

每極磁力線，以 800 根導線計…………… 9×10^6 ，指 240 弗打之電壓，從公式 D

最大齒部磁線密度……………158,000 線每方吋

此密度並不過高，故鐵心亦無須加長

鐵心中之磁線密度，假定的 85,000 線每方吋

$$\text{鐵心面積} = \frac{9 \times 10^6}{2 \times 85,000} \dots\dots\dots 53 \text{ 方吋}$$

$$\text{鐵心厚度} = \frac{\text{鐵心面積}}{\text{鐵心實長}} \dots\dots\dots 5.6 \text{ 吋}$$

發電子之內直徑 $\dots\dots\dots 43.6 \text{ 吋}$

以上記錄可填入下頁之發電子設計表中。

整流子設計

整流子直徑，假定為 $0.6 \times$ 發電子直徑 $= 35 \text{ 吋}$

整流子截片數 $\dots\dots\dots 400$

$$\text{一個截片及雲母之闊度} = \frac{\pi \times 35}{400} = 0.275 \text{ 吋}$$

刷子弧長 $\dots\dots\dots 0.910 \text{ 吋}$ ，從公式 P

用0.75吋厚之刷子，以 30° 之傾斜角安放整流子面上，故其弧長 $= 0.87$ 吋。

刷子掩蓋之截片數.....3.1

每組刷子之安倍數 $= \frac{\text{總電流}}{\text{極數}} \times 2 = 334$

每方吋刷子接觸面之安倍數，假定為35

必需之刷子長度.....11吋

每一刷子柄上之刷子數，用六個刷子，每個 0.75×1.75 吋

整流子長度 $= 6(1.75 + 0.25) + 1 = 13$ 吋

內0.25為刷子與刷子間之空隙，1吋為端部之餘隙。

整流子之圓周速率.....每分鐘1830呎

刷子接觸面之總面積 $= 10 \times 6 \times 1.75 \times 0.87 = 91$ 方吋

整流子磨擦損失.....2100，公式R

每對刷子之電壓降.....2.5 弗打，公式H

接觸電阻損失 $\parallel 2.5 \times 1670 = 4200$ 瓦特

每方吋整流子面之瓦特數 $\parallel \frac{4200 + 2100}{\pi \times 35 \times 13}$

$\parallel 4.4$

整流子上之大約增溫 $\parallel 40^\circ\text{C}$ ，從第十七圖

若整流子增溫過高，則應用接觸電阻較低之刷子，但電阻低則整流不善，否則增加整流之散熱面亦可。

以上記錄今可填入下列之設計表中。

(6) 發電子及整流子設計表

發電子

整流子

外直徑.....	58吋	直徑.....	85吋
內直徑.....	3.5吋	面長.....	13吋
架長.....	12吋	截片數.....	400

端部通風溝	.....	2—1/2吋	截片及雲母之闊度	.....	0.275吋
中央通風溝	.....	3—1/2吋	雲母厚	.....	0.03吋
鐵心總長	.....	10.5吋	消蝕厚度	.....	1吋
鐵心實長	.....	9.45吋	刷子弧長	.....	0.87吋
線槽, 數目	.....	200	刷子柄數	.....	10
大小	.....	0.43吋 × 1.6吋	每柄上之刷子數	.....	6 ($\frac{3''}{4} \times 1 \frac{3''}{4}$)
每槽中之導線, 數目	.....	4	每方吋接觸面安培數	.....	37
大小	.....	0.14吋 × 0.55吋	圓周速率, 每分鐘呎數	.....	1830
線圈數	.....	400	磨擦損失, 瓦特數	.....	2100
每圈圈數	.....	1	每對刷子之電壓降	.....	2.5
導線總數	.....	800	接觸電阻損失, 瓦特數,	.....	4200
線捲式樣	.....	迴繞式	每方吋表面之瓦特數	.....	4.4

節距	1-20	增溫,攝氏度數	40
線槽距	0.91吋—0.86吋	每截片之平均弗打數	6
齒闊	0.48吋—0.43吋	交叉連接,每第四個線圈	
最大齒闊 槽闊	1.11	交叉連接線之大小,爲導線截面之半	
鐵心厚度	5.65吋	銅損失,整流作用	
磁極距	18.2吋	每吋安培線數	730
掩蓋百分率	0.7	每安培圓密爾數	560
每極最小齒面積	57方吋	導線長度	42吋
每極鐵心面積	53方吋	銅損失	10千瓦
表面的每極氣隙面積	153方吋	發電子中電壓降	$\frac{\text{損失}}{I_a} = 6$
密度,鐵損失,勵磁力		每極發電子安培培數	6700

無負載時每極磁線數.....	9×10^6
最大齒密度 (表面的), 158,000 線每方吋	
最大齒密度 (實在的), 150,000 線每方吋	
鐵心密度, 85,000 線每方吋	
氣隙密度 (表面的), 59,000 線每方吋	
重量, 齒部.....	385 磅
鐵心.....	2300 磅
周波率, 每秒周波數.....	1.66
鐵損失, 6450 瓦特 (齒部每磅損失 6 瓦, 鐵心每磅損失 1.8 瓦)	

(氣隙+齒部)之安培圈 每極安培圈	之比.....	1.24
反抗電壓.....		1.5
定額		
啓羅瓦特.....		400
無負載電壓.....		240
滿負載電壓.....		240
安培數.....		1670
每分鐘轉數.....		200
磁力負載 電力負載		670
輸出因數 = $\frac{\text{啓羅瓦特} \times 10^6}{\text{每分鐘轉數} \times D_a^2 L_a}$		= 5

氣隙距離·····	0.3吋
卡特係數·····	1.12
氣隙安培圈數·····	6200
齒部安培圈數·····	2080

第四章 電動機設計

(1) 設計程序——直流電動機之設計程序，完全與直流發電機同。

例——約略計算一直流並列電動機之大小，其額定值如下：

30匹馬力，120弗打，900轉每分鐘

大約效率

≈ 90百分數

滿負載電流

≈ 20.5安培

輸入啓羅瓦特數

≈ 25

安培導線數 $\parallel 0.19 \times 10^5$, 從第十六圖

每吋安培導線數 $\parallel 480$, 從第十五圖

發電子直徑 $\parallel 12.5 \mu$

表面的氣隙密度, B_g $\parallel 44,000$, 從第十四圖

架長, L_a $\parallel 7.3$, 從第三章公式 B

極數 $\parallel 4$, 從公式 C

極距 $\parallel 9.8 \mu$

每極磁線數 $\parallel 2.2 \times 10^6 = B_g \psi \tau L_a$

發電子面之導線總數 $\parallel 364$, 指迴繞式線捲

$\parallel 182$, 指直列波式線捲, 公式 D

反抗電壓 $\parallel 1.0$, 指全距迴繞線捲, 每圈一圈

$\parallel 2.0$, 指同樣之線捲, 每圈二圈

|| 2.0, 指直列線捲, 每圈一圈

線捲: 直列線捲價最賤, 因所用線圈, 較諸單圈之迴繞線捲, 只須半數, 其整流子截片亦祇半數, 且無須用均壓線也。

整流子直徑 || $0.75 \times \text{發電子直徑} = 9.5$ 吋, 公式 M

刷子弧長 || 0.61吋

刷子長度 || 5.0吋

每方吋刷子接觸面之安培數 || 35

作初步設計時, 宜先求磁極面積之約數, 然後觀其圓形截面, 是否適合於已選定之發電直徑及架之長度。

極中之磁線數 || $\phi_a \times \text{漏磁因數}$

$= 2.2 \times 10^6 \times 1.25$ 約

$= 2.75 \times 10^6$ 約

磁極面積假定磁極密度爲每方吋

95,000線

$$= \frac{2.75 \times 10^6}{95000}$$

$$= 29 \text{ 方吋}$$

磁極圓截面之直徑

＝6吋，此數可適用於7.3吋之架長。

發電子設計

外直徑

＝12.5吋，從初步設計

架長

＝7.3吋，從初步設計

中央通風溝

＝2—0.375吋闊

架長中之鐵心總長

＝6.55吋

架長中之鐵心實長

＝5.9吋

發電子面導線總數

＝182，從初步設計

線捲每極最少之線槽數＝12，公式F，故：

最少之線槽總數 $\parallel 48$

如用直列線捲，線槽數應 $\parallel \frac{K-P}{2} + 1$ ，故最近之適當數 $\parallel 49$

每槽導線數 $\parallel 4$

線圈數 $\parallel 98$ 內一個係無用之假線圈

整流子截片 $\parallel 97$

線捲 \parallel 單圈直列式

反抗電壓 $\parallel 2.1$

有用之導線數 $\parallel 194$

此項設計之其餘部分，與第三章第 5 節同，最後結果可列表於下。

(2) 發電子及整流子設計表

發電子

整流子

外直徑..... 12.5吋 直徑..... 9.5吋

內直徑	6.0吋	面長	6.75吋
架長	7.0吋	截片數	97
端部通風溝	無	截片及雲母厚度	0.308吋
中央通風溝	2- ⁸ / ₁₆ 吋	雲母厚	0.03吋
鐵心總長	6.25吋	消蝕度	0.5吋
鐵心實長	5.6吋	刷子弧長	0.58吋
線槽, 數目	49	刷柄數	4
大小	0.4吋 × 0.92吋	每柄刷子數	8 (1/2吋 × 1 ³ / ₄ 吋)
每槽導線, 數目	4	每方吋接觸面安倍數	35
大小	0.12吋 × 0.32吋	圓周速率, 每分鐘呎數	2240
線圈數	98 (其一無用)	磨擦損失, 瓦特數	340
每圈圈數	1	每對刷子之弗打數	2.0

導線總數.....	194	接觸電阻損失, 瓦特數.....	416
線捲, 直列式節距	1-13	每方吋表面瓦特數.....	3.75
槽距.....	0.8吋及0.685吋	溫度增高.....	35°C
齒闊.....	0.4吋及0.285吋	每截片之平均電壓.....	5.0
最大齒闊	1.0	交叉連接線.....	無
齒闊	1.0	交叉連接線大小.....	無
鐵心厚度.....	2.33吋	銅損失, 整流作用	
極距.....	0.8吋	每吋安培導線數.....	515
掩蓋百分率.....	0.7	每安培圓密爾數.....	470
每極最小齒面積.....	13.7方吋	導線長度.....	25吋
鐵心面積.....	13方吋	銅損失, 瓦特數.....	1070
每極表面的氣隙面積.....	48方吋	發電子中之電壓降.....	5.1
密度, 鐵損失, 勵磁力			

每極磁線數.....	2.07 × 10 ⁶	每極發電子安培圈數.....	2600
最大齒密度 (表面的), 每方吋	150,000 線	(齒部十氣隙) 安培圈數之比.....	1.35
最大齒密度 (實在的), 每方吋	142,000 線	每極發電子安培圈數	
鐵心密度,	每方吋 80,000 線	反抗電壓.....	2.05
表面的氣隙密度,	每方吋 43,000 線	定額	
重量, 齒部.....	24 磅	馬力.....	30 匹
鐵心.....	96 磅	弗打數.....	120
周波率.....	30 周波	安培數.....	208
鐵損失.....	630 瓦特	每分鐘轉數.....	900
氣隙長度.....	$\frac{3}{16}$ 吋	磁力負載之比.....	400
卡特係數.....	1.2	電力負載	
氣隙安培圈數.....	3000	輸出因數.....	2.5

齒部安培圈數..... 500

(3) 電動機對於各種電壓及速度之定額——設有一開露式之並列電動機，其定額為30匹馬力，120弗打，208安培，每分鐘300轉，其構造如下：

發電機

外直徑.....12.5吋

架長..... 7.0吋

線槽，數目..... 49

大小..... 0.4吋×0.92吋

每槽導線，數目..... 4

大小..... 0.12吋×0.32吋

線圈數..... 98，內一個無用

線捲，單圈直列式

整流子

直徑.....	9.5吋
面長.....	6.75吋
截片數.....	97

今該機擬照下列之定額，爲之作發電機之設計：

500 弗打，950 轉

220 弗打，1200 轉

220 弗打，500 轉

求線捲——以上諸機，若欲用同一之磁極，軛，及發電機各部，則其每極磁線數必須相同。

$$E = Z\phi_a \frac{\text{每分鐘轉數}}{60} \times \frac{\text{磁極數}}{\text{路數}} \times 10^{-8}$$

$$= \dots \text{路數} \left(\frac{Z \times \text{每分鐘轉數}}{\text{路數}} \right)$$

今用上列公式設計，可列表如下：

A	B	C	D
120	500	220	220
900	950	1200	600
單圈直列 (— 無用)	單圈直列 (— 無用)	單圈直列	單圈直列
2	2	2	2
194有用	782有用	265有用	530有用
49	49	53	53
1	16	5	10
97	391	不能繞成	265

在上表B項中，用單圈直列之整流子截片數，多至391，若用9.5吋直徑之整流子，一片銅截片及一片雲母之厚度，僅有0.077吋。此數實屬太小，且以如許薄片合成之整流子，於整流恐難完善。

如用雙圈直列線捲，則僅需半數之截片，但反抗電壓則增加二倍，或須改用高電阻之刷子。此事須待求得電流定額及反抗電壓後，方可決定。

在○項中，用單圈直列線捲所需之導線數為295，故不能用49個線槽，必須另行設計一發電子擊片。按每極最少線槽為12，故線槽總數為48。如用63線槽，每槽4線之線捲，亦可，惟槽太狹，齒部太弱。但若改53槽，每槽五線之單圈直列線捲，則不適用，因每槽導線數須為2之倍數，方可作雙層之線捲。惟改用單圈之迴繞線捲，則可用53槽，每槽10線。

求槽之大小——欲每機皆用同一之齒部密度，則每極之槽面積不可變更。原機共有49槽，每槽闊0.4吋；如用53槽，則槽必轉狹，其闊度

$$= \frac{0.4 \times 49}{53}$$

$$= 0.3711 \text{吋}$$

槽之深淺不變，故鐵心密度仍舊。

求導線之大小——欲從此機得最大可能之定額，則槽中之導線必須增至最大，以至使線圈不能裝入槽中為度。

導線之大小，列成下表：

線槽大小	每槽導線數	導線之大小
0.4×0.92	4	0.12吋×0.32吋
0.4×0.92	16	B.&S.線表第11號
0.37×0.92	10	B.&S.線表第9號
0.37×0.92	10	B.&S.線表第9號

求安培定額——每一導線中之電流，須照每吋安培導線數與每安培圓密爾數之比率計之。此比率不可超過從第十七圖求得之值，茲將求法列表於下：

每分鐘轉數	圓周速率	每吋安培導線數 每安培圓密爾數	總導線數	導線大小
900	每分鐘2950呎	1.07 從第十七圖	194	0.12"×0.32"
950	每分鐘3100呎	1.12 從第十七圖	780	B.&S.第11號
1200	每分鐘3920呎	1.32 從第十七圖	530	B.&S.第9號
600	每分鐘1960呎	0.83 從第十七圖	530	B.&S.第9號

每線安培數	每吋安培導線數	每安培圓密爾數
104	515	470
21.5	430	380
36	490	365
28	380	470

電動機之馬力求之如下：

弗打數	安培數	假定效率	馬力匹數	反抗電壓
120	208	0.89	30	2.05
500	43	0.89	25	3.6
220	144	0.89	37.5	1.3
220	56	0.87	14	1.0

關於定額之討論——若磁線之數不變，則每一導線之電壓，與速度成正比。

發電子中之總電流量 \parallel 發電之中銅線之總截面 \times 該截面中之電流密度。

輸入電動機之總電量 \parallel 每一導線之弗打數 \times 總電流量，故與每分鐘旋轉數 \times 銅線總截面 \times 電流密度之乘積成正比。故在高壓之電動機，其導線總數甚多，而線槽之地位因數 (space factor) (即槽中銅線截面與線槽總截面之比) 甚小，與低壓之電動機，機架與前相同者較，其銅線之總截面較小，故其定額亦較低。

在速度極低之電動機，導線數必大，極可發生所需之電壓，其電流密度甚低，因通風不善故；因有此種理由，其定額之減低，必甚於速度之比例。

(4) 效率之計算——今欲依據第2節之設計記錄，計算該機之效率。但計算之前，必須先求磨擦損失及勵磁損失。

承軸大小， $2.5 \text{ in} \times 6.25 \text{ in}$

承軸磨擦速率在每分鐘 300 轉 $\parallel 1.91$ 呎每分鐘

$$\text{磨擦損失} = 0.81 d_b l_b \left(\frac{V_b}{100} \right)^3 \text{ 瓦特}$$

內 d_b 爲承軸直徑 = 2.5 吋

l_b 爲承軸長度 = 6.25 吋

V_b 爲磨擦速率 = 590 呎每分鐘

故兩個承軸之磨擦損失 = $2 \times 0.81 \times 2.5 \times 62.5 \times (5.9)^3 = 360$ 瓦特

勵磁損失之約數可求之如下：

(氣隙十齒部) 之安培圈數 = 3000 + 500 = 3500, 從上設計表

大約勵磁力 = $3500 \times 1.25 = 4400$ 安培圈

$$\text{磁場圈長度 } L_f = \frac{\text{安培圈數}}{1000} \sqrt{\frac{\text{平均圈長}}{\text{外周} \times \text{每方吋瓦特數} \times d_f \times \text{sl.} \times 1.27}}$$

內磁極直徑

= 6 吋, 從初步設計

d_f

= 2 吋, 價定

平均圈長 = 25吋

外周 = 31吋

每方吋瓦特數 = 0.8, 從第二章第五圖

空間因數 = 0.65, 約, 從第二章第七圖

故對於4100安培圈之 I_r = 3.5吋

勵磁損失 = 線圈之外表面 × 每方吋瓦特數 × 線圈數

$$= 31 \times 3.5 \times 0.8 \times 4$$

$$= 350 \text{ 瓦特}$$

故損失總數爲

承軸摩擦損失 = 360瓦特

勵磁損失 = 350瓦特

鐵損失 = 630瓦特, 從設計表

發電子銅損失 = 1,070瓦特, 從設計表

整流子磨擦損失 = 340瓦特, 從設計表

整流子電阻損失 = 416瓦特, 從設計表

總損失 = 3166瓦特

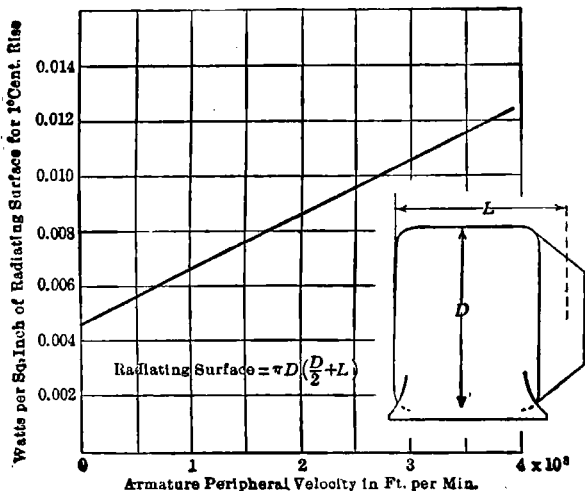
輸出量(=30匹馬力) = 22,400瓦特

輸入量 = 25,566瓦特

效率 = 88百分數

(5) 封閉式電動機之定額——從實驗

上證的, 凡完全封閉之電動機, 其線圈及鐵心之增溫, 與總損失成正比(惟磨擦損失不在內, 因此項發熱, 大約沿動軸傳出, 而從皮帶盤上發散也) 而與此損失之分配方法無關。此項增溫, 又



第十九圖——封閉電動機之發熱曲線

與外表之散熱面積成反比，其與發電機外周速率之關係，見下第十九圖。

在本章上之所論之電動機中，其軛之外直徑 = 28吋

其機架之軸心長度

$$= 24\text{吋約}$$

外表面積

$$= 3340\text{方吋；見第十九圖}$$

除承軸磨擦外之總損失

$$= 2800\text{瓦特，在 } 30\text{ 匹馬力之負載，見上節}$$

每方吋瓦特數

$$= 0.85$$

大約增溫

$$= 80^{\circ}\text{C}$$

欲減低增溫，必須減小定額，庶可將損失減少。故宜將馬力減少，使輸入之電流小，將速度增高，則磁線減少，於是鐵心損失及勵磁損失二項，均可減少矣。

今將上述之機，減其馬力百分之三十，增速度百分之二十，則其損失將變更如下：

勵磁損失與安培圈成正比，今磁線因速度之增而減，則此項損失自可隨之減去百分之二十。鐵損失隨密度及周波率二者而變，今密度減低百分之二十，周波率增高百分之二十，其損失

增減與否，可從下第二十圖求之。

發電機銅損失，與電流之平方成正比，今因馬力減

小，故較原值減至 $\frac{1}{(1.3)^2}$ 。

刷子磨擦之損失，因刷子面積減小，故減去百分之

三十，但因速度增加，故亦增加百分之二十。

接觸電阻損失，與電流成正比，因刷子中之電流密

度不變，而每對刷子之弗打數亦不變故也。

故以上各項損失應如下列：

30匹馬力900轉

勵磁損失

350

23匹馬力1080轉

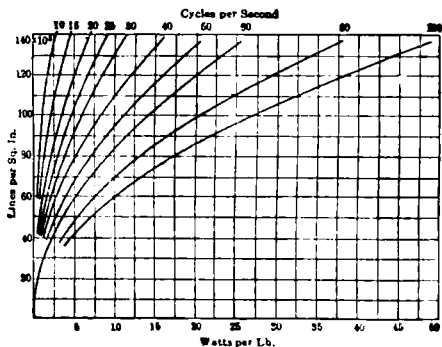
290

鐵損失

630

580

每 秒 周 波 數



第二十圖——鐵心損失曲線

發電子銅損失	1070	630
整流子磨擦損失	340	315
接觸電阻損失	416	320
總損失	2806	2135
每增溫 1°C 每方吋瓦特數	$= 0.0105$	0.0118 , 從第十九圖
散熱面方吋數	3340	3340
每方吋瓦特數	0.84	0.64
大約增溫	80°C	55°C

(6) 電動機之各種規定——以下各項規定，為製造小電動機之各廠家所公認，由此可知電動機在各種運用狀況下所作之工作。

繼續運用，定速，開露式之並列電動機——此等電動機之普通溫度擔保，為繼續作滿負載工作後，以溫度表量之，增溫不過 40°C ，又在滿載工作後，立即續加百分之二十五之過負載，運走二

小時後，增溫不過 55°C 。

關於整流作用之擔保，為該機自無負載至百分之二十五之過負載，在全部運用範圍以內，不發生損害之火花，亦無須移轉刷子之位置。

繼續運用，定速，網罩式之並列電動機——此機用鑿孔之鋼蓋，罩於外部，故空氣流通較滯，其增溫較開露式不得較高百分之二十。

繼續運用，定速，封閉式之並列電動機——關於此機之溫度擔保，為該機作滿載運走後，內部之增溫不過 65°C 。關於過負載之增溫，則鮮有擔保者。

故凡標準之封閉式電動機，咸將馬力定額減低百分之三十，以減少輸入之電流，其速度與增加百分之二十，以減少每極之磁線數，並減少鐵損失及勵磁損失。如此方可使增溫在擔保限度以內。

用於升降機之開露式複捲電動機——此機之普通溫度擔保，為作滿負載運走一小時後，增溫不過 45°C ，又在滿負載運走後，立加百分之五十之過負載，在一分鐘以內不至損害。

欲得此定額，可將標準之開露式電動機，增其定額約百分之二十。其複式磁場，約抵滿負載時總磁力之百分之三十，故其起動電流，較同額之並列電動機為小。用作升降機時，刷子須安於中央地位，庶兩方向均可同等運用。

用於起重機之全閉式直列電動機——關於此之普通溫度擔保，為作滿負載運用經半小時後，機內增溫不過 55°C ，又在滿載運用後，立即加百分之五十之過負載，在一分鐘以內不受損害。欲得此定額，可將標準之開露式電動機，倍其尋常定額。

起重電動機運用時，其刷子亦安於中央地位。

起重機用之開露直列電動機——此機之普通溫度擔保，為作滿負載運走，經一小時後，增溫不過 55°C ，又在滿載運用後，立即加百分之五十之過負載，在一分鐘以內，不受損害。

欲得此定額，可將標準之開露電動機，倍其定額。

此機運用時，其刷子亦置於中央地位。

用於機器廠中之變速電動機——此機之大小，全恃乎發出定額工率所必要之最低速度，因

如車床等一類之機器，在各種速度，皆需同等之馬力故也。既確定最低速度後，其最高速度，即為圓周速率或反抗電壓過高之點。若速度已增至反抗電壓過高之限度，但尚未至圓周速率發生危險之限度，則尙可增高其速度，此時即可採用中間磁極 (Interpole)，以增加其變速之範圍矣。

第二編 交流電機

第五章 交流電機構造

第二十一圖表示普通交流電機之構造；此機名旋轉磁場式。

(1) 靜心器——在旋轉磁場式之交流機中，其靜心器為發電子。圖中 \square 為靜心器之鐵心，以 0.04 吋厚之薄鋼片合成，各片之間塗漆，使互相絕緣，乃裝於一鑄鐵之圓軛 \triangleright 之內部。此等鋼片之內周，皆鑿有線槽 \circ ，內裝靜心線圈 \cup 。圖中所示之槽，為開口式。此式之優點，在線圈裝入槽內之前，可以完全絕緣，且易於修理，此則非封閉式之線槽可及也。

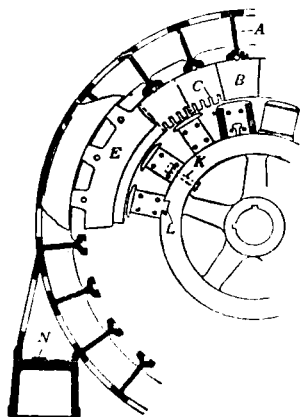
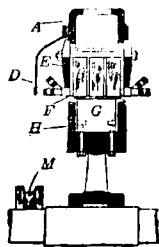
靜心器之鐵心，分成數段，中隔白通之通風片，成通風溝，令空氣得自由流入機中，以散其熱。溝

與溝之相距約三吋，溝闊半吋。

靜心器之分片及通風溝中之分隔片，皆夾於二個鑄鐵之圓環中。若齒甚長者，則用堅強之指狀物，夾於圓環及鑿片之間，使齒部堅固。

若靜心器之外直徑在三十吋以內，則其鑿片往往鑿成整個之環狀；若大過三十吋，則分數片拼合之，見上第二十一圖，而以鴿尾形之接榫，裝於軌上；前後二層之鑿片，互將斷裂處掩蔽，使鐵心益臻堅強。

(2) 磁極及磁場環——在靜心器之內，有一旋轉之磁場系，名旋轉器 (rotor)。磁極 G 上裝有勵磁線圈，用一外來之直流電源，輸入線圈中，以



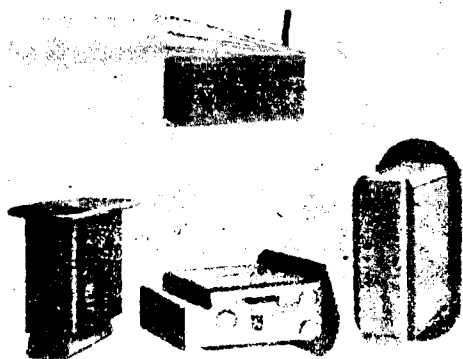
第二十一圖——旋轉磁場式交流發電機

發生磁力。

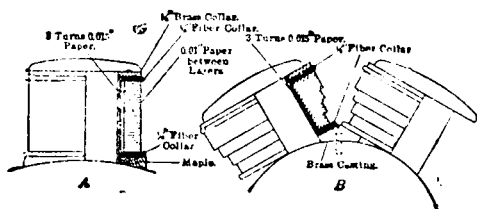
勵磁之電壓，與發電機之終端電壓無關，且此電壓甚低，俾勵磁之電流較大，線圈之圈數可以減少。

普通之勵磁電壓不過 110 弗打，其所用磁場線圈，除小機外，以扁銅帶屈折澆成，見第二十二圖；銅帶各層之間，以 0.01 吋厚之紙爲絕緣，此整個線圈乃裝於極上，並與磁極絕緣，見第二十三圖。在小機中，勵磁損失較小，故用 120 弗打之勵磁電壓，則上述之扁帶線圈爲不合用，因線之截面太小，線圈圈數太多，應改用雙層紗包之方線，如第二十三圖 B 所示；圈形上闊下狹，令空氣得自由流通其間。

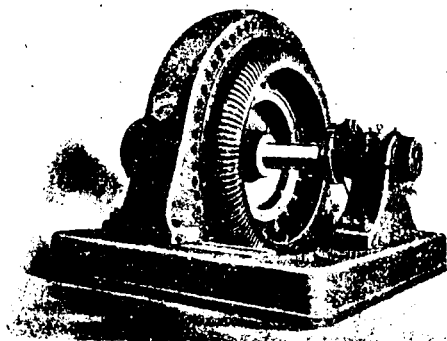
按交流機中磁極之數目，乃依其速度及周波率規定之，其數目既多，自不能採用圓形之磁極，故其截面多作長方形，如第二十二圖所示。其磁極用 0.025 吋厚之鋼板鑿，然後以鉸釘集合於二



第二十二圖 一種磁極及磁場線圈



第二十三圖 —— 交流機磁場線圈



第二十四圖 —— 旋轉磁場之交流機

塊鑄鐵板之間。

磁極之裝於磁場環上，亦用鉸釘，見第二十一圖之R點，或用鴿尾式之鍵，如L點；如用此法則應以尖劈形之鍵從兩面釘入，使其堅實。

勵磁電流之輸入旋轉之磁場圈中，須經過二個刷子，置於鑄鐵或鑄白銅之環上。環則裝於動軸上，而與軸絕緣，見第二十一圖M點。刷子普通以自動潤滑之軟炭精爲之，每方吋能負電流約七十五安培。

交流機之靜止子，鮮有分裂數片者，唯除大機，爲裝運便利故，則分裂之。靜止子之全體，以能沿軸心線在底部板上可以移動者爲宜，庶使內部之線捲可以隨時檢查。在N點所示之鍵，卽爲較正位置之用。

第二十四圖表示1000開維愛（卽一千弗安）之交流機，用水輪拖動，本章所述卽指此也。

第六章 旋轉磁場設計

本章所欲解決之問題，乃從已知之交流機發電子及其額定值，而設計其全部之旋轉磁場也。

(1) 勵磁力——第二十五圖表

示一交流機之數種飽和曲線：

對於某線端電壓所需之勵磁力，為

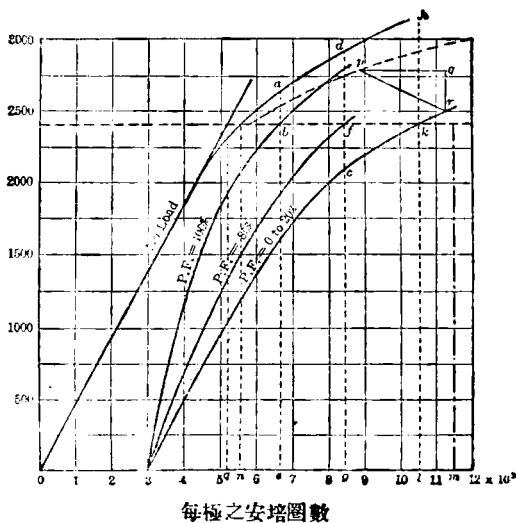
|| O H 在無負載時

|| O G 在滿負載及單位工率因數

|| O Q 在滿負載及百分之八十五之

工率因數

線 端 電 壓



第二十五圖——400千弗安，2400弗打，3相，60周波，600轉交流機之飽和曲線。

|| 在滿負載及零值之工率因數

最大勵磁電流 ||

勵磁電壓
 $\frac{\text{磁場線圈發熱時之電阻}}{\text{又}}$

最大勵磁力 || 最大勵磁電流 \times 每極磁場線圈數 || cm

磁場線圈之幅射面積宜大，務使以 og 之勵磁力，而溫度之升高，不超過攝氏表 50 度，此為普通之完全限度。

其最大勵磁力 oh 亦應提高，務使交流機在各種負載，皆能發出規定之電壓，及實際上所需之工率因數。若最大勵磁力等於 o ，其力足以維持規定之電壓於滿負載及零值工率因數，則在各種過負載及各種工率因數，皆可得充分之電壓矣。

磁場阻力之值，宜在規定之勵磁電壓，可得最大之勵磁力 om 。

在普通機中之 $\frac{om}{og}$ 比值，約為 1.25 ，故在勵磁力 og 時，溫度增高 $40^{\circ}C$ ，則在勵磁力 om 時，溫度應增 40×1.25^2 ，即等於 $62^{\circ}C$ 。故磁場線圈常依勵磁力 om 設計之，其增溫為 $65^{\circ}C$ 。

(2) 設計磁場線圈之程序——(a) 求最大勵磁力 $A_{T_{max}} = 3$ (每磁極之發電安培圈數) 以此為第一步之約計

(b) 從下式求磁場圈線之截面 M ,

$$M = \frac{A_{T_{max}} \times \text{平均圈長}}{\text{每圈之弗打數}}$$

參看第二章第2節

式中每線圈之弗打數 \parallel $\frac{\text{勵磁電壓}}{\text{磁阻數}}$, 又平均圈長可依下法求之;

$$\phi \parallel \text{每磁極經過空氣隙之磁線數} = \frac{E \times 10^8}{2.2kZf}$$

式中 E 為線端電壓, Z 為每相直列之導線數, f 為周波率, k 為分佈因數 (distribution factor), 可從下表求之:

每相每極之

分佈因數

線槽數

二相

三相

1	1.0	1.0
2	0.924	0.966
3	0.911	0.96
4	0.906	0.958
5	0.903	0.956

又假定漏磁因數為 1.2, 爲第一步之約計, 求

磁極面積 $= \frac{\phi_a \times l_f}{\text{磁極密度}}$, 式中之磁極密度, 在規定電壓及周波率及在無負載時, 作爲每方吋

95,000 線, 約在飽和點上。而磁極面積又 $= 0.95 \times L_p \times W_p$ 。

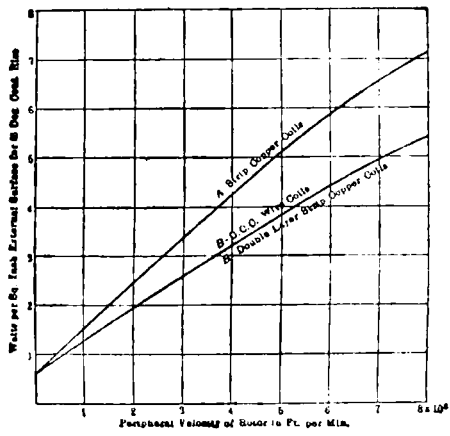
L_p 爲磁極之軸心線長度, 較架長短 0.5 吋, 令旋轉子得自由擺動。 W_p 爲極之闊度。由此即可約略求得平均圈長之值矣。

(c) 從下式求磁場圈幅射線長度 L_l ,

$$L_1 = \frac{AT_{\max}}{10000} \sqrt{\frac{MT \text{ (即平均圈長)}}{\text{外周} \times \text{每方吋瓦特數} \times d_1 \times \text{sf.} \times 1.27}}$$

此式見第二章第3節，內外周係從磁極長闊度約略求得。其每方吋瓦特數則從二十六圖求之。此圖係測驗某種交流機所得之結果，該機之構造，與前章第二十一圖相似，其磁場線圈則與第二十三圖同。

ρ 為線圈之厚度，應依最經濟之構造而定之。在第二章第4節中，已說明 ρ 之值愈小，則磁場圈銅線之成本愈低， ρ 愈長，則磁極愈貴。其最經濟之厚度，可以試探法求之，惟亦可用下列之數值，作為第一步之約計：



第二十六圖——旋轉磁場式交流機中磁場線圈之發熱曲線

極距	磁場圈厚度	
	60周波	25周波
5吋.....	0.6吋	.....
10吋.....	0.75吋	1.0吋
15吋.....	1.0吋	1.25吋
20吋.....	.....	1.5吋
30吋.....	.....	2.0吋
40吋.....	.....	2.5吋

以同一之極距言，60周波之交流機之圓周速率，自較25周波之機為高，故其幅射面積可以減少，而勵磁力仍相等，即磁極可使短小。上表中之數值，係指扁銅帶之磁場線捲；若用雙層紗包線，則上之厚度宜增加約百分之二十。因此種線捲之空隙因數甚小，且遇必要時，線圈應作上闊下狹形，

如前章第二十三圖所示。

(d) T_1 爲裝入 d, L_1 空間中築圈數，其線之大小則係預定。

(3) 飽和曲線之計算——第一步應先求空氣隙之闊度，其法如下：初求此氣隙每極所需之安培圈約數，在無負載及在規定電壓，即第二十五圖中之 $oq \parallel o1 - 1q$ ，約

$$= A T_{\max} - 1.5 \text{ (每極之發電子安培圈數。)}$$

按每極之磁線數及機之大小均有規定，故其外似的氣隙密度及氣隙闊度，可從下式求之

$$\text{外似的氣隙密度} = \frac{\text{磁隙中每極之磁線數}}{\tau \times \psi \times L_1}$$

$$\text{氣隙之安培圈數} = \frac{\text{外似氣隙密度} \times \delta \times O}{3.2}$$

今乃依比例尺繪磁路圖，其漏磁因數及無負載飽和曲線即可計算矣。

在滿負載及零值工率因數時之漏磁因數

$$= 1 + 0.1m \left(\frac{AT_{g+e} \text{ 每極之減磁安培圈數}}{AT_{g+e}} \right)$$

內 m 爲無負載漏磁因數，又

每極之減磁安培圈數 $\parallel 0.35 \times$ 每極導線數 $\times I$ 。

用上述之滿負載漏磁因數，計算一新的無負載飽和曲線，然後繪成曲線，即第二十五圖之虛線是也。

次求每一相之電抗，作 p_{qL} 之三角形，然後繪一零工率因數之滿負載飽和曲線。

在其他工率因數之滿負載飽和曲線，再設法求之，從此諸曲線，即可算得在各種工率因數之調整率 (regulation)。

若從此諸曲線求得之調整率，等於所需之調整率，或較此稍佳，則磁場設計之能事畢矣。若求得之調整率較所需者過佳，則此機無須如此糜費成本，應依下法改正之：

a. 可將氣隙改小，庶勵磁力減低，線圈銅線之成本亦減。

b. 將發電子之設計改變，增加 q 之值，即增加每吋之安培導線數。若導線之總數增加，則每極之磁線數可減少，且以同等之齒密度，及以每極磁線數之減少，發電子之直徑或長度，或此二者，必當減小；今欲令其裝入增多之安培導線數於每吋外周上，則應作較深之線槽。如此改變，可增加發電子之反抗及發電子之電抗，令調整率劣弱，但機之成本則減低矣。

若從此諸曲線求得之調整率，劣於所需者，則此機應依下法改進之：

c. 可將氣隙增加，使所需之勵磁力加大，並增加銅線之成本。

d. 或減小氣隙而增加磁極之截面，俾磁極之密度加大，令飽和曲線彎曲。惟此法頗為冒險，非將機內所用之各種材料，精密的測驗其透磁率 (permeability) 不可，如不合標準者，應棄而不用。若材料之透磁率低於標準值，則該機在低公率因數之各負載時，即不能發出相當之電壓。

e. 可將發電子改換設計，即減少每吋之安培導線數 q ，其效果與 b 節中所述者相反，機之成本較貴，而調整率則較善矣。

例——1 410 千弗安，2400 弗，96 安，3 相，60 波，600 轉之旋轉磁場式交流機，其發電子構造如

下：

磁極數	12
內直徑	43吋
長度	12.25吋
中央通風溝	3—0.5吋
每極線槽數	6個開口式
每極線槽大小	0.75×2.0吋
每槽導線數	12
連接法	Y
勵磁電壓	120

今欲設計其旋轉磁場：

每極之發電子安培圈數

$$\parallel \text{每極線槽數} \times \frac{\text{每槽導線數}}{2} \times 1.$$

$$\parallel 6 \times 6 \times 96$$

$$\parallel 3450 \text{ 安培圈}$$

$$AT_{\max} \parallel \text{最大勵磁力} \parallel 3 \times 3450$$

$$\parallel 10,400 \text{ 安培圈約數}$$

$$E \parallel \text{每相電壓} \parallel \frac{2400}{1.73}, \text{ 因連接法爲 Y}$$

$$\parallel 1380$$

ϕ_p 每極磁線數

$$\parallel \frac{1380 \times 10^8}{2.22 \times 0.96 \times \frac{72 \times 12 \times 60}{3}}$$

$$\parallel 3.8 \times 10^6$$

$$L \parallel \text{漏磁因數, 假定爲} \parallel 1.2$$

$$\text{磁極面積} = \frac{3.8 \times 10^6 \times 1.2}{95,000}$$

$$= 48 \text{ 方吋}$$

L_p = 磁極之軸心長度，令較架長短 0.5 吋 = 11.75 吋。

$$W_p = \text{磁極闊度} = \frac{48 \text{ 方吋}}{0.95 \times 11.75}$$

$$= 4.25 \text{ 吋}$$

D ，磁場圈之厚度 = 0.75 吋，從本章第 2 節表中求得。

$$MT = \text{平均圈長} = 2(11.75 + 4.25) + \pi \times 1.25$$

$$= 36 \text{ 吋}$$

磁場圈之外周 = 38 吋

$$M, \text{磁場線之截面} = \frac{10,400 \times 36}{10}$$

≡ 37.500 圓密爾

≡ 0.03 方吋

≡ 0.04 × 0.75 (扁銅帶, 依邊部繞之)

增溫 30°C 時每方吋瓦特數 ≡ 6.3 見前第二十六圖

$$B_1 \text{ 空隙因數} = \frac{0.04}{0.04 + \text{絕緣物厚度}}$$

≡ 0.8 用紙絕緣, 紙厚 0.01 吋

$$L_1, \text{ 磁場圈之輻射長度} = \frac{10,400}{1000} \sqrt{\frac{36}{38 \times 6.3 \times 6.75 \times 0.8 \times 1.27}}$$

≡ 4.75 吋

$$T_1, \text{ 每極線圈圈數} = \frac{4.75}{0.05}$$

≡ 95 圈

最大勵磁電流

$$= \frac{AT_{\max}}{T_i}$$

$$= \frac{10,400}{95}$$

$$= 110 \text{ amperes}$$

勵磁機之最大輸出量

$$= 120 \times 110$$

$$= 13 \text{ 啓羅瓦特}$$

$$= 3.25\% \text{ (額定之弗安數)}$$

 AT_g 在規定電壓及無負載時每極之氣隙安培圈數

$$= AT_{\max} - 1.5 \times \text{每極發電子安培圈數, 約計}$$

$$= 10,400 - 1.5 \times 3450$$

$$= 5200 \text{ 安培圈}$$

ϕ 磁極掩蔽度, 以 0.65 平均數; 若極弧太大, 則極之漏磁甚巨, 漏磁因數甚高。

$$B_g, \text{ 外似的氣隙密度} = \frac{3.8 \times 10^6}{11.25 \times 0.65 \times 12.25}$$

$$= 42.500 \text{ 線每方吋}$$

$$s \times C = \frac{5200 \times 3.2}{42500}$$

$$= 0.39 \text{ 吋}$$

$C =$ 卡特係數 (Carter coefficient) $= 1.12$

$s =$ 空氣隙吋數 $= 0.35$

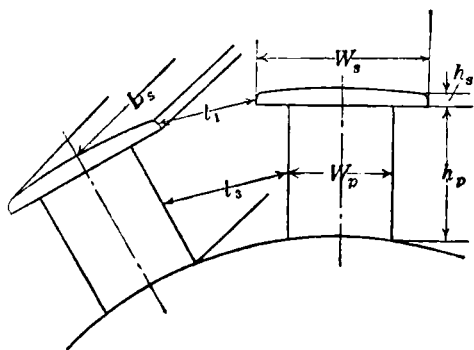
漏磁因數之計算如下:

在第二十七圖中, $r_s = 1 \text{ 吋}$

$$L_g = 11.75 \text{ 吋}$$

$$l_1 = 3.8 \text{ 吋}$$

$$W_s = 7.0 \text{ 吋}$$



第二十七圖 磁極大小

$$h_p = 5.25 \text{ 吋}$$

$$L_p = 11.75 \text{ 吋}$$

$$l_g = 5.25 \text{ 吋}$$

$$W_p = 4.25 \text{ 吋}$$

$$\text{又 } \phi_{g1} = 13 \times AT_{g+t} \times \frac{1 \times 11.75}{3.8} = 40AT_{g+t}$$

$$\phi_{g2} = 19 \times AT_{g+t} \times 1 \times \log_{10} \left(1 + \frac{\pi \times 7}{2 \times 3.8} \right) = 11AT_{g+t}$$

$$\phi_{g3} = 6.5 \times AT_{g+t} \times \frac{5.25 \times 11.75}{5.2} = 77AT_{g+t}$$

$$\phi_{g4} = 9.5 \times AT_{g+t} \times 5.25 \times \log_{10} \left(1 + \frac{\pi \times 4.25}{2 \times 5.2} \right) = 18AT_{g+t}$$

$$\text{又 } \phi_e \parallel \text{每極總漏磁} = 146AT_{g+t}$$

AT_{g+1}之值 = 5200 安培圈約，因交流機中齒部密度甚低，故齒部之安培圈數，在此處可以略去也。

$$\text{故 } \phi_c = 146 \times 5200 = 760,000$$

$$\text{又無負載漏磁因數} = \frac{3.8 \times 10^6 + 760000}{3.8 \times 10^6}$$

$$= 1.20$$

在零工率因數之滿負載漏磁因數

$$= 1 + \left(0.2 \times \frac{5200 + 0.35 \times 6 \times 12 \times 96}{5200} \right)$$

$$= 1.3$$

磁面積如下：

$$r = \text{極距}$$

$$= 11.25 \text{ 吋}$$

$$\psi = \text{百分數掩蔽度}$$

$$= 0.65$$

L_g = 鐵之總長

= 10.75吋

L_p = 鐵之實長

= 9.6吋

A_g = 外似的氣隙面積

= 90方吋

C = 卡德係數

= 1.12, 已求得

A_p = 每極最小齒面積

= $6 \times 0.65 \times 1.13 \times 9.6$

= 42.3方吋

無負載電壓.....	2400	2700	3000
每極磁線數.....	3.8×10^6	4.28×10^6	4.75×10^6
漏磁因數.....	1.2	1.2	1.2
氣隙.....	0.35	$\frac{90}{1.12}$	42,500
齒.....	2.0	42.8	90,000
磁極.....	6.0	47.5	56,000
每極安培圈總數.....	5575	825	5200
			50
			101,000
			108,000
			100
			112,000
			120,000
			5850
			100
			112,000
			960
			120,000
			6500
			220
			2280
			8910
			9000

欲從滿負載漏磁因數，求得無負載飽和曲線之數值，必須重新計算磁極之勵磁力，用 1.3 爲漏磁因數；氣隙與齒皆無關係。

磁極.....	6.0	47.5	105,000	770	119,000	2220	132,000	5200
每極安培圈總數.....	.....	.....	.....	60%	.....	8170	.....	11,920

第二十五圖中之無負載飽和曲線，即用前一組之數值繪成，其虛線之曲線則用後一組數值，此係用滿負載漏磁因數之無負載飽和曲線。

在上面之計算中，鐵心及旋轉之磁場環均未計入，因此二物中之磁線密度甚低，蓋鐵心甚大，足以減低溫度之增加，環亦頗粗，甚堅固也。

每相之電抗可以下法求之：

$$\frac{\phi_e L_e}{2} = 5.3 \times 3 = 16$$

$$\phi_e = \frac{3.2}{2} \left(\frac{1.75}{3 \times 75} + \frac{0.25}{0.75} \right) = 1.7$$

$$\phi_{in} = 2.35 \log_{10} \left(1 + \frac{\pi \times 1.13}{2 \times 0.75 + 1.13} \right) = 0.87$$

$$\phi_{rp} = 3.2 \times \frac{1.13 \times 1.12}{2 \times 0.35} = 5.8$$

$$\phi_l = 0.52 \times 0.87 + 0.42 \times 5.8 = 2.9$$

每相之電抗

$$= 2 \times \pi \times 60 \times 12^2 \times 2^2 \times 12 (16 + (1.7 + 2.9) \times 12.25) 10^{-8}$$

$$= 1.88 \text{ 歐姆}$$

每相電壓降 = 1.88 × 96

$$= 180 \text{ 弗打}$$

在端部之電壓降 = 1.73 × 180

$$= 310 \text{ 弗打, 因線捲係 Y 連接}$$

$$= 12.9\% \text{ 規定電壓}$$

每極之減磁安培圈數 $= 0.35 \times 6 \times 12 \times 96$

$= 2420$

與此相配之磁場電流 $=$

$\frac{2420}{\text{每極磁場圈數}}$

$= 25.5$ 安培

在零工率因數之滿負載飽和曲線及落後之電流，至此乃可繪入圖中，見第二十五圖。

在單位工率因數及在百分之85之工率因數之諸曲線亦可繪入，由此諸線所求得之調整率

$= 9\%$ 在單位公率因數

$= 21\%$ 在百分之85之工率因數

$= 26\%$ 在零值工率因數。

第七章 設計程序

(1) 輸出量之公式

$$E = 2.22kZ\phi_a f \times 10^{-8}$$

$$= 2.12 \times Z \times (B_g \psi \tau \times L_c) \times \frac{P \times \text{每分鐘轉數}}{120} \times 10^{-8} \text{ 伏 } k = 0.96$$

$$\alpha_1 = \frac{nZI_c}{\pi D_a}$$

故 $nEI =$ 輸出量瓦特數

$$= n \times 2.12ZB_g \psi \tau L_c \times \frac{P \times \text{每分鐘轉數}}{120} \times 10^{-8} \times \frac{\pi D_a q}{nZ}$$

$$= \frac{2.12 \times \pi^2 \times 10^{-8}}{120} \times B_g \psi L_c \times \text{每分鐘轉數} \times q D_a^2$$

$$\text{又 } D_a^2 L_c = \frac{\text{弗安數}}{\text{每分鐘轉數}} \times \frac{5.7 \times 10^{-8}}{B_g \psi q}$$

外似氣隙密度 B_g 之值，為最大靜止子齒密度 B_c 之值所限。此最大密度約為

90,000 線每方吋，在 60 周波

110,000線每方吋，在25周波

此指開口槽之電機而言。

$$\phi_a = B_c \psi_r L_m \times \frac{t}{\lambda}$$

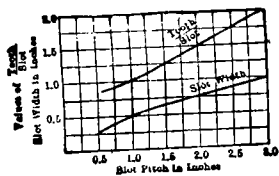
$$\text{而亦} = B_g \psi_r L_c$$

$$\text{故 } B_g = B_c \times \frac{t}{\lambda} \times \frac{L_m}{L_c}$$

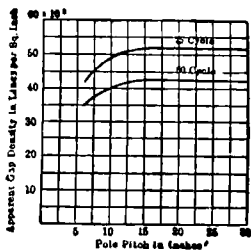
設將通風溝及分片間之絕緣物一併計入，則 $\frac{L_m}{L_c}$ 之比約等於 $0.75 \frac{\lambda}{t}$ 之比隨槽距而變。茲舉例明之如下：

今假定一交流機之線槽數減為半數。但線槽數雖減，而導線之數目則仍舊，即銅線所佔之地位不變。又槽內之絕緣物，約略與線槽數成正比，因其厚度不變故。故槽數減半，槽之闊不必增至原槽之二倍；故槽距增則齒與槽之比亦增。

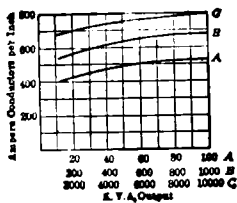
槽距鮮有大過2.75吋者，因在此槽中之銅線截面，較諸該圈之外表幅射面為大，不易使線圈



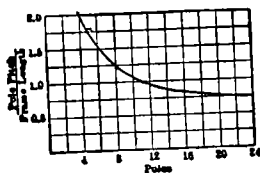
第二十八圖



第二十九圖



第三十圖



第三十一圖

用於初步設計之各種曲線

散熱也。

第二十八圖表示開口槽電機中，從實際上求得之 $\frac{D}{\tau}$ 及槽距之關係，可用於初步設計中。

ρ 從上面之公式求得，對極距作曲線，如第二十九圖。然後擇一合理的極距之數值。

交流機之 B_p 之數值，遠較直流機所求得者為小，此因交流機之發電子為靜止的，直流機之發電子為旋轉的，故前者之齒密度較後者為低。故以同等之輸出量及速度言， $D_a I_a$ 之值，交流機較直流機為大。

ρ 之值一部分為發熱所限，大部分為所需之調整率所限。例如以同等之定額，而增加 ρ 之值，增加之法，或增其導線之數目，或減小機之直徑。增導線數則發電子之反抗增，以其與每極之導線數成正比，又發電子之電抗亦增，以其與每槽中之導線數成正比也。若直徑減小則架長必增，方可負載每極之磁線數，而線槽亦將改深，庶可容納多數之安培導線數於每吋之圓周上。此二者之改變，皆足增加發電子之電抗。發電子反抗隨每極之導線數而變，等於 $0.35 \times$ 每極導線數 $\times I_a$ 。此反抗則並不因後者之改變而變更。

第三十圖中 ρ 之數值，可用作初步設計中之約計。若在滿負載及零工率因數之勵磁力，與每極發電子安培圈數之比，不小於三，又若在無負載及規定電壓之磁極密度約為每方吋 35,000 線，則此 ρ 之值可發生完善之調整率。

(2) D_p 與 I_a 之關係—— $D_p I_a$ 中之二值，應如何分析，方可造成最佳之電機，此事頗非簡易。在直流機中，則用磁力負載及電力負載之比，以定 ρ 與 I_a 之值，然後選定磁極數目，俾成之經濟之線圈形。

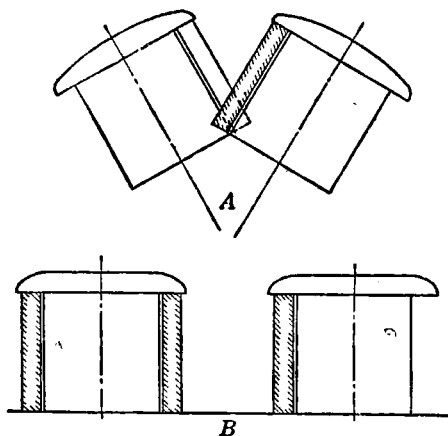
在交流機中，磁極之數目，依速度及周波率而定，然後再選定機之直徑及長度，而成一經濟的圈形。例如於固定之直徑上，增加磁極之數目，則極距減短，磁場線圈乃漸成扁平，最後至於一點，須增加直徑減短機長，較諸直徑不變為更經濟矣。

(3) 磁極數對於^{勵磁}之比之效應——第三十二圖表示二種電機之磁極，以極數言，一機為他機之倍數。此二機之極距，氣隙，每極之發電子安培圈數，及每極之磁場安培圈數皆相同，惟 ρ 機中之極數較 ρ 機為少。從上圖觀之， ρ 機之兩極間，角度甚大，致極上不能容納磁場線圈。今欲裝

線圈於極上，必先增加機之直徑，但並不增加磁場圈之輻射長度，即並不增加每極之發電子安培圈數（磁場圈之輻射長度即依此而定），如此可將同數之每極發電子安培圈數，置於較大極距上，而每吋之安培導線數，乃為之減小。機之直徑雖增，但每極之磁線數必須不變，否則極腰將增大。極弧大概不變，惟 $\frac{\text{齒距}}{\text{齒寬}}$ 之比，隨直徑之增而減，在四極及六極機中，此比值約為0.6。

因磁極數少而發生之困難，在低周波率之機中，尤較高周波率之機為顯著，因前者每極之輸出量較大也。例如

— 400 千弗安，514 轉，60 周波之機，有 14 極，其每極輸出量為 28.5 千弗安；



第三十二圖——磁極數對於磁場圈長度之效應

又有 1400 千弗安，500 轉，25 周波之機，有 6 極，其每極輸出量為 67 千弗安；

16 極，60 周波之交流機，其輸出量為每極 67 千弗安，則其定額應為 400 千弗安，在每分鐘

1200 轉。此機與前之 25 周波之機，同樣的難於製造，惟此種定額非常有，故此種困難亦罕遇也。

第三十圖中 α 之值，適用於 10 極以上之機；若用於四極機，則其值應減去百分之三十，作為第一步之約計，若六極機，則應減去約百分之二十。

第三十一圖表示 $\frac{D_2 L_c}{B_c \psi q}$ 之比值，普通從旋轉磁場之機中求得，可用於初步設計。極數減則此比

值增，其理由已見上述。

(4) 設計程序

$$D_2 L_c = \frac{\text{弗安}}{\text{每分轉數}} \frac{5.7 \times 10^8}{B_c \psi q} \quad \text{見上第 1 節。}$$

又 $\frac{D_2 L_c}{B_c \psi q}$ 一常數，從上第三十圖求得

$$\text{故 } L_a = \frac{\text{極距}}{\text{—常數}}$$

$$= \frac{\pi \times D_a}{p \times \text{常數}}$$

$$\text{又 } D_a^3 = \frac{\text{弗安數}}{\text{每分鐘轉數}} \times \frac{6.7 \times 10^8 \times p \times \text{常數}}{\pi \times B_g \times \psi \times q}$$

從此式可約略求 D_a 之值，因

B_g 之值可從第二十九圖求得，

q 可從第三十圖求之，

ψ 可假定為 $= 0.65$ ，以作估計之值，

$\frac{\text{常數}}{\text{—常數}} = \frac{\text{齒距}}{\text{—架長}}$ 之比，從第三十一圖求得。

然後立三個初步設計表，其一用較大之直徑，比已求得者大百分之二十，又一用較小之直徑，

比求得者小百分之二十。

次求導線總數 $= \frac{q \times \pi D_a}{I_c}$ ，並假定所用線捲為一單獨的電路，如為三相則接成 Y 形，故

|| 滿負載總線電流。

次求線槽數，最好每極須至少有二線槽，始可得分佈線捲之利益，但槽距不能超過 2.75 吋，見本章第一節。

次求每槽導線數 $= \frac{\text{所需導線總數}}{\text{線槽數}}$ ；取最近數，使成一適當之線捲。

次求與此相配之導線總數

次從公式 $E = 2.22kZ\phi_{110} \omega$ 求 ϕ_a 。

次求實際架長如下：

槽距 $= \frac{\pi \times D_a}{\text{槽總數}}$ ；

用第二十八圖，分此槽距爲 $s+t$ 之二值；

所需之最小齒面積 = $\frac{\phi_a}{\text{最大齒密度}}$

內最大齒密度 || 每方吋 30,000 線，在 60 周波

或每方吋 110,000 線，在 25 周波

此指開口槽之機，若爲半閉口槽之機，則應增加百分之十五。

每極齒面積 || 每極槽線 $\times \psi \times t \times L_a$ ，由此可求得 L_a 之值。

$$L_g = \frac{L_a}{0.9}$$

$L_c = L_g +$ (中央通風溝) 此溝闊 0.5 吋相隔 3 吋。

次求 δ ，空氣隙之長度，如下：

$$B_g = \frac{\phi_a}{\tau \times \psi \times L_c}$$

$$\delta C = \frac{AT_g \times 3.2}{B_g}$$

內 AT_g 暫作 1.5 (每極之發電子安培圈數) 爲初步之約計。

最後乃按照第六章第 2 節之法，作磁場設計，並依比例尺繪機身構造圖，計算其飽和曲線，繪曲線圖，及確定其調整率。

若調整率較該機所預期者爲優或劣，則可照上章第 3 節之法改正之。

例——試求下列某交流機之約略大小：

其定額爲：400 千弗安，2400 弗，3 相，60 波，96 安，600 轉。計算程序可列表如下：

外似的氣隙密度， $B_g = 42,000$ ，從第二十九圖求得

每吋安培導線數， $q = 614$ ，從第三十圖求得

百分掩蔽率， $\psi = 0.65$ ，假定

$$\frac{\text{極距}}{\text{架長}} = \text{常數} = 0.95, \text{從第三十一圖求得}$$

磁極數，
 $p = 12$ ，在600轉，60周波

發電子直徑，
 $D_a = 43$ 吋，從上文公式求得

今用較大較小之直徑二種

發電子直徑，
 $D_a = 43$ 吋 36吋 52吋

導線總數，大約，
 $Z_c = 865$ 725 1050

極距，
 $\tau = 11.3$ 吋 9.4吋 13.6吋

每極槽數
= 6 6 6

線槽總數
= 72 72 72

每槽導線數
= 12 10 14

連接式
= Y Y Y

導線總數，實在的，
 $Z_o = 864$ 720 1008

每極磁線數，
 $\phi_a = 3.8 \times 10^6$ 4.56×10^6 3.25×10^6

槽距，	$\lambda = 1.88$ 吋	1.57吋	2.27吋
槽闊，	$\delta = 0.75$ 吋	0.67吋	0.85吋，第二十八圖
最小齒闊，	$t = 1.13$ 吋	0.9吋	1.42吋
每極所需之面積	$= 42.3$ 方吋	51方吋	36方吋
實在的鐵之長度，	$L_m = 9.6$	14.5吋	6.5吋
鐵之總長，	$L_g = 10.6$ 吋	16.1吋	7.2吋
中央通風溝	$= 3 - 0.5$ 吋	5 - 0.5吋	2 - 0.5吋
架長，	$L_c = 12.10$ 吋	18.6吋	8.2吋
外似氣隙密度，	$B_g = 42,800$	40,200	44,800
每極發電子安培圈數	$= 3450$	2880	4050
AT_g 假定	$= 5200$	4300	6100
α	$= 0.39$	0.34	0.44

磁場部分：

最大每極安培圈數，	$AT_{\max} = 10,400$	8,600	12,200
洩漏因數，假定	$= 1.2$	1.2	1.2
所需之磁極面積	$= 48$ 方吋	58方吋	41方吋
磁極之軸心長度	$L_p = 11.6$ 吋	18吋	7.7吋
磁極闊度	$W_p = 4.25$ 吋	3.4吋	5.6吋
磁圈厚度，	$d_1 = 0.75$ 吋	0.75吋	0.85吋
平均圈長，	$MT = 37$ 吋	47吋	32吋
外周長度	$= 39$ 吋	49吋	34吋
勵磁電壓	$= 120$	120	120
線之截面	$M = 38,500$	40,500	39,000
	$= 0.04 \times 0.75$ 吋	0.04×0.8 吋	0.04×0.8 吋

每方吋瓦特數

= 6.0

5.5

6.5 見第六章第2節

空隙因數,

af. = 0.8

0.8

0.8

磁場圈之輻射長度,

 $L_1 = 4.7\text{吋}$

4.0吋

5.2吋

今將此三機依比例尺繪成圖樣，如第三十三圖。

此三機中，直徑36吋之機，其鐵心之裝置最費人工，直徑52吋之機，則其無效之材料，如軛之材料，最費。

若就運用方面言，則此三者無甚大別。每機之每極發電機安培圈數，占每極磁場安培圈數之同一成數，又因發電機反抗而生之電壓降，各機亦幾相等。在36吋直徑之機中，氣隙小而 L_1 之長度大，故其電抗亦大，惟每槽祇有導線十根；在52吋直徑之機中，氣隙大而架長短，每槽導線數為十。按電抗與每槽導線數之平方成正比，故此二機仍無大差也。

36吋之機，直徑小而長度長，通風甚難，非用風扇吹之不可。

此三機之人工，全視廠之大小及其組織而異。今假定將人工及重量二項精密考慮，以52吋之

機最爲滿意。茲卽就此機完成其設計。

線圈

每吋安培導線數

$$\parallel \frac{96 \times 864}{\pi \times 43} = 614$$

每吋安培導線數
每安培圓密爾數

$$\parallel 1.05 \text{ 從第二十八圖}$$

每安培圓密爾數

$$\parallel 600$$

在滿負載時之每線安培數

$$\parallel 96$$

導線截面

$$\parallel 58,000 \text{ 圓密爾}$$

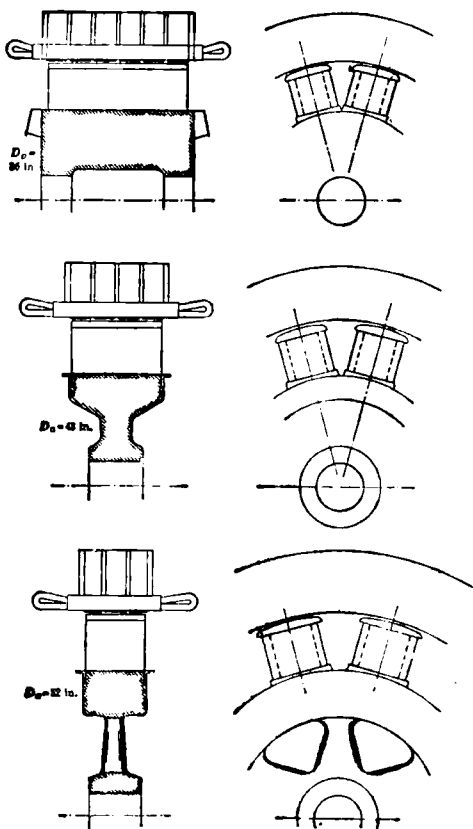
$$\parallel 0.046 \text{ 方吋}$$

0.75 槽闊

0.132 槽內絕緣闊

0.04 線圈與鐵心之空隙

0.578, 銅線及其絕緣物可占之闊度
 今用0.07吋闊之銅帶, 以六根並置槽內, 線外包以紗布, 厚0.006吋,



第三十三圖——400千弗安, 60波, 600轉交

流機之比較設計。

$$\text{導線厚度} = \frac{\text{導線截面}}{\text{導線長度}} = \frac{0.046}{0.07} = 0.65 \text{ 吋。}$$

若欲避免因線槽漏磁而生渦流損失之困難，則宜將導線分成二行，每行厚 0.325 吋。
線槽深度可求之如下：

$$0.325 \text{ 爲每線之厚度}$$

$$0.024 \text{ 爲每線絕緣厚度}$$

$$0.70 \text{ 爲二根絕緣導線之厚度}$$

$$0.162 \text{ 爲每圈上線槽絕緣之厚度}$$

$$0.862 \text{ 爲每個絕緣線圈之厚度}$$

$$2 \text{ 爲線圈疊置槽內之數目}$$

$$1.72 \text{ 爲線圈總厚度}$$

$$0.20 \text{ 爲槽頂蓋片之厚度}$$

$$2.0 \text{ 爲槽之深度}$$

鐵心中之磁線密度 = 45,000 假定

鐵心面積 = $\frac{\phi_a}{2 \times 45,000} = 42 \text{ 方寸}$

鐵心厚度 = $\frac{\text{鐵心面積}}{\text{鐵心實長}} = 4.5 \text{ 吋}$

發電子外直徑 = 56 吋

以上諸項數字，應填入設計單中，與第三章末節同。

(5) 磁場設計——此項設計詳見第六章例，此例已將磁場系完全設計，並求得飽和曲線，繪成圖表，及求得其調整率。

(6) 機長與直徑之關係——大凡新機之製，苟能與已製之機用同樣之鑿片者，其費用可大減，如此則往往改變機長，使直徑與舊機相同，而輸出額則仍不變。

假令上文第4節中之 400 千弗安電機，縮短百分之五十，或加長百分之五十，而求其輸出額及機之大約特性。今將此三種設計之重要部分列表於下：

發電子直徑	43吋	43吋	43吋
架長	12.25吋	8吋	18.5吋
端部通風溝	2—0.75吋	2—0.75吋	2—0.75吋
中央通風溝	3—0.5吋	2—0.5吋	5—0.5吋
鐵心總長	10.75吋	7.0吋	16吋
鐵心實長	9.6吋	6.3吋	14.4吋
線槽數	72	72	72
每槽導線數	12	18	8
導線大小	2(0.70×0.325吋)	0.09×0.325吋)	2(0.11×0.3吋)
連接法	Y	Y	Y
每吋安培導線	614	614	614
每安培圓密爾	600	580	580

每極發電子安培圈	3450	3450	3450
每線安培數	96	64	144
每相端部電壓	2400	2400	2400
輸出額千弗安數	400	267	600

以上諸機，今分別討論如下：

每槽中之導線數——今諸機所用發電子之鑿片，既故意使其相同，則線槽之數目不變。若各機之磁線密度相同，則每極磁線數必與鐵心之實長成正比。但每線之電壓與每極磁線數成正比，故以同等之端部電壓言，每相中直列連接之導線數，應與鐵心之實長成反比。

電流定額——以同等之導線中之電流密度言，每線中之電流，自必與導線之截面積成正比，故亦與鐵心之實長成正比。

導線之大小——若銅線之總截面，各機皆同，線之大小當然與每槽之線數成反比，而亦即與鐵心之實長成正比。

輸出額——各機電壓相等，其千弗安數之輸出量，與電流成正比，故亦與鐵心之實長成正比。
 空氣隙——每導線之電流，與每槽之導線數成反比，庶每槽之安培導線數，各機仍相等。至每極之發電子安培圈數（ $\frac{\phi_e L_e}{2}$ ）與架長無關。故最大勵磁力及氣隙長度，亦與架長無關。

調整率——每極之減磁安培圈數

$$= 0.35 \times \text{每極導線數} \times I_e$$

按 I_e 與每槽導線數成反比，故每極之減磁安培圈數與架長無關。

發電子電抗降

$$= 2\pi f p b^2 c^2 \left(\frac{\phi_e L_e}{2} + (\phi_g + \phi_c) L_e \right) 10^{-8} \times I_e$$

內 $\frac{\phi_e L_e}{2}$ 與架長無關，因其特乎極距而變，而極距則為常數也；

ϕ_c 之值各機皆同，因各機之槽數不變也；

ϕ_c 之值各機亦同，因齒與氣隙長度不變也。

故發電機之電抗降，與（每槽線數）² × 電流 × $(A + BL_c)$ 成正比，或與（每槽導線數） $(A + BL_c)$ 成正比，或與 $\frac{(A + BL_c)}{L_c}$ 成正比，內 A 與 B 為常數。

故若其他諸項均不變，則機身愈長，其電抗降愈低，其調整率愈佳。

磁極之漏磁，含有邊漏及面漏二種，前者不變，後者與架長成正比。每極磁線數 ϕ_p ，與架長成正比。洩漏因數 $\frac{\phi_a + \phi_c}{\phi_p} = \frac{C + DL_c}{L_c}$ ，內 C, D, E 為常數，故此因數，在直徑相同而鐵心最短之機為最小。

但電機之長度，亦不能無限制的加長，因最後增至一點，鐵心之中央勢必無法散熱，於是需要相當之改良，及加用風扇，況長度增加，則磁極之截面，愈不成正方形。

(7) 各種電壓之線捲——一百千弗安，二千四百弗打，九十六安培，三相，六十周波，六百

轉之交流機，其發電子大小，可照下表製造：

內直徑	43吋
架長	12.25吋
線槽數	72
線槽大小	0.75吋×2.0吋
每槽導線數	12
每槽導線大小	2(0.07吋×0.325吋)
連接法	Y

今欲將此發電子設計其下列諸電壓之線捲：

600弗打，3相，60周波，

2400弗打，2相，60周波。

求每槽導線數。

$$E = 2.22kZ\phi_m f 10^{-8}$$

$$= \text{一常數} \times k \times \text{每槽導線數} \times \frac{\text{槽數}}{\text{相數}}$$

$$= \text{一常數} \times k \times \frac{\text{每槽導線數}}{\text{相數}}$$

在上述之機， $k = 0.966$ ，三相線捲

$$= 0.911, \text{一相線捲}$$

此常數 = $\frac{\text{每相電壓弗打數} \times \text{相數}}{k \times \text{一常數}}$

$$= \frac{600 \times 3}{0.966 \times 360}$$

= 5.2 或 5，若每相電壓為 600 弗，即線捲若為 Δ 連接，

$$\text{又} \quad = \frac{600}{1.73} \times 3$$

$$= \frac{0.966 \times 360}{1.73} \times 3$$

$= 3.0$, 若 $\frac{600}{1.73}$ 爲每相電壓, 卽線捲爲 Y 連接法。

Y 連接法較 Δ 連接法爲優, 因 Y 連接時, 其電壓波中之第三諧波 (third harmonic) 可以除去, 若用 Δ 連接, 則此第三諧波卽能發生一循環電流, 流行於三角形之通連路中也。

線捲既爲雙層, 每槽導線數自應爲二之倍數, 故實際上所用之線捲, 每槽裝六根導線, 接成二路。

如用 2400 弗打之二相線捲, 則

$$\text{每槽導線數} = \frac{\text{每相電壓} \times \text{槽數}}{k \times \text{線數}}$$

$$= \frac{2400 \times 2}{0.911 \times 360}$$

$$= 14.7$$

若線捲爲雙層, 而每槽裝 15 線, 則必須改用每槽 30 線, 接成二路, 每線之大小可較細; 最好用每

槽二線，如此則該機之磁線密度較諸2400弗打之3相機大百分之五。

求導線之大小 如欲使諸機之靜止子損失及其發熱量相同，則應令每吋之安培導線數與每安培圓密爾數之比值不變；此項工作可列成下表。

千弗安數	端部電壓	相數	每根總線安培數	連接法	每根導線安培數	每槽導線數	導線之大小	每吋安培導線數	每安培圓密爾數
400	2400	3	96	Y	96	12	2(0.07 × 0.325吋)	614	600
400	600	3	384	YY	192	6	4(0.07 × 0.325吋)	614	600
400	2400	2	83	單路	83	14	2(0.055 × 0.325吋)	620	550

從上表中觀每安培圓密爾數之諸值，二相之機較三相機熱百分之十，因二相機線槽中所用銅線大小，對於此定額為不足故也。此項缺點為二相之賦性，因以同一機長，定額及端部電壓計之，

$$\text{二相機每槽導線數} = \frac{E_t \times 2 \times 1.73 \times 0.966}{0.911 \times E_t \times 3} = 1.22$$

$$\text{又} \quad \frac{\text{二相機每線電流數}}{\text{三相Y式每線電流數}} = \frac{\text{千瓦數} \times 1.73 E_t}{2 E_t} = \frac{1}{1.16}$$

即謂二相機之每槽導線數，較諸三相機大百分之二十二，但每線之電流量則僅減百分之十六。

(8) 用雙層紗包線為磁場線圈之設計——下文為 175 千弗安，2400 弗打，3 相，18 安培，30 周波，1200 轉交流電機之初步設計。

外似氣隙密度， $B_g = 42,000$ ，從第二十九圖。

每吋安培線數， $q = 450$ ；較第三十圖之值小百分二十，參看上文第 3 節。

百分掩蔽率， $\psi = 0.65$ ，假定

對距 = 常數
架長 = 1.6，從第三十一圖。

磁極數， $p = 6$ ，對 1200 轉 60 波

發電子直徑， $D_a = 21 \text{ 吋}$

導線總數，約 $Z_c = 1650$

極距， $r = 11 \text{ 吋}$

每極線槽數 = 6

線槽總數 = 36

每槽導線數 = 46

連接式)

導線總數，實在 = 1656

每極磁線數 $\phi_a = 2.0 \times 10^6$

槽距， $\lambda = 1.83$

槽闊， $g = 0.75$ ，從第二十八圖。

最小齒闊， $t = 1.08$

每極所需之齒面積 = 22.2 方吋

鐵心實長 $L_o = 5.3 \frac{1}{2}$

鐵心總長 $L_g = 5.9 \frac{1}{2}$

中央通風溝 = 1—0.5吋

架長,

$$L_0 = 6.4 \text{ 吋}$$

外似氣隙密度,

$$B_g = 43,600$$

每極發電子安培圈數

$$= 2480$$

AT_g 假定數

$$= 3700$$

80

$$= 0.27 \text{ 吋}$$

磁場系

最大每極 AT 數,

$$AT_{\max} = 7500$$

漏磁因數, 假定

$$= 1.2$$

磁極面積

$$= 25.5 \text{ 方吋}$$

磁極軸心長度,

$$L_p = 6.0 \text{ 吋}$$

磁極闊度,

$$d_1 = 1.0 \text{ 吋, 假定}$$

平均圈長

$$= 25 \text{ 吋}$$

外周長度 = 29吋

勵磁電壓 = 120

磁圈線之截面 = 9500圓密爾。用美國線表十一號方銅線，截面10,500圓密爾。

每方吋瓦特數 = 4.7

空間因數 = .086

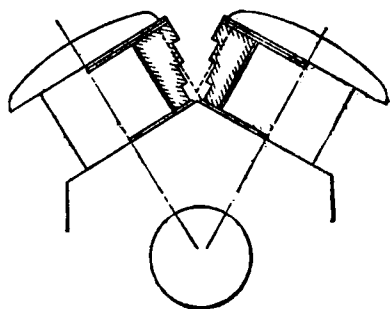
磁場線圈輻射直徑， $L_f = 3.25吋$

上面設計之磁場線圈，有一吋之均勻的厚度，見第三十圖中之虛線，其實在所用之線圈形狀，則以實線表之。

(9)二十五周波交流機之設計——此機之定額如下：

400 千弗安，2400弗打，3相，96安培，25周波，500轉。此機

有兩種設計，詳如下述。



第三十四圖——75千弗安，60周波，1200轉交流機之磁場系。

第一設計其每吋之安培導線數，取自第三十圖。第二設計用較此小百分之二十之值，其百分掩蔽率亦減小。

外似氣隙密度，	$B_g = 52,000$	52,000
每吋安培導線數，	$q = 614$	510
百分掩蔽率，	$\psi = 0.65$	0.6
$\frac{\text{齒距}}{\text{槽長}} = \text{一常數}$	$= 1.6$	1.6
磁極數，	$p = 6$	6
發電子直徑，	$D_a = 41\frac{1}{2}$	44 $\frac{1}{2}$
導線總數，約	$Z_c = 820$	730
極距，	$\tau = 21.5$	23 $\frac{1}{2}$
每極槽數	$= 9$	9
線槽總數	$= 54$	54

每槽導線數

$= 15$

13

連接法

$= Y$

Y

導線總數, 實在

$Z_0 = 810$

702

每極磁線數

$\phi_p = 9.7 \times 10^6$

 11.2×10^6

槽距,

$\lambda = 2.39 \text{吋}$

2.56吋

槽闊,

$g = 0.9 \text{吋}$

0.9吋

最小齒闊,

$t = 1.49 \text{吋}$

1.66吋

每極所需齒面積,

$= 88 \text{方吋}$

102方吋

鐵心實長,

$L_n = 10 \text{吋}$

11.4吋

鐵心總長,

$L_g = 11 \text{吋}$

12.7吋

中央通風溝

$= 3 - 0.5 \text{吋}$

3 - 0.5吋

架長,

$L_0 = 12.5 \text{吋}$

14.2吋

外似氣隙密度	$B_g = 55,000$	57,000
每極發電子安培圈數	= 6500	5600
AT_g 假定	= 9750	8400
C	= 0.57	0.47
每極最大 AT	= 19,500	16,800
漏磁因數, 假定	= 1.2	1.2
磁極面積	= 120方吋	142方吋
磁極軸心長度,	$L_p = 12$ 吋	13.7吋
磁極闊度,	$W_p = 10.5$ 吋	11吋
磁場圈厚度,	$d_r = 1.5$ 吋	1.5吋
平均圈長度	= 50吋	55吋
外周長度	= 55吋	60吋

線之截面

= 49,000

46,000

= $0.026\pi f \times 1.5\pi f$

$0.024\pi f \times 1.5\pi f$

此線難於屈曲。故宜用雙層線捲，線之截面爲

= $0.052\pi f \times 0.75\pi f$

$0.048\pi f \times 0.75\pi f$

每方吋瓦特數

= 4.0

4.2見第六章第2節

空間因數

= 0.86

0.86

磁場圈之輻射長度

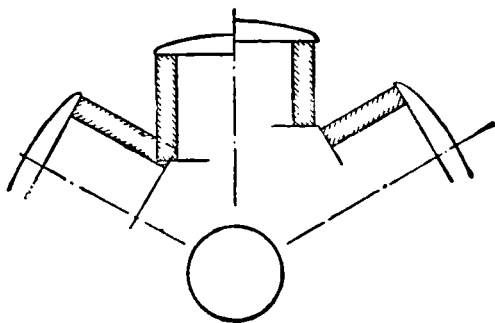
= $7.3\pi f$

$6.1\pi f$

每機之一部分今依比例尺繪成圖樣，如第三十五圖。由此可見第一種設計，非經改良，萬不能用。此磁場線圈或可減短，但短則輻射面小，圈中之增溫太高，或者改用雙層紗包線，將線圈繞成上大下小之狀，如第三十四圖。

本章所述之設計方法，並非唯一可能之法，其他尙多，茲特舉其要耳。倘設計所得之調整率，與預期者相差，則此設計應根本改良；但該項設計若已完全做成，並已確定其各種特性，則改良時亦

並不困難也。



第三十五圖——400千弗安,25周波,500轉
交流機之磁場系。

第二編 感應電動機

第八章 感應電動機構造

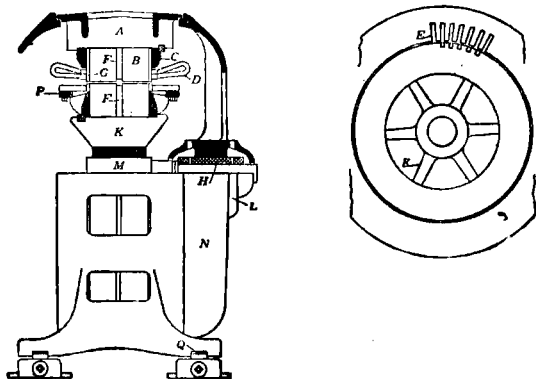
第三十六圖表示一感應電動機之構造，可適用於二百匹馬力每分 600 轉以下之電動機。此機為鼠籠式之感應電動機 (squirrel-cage motor)。

(1) 靜心子——圖中 B 為靜心子鐵心 (stator core)，以 0.014 吋厚之鋼片集成之，鋼片之間，塗以油漆，以為絕緣，其內周上鑿有線槽 E，以容納靜心子線圈 D。

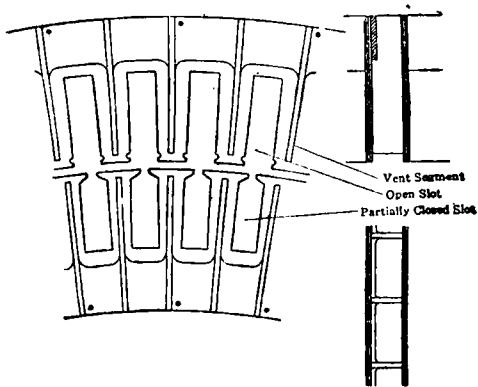
槽之形式有二種，具見第三十七圖。半閉式之槽，用於各種旋轉子上，其優點在對於氣隙之面積，減少甚微；開口槽通用於靜心子上，因靜心子線圈所受電壓較高，槽口開露可使線圈裝入之前，有完善之絕緣，且遇線圈燒斷時，修理易而速。

鐵心中部有通風之隔片，相距約3英寸；第三十六圖中之F即表示此片之一，第三十七圖則指示較詳。此片以白銅鑄成，釘於鐵心之集合片上，此種集合片大多以0.025吋厚之鋼片為之。鐵片係緊夾於二個鑄鐵塊C之間，並用硬白銅製成之齒夾G，置於鐵片及鑄鐵塊之間，夾住齒部，使集片不致在內周之邊部散開。

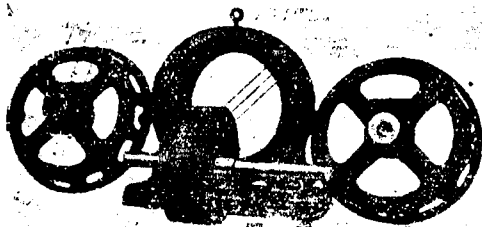
靜心子輓A之內，裝靜心鐵心，及二端之軸承鐵蓋N。若電動機須裝於牆上或樑上者，此軸承蓋應分別轉移九十度或一百八十度；所以必須如此者，因軸承中常用潤滑油環，而油缸L必須置於動軸下部也。軸承蓋可使全機之結構堅實，且令輓之構造，因以減輕。從第三十八圖觀之，可見此蓋之形式，若以鑿孔之薄鐵片掩蔽



第三十六圖——鼠籠式小感應電動機



第三十七圖 線槽及通風隔片



第三十八圖 鼠籠式感應電動機之機件

蓋上之孔洞，即成一半閉式之電動機，若以鐵片全部掩蔽蓋上之孔，即成一全閉式之電動機，手續至爲簡易。

(2) 旋轉子——旋轉子之鐵心，亦以薄鋼片集成，片厚大概爲 0.025 吋；此種厚薄之鋼片已能適用，因旋轉子中之磁線之周波率甚低，其鐵心耗損甚小也。

鐵心內亦有通風溝。鐵心兩面用二個鐵夾夾緊，裝於輪幅 K 上，見第三十六圖。鼠籠式之感應電動機，旋轉子線槽甚淺，故不必齒夾。

旋轉子銅線如桿狀，裝於半閉式之槽內，兩端皆用銅環 P 連接之，名端部連接環。

動軸 M 特別堅韌，因靜心子與旋轉子間之餘隙甚細，又承軸 H 則特大，俾軸面不易消損，可維持長久之壽命。

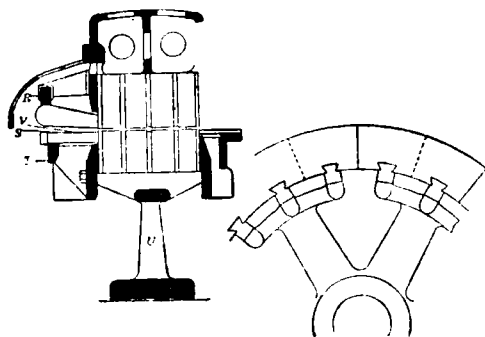
全機裝於鐵軌 Q 上，軌則固着於基礎上，電動機可在軌上移動，以較準皮帶之寬緊。惟用齒輪拖動或直接聯動之電動機，則不用此鐵軌。

(3) 大電動機——第三十九圖表示大電動機之構造。機之承軸爲落地式，不復裝於軌上，

故軛之構造亦應特別加堅，庶可自持。靜心線圈縛於木製之環上，此環以鐵箍裝於端部鐵夾上。小電動機上，如線圈軟弱而易受震動者，亦應用架支之爲妥。

鼠籠式及繞線式二種電動機之構造，具見第三十九圖。由此可見輪幅U，二機均適用之。此二機之旋轉子線槽數目及大小皆異，其端部之鐵夾亦異。S爲鋼線，用以縛住繞線式機之旋轉子線圈，使固着於線圈支架T上，此架裝於鐵心之鐵夾上。此架亦用作風扇，令機身涼爽。若旋轉子之直徑大過 ∞ 吋者，其旋轉子之鐵心，宜分成數塊，以鴿尾式之接榫，裝於輪幅上。

第九章 設計程序



第三十九圖——大感應電動機；表示鼠籠式及繞線式二種旋轉子之構造。

(1) 輸出額公式

$$E = 2.22kZ\phi_a(10^{-8} \text{弗打})$$

$$= 2.22kZ(B_g\tau L_g) \left(\frac{P \times \text{每分轉數}}{120} \right) 10^{-8} \text{弗打}$$

$$= \frac{2.22k10^{-8}}{120} ZB_g\tau D_a L_g \times \text{每分轉數} \text{弗打}$$

$$\text{又 } q = \frac{nZI}{\pi D_a}$$

$$\text{故 } nEI = n \left[\left(\frac{2.22k10^{-8}}{120} \right) ZB_g\tau D_a L_g \text{ 每分轉數} \right] \left(\frac{\pi D_a q}{nZ} \right)$$

$$\text{又 馬力} = \frac{nEI}{746} \cos\theta \times \eta$$

$$= 2.35 \times 10^{-12} B_g q \cos\theta \times \eta \times \text{每分轉數} \times D_a^2 L_g \text{ 令 } k = 0.96$$

$$\text{從上式得 } D_a^2 L_g = \frac{\text{馬力匹數}}{\text{每分轉數}} \frac{10^{12}}{2.35 \times B_g q \cos\theta \times \eta}$$

B_g 爲外似的平均氣隙密度，其數值爲 B_c 之可許值所限制， B_g 乃最大之靜心子齒密度，因

$$B_g = B_c \times \frac{L_p}{L_g} \times \frac{t_1}{\lambda_1} \times \frac{2}{\pi}$$

內鐵心之絕緣因數 $\parallel \frac{L_p}{L_g} \parallel = 0.9$

B_c 之可許值 $\parallel 85,000$ 線每方吋，在 60 周波

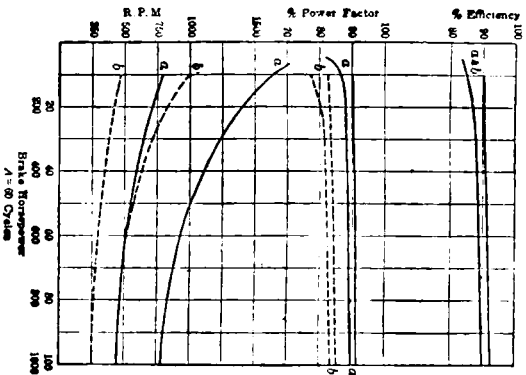
$$\parallel 100,000 \text{ 線每方吋，在 25 周波}$$

又 $\frac{\lambda_1}{t_1} \parallel 2.1$ 約，較極距短小之機稍大。

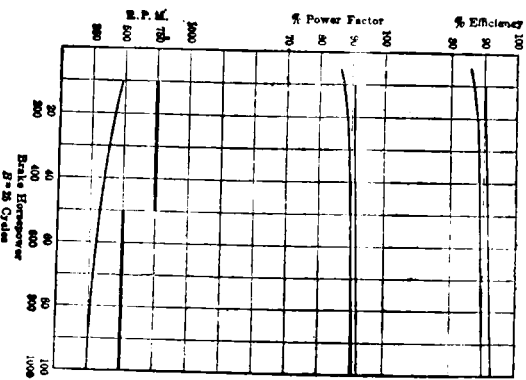
故對於極距大於 7 吋之機，

$$B_g = 23,000 \text{ 線每方吋，在 60 周波，約}$$

$$\parallel 27,000 \text{ 線每方吋，在 25 周波，約}$$



實發馬力匹數 A = 60 周波



實發馬力匹數 B = 25 周波

第四十圖——用開口靜止槽及半開口旋轉槽之感應電動機之工率因數曲線及效率曲線。

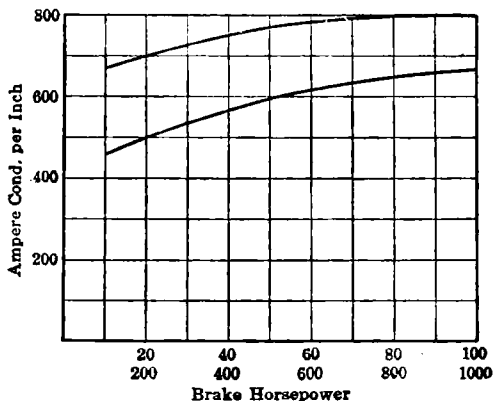
(2) ca 與 m 之數值——從 60 周波電動機，用開口靜心子線槽及半閉口旋轉子線槽，取得之各種數值，詳見第四十圖 A 圖諸曲線，其 B 圖諸線則為 25 周波之電動機。

60 周波機之工率因數，有 ρ 與 σ 二曲線，與速度曲線 ρ 相配。工率因數之增加，在 ρ 線以上甚慢，但在 σ 線以下，則降落甚速。

工率因數及效率，可用半線式線槽於靜心子及旋轉子以增進之。

(3) D_a 與 L_g 間之關係—— $D_a^2 L_g$ 中 $N D_a$ 與

L_g 二值，究應作何比例，方可製成最佳之電動機，此問題之解答，殊非易事，其唯一滿意之方法，為假定數組不同之數值，將每組作一簡略之設計，然後擇其運用佳而成本相宜者用之。



第四十一圖——在 25 波及 60 波周波率之間，用於初步設計之曲線。

爲使設計簡便計，立以下諸公式。

1. 每相之磁化電流

$$= \frac{1}{0.87 \text{ 每極導線數}} \times \frac{\phi_a}{\tau L_g} \times \delta \times C \times 1.2$$

$$= \frac{2.05}{\text{每極導線數}} \times B_g \times \delta$$

取 $C = 1.5$ ，此爲用開口靜心槽，半開口旋轉槽諸機之平均值。

故 $\frac{1}{I} =$ 百分率磁化電流

$$= \frac{2.05}{\text{每極導線數} \times I} \times B_g \times \delta$$

$$= 2.05 \frac{B_g \times \delta}{q} \times \frac{\delta}{\tau}$$

最小可許度之氣隙長度，須視機械的情形而定，應隨直徑，架長及圓周速率之增加以俱增，其值不可小下列經驗公式所定者：

$$\delta = 0.005 + 0.00035D_a + 0.001L_g + 0.003V$$

式中 δ 〓 氣隙長度，以吋計

D_a 〓 靜心子內直徑，以吋計

L_g 〓 架長中之鐵心總長，以吋計

V 〓 旋轉子之圓周速率，以每分鐘若干千呎計。

$\frac{I_d}{I_a}$ 之比值，可求之如下：

$$I_d = \frac{E}{X_{eq}}$$

內 $E = 2.22kZ\phi_a f 10^{-8}$ 弗打

$$= 2.22kZ(B_g \tau L_g) f 10^{-8} \text{ 弗打}$$

又 $X_{eq} = 2\pi f b^2 c^2 p n (K_1 + K_2 L_g) 10^{-9}$ 歐姆

$$= 2\pi f Z^2 n \left(\frac{K_1 + K_2 L_g}{p} \right) 10^{-9} \text{歐姆}$$

故

$$\frac{I_d}{I} = \frac{2.22 \times 0.96}{2\pi} \times \frac{B_g L_g}{n Z I} \times \frac{p}{(K_1 + K_2 L_g)}$$

$$= 0.387 \times \frac{B_g}{q} \times \frac{L_g}{K_1 + K_2 L_g}$$

(4) q 之數值——從上諸公式觀之，則見 q 之值愈大， $D_g L_g$ 之值愈小，百分率之磁化電流，圓周直徑，及過負載之容量亦均隨而減小。按銅線之發熱，恃乎每吋安培導線數與每安培圓密爾數之比， q 之值大，則欲令增溫不超過合理的限度之銅量亦多，故線槽愈深，而槽之電抗亦大矣。

第四十一圖表示 25 周波及 60 周波二種感應電動機之 q 之值，此曲線可用作初步之估計。

(5) I_0 與 I_d 之合用的數值——第四十二圖表示一合理的良好感應電動機之圓線圖。

在滿負載之工率因數

|| 80 百分數

起動旋力

|| 1.5倍於滿載旋力

最大旋力

|| 2.7倍於滿載旋力

最大輸出量

|| 2.2倍於滿載

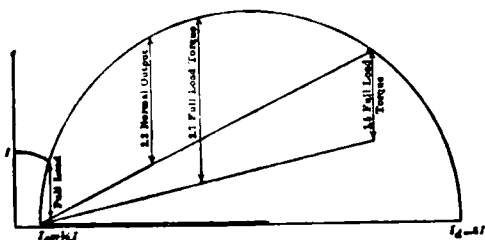
欲得此種特性，須令磁化電流不超過滿載電流三分之一，又最大電流 I_2 不可小於滿載電流之六倍。

(6) 初步設計舉例——今為設計便利計，將需用各公式羅列於下：

$$D^2 L_g = \frac{\text{馬力匹數}}{\text{每分鐘數}} \frac{10^4}{2.35 B_g q \cos \theta \times \eta}$$

$$\frac{I_0}{I} = 2.05 \frac{B_g \times \delta}{q \times \tau}$$

$$\frac{I_1}{I} = 0.337 \times \frac{B_g \times L_g}{q \times (K_1 + K_2 L_g)}$$



第四十二圖 中等感應電機之圓線圖

內 D_a 靜心子之內直徑，以吋計

L_g 鐵心總長，以吋計

$B_g = 23,000$ 用於 60 周波

27,000 用於 25 周波

ρ 從第四十一圖求之

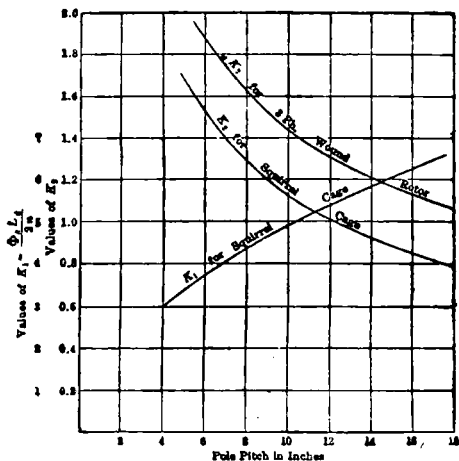
$\cos\theta$ 及 r 從第四十圖求之

$$S = 0.005 + 0.00035D_a + 0.001L_g + 0.003V$$

內 V 旋轉子之外周速率，以每分鐘若干千呎計。

K_1 及 $K_2 L_g$ 之值可用第四十三圖之曲線求之。

設計工作，今列成表式如下，該電動機之定額為 50 匹馬力，60 周波，900 轉。



第四十三圖 —— 漏磁常數

初步設計表

50匹馬力，鼠籠式，60周波，900轉

$$B_g = 23,000, q = 600, \cos\theta = 89 \text{ 百分數}, \eta = 89 \text{ 百分數}, D_a^2 L_g = 2150$$

D_a	L_g	r	V	δ	$K_1 + K_2 L_g$	$\frac{I_0}{I}$	$\frac{I_d}{I}$
15	9.5	5.9	3.5	0.03	3.7 + 14.6 = 18.3	0.4	6.7
17	7.5	6.7	4.0	0.03	4.0 + 10.8 = 14.8	0.35	6.5
19	6.0	7.5	4.5	0.031	4.3 + 8.1 = 12.4	0.32	6.2
21	5.0	8.2	4.9	0.032	4.5 + 6.4 = 10.9	0.31	5.9
23	4.0	9.0	5.4	0.033	4.7 + 4.8 = 9.5	0.29	5.4

就運用言之，19吋直徑之機大概為最通用者。5吋直徑之機有極大之磁化電流，故其工率因數最低，23吋之機有最小之圓直徑，故其過負載容量為最小。

欲精密的比較以上諸機之成本，必先知製造廠之工作狀況。23吋之機，軛輪幅及軸承蓋之成

本最大，15吋機則以裝配鐵心之成本為最大；故以總成本言，要以19吋機為最廉，但與前二機相差亦不甚巨也。

(7) 詳細設計——上述之50匹，60波，300轉之電機，其全部設計，可依下表逐步計算。今假定其電壓為440弗打，三相式。

靜心子設計

$$\text{磁極數} = \frac{f \times 120}{\text{每分鐘數}}$$

$$= 8$$

靜心子之內直徑

$$= 19 \text{ 吋，從初步設計}$$

鐵心總長

$$= 6 \text{ 吋，從初步設計}$$

通風溝

$$= 1 - 0.375 \text{ 吋}$$

鐵心實長 = 0.9 × 總長

$$= 5.4 \text{ 吋}$$

極距

$$= 7.46 \text{ 吋}$$

每極線槽數

$$= 12, \text{ 適用於二相及三相}$$

若改爲

|| 6, 此機開動時聲音太鬧

若改爲

|| 18, 則線槽太狹

$$\text{槽距} = \frac{\text{槽距}}{\text{每安培導線數}}$$

$$= 0.622 \text{ 吋}$$

槽闊

$$= 0.311 = \text{槽距之半, 爲初步約計}$$

每吋安培導線數

$$= 600, \text{ 從初步設計}$$

每槽安培導線數

$$= 374 = \text{每吋安培導線數} \times \text{槽距}$$

滿載電流

$$= 62 \text{ 安培, 以 } \cos\theta = 0.897 = 0.89$$

每槽導線數

$$= 6 = \frac{\text{每槽安培導線數}}{\text{滿載電流}}$$

連接式

= Y, 因每線電流, 作爲與總線電流相等。

$\frac{\text{每吋安培導線數}}{\text{每安培圓塞爾數}}$

$$= 1.0 \text{ 從第四十四圖}$$

每安培圓密爾數

|| 600 需要之數

每線圓密爾數

|| 600 × 滿載電流

|| 37,200

導線粗細

|| 0.029 吋

線槽大小及導線截面，依下表計算之：

0.311 吋 || 假定的槽闊

0.067 吋 || 線槽絕緣闊

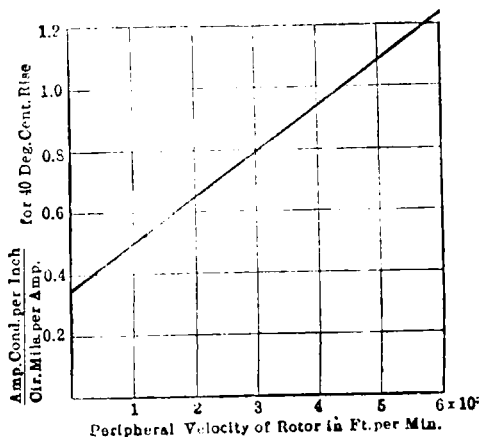
0.04 吋 || 必需之餘隙

0.207 吋 || 銅線及線上絕緣物所佔之闊度

用 0.2 吋闊之銅帶，外色雙層紗包，改槽闊為

0.2 吋，作為第二次之約計，則導線之大小 || 0.14 吋 × 0.2 吋

0.14 吋 || 每線之厚度



第四十四圖——靜止子端部連接線之發熱

0.015吋 || 紗包之厚度

0.155吋 || 每線及其絕緣物之厚度

0.465吋 || 三線及其絕緣物之厚度

0.084吋 || 每個線圈上槽內絕緣物之厚度

0.549吋 || 絕緣之圈線厚度

1.098吋 || 二個絕緣線圈之厚度

0.1 吋 || 槽頂蓋片之厚度

1.198吋 || 線槽之深度。

在確定線槽深度之前，應將裝在此架上之各種可能的定額之線捲，先行計算，故槽之深度應依最厚之線圈定之。此處應以 1.5 吋為適當之深度。

每相電壓

$$= \frac{440}{1.73} = 254, \text{ 因係 } Y \text{ 連接式}$$

每極磁線數

$$= 1,040,000, \text{ 從 } E = 2.22Z\phi_{10^{-8}} \text{ 式算之}$$

最小齒闊 $\parallel 0.302$ 吋，令槽闊 $\parallel 0.32$ 吋

每極最小齒面積 \parallel 最小齒闊 \times 每極槽數 \times 鐵心實長

$\parallel 19.6$ 方吋

最大齒密度

$\parallel \frac{\text{每極齒數}}{\text{每極最小齒面積}} \times \frac{\pi}{2}$

$\parallel 83,000$ 線每方吋

若此密度太高，則應增加機身長，或減小槽闊。

最大鐵心密度 $\parallel 65,000$ 線每方吋，假定

$\parallel \frac{\text{每極磁線數}}{2 \times \text{鐵心厚度} \times \text{鐵心實長}}$

鐵心厚度 $\parallel 1.48$ 吋，故用 1.5 吋，令靜心子之外直徑爲整數。

以上諸項記錄，可填入下第 9 節之設計表中。

旋轉子設計

氣隙長度

$\parallel 0.03$ 吋，從初步設計

外直徑

$\parallel 18.94$ 吋

鐵心總長

$\parallel 6$ 吋

通風溝

$\parallel 1-0.5$ 吋，略較靜心子為闊

鐵心實長

$\parallel 5.4$ 吋

線槽數

$\parallel \frac{\text{靜心子線槽數}}{1.2}$ ，此數須使電動轉時安靜

若令此數 $\parallel 2$ ，即每 2 個靜心子線槽，與 1 個旋轉子線槽相對，則結果起動旋力將不能均勻，故以採用 1.2 為是。

在滿載時之旋轉子電流

$$\parallel I_{11} \times \frac{\text{靜心子導線總數}}{\text{旋轉子導線總數}}$$

內 I_{11} 為靜心子線圈中之分電流，暫假定為 $0.85 \times I_1$ ，為初步之約計，但此值俟圓線圖算得繪成

後，應再糾正。

$$= 0.85 \times 62 \times \frac{96 \times 6}{79}$$

$$= 385 \text{ 安培}$$

每吋安培導線數

$$= \frac{385 \times 79}{\pi \times 19}$$

$$= 510$$

每吋安培導線數
每安培圓密爾數

$$= 1.0, \text{ 約與靜心子同}$$

每安培圓密爾數

$$= 510 \text{ 必需的}$$

導線之大小

$$= 510 \times 385$$

$$= 195,000 \text{ 圓密爾}$$

$$= 0.15 \text{ 方吋, 約}$$

線槽大小之選擇，須令旋轉子齒之下部磁線密度，不超過 120,000 線每方吋，其計算法如下：

假定的銅線截面，
線槽截面可容納

0.2吋 × 0.75吋

0.3吋 × 0.5吋

0.4吋 × 0.35吋

絕緣物及餘隙，

0.25吋 × 0.8吋

0.35吋 × 0.55吋

0.45吋 × 0.4吋

在槽底之旋轉子直徑，

17.14吋

17.64吋

17.94吋

最小槽距，

0.68吋

0.70吋

0.72吋

最小旋轉齒，

0.43吋

0.35吋

0.27吋

每極最小齒面積，

23方吋

18.7方吋

14.4方吋

每極磁線數，

1.04×10^6

1.04×10^6

1.04×10^6

最大齒密度，每方吋磁線數，

71,000

87,000

114,000

線槽之形狀，愈闊而愈淺者，旋轉子之電抗愈小，故三者中擇其最後一種，即0.45吋 × 0.4吋。
今再計算作圓線圖所需之實錄。

磁化電流

$$= 21 \text{ 安培，從 } I_0 = \frac{1}{0.87 \times \text{每極導線數}} \times \frac{\phi_a}{rL_g} \times 80 \text{ 算得。}$$

無負載損失

|| 1680瓦特鐵耗

+ 810瓦特承軸摩擦

} 公式及圖表從略

最大靜心子電流

|| 415安培

然後依比例尺作圓線圖如下：

旋轉子環之截面，求法如下：

最大靜心子導線損失

|| 57千瓦

故在第四十五圖，

ab || 75安培

最大旋轉子導線損失

|| 39千瓦

故

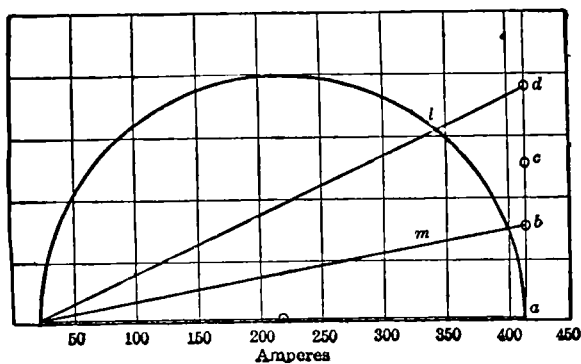
bc || 51安培

需要之最大起動旋力

|| 90同期馬力 (synchro-

nous h. p.)

|| 67同期千瓦



第四十五圖 --- 50匹馬力, 440弗打, 3相, 60周波, 900轉
感應電動機計算所得之圓線圖。

故

$$I_m = \frac{67 \times 1000}{1.73 \times 440}$$

|| 88 安培

又

$$bd = 113 \text{ 安培}$$

以滿載旋力起動之旋轉子損失

|| 50 同期馬力

|| 37 同期千瓦

其中環內之損失

$$= 37 \times \frac{dc}{bd}$$

|| 20 千瓦

端部環之重量

|| 1 磅每千瓦損失

|| 20 磅

環之平均直徑

|| 17.5 吋約

每個環之截面 = 0.57 方吋

環料之電阻因數，從下式求之，

$$\text{二環中之損失} = 0.5 \left(\frac{N_2 b_2 I_{e2}}{1000 p} \right)^2 \times \frac{D_r k_r}{A_r}$$

$$\text{內 } I_{e2} = \text{最大旋轉子電流} = (415 - 21) \frac{96 \times 6}{79}$$

$$= 2880 \text{ 安培}$$

$$\text{又相配之環中損失} = 1.73 \times 440 \times c d$$

$$= 1.73 \times 440 \times 62$$

$$= 47,000 \text{ 瓦特}$$

$$\text{故 } 47,000 = 0.5 \left(\frac{79 \times 2880}{1000 \times 8} \right)^2 \times \frac{17.5 \times k_r}{0.57}$$

$$\text{由此求得 } k_r = 3.8$$

端部連接環之材料，以某種標準的混合金屬爲之，此處所用者，其電阻較銅大五倍，其截面增至0.75方吋，以維持同等之損失。

此項設計今已完成，所得實錄應彙成便於觀覽之表式，如第9節之表格。

(8) 繞線式感應電動機之設計——今擬設計一繞線式之旋轉子，該機之定額爲30匹馬力，440弗打，3相，60周波，300轉，其靜心子之實錄，詳見下節。

此項工作與鼠籠式機之設計方法相類。

氣隙長度
= 0.03吋，與鼠籠式電動機同

外直徑
= 18.94吋

鐵心總長
= 6吋

通風溝
= 1—0.5吋

鐵心實長
= 5.4吋

線槽數
= $\frac{\text{靜心子線槽數}}{1.2}$ ，欲求動作安靜，應

＝80；現採用72，即每極9槽

每槽導線數

＝2，假定此數可繞成最簡單之線捲

在滿載時每線之電流

$$= 0.85 \times 62 \times \frac{96 \times 6}{72 \times 2}$$

＝210安培

在靜心時之端部電壓

$$= 440 \times \frac{72 \times 2}{96 \times 6}$$

＝110弗打

若線捲改爲每槽四線，Y式連接，則刷子與轉環可以較賤，且易於散熱。故

在滿載時每線之電流

＝105安培

在靜心時之線端電壓

＝220

每吋安培導線數

＝510

每安培導線數 $\parallel 1.0$, 與靜心子同

每安培圓密爾數 $\parallel 510$

每安培所需之圓密爾數 $\parallel 510 \times 105$

$\parallel 53,500$ 圓密

$\parallel 0.042$ 方吋

線槽大小之求法, 與鼠籠式電動機同, 今可選定為

$\parallel 0.42$ 吋 $\times 1.0$ 吋

導線大小 $\parallel 0.12$ 吋 $\times 0.35$ 吋, 橫二根, 豎二根

磁化電流 $\parallel 21$ 安培, 與鼠籠機同

鐵損失 $\parallel 1,680$ 瓦特

承軸摩擦損失 $\parallel 810$ 瓦特

最大靜心子電流之求法, 與鼠籠式機相似, 在繞線式之旋轉子, 其每相電抗為

$$= 2\pi f b^2 c^2 p^2 n \left[\frac{\phi_e L_e}{2n_1 p} \times \frac{4}{3} + \left(\frac{\phi_s + \phi_z}{n_1 p} + \frac{\phi_s + \phi_z}{n_2 p} + \frac{\text{常数} \times \tau}{p \times \delta \times C_1 C_2} \right) L_g \right] 10^{-8}$$

取 $\tau = 7.5 \text{ 吋}$

$$\frac{\phi_e L_e}{2n_1} = 4.3, \text{ 參看第 244 圖}$$

$$\lambda_1 = 0.622 \text{ 吋}$$

$$\delta = 0.03 \text{ 吋}$$

$$C_1 = 1.52$$

$$C_2 = 1.16$$

$$\begin{aligned} \frac{\phi_s + \phi_z}{n_1 p} &= \frac{1}{96} \left[3.2 \left(\frac{1.3}{3 \times .32} + \frac{0.2}{0.32} \right) + 0.26 \times \frac{0.622}{00.3} \left(\frac{1}{1.52} + \frac{1}{1.03} - 1 \right)^2 \right] \\ &= \frac{1}{96} [6.3 + 2.1] \end{aligned}$$

$$\lambda_2 = 0.83$$

$$\frac{\phi_s + \phi_z}{n_p} = \frac{1}{72} \left[3.2 \left(\frac{1.0}{3 \times 0.42} + \frac{0.1}{0.42} + \frac{2 \times 0.07}{0.42 + 0.1} + \frac{0.03}{0.1} \right) + 0.26 \times \frac{0.83}{0.03} \left(\frac{1}{1.52} + \frac{1}{1.03} - 1 \right)^2 \right]$$

$$= \frac{1}{72} [5.1 + 2.8]$$

總數 = 1.5 × 0.00107, 此數從下表求得

每極靜心槽數 二相電動機 三相電動機

6 0.0052 × 3 0.00107 × 3

12 × 1.5 × 1.5

18 × 1.25 × 1.25

24 × 1.15 × 1.15

30 × 1.10 × 1.10

無窮數 × 1.0 × 1.0

$$\begin{aligned}
 X_{e4} &= 2\pi \times 60 \times 6^2 \times 4^2 \times 8^2 \times 3 \left[\frac{4.3}{8} \times \frac{4}{3} + \left(\frac{8.4}{96} + \frac{7.9}{72} + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. 0.00107 \times 1.5 \times \frac{7.48}{8 \times 0.03 \times 1.52} \right) \times 6 \right] \times 10^{-9} \\
 &= 0.415 \times [0.72 + (0.088 + 0.11 + 0.032)6] \\
 &= 0.87
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{電壓} &= \frac{440}{1.73} = 254
 \end{aligned}$$

每相最大電流 $= \frac{254}{0.87} = 300$ 安培，鼠籠式為 415 安培。

(9) 感應電動機設計單——長度皆以英寸為單位。

	靜心子	鼠籠式	繞線式
外直徑，	25	18.94	18.94
內直徑，	19	15.5	14.5

架長，	6.375	6.5	6.5
端部通風溝，	無	無	無
中央通風溝，	1-0.375	1-0.5	1-0.5
鐵心總長，	6	6	6
鐵心實長，	5.4	5.4	5.4
線槽數目，	96	79	72
大小，	0.32×1.5	0.45×0.4	0.42×1.0
每槽導線數目，	6	1	4
大小，	0.14×0.2	0.4×0.35	0.12×0.35
線捲式樣，	雙層	鼠籠式	雙層
連接法，	Y		Y
最小槽距，	0.622	0.72	0.73

最小齒闊,	0.302	0.27	0.31
鐵心厚度,	1.5	1.22	1.12
極距,	7.46		
每極最小齒面積,	19.6	14.4	15
鐵心面積,	8.1	6.6	6.0
每極外似的氣隙面積,	45		
每極磁線數,	1.04×10^6	1.04×10^6	1.04×10^6
最大齒密度,	83,000	114,000	110,000
最大鐵心密度,	64,000	79,000	86,000
每吋安培導線數,	600	510	510
每安培圓密爾數,	570	460	510
導線長度,	20.5	10.5	19

每線最大電流,	415	2.880	560
最大導線損失,	57 千瓦	39 千瓦	32 千瓦
	靜心子	鼠籠式	繞線式
每個端部連接環之截面,		0.75	
電阻因數,		5.0	
最大環損夫,		47 千瓦	
外似氣隙密度,	23.000		
氣隙長度,	0.03		
卡特係數,	1.52	1.03	1.03
磁化電流, 氣隙,	17.3		
總量,	21		
$K_1 + K_2 L_g,$	12		16.75 總寸

每相電抗,	0.62	0.87靜止子
最大總線電流, I_d ,	415	2880
定額		300靜止子
馬力,	50	
線端電壓,	440	
安培,滿載,	62	385
相數,	3	105
周波率,	60	
同期速度,每分鐘轉數,	900	
磁極數,	8	

(10) 25周波電動機之設計——今需設計一電動機,定額如下:

50匹馬力, 440弗打, 3相, 25周波, 750轉, 鼠籠式。

$B_g = 27,000$, $q = 600$, $\cos\theta = 90$ 百分數, $\eta = 89$ 百分數, $D_a^2 L_g = 2200$

D_a	L_g	r	V	δ	$K_1 + K_2 L_g$	$\frac{I_0}{I}$	$\frac{I_1}{I}$
13	13	10.2	2.55	0.30	$5.0 + 14.4 = 19.4$	0.27	10.2
15	9.75	11.8	2.95	0.29	$5.4 + 10.0 = 15.4$	0.23	9.6
17	7.6	13.3	3.34	0.28	$5.7 + 7.2 = 12.9$	0.19	9.0
19	6.1	14.9	3.74	0.29	$6.0 + 5.4 = 11.4$	0.18	8.1
21	5.0	16.5	4.12	0.30	$6.4 + 4.2 = 10.6$	0.17	7.2

以磁化電流及過負載容量言之,以上諸機皆稱滿意,但13吋之一機,機身太長,不易通風,可無需考慮。其他諸機中,要以直徑最小者,成本最廉,故入選者當在15吋直徑及17吋直徑之間。此二機之成本相差無幾,惟17吋機通風較易,外觀亦較佳也。

十七吋機之詳細設計如下:此機之百分率磁化電流甚小,故宜增加氣隙,高過0.029吋之最低值。此值現定為0.04吋,如此磁化電流不致太大,而滿載工率因數亦不致太低。

磁極數，

$$= 4$$

靜心子內直徑，

$$= 17\text{吋}$$

鐵心總長，

$$= 7.5\text{吋}$$

通風溝，

$$= 2-0.5\text{吋}$$

鐵心實長，

$$= 6.8\text{吋}$$

每極線槽數，

$$= 12\text{或}18$$

槽距

$$= 1.12\text{吋} \quad 0.74\text{吋}$$

每槽安培線數

$$= 670 \quad 445$$

每槽安培線數

$$= 17 \times 10^3 \quad 11 \times 10^3$$

氣隙長度

聲太鬧 安靜

每極線槽數，

$$= 18, \text{適用於二相及三相}$$

極距，

$$= 13.4\text{吋}$$

槽距，
= 0.74吋

槽闊，
= 0.37吋

每吋安培線數，
= 300，從初步設計

每槽安培線數，
= 445

滿載電流，
= 61

每槽線數，
= 7.3，Y式連接

$\frac{\text{每吋安培線數}}{\text{每安培圓密爾數}}$ ，

= 12.6， Δ 式連接
= 0.82

用12個 Δ 線捲之每吋安培線數，
= 570

每安培圓密爾數，
= 700

每線安培數，
= 35，用 Δ 連接式之線捲

每線圓密爾數，
= 25,000

導線之截面，
= 0.02方吋

線槽大小，

$$= 0.08 \times 0.25 \text{吋}$$

每相電壓，

$$= 0.37 \times 1.75 \text{吋}$$

每極磁線數，

$$= 440, \text{因連接式爲} \Delta$$

最小齒闊，

$$= 2,900,000$$

每極最小齒面積，

$$= 0.37 \text{吋}$$

最大齒密度，

$$= 45.5 \text{方吋}$$

$$= 100,000 \text{線每方吋}$$

此機之旋轉子，與第7節60周波機所採用之方法相同，線槽數目大約等於59。

大凡在平常用途，電動機之過載容量，已綽乎有餘，故 σ 之值，或可改至600以上。如此則機身可以稍短，從第1節之公式可以見之，但機身短則銅線之截而宜大，方使發熱不超過合理的限度，又每槽之導線數亦應增多。故以成本言，機身減短之所獲，適與銅量增多之所失相抵消，此則在靜心子及旋轉子二者皆然也。

(11) 依一定之直徑而改變機長之設計——如製造大小不同之數種感應電動機，而欲節省工具方面之設備，其法莫如依同一之直徑，而作至少二種機身長之設計。在小規模之製造廠中，機之輸出量不甚大者，可將每一直徑用三種不同之機長即（架長）。

今有三種機長不同之鼠籠式電動機，其直徑同為19吋，磁極數8，周波60，每分鐘900轉。茲將其各項數值列表如下：

靜心子之外直徑，	25吋	25吋	25吋
靜止子之內直徑，	19吋	19吋	19吋
架長，	4.5吋	6.375吋	8.125吋
中央通風溝，	無	1—0.375吋	1—0.375吋
鐵心總長，	4.5吋	6吋	7.75吋
鐵心實長，	4.05吋	5.4吋	7.0吋
槽數，	96	96	96

線槽大小,	.32吋×1.5吋	.32吋×1.5吋	.32吋×1.5吋
每槽導線數,	8	6	8
導線大小,	0.1吋×0.2吋	0.14吋×0.2吋	0.1吋×0.2吋
連接式,	Y	Y	Y
每吋安培導線數,	580	600	600
每安培圓密爾數,	560	580	600
每導線安培數,	45	62	46.5
每終端線中之安培數,	45	62	80
線端電壓,	440	440	440
相數,	3	3	3
輸出量,	35匹	50匹	65匹
氣隙長度,	0.03吋	0.03吋	0.03吋

磁化電流，	16安培	21安培	27安培
K 實數，	4.30	4.30	4.30
$K_2 L_2$ 實數，	5.90	7.90	9.90
每相電抗，歐姆數，	0.92	0.62	1.27
總線中之最大電流，	275安培	410安培	600安培
磁化電流，百分數，	35	34	34
最大電流，滿載之倍數，	6.1	6.6	7.5

以上諸機可分別在以下諸節中討論之。

每槽導線數——以上諸機皆用同一之鑿板機，將靜心子之鋼板鑿成同等之直徑，及同數目之線槽，故各機之磁線密度相等，其每極磁數，與鐵心之實長成正比例。按每線之電壓與每極磁線數成正比，故若每相之電壓各機相同，則直列相接之導線數，自必與每極磁線數成反比，亦即與架長中之鐵心實長成反比也。

導線大小——若各機中每槽之銅線總面積相同，則導線之粗細，與每槽導線數成反比。

電流定額——若導線中之電流密度，各機相等，則每線中之電流自必與導線之截面成正比。若作△連接式，則電流定額，與每線中之電流量同；若為△連接式，則電流定額，等於1.73乘每線中之電流。

輸出量——以同等之銅線總截面計，各機之輸出量，應與鐵心之實長成正比，因

輸出量 \parallel 一常數 \times 相數 \times 每相弗打數 \times 每相電流

$$\parallel \text{一常數} \times n \times Z \phi_a \times I_a$$

$$\parallel \text{一常數} \times n Z I_a \times \phi_a$$

$$\parallel \text{一常數} \times \text{銅線總截面} \times L_a$$

磁化電流 $\parallel \frac{1}{0.87 \times \text{每極導線數}} \times B_g \times \delta \times C$ ，內 B_g, δ 與 C 皆為常數，故磁化電流與每極導

線數成反比，亦即與每槽導線數成反比。

最大電流——每相之漏磁，含有二部分，一為端部連接之漏磁，此與架長無關，一為線槽中曲折的漏磁，此則與架長成正比。每相之電抗

$$= 2\pi f b^2 c^2 p n (K_1 + K_2 I_g) 10^{-8}$$

$$= \text{— 常數} \times b^2 (K_1 + K_2 I_g)$$

此式用於以同一鑿片製成之諸機。

(12) 各種電壓之線捲——35匹馬力，440弗打，3相，45安培，60周波，每分鐘600轉之感應電動機，其靜止子之構造如下：

靜心子之內直徑 19吋

架長 4.5吋

線槽數 96

線槽大小 0.32×1.5 吋

每槽導線數目 8

大小

0.1 × 0.2

連接式

Y

今欲設計以下諸電壓之線捲：

220 弗打，3相，60周波

250 弗打，3相，60周波

250 弗打，3相，60周波

250 弗打，3相，60周波

每槽導線數

$E = 2.22kZ\phi_a f 10^{-8}$ 弗打

$=$ 一常數 $\times k \times \frac{\text{每槽導線數}}{\text{相數}}$ ，對於一指定之架長及周波率。

照上述之機， $k = 0.956$ 指三相線捲

$$= 0.908 \text{ 指 } 11 \text{ 相線捲}$$

$$\text{又該常數} = \frac{\text{每相弗打數} \times \text{相數}}{k \times \text{每槽導線數}}$$

$$\begin{aligned} & \frac{440}{1.73} \times 3 \\ & = \frac{0.956 \times 8}{100} \end{aligned}$$

各種電壓之線捲可列表如下：

線端電壓	相數	每相電壓	每槽線數	連接式	
440	3	254	8	Y	用每槽8線，接成Y式。
220	3	127	4	Y	
550	3	320	10	Y	
250	3	144	4.55	Y	
.....	..	250	8	Δ	
550	2	550	12.2	單路	此為不可能之線捲。以此代上捲。用每槽12線。

導線大小——選擇導線大小之法，須使靜心子之銅耗及銅線發熱，每種電壓皆相同；此則須令每吋之安培導線數與每安培圓密爾數之比為常數。此項設計工作可依下表為之：

線端電壓	相數	每端電流	每線電流	每槽線數	連接式	每吋安培線數	每安培圓密數	導線大小
440	3	45	45	8	Y	580	560	$0.1 \times 0.2\frac{1}{2}$
220	3	90	45	8	YY	580	560	$0.1 \times 0.2\frac{1}{2}$
550	3	36	36	10	Y	580	560	$0.08 \times 0.2\frac{1}{2}$
250	3	80	48	8	Δ	600	600	$0.11 \times 0.2\frac{1}{2}$
550	2	31	31	12	單路	600	610	$0.075 \times 0.2\frac{1}{2}$

旋轉子線捲，不論靜心子之電壓及相數如何，皆為相同，因靜止子與旋轉子間之惟一的連接，乃氣隙中之磁力線，此線數倘靜止子用適當數之每槽導線數，則並不變更。故製造者可預製若干同樣之電動機，以備採購，惟靜心子線捲則臨時製造，視購者所需之電壓及相數而異。

讀者須知本章所述之各種設計，並非只此一法。電氣設計變化甚多。關於磁線密度及每吋安培導線數，亦可用他種數值，而製成一滿意之電動機，且成本或竟較廉。倘工價甚賤，亦可採用閉口

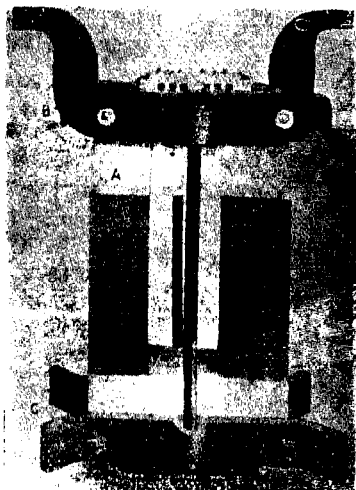
式之靜心子線槽，並添用風扇及強迫通風法等，以減小機身，而仍得同等之輸出量。

設計者苟對於指定之定額，已完成一種設計，應再覆核一過，變更其中某種數值，逐步試算，至完全滿意乃止。務使依其設計而製造之廠家，能製成成本最低運用可靠之機，方為盡其設計之能事矣。

第四編 變壓器

第十章 變壓器構造

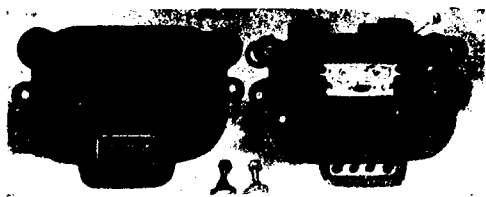
(1) 口字式小變壓器——第四十六圖及第四十七圖表示此種小變壓器之各部機件。其口字形之鐵心，係用鑿成口形之薄鋼片拼合而成，各片之間塗漆以爲絕緣，將兩端接合，遂一通連之磁路。接合處各片交互疊合，所以減小磁路之磁阻也。鐵心接合之前，先穿入線圈，然後用口與口二夾板夾緊。在鐵心與低壓線圈之間，



第四十六圖——小變壓器之鐵心

插入分隔木片 \square ，使線圈及鐵心結合堅實，不致因震動而生噹噹之聲。

線圈初皆繞於木架上，既成乃浸以特製之化學藥品。如第四十七圖所示，低壓圈分 \square 與 \square 二半圈，各繞於鐵心之左右二柱上。在此二分圈之間，則夾入高壓線圈 \square 。如此可以減低電抗。線圈與



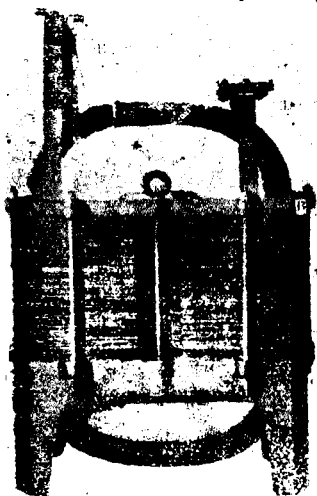
第四十七圖——口字形小變壓器

線圈及線圈與鐵心之間，皆置分隔木片，令變壓器浸入油中時，油得環迴周流其間，使鐵心與線圈得以散熱。

器內共有二個正圈 (primary coil)，二個副圈 (secondary coil)，每圈之線頭，從圈內引出，經過一絕緣板上，板上裝一瓷板，供高壓線頭連接之用，自此或將高壓諸線圈接成直列或並列。從高壓線頭板上引出之二線，及從低壓圈引出之四線，皆經過瓷墊而穿出變壓器之外部。

變壓器中滿儲礦質之油，油面與線圈齊，此油可作絕緣物，又可流動器內各部，令線圈所生之熱，藉此傳至外面。

(2) 日時字式大電力變壓器——此種變壓器之鐵心作「日」字形，故名日時式變壓器 (shell-type transformer)，其各部分構造詳見第四十八圖及四十九圖。其鐵心用鑿成之許多鋼片集成，各片之間以油漆為



第四十八圖 —— 日字式大變壓器

絕緣，其形狀見第五十一圖。鐵心各片之連接處交互疊合，所以減少磁路之電抗。此種變壓器之製



第四十九圖——日字式變壓器裝

置時之情形

造，係先製線圈，然後將鐵心裝於線圈四周，並夾緊於 \square 與 \circ 二夾板之間；其一為底板，下裝四足，為支持全器之用，其頂板則裝有二塊線頭板 \square 及 \square ， \square 板接高壓線頭， \square 板接低壓線圈。鐵心中有時插入間隙片，使成平行之通風溝。此溝及鐵心之輻射面二者，可助其散熱，但如圖中之機，則無需乎

此溝也。

變壓器內之線圈，分別繞於繞線架上，各別包裹，然後於各圈間加絕緣物，集成一組；於此線圈之周圍，再裝鐵心，如第四十九圖所示。高壓與低壓之二種線圈，相間疊置，如第五十圖所示，以減小其電



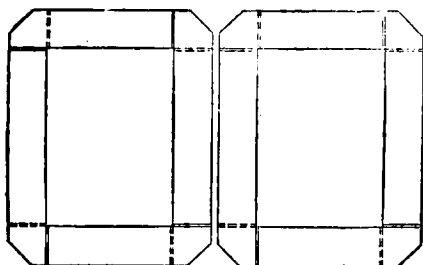
第五十圖——用於日字式變

壓器之薄餅式線圈

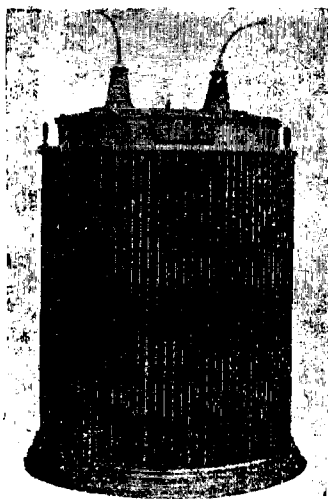
抗。此圖中之 \square 爲硬紙板之襯片。置於高壓線圈與低壓線圈之間，以爲絕緣，在二個鄰近之高壓線圈之間，則以相似而較小之襯片 \square 分隔之。線圈之間有充分之通風溝，令油得周流其間。

第四十七圖所示之變壓器之外殼，若用於大電力變壓器，則其輻射面積，將嫌太小，應改用凹

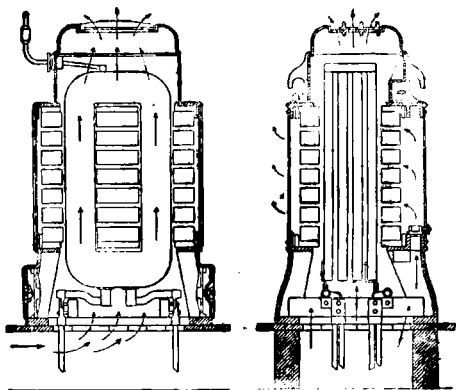
凸面之箱子，庶有特大之散熱面積，如第五十二圖，或用吹風式，如第五十三圖，或用水管式如第五十四圖。



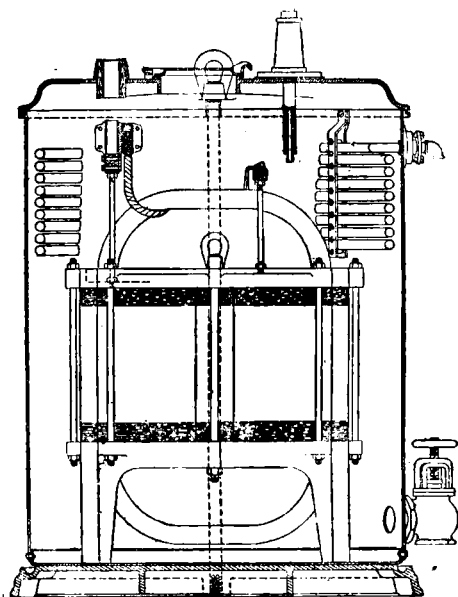
第五十一圖——日字式變壓器之磁片裝成鐵心之法



第五十二圖——凹凸面之變壓器桶



第五十三圖——吹風式變壓器



第五十四圖——水管散熱式之變壓器

變壓器外壳須用長螺旋帽釘，從頂板直貫底板而旋緊之，庶將全器舉起時，不致使外壳受張力而損壞，蓋其質料多屬銅鐵，分量沉重，宜依此設計為妥。

第十一章 設計程序

(1) 輸出量公式

$$E = 4.44f\phi_a f 10^{-8}$$

又 $E =$ 輸出瓦特數

$$= 4.44fI \times \phi_a \times f \times 10^{-8}$$

$$= 4.44 \frac{\phi_a^2}{k_f} \times f \times 10^{-8} \quad \text{內 } k_f = \frac{\phi_a}{fI} = \frac{\text{磁負載}}{\text{電負載}}$$

線圈每周之弗打數 $= V_c$

$$= 4.441\phi_a f 10^{-8}$$

$$= 4.44f \times 10^{-8} \sqrt{\frac{\text{瓦特數} \times k_f}{4.44f 10^{-8}}}$$

$$= \sqrt{\text{瓦特數}} \times \sqrt{4.44k_f f 10^{-8}}$$

$$4E = 4.44T\phi_m f 10^{-8}$$

故以同一電壓言，周波率愈低，則 $\phi_m \times T$ 之乘積愈大。若此變壓器線圈之周數甚多，即 $E \propto \frac{\phi_m}{T}$ 之值甚小，則其銅耗即因周數之多而增，又其鐵心耗損，則因周波率之低而小。此等變壓器之最高效率，約在不及滿載之點。若欲令其最高效率近於滿負載點，則其滿載時之銅耗與鐵心耗應大約相等，其磁線數則隨周波率之減低而增加。從經驗所得， $E \propto \frac{\phi_m}{T}$ 之值約與周波率成反比，即 E_m 約為一常數，故

$$\text{每周之弗打數, } V_e = \frac{\text{磁線數} \times \sqrt{\text{瓦特數}}}{80}$$

式中該常數之平均值，今據經驗所得者，列舉如下：

$$\frac{1}{80} \text{ 爲口字式配電變壓器}$$

$$\frac{1}{50} \text{ 爲口字式電力變壓器}$$

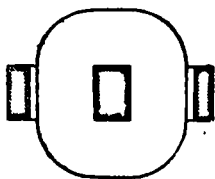
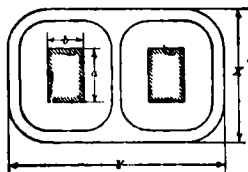
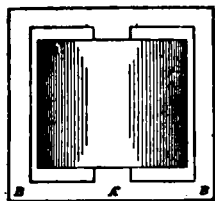
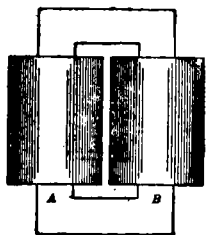
$$\frac{1}{25} \text{ 爲日字式電力變壓器}$$

配電變壓器之常數，較電力變壓器爲小，其故在後者之最高效率，欲其在滿負載之附近，前者則求其鐵耗少而全日效率高也。欲令鐵耗減少，必須減小 $\frac{W}{V} \parallel \frac{1}{H} \frac{1}{L}$ 之值，故上式中之常數不得小也。

此常數在口字式及日字式二種變壓器亦各不同，其故在二者之構造不同。第五十五圖表示一日字式變壓器之普通的比例距離。大概爲 $1.5 \times b$ ，如此使與 \times 與 \vee 之比值，在合理的限度以內，以免箱形過於狹長。

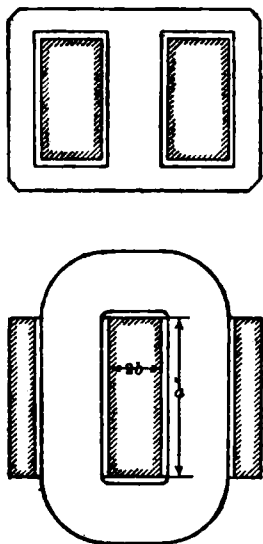
如將第五十五圖變壓器之 B 柱上之線圈，移置 \triangleright 柱上，復將 \square 柱依中心線剖分爲二，移向一邊，則此口字形者即變爲第五十六圖日字形之鐵心矣。如此所成之日字形鐵心，與原來之口字形

鐵心，銅量及鐵量皆相等，但其形扁而矮，其所佔地位較大。故須將此比例改變，如第五十七圖所示之普通形狀。若以同等定額言，則第五十七圖之變壓器，其 $\frac{H}{L}$ 之比，約為第五十五及五十六兩圖之變壓器之四倍。即謂日字式之變壓器，其磁線數約為口字式變壓器之二倍，其線圈周數則當口字器之半，而二者之定額則相等。此器之距離 ϕ 普通約為 $\phi \times 0.5$ ，方可製成合式之鐵心。



第五十五圖——口字式變壓器

第五十六圖——日字式變壓器



第五十七圖——日字式變壓器

(2) 口字式變壓器之設計程序——

每周弗打數 $= \frac{1}{50} \sqrt{\text{瓦特數}}$ 對於電力變壓器

$= \frac{1}{80} \sqrt{\text{瓦特數}}$ 對於配電變壓器

線圈數目之選定，應以每圈電壓小於 500 弗打為準，但線圈數目不可少於二個高壓圈及二個低壓圈。每圈所繞之周數等於

從最近的油溝量起之線圈厚度，不可大於 1.0 吋，惟配電用之小變壓器，其絕緣方法與大變壓器異，且低壓圈與鐵心之間，並無油溝，則不在此例。此種小變壓器，自鐵心至油之厚度可增至 2.0 吋，其理由為線捲之內層所發之熱，得經過絕緣物而導至鐵心，且從鐵心之表面發散之。

線之截面圓密爾數，可從下式計之，

$$\text{每安培圓密爾數} = 1350 \sqrt{(1-k)^2 \times 2X} \quad \text{內}$$

X 為從線圈內面至最近之油面或鐵心表面之最大厚度， $(1-k)^2$ 為線圈縱層中百分數銅量 × 橫層中百分數銅量。線之截面面積即為線圈中之滿載電流，乘每安培圓密爾數之積。線之截面，須擇其厚度不過 0.125 吋者，且宜平繞。

線圈之層數，與假定的線圈厚度中之線數相同；每層導線數，即為每圈總周數，被層數所除之數，又線圈之高度，即為每層周數乘平行於鐵柱方向之線之厚度之積。

鐵心中之磁線數從下式求之，

$$E = 4.44 \times \text{周數} \times \text{磁線數} \times \text{周波率} \times 10^{-8}$$

又鐵心面積 = $\frac{\text{鐵心中之磁線數}}{\text{鐵心密度}}$ ，內鐵心密度之值，暫取初步約計之數，

|| 65,000 線每方吋

在 60 周波之配電變壓器

|| 75,000 線每方吋

在 25 周波之配電變壓器

|| 90,000 線每方吋

在 60 周波之電力變壓器

|| 80,000 線每方吋

在 25 周波之電力變壓器

60 周波之變壓器用混合鐵，以減少配電變壓器中之損失，提高全日效率，並可減低電力變壓器中之發熱量。25 周波之變壓器則用平常之鐵，因周波率較低，其損失尚小，但密度則宜減低，庶磁化電流對滿負載電流所佔之百分數，不致過大。

鐵心及線圈可依比例尺繪成圖樣。其損失，磁化電流，電阻及電抗均應計算確定，並定其外壳

之大小。設此變壓器之設計，不與預期相合，則應改變之。

若鐵耗太大，應將鐵心密度減低，此則須增大變壓器之體積，或將磁線總數減少，此則須在同一電壓下，增加線圈周數，於是其銅耗亦隨之而增加。

電阻與電抗二者，欲求其減低，低須減少周數，因電阻與周數成正比，而電抗亦與周數之平方成正比也。

例——試設計及確定——15千弗安，2200至220弗打，60周波配電變壓器之特性。

高壓線捲之設計

每周弗打數 = 1.52

總周數 = 1440

線圈數 = 2：每柱1圈

每圈周數 = 720

線捲總厚度 = 2.0吋，假定

每安培圓密爾數

$$= 1350 \times \sqrt{2 \times 0.9 \times 0.8}$$

$$= 1620$$

滿載電流

$$= 6.8 \text{ 安培}$$

線之截面

$$= 11,000 \text{ 圓密爾；用 10 號 B. \& S. 方線。}$$

$$= 0.1019 \text{ 吋} \times 0.1019 \text{ 吋，其截面爲 13,000 圓密爾。}$$

絕緣物

$$= 0.014 \text{ 吋，雙層紗包皮}$$

0.014 吋，各層間之線板

$$(1-k) \text{ 縱} = \frac{0.1019}{0.1119} = 0.91$$

$$(1-k) \text{ 橫} = \frac{0.1019}{0.1259} = 0.81$$

層數

$$= \frac{1.0}{0.1019 + 0.01 + 0.014}$$

|| 8

每層周數

|| 90

線捲高度

|| $90 \times (0.1019 + 0.01)$

|| 10吋

鐵心柱內部高度

|| 11.75吋

低壓線捲之設計

總周數

|| $1440 \times$ 變壓比例

|| 144

每圈周數

|| 72

每安培圓密爾數

|| 1620, 與高壓線圈同

線之截面

|| 110,000 圓密爾

|| 0.087 方吋

≈ 0.11 吋 $\times 0.8$ 吋；此線頗難繞於小變壓器上，因其闊度太闊，

故變更其線圈如下：

每圈周數 ≈ 72 ；線圈數目 ≈ 4 ，以二圈並列連接；線之截面為

$$\approx 0.11 \text{ 吋} \times 0.4 \text{ 吋}$$

絕緣物

$$\approx 0.015 \text{ 吋, 紗包}$$

0.014 吋，各層間之紙板

每層周數

$$\approx \frac{\text{線捲高度}}{\text{線之闊度}}$$

$$\approx \frac{10.0}{0.415}$$

$$\approx 24$$

每圈層數

$$\approx \frac{72}{24}$$

$$\approx 3$$

每柱層數

|| 6, 因每柱有二線圈

線捲厚度

|| $(0.11\text{吋} + 0.015\text{吋} + 0.014\text{吋}) \times 6$

|| 0.83吋

在高壓圈與低壓圈間之絕緣物之厚度 || 0.12吋

鐵心設計

磁線數

|| 5.72×10^5

鐵心密度, 假定

|| 65,000 線每方吋

必需的鐵心截面

|| 8.8 方吋

實際採用之截面

|| 2.5×4 , 其集合因數 || 0.9

鐵心開口闊度

|| 4.5 吋, 令每柱上之諸線圈間, 有少許餘隙。

耗損及磁化電流之計算

低壓線圈之平均周長

|| 16.6 吋

副圈之電阻

$$= \frac{144 \times 16.6}{2 \times 0.11 \times 0.4 \times 1.27 \times 10^6}$$

$$= 0.021 \text{ 歐姆}$$

高壓線圈之平均周長

$$= 24 \text{ 吋}$$

正線圈之電阻

$$= \frac{1440 \times 24}{13000}$$

$$= 2.6 \text{ 歐姆}$$

正圈中之耗損

$$= 2.6 \times 6.8^2$$

$$= 120 \text{ 瓦特}$$

副圈中之耗損

$$= 0.021 \times 68^2$$

$$= 97 \text{ 瓦特}$$

鐵心重量

$$= 110 \text{ 磅}$$

實在鐵心密度

$$= 63,500 \text{ 線每方吋}$$

鐵心耗損瓦特數(混合鐵)

$$= 110 \times 0.9$$

$$= 99 \text{ 瓦特}$$

弗安數勵磁力

$$= 110 \times 5$$

$$= 550$$

百分數勵磁電流

$$= 3.3$$

調整率之計算

等量正圈電抗 $= 2\pi f \times 3.2T_1^2 \times \frac{MT}{L} \left(\frac{d_1}{3} + \frac{d_2}{3} + S \right) 10^{-8} \times 2$

內 $f = 60$

$$T_1 = 720$$

$$MT = \frac{16.6 + 24}{2}$$

$$= 20.3 \text{ 吋}$$

$$L = 10 \text{吋}$$

$$d_1 = 1.0 \text{吋}$$

$$d_2 = 0.83 \text{吋}$$

$$S = 0.12 \text{吋}$$

$$\text{線圈數} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{正圈之 } X_{\text{eq}} &= 2\pi \times 60 \times 3.2 \times 720^2 \times \frac{20.4}{10} \left(\frac{1.0 + 0.83}{3} + 0.12 \right) \times 10^{-8} \times 2 \\ &= 18.6 \text{歐姆} \end{aligned}$$

正圈之電抗降壓

$$= 18.6 \times 6.8$$

$$= 126 \text{弗打}$$

$$= 5.8 \text{百分數}$$

正圈之電阻降壓

$$= 2.6 \times 6.8$$

$$= 17.6 \text{弗打}$$

副圈之電阻降壓

$$= 0.021 \times 68$$

$$= 1.43 \text{ 弗打}$$

正圈之電阻降壓

$$= 17.6 + 1.43 \times \frac{2200}{220}$$

$$= 31.9 \text{ 弗打}$$

$$= 1.44 \text{ 百分數}$$

外壳之設計

在滿負載時之總耗損，分下列諸項：

鐵耗， 98瓦特

正圈銅耗， 120瓦特

副圈銅耗， 97瓦特

總耗損， 316瓦特

對於油之增溫36度攝氏表之每方吋瓦特數 $\parallel 0.225$ ，故外壳與油之接觸面積應

$$= \frac{316}{0.225}$$

$$= 1400 \text{ 方吋}$$

(3) 日字式變壓器之設計程序——此項設計程序，與口字式變壓器完全相同，惟此處線圈之闊度，鮮有大於 0.5 吋者，其故在欲增加其幅射面積，且得藉此採用較高之銅密度也。

又線圈數目之決定，須每圈電壓在 5000 弗打以下；其線捲有時須分之又分，以減少其電抗。

例——試設計一 1500 千弗安，63,500 至 13,200 弗打，25 周波電力變壓器，用於 110,000 弗打之三相線上。

高壓線捲之設計

每周電壓 = 49

總周數 = 1300

線圈數 = 12

每圈周數 = 108 平均；用 113 周之線圈十個，85 周者二個置於兩端。

線圈闊度，假定

$$= 0.4 \text{吋}$$

每安培圓密爾數

$$= 1260 \sqrt{0.4 \times 0.6}$$

$$\text{內}(1-k)^2 \text{假定爲} = 0.6$$

$$= 615$$

線之截面積

$$= 14,500 \text{圓密爾}$$

$$= 0.0285 \times 0.4 \text{吋}$$

絕緣物

$$= 0.015 \text{吋紗包}$$

$$0.014 \text{吋紙板}$$

$$(1-k) = \frac{0.0285}{0.0575} = 0.5$$

在平常情形下，線截面之計算，應用 $(1-k)$ 之正確數值而覆核之，以求每安培之圓密爾數。但在極高壓之變壓器中，以銅量與鐵量及絕緣量相較，銅量爲少，故不應爲節省少量之銅線，而冒

增溫過度之危險。故此變壓器所選用之導線為 0.03×0.4 吋。

線捲之高度

↓ 周數 \times 絕緣線之厚度

$$= 113 \times (0.03 + 0.015 + 0.014)$$

$$= 6.7 \text{吋}$$

↓ 7吋令稍留餘地

線捲與鐵心間之空隙

$$= 4.5 \text{吋}$$

鐵心開口之闊度

$$= 7 + (2 \times 4.5)$$

$$= 16 \text{吋}$$

今當決定線圈之排列法，其法有數種，如第五十八圖所示。▷式之排列，需用一極長之鐵心，且須佔極大之地位，其鐵心耗損與磁化電流均大，因其磁路中之鐵量甚巨，但在此三式中，電抗為最低。



A



B



C

第五十八圖——110,000弗打日字式變壓器中之線圈排列法。

B式之磁化電流及鐵心耗損，均較A式爲低，其成本絕廉，惟電抗較大。
C式之鐵心耗損，磁化電流及電抗三者，均介乎AB二式之間，今宜依此種排列，完成設計，並求其特性焉。

低壓線圈之設計

總周數 = 270

線圈數 = 6

每圈周數 = 45

銅線闊度 = 0.4吋

每安培圓密爾數 = $1260 \times \sqrt{0.4 \times 0.9}$

內 $(1-k)^2$ 假定爲 = 0.9

= 755

線之截面積 = 86,000圓密爾

$$= 0.17 \times 0.4 \text{ 吋}$$

用 $2 \times (0.085 \times 0.4 \text{ 吋})$ 以紙板置其間

絕緣物

$$= 0.007 \text{ 紙板置於線間}$$

0.024 半掩式紗帶包裹

0.014 紙板置於各層之間

絕緣片之厚度

$$= 0.215 \text{ 吋}$$

線捲之高度

$$= 0.215 \times 45$$

$$= 9.7 \text{ 吋}$$

$$= 10.2 \text{ 吋俾留餘隙。}$$

如此使線捲及鐵心之間，有寬大之餘隙，實則線捲儘可做得狹而高，因 0.75 吋已儘夠 13,200 弗打之分隔，但空隙稍寬，實為最宜，而於材料方面亦並無浪費也。

至此即可將線圈及絕緣物，依比例尺繪成圖樣，並由此確定鐵心開口之長度；此長度為 3 吋。

鐵心之設計

磁線數

$$\parallel 4 \times 10^6$$

鐵心密度, 假定

$$\parallel 80,000 \text{ 線每方吋}$$

必需的鐵心截面

$$\parallel 550 \text{ 方吋}$$

實際所用之截面

$$\parallel 14 \times 43.5 \text{ 吋}$$

耗損及磁化電流之計算

低壓線捲之平均周長

$$\parallel 170 \text{ 吋}$$

低壓線圈之電阻

$$\parallel \frac{6 \times 45 \times 170}{0.17 \times 0.4 \times 1.27 \times 10^6}$$

$$\parallel 0.53 \text{ 歐姆}$$

高壓線捲之平均周長

$$\parallel 190 \text{ 吋}$$

高壓線捲之電阻

$$\parallel \frac{1300 \times 190}{0.03 \times 0.4 \times 1.27 \times 10^6}$$

|| 16.2 歐姆

高壓線捲中之耗損

|| 16.2×23.6^2

|| 9000 瓦特

低壓線捲中之耗損

|| 0.53×114^2

|| 6900 瓦特

鐵心之重量

|| 22,000 磅

鐵耗瓦特數(平常鐵)

|| $22,000 \times 0.9$

|| 20,000 瓦特

滿載時之總耗損

|| 36,900 瓦特

效率

|| 97.7 百分數

弗安數勵磁力

|| 22000×5.4

|| 119,000

≈ 8 百分數

$$\text{等量正圈電抗} = 2\pi f \times 3.2 \times T_1^2 \frac{MT}{L} \left(\frac{d_1}{3} + \frac{d_2}{3} S \right) \times 10^{-9}$$

× 線圈組織

內 $MT = 180 \frac{\text{H}}{\text{cm}}$

$$L = 16 \frac{\text{H}}{\text{cm}}$$

$$d_1 = 1.3 \frac{\text{cm}}{2}$$

$$d_2 = 0.4 \frac{\text{cm}}{2}$$

$$S = 4.5$$

線圈組數 = 6, 見第五十八圖

$$\text{等量正圈電抗} = 2\pi \times 25 \times 3.2 \times 216^2 \times \frac{180}{16} \left(\frac{1.7}{3} + 4.5 \right) 10^{-8} \times 6$$

$$= 80 \text{ 歐姆}$$

正圈之電抗降壓

$$\parallel 80 \times 23.6$$

$$\parallel 1900 \text{ 弗打}$$

$$\parallel 3.0 \text{ 百分數}$$

正圈電阻降壓

$$\parallel 380$$

由於正圈之副圈電阻降壓

$$\parallel 60 \times \frac{63500}{13200} = 290$$

由於正圈之電阻降壓

$$\parallel 670$$

$$\parallel 1.05 \text{ 百分數}$$

外殼之截面帶圓形，其與鐵心之相距，在轉角處為2吋。

總耗損

$$\parallel 35,900 \text{ 瓦特}$$

所需之水管面

$$\parallel 35,000 \text{ 方吋}$$

$$\parallel 750 \text{ 呎}^{1/4} \text{ 吋之鐵管一根。}$$

