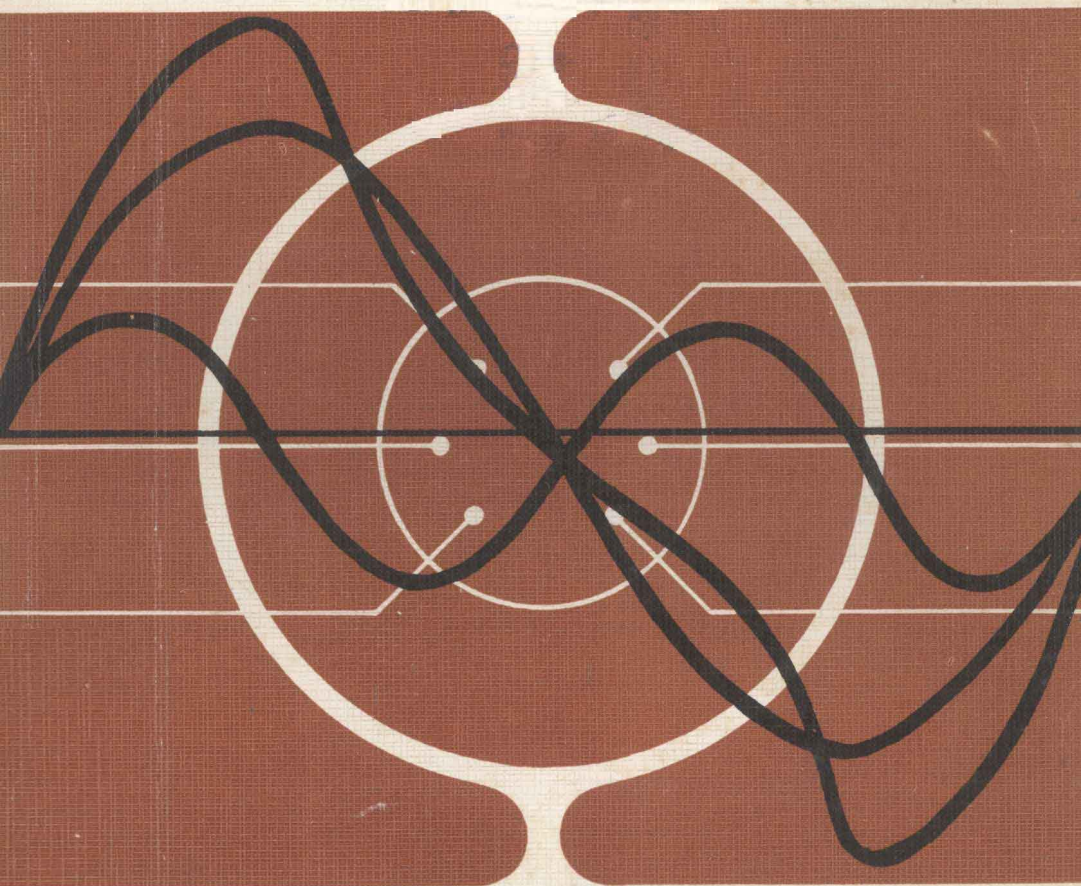


最新部訂專科課程標準

電機設計(下)

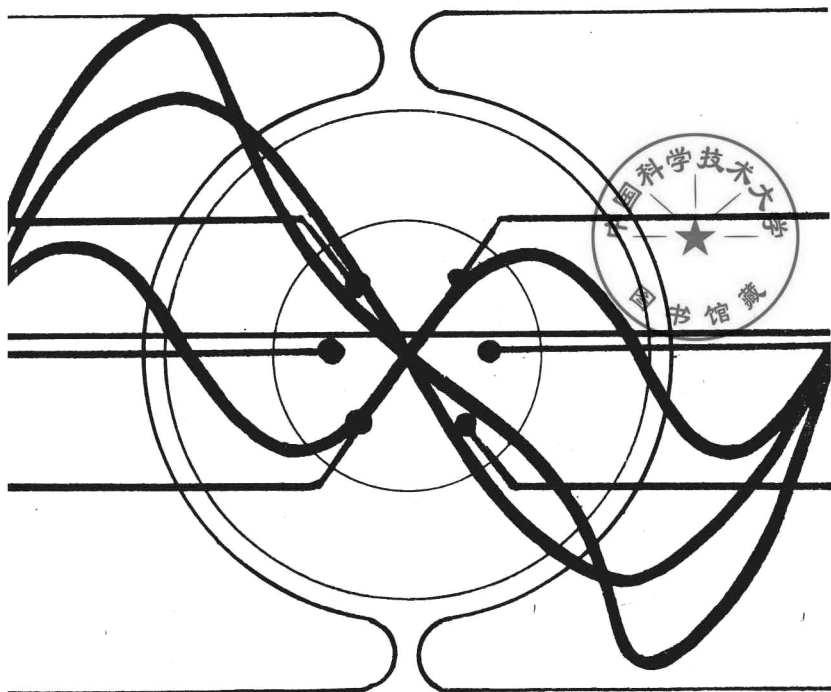
呂理雄 何文德 編著



全華科技圖書公司印行

電機設計(下)

呂理雄 何文德 編著



全華科技圖書公司印行



全華圖書 版權所有 翻印必究
局版台業字第0223號 法律顧問：陳培豪律師

電機設計(下)

呂理雄 何文德 編著

出版者 全華科技圖書公司
北市龍江路76巷20-2號
電話:581-1300·564-1819
郵撥帳號:100836
發行者 蕭 而 廊
印刷者 欣瑜彩色印刷廠
東南亞 港 明 書 店
總經銷 香港九龍彌敦道500號2樓
電話:3-302846·3-309095
定 價 新臺幣 180 元
海外定價 港 幣 36 元
再 版 中華民國70年3月

序

1. 本書根據教育部六十五年修訂公佈之專科學校課程標準而編著，可作為大專院校電機設計課程教材，並可作為電機從業人員進修或參考之用。
2. 本書分上、下兩冊，上册包含電機材料，變壓器設計，多相感應電動機設計；下冊包含單相感應電動機設計，直流機設計及同步機設計。
3. 本書度量衡單位，原則上使用M.K.S.實用單位，但習慣上常用C.G.S.單位或使用C.G.S.單位較為方便時，則使用C.G.S.單位。又本書多數設計資料取自工業先進國家專家名著，並依據我國CNS標準加以校訂，使能符合我國標準。
4. 學習電機設計，必須瞭解電機的原理，而從事設計工作更有助於原理的瞭解。惟電機設計不僅是學理的討論，且為實用的技巧，並需隨材料及製作技術之進步而隨時修訂設計資料。設計計算常用許多理論與經驗公式，初學者往往無法瞭解此等公式之來源與意義，以致不能活用，因此本書對於重要的應用式儘可能加以導引，並作應用上之說明，期能靈活運用。作者學識淺薄，經驗有限，錯誤欠週之處，敬請各專家學者及讀者諸君惠予指正。

編者識 民國六十六年四月

圖書之可貴 在其量也在其質

量指圖書內容充實、質指資料新穎够水準，我們就是本著這個原則，竭心盡力地為國家科學中文化努力，貢獻給您這一本全是精華的全華圖書。

目 錄

第四章 單相感應電動機設計

4-1	單相繞組	4-1
4-2	同心繞組匝數分配與繞組因數	4-3
4-3	主要尺寸之決定	4-11
4-4	空氣隙長度	4-12
4-5	分相電動機起動繞組匝數與導體截面積	4-13
4-6	轉部設計	4-13
4-7	繞組電阻	4-14
4-8	漏磁電抗與磁化電抗	4-17
4-9	起動特性	4-20
4-10	等效電路與運轉特性	4-23
設計實例		4-29
習題		4-53

第五章 直流機設計

5-1	直流機構造	5-1
5-2	設計之主要步驟	5-6
5-3	主要尺寸之計算	5-6
5-4	極數之決定	5-14
5-5	每極磁通之決定	5-15
5-6	導體數之決定	5-17
5-7	電樞繞組	5-19
5-8	電樞導體截面積與電流密度	5-33
5-9	導體及槽內絕緣	5-35

5-10	槽形與槽之尺寸	5-37
5-11	電樞繞組電阻	5-38
5-12	電抗電壓	5-40
5-13	換向器及電刷	5-43
5-14	磁路計算	5-47
5-15	空氣隙長度	5-60
5-16	分激及串激場繞組之設計	5-63
5-17	換向磁極之設計	5-67
5-18	補償繞組之設計	5-72
5-19	損失與效率	5-74
5-20	溫升之計算	5-78
	直流發電機設計實例	5-81
	直流電動機設計實例	5-110
	習題	5-128

第六章 同步機設計

6-1	同步機之構造	6-1
6-2	主要尺寸之決定	6-9
6-3	電樞繞組	6-14
6-4	電樞槽數與導體數	6-24
6-5	導體截面積與槽之尺寸	6-25
6-6	電樞繞組電阻	6-27
6-7	空氣隙長度之選定	6-29
6-8	磁路計算	6-32
6-9	電樞漏磁電抗	6-36
6-10	電樞反應	6-40
6-11	同步電抗	6-42
6-12	阻尼籠繞組阻抗及場繞組阻抗	6-46

6-13	暫態電抗及其他相序電抗·····	6-51
6-14	位移角及同步功率·····	6-56
6-15	特性曲線·····	6-60
6-16	滿載激磁安匝與電壓調整率·····	6-62
6-17	磁極與磁場繞組設計·····	6-65
6-18	阻尼繞組設計·····	6-69
6-19	損失與效率·····	6-70
6-20	溫升計算·····	6-73
同步發電機設計實例·····		6-75
同步電動機設計實例·····		6-100
習題·····		6-132

4

單相感應電動機設計

4-1 單相繞組

單相感應電動機之定部繞組，大都採用同心鏈形繞組，如圖 4-1 所示。轉部則用籠型繞組。同心繞組由幾個大小不同的同心線圈所組成，各線圈的匝數可相等亦可不相等。圖 4-1 所示為一每極 9 槽的定部同心繞組，其最內側的線圈兩邊相距 3 槽，最外側的線圈兩邊相距 9 槽。

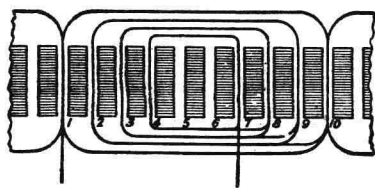


圖 4-1 每極 9 槽的單相同心繞組

圖 4-1 所示繞組，亦可改作圖 4-2 之安排，即最內側的線圈兩邊相距 2 槽，而最外側的線圈其兩線圈邊相距 8 槽。

圖 4-1 中最外側的線圈，因同槽中有兩個線圈邊，（圖中第一槽及第十槽），此線圈之導體數必須為該槽總導體數之半。

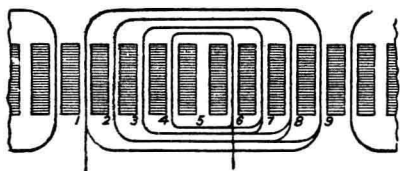


圖 4-2 圖 4-1 所示繞組之另一種安排法

分相電動機及電容電動機之定子，除上述主繞組外尚有輔助繞組，輔助繞組又稱起動繞組。起動繞組之安排與主繞組相似但與主繞組相差 90 度電角，其導體較主繞組為細。起動繞組在起動時通電，與主繞組聯合作用而產生旋轉磁場，使轉子起動，但當轉速達到滿載轉速之 75 % 左右時即由離心開關作用使其斷路。圖 4-3 為主繞組與起動繞組之配置例，圖 4-4 表示其電路連接。電容電動機之起動繞組有時亦在起動後仍留電路中



圖 4-3 分相電動機主繞組與起動繞組之配置

而不予切斷，此型電動機欲獲得充份的起動轉矩而又希望在起動後仍有良好的運轉特性，則起動時之電容量需較運轉時之電容量為大。

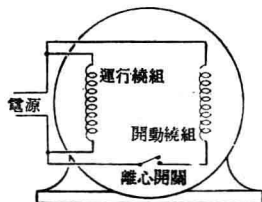


圖 4-4 分相電動機之電路連接

排斥起動感應電動機之起動轉矩較分相起動感應電動機為大，其定部僅有主繞組而無起動繞組，其轉部繞組與直流機之電樞相類似，但電刷並不引接到外電路而自行短接，電刷位置並與中性軸偏移某一角度。

4-2 同心繞組匝數分配與繞組因數

圖 4-1 所示同心繞組，若每一線圈之匝數及其通過電流均相同，則其磁通勢之分佈將如圖 4-5 所示。當每極槽數極多且全部槽數均佔滿時，其磁通勢之分佈將變成三角形，如圖中虛線所示者。

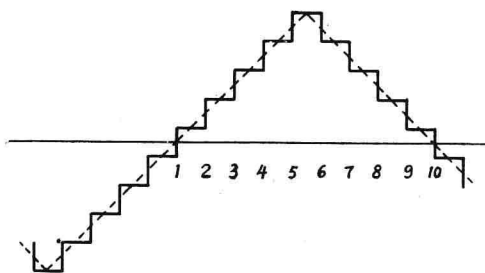


圖 4-5 磁通勢分佈圖

又如節距較小的繞圈有一部份省略不用，則其磁通勢之分佈將變成梯

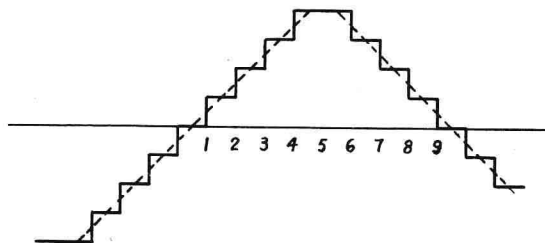


圖 4-6 磁通勢之分佈（有一部份線圈省去）

形。圖 4-6 所示者為圖 4-2 所示繞組之磁通勢分佈，假定每槽導體數及其通過電流均相等時之情形。

綜合磁通勢 F 為每 $-$ 線圈安培匝數 it 之積分，而安匝之分佈則為磁通勢之微分，即

$$F = \int it \quad (4-1)$$

$$\text{安匝之分佈} \quad it = dF$$

均等的安匝分佈將形成三角形的磁通勢分佈已如上所述。忽視鐵心飽和之影響，欲產正弦波磁通分佈，則磁通勢必需為正弦波分佈。

$$\text{設} \quad F = F_m \sin \theta$$

$$\text{則} \quad it = dF = F_m \cos \theta d\theta \quad (4-2)$$

(4-2) 式表示，欲使磁通為正弦波分佈，則安匝（或安培導體）之分佈必需為正弦波（餘弦波）。通常因各線圈通過之電流 I 相等，則匝數之分配必須為正弦率。事實上即使磁通勢為正弦率分佈，除非槽數為無限多，無法產生完全的正弦波磁通，磁通波必有諧波存在，諧波的極數，將為槽數的兩倍加減基本波極數，即

$$\text{諧波的極數} = 2\left(N \pm \frac{p}{2}\right) = 2N \pm p \quad (4-3)$$

N ：槽之總數

p ：極數

消除諧波所生不良影響之一法，係將轉部槽偏斜某角度，欲消除 n 次諧波，則轉部槽之偏斜角度應使轉部棒之前端及後端對 n 次諧波而言恰好相差 360 度電角，如此則 n 次諧波之分佈因數 K_{dn} 為零而消去。如某四極電機欲消除 17 次諧波，因 17 次諧波有 68 極，則轉部棒之前後端應相差

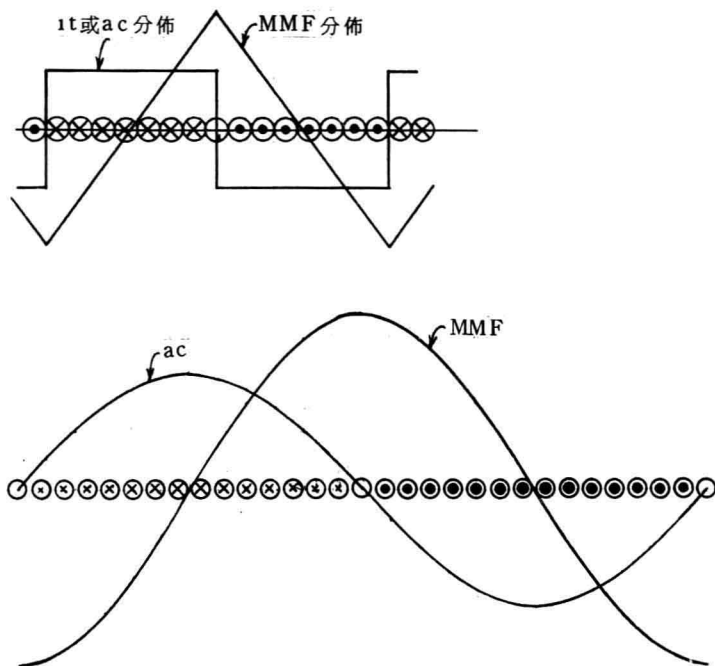


圖 4-7 安匝之分佈與磁通勢之分佈

$2/68 \times 360 = 10.6$ 度機械角度。如改用圓周距離或轉部槽距表示則如下

$$\text{偏斜距離} = \frac{\text{圓周長}}{\text{諧波極數} / 2} \quad (4-4)$$

$$= \frac{\text{轉部槽數}}{\text{諧波極數} / 2} \times \text{轉部槽距} \quad (4-5)$$

按照 (4-2) 式所示原則分佈時，各線圈之匝數比為

$$T_1 : T_2 : T_3 : T_4 : \dots = \cos \theta_1 : \cos \theta_2 : \cos \theta_3 : \cos \theta_4 : \dots \quad (4-6)$$

$$= \sin \frac{\alpha_1}{2} : \sin \frac{\alpha_2}{2} : \sin \frac{\alpha_3}{2} : \sin \frac{\alpha_4}{2} : \dots \quad (4-7)$$

$T_1, T_2, T_3 \dots$: 線圈 1、2、3...之匝數

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots$: 線圈 1、2、3...之線圈兩邊距離之電工度數

$\theta_1, \theta_2, \theta_3 \dots$: 見圖 4-8

設每極總匝數為 T_P , 則

$$T_P = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + \dots$$

$$\begin{aligned} \text{而 } \frac{T_1}{T_P} &= \frac{\sin \frac{\alpha_1}{2}}{\sin \frac{\alpha_1}{2} + \sin \frac{\alpha_2}{2} + \sin \frac{\alpha_3}{2} + \dots} \\ \frac{T_2}{T_P} &= \frac{\sin \frac{\alpha_1}{2}}{\sin \frac{\alpha_1}{2} + \sin \frac{\alpha_2}{2} + \sin \frac{\alpha_3}{2} + \dots} \end{aligned} \quad (4-8)$$

對於如圖 4-1 及圖 4-9 所示繞組，其最外側的線圈匝數 T_1 ，因同槽中有兩個線圈邊，其匝數應為上列計算值之 $\frac{1}{2}$ 。即

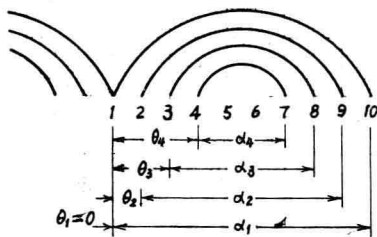


圖 4-9

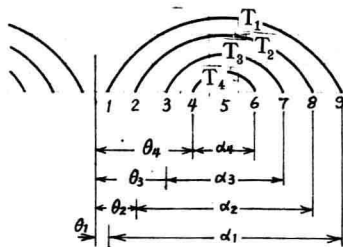


圖 4-8

$$T_1 : T_2 : T_3 : T_4$$

$$= \frac{1}{2} \sin \frac{\alpha_1}{2} : \sin \frac{\alpha_2}{2} : \sin \frac{\alpha_3}{2} : \sin \frac{\alpha_4}{2} \dots \quad (4-9)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{T_1}{T_p} &= \frac{\frac{1}{2} \sin \frac{\alpha_1}{2}}{\frac{1}{2} \sin \frac{\alpha_1}{2} + \sin \frac{\alpha_2}{2} + \sin \frac{\alpha_3}{2} + \sin \frac{\alpha_4}{2}} \\ \frac{T_2}{T_p} &= \frac{\sin \frac{\alpha_2}{2}}{\frac{1}{2} \sin \frac{\alpha_1}{2} + \sin \frac{\alpha_2}{2} + \sin \frac{\alpha_3}{2} + \sin \frac{\alpha_4}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (4-10)$$

同心繞組之繞組因數可以推定如下：因同心繞組各線圈之中心一致，各線圈之應電勢同相，繞組分佈因數可視為 1，而各線圈節距因數之平均值即為繞組因數。

繞組因數

$$k_w = \frac{T_1 \sin \frac{\alpha_1}{2} + T_2 \sin \frac{\alpha_2}{2} + T_3 \sin \frac{\alpha_3}{2} + T_4 \sin \frac{\alpha_4}{2} + \dots}{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + \dots} \quad (4-11)$$

對於有限槽數及省略一部份線圈之繞組，通常仍用 (4-7) 式及 (4-9) 式所示匝數分配法則分配。如有需要，其線圈匝數分配亦可使用下列關係求得。圖 4-10 中設每槽相角為 β (圖 4-1 所示繞組)，磁通勢最大值為 F_m ，通過電流為 I ，則

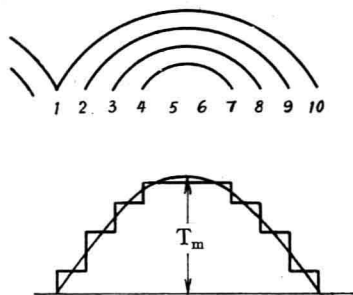


圖 4-10

$$IT_1 \beta = F_m \int_0^\beta \sin \theta \, d\theta$$

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \frac{F_m}{I\beta} \int_0^\beta \sin \theta \, d\theta \\
 &= \frac{F_m}{I\beta} [-\cos \theta]_0^\beta \\
 &= \frac{F_m}{\beta I} [1 - \cos \beta]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_1 + T_2 &= \frac{F_m}{\beta I} \int_0^{2\beta} \sin \theta \, d\theta \\
 &= \frac{F_m}{\beta I} [\cos \beta - \cos 2\beta]
 \end{aligned}$$

同理

$$T_1 + T_2 + T_3 = \frac{F_m}{\beta I} [\cos 2\beta - \cos 3\beta]$$

$$\begin{aligned}
 T_1 + T_2 + T_3 + T_4 &= \frac{F_m}{1.5\beta I} \int_0^{4.5\beta} \sin \theta \, d\theta \\
 &= \frac{F_m}{1.5\beta I} [\cos 3\beta - \cos \frac{\pi}{2}] \\
 &= \frac{F_m}{1.5\beta I} \cos 3\beta
 \end{aligned}$$

$$\frac{T_1}{T_P} = 1.5 \times \frac{1 - \cos \beta}{\cos 3\beta}, \quad \frac{T_1 + T_2}{T_P} = 1.5 \times \frac{\cos \beta - \cos 2\beta}{\cos 3\beta}$$

$$\frac{T_1 + T_2 + T_3}{T_P} = 1.5 \times \frac{\cos 2\beta - \cos 3\beta}{\cos 3\beta}$$

$$\frac{T_2}{T_P} = 1.5 \times \frac{2\cos \beta - \cos 2\beta - 1}{\cos 3\beta}$$

$$\frac{T_3}{T_P} = 1.5 \times \frac{2\cos 2\beta - \cos 3\beta - \cos \beta}{\cos 3\beta}$$

$$\frac{T_4}{T_P} = \frac{2.5\cos 3\beta - 1.5\cos 2\beta}{\cos 3\beta}$$

圖 4-1 所示繞組 $\beta = 20^\circ = \frac{\pi}{9}$

$$\text{線圈 1-10} \quad \frac{T_1}{T_P} = 1.5 \times \frac{1 - \cos 20^\circ}{\cos 60^\circ} = 1.5 \times \frac{1 - 0.9396}{0.5} = 0.1810$$

即 18.1%

$$\frac{T_1 + T_2}{T_P} = 1.5 \times \frac{\cos 20^\circ - \cos 40^\circ}{\cos 60^\circ} = 0.5208$$

$$\text{線圈 2-9} \quad \frac{T_2}{T_P} = 0.5208 - 0.1810 = 0.3398 \quad \text{即 } 34.0\%$$

$$\frac{T_1 + T_2 + T_3}{T_P} = 1.5 \times \frac{\cos 40^\circ - \cos 60^\circ}{\cos 60^\circ} = 0.7980$$

$$\text{線圈 3-8} \quad \frac{T_3}{T_P} = 0.7980 - 0.5208 = 0.2772 \quad \text{即 } 27.7\%$$

$$\text{線圈 4-7} \quad \frac{T_4}{T_P} = 1.000 - 0.7980 = 0.202 \quad \text{即 } 20.2\%$$

若線圈配置如圖 4-2 所示，根據圖 4-11 其匝數分配為

$$T_1 = \frac{F_m}{\beta I} \int_0^{1.5\beta} \sin \theta d\theta$$

$$= \frac{F_m}{\beta I} [\cos 0^\circ - \cos 1.5\beta] = \frac{F_m}{\beta I} [1 - \cos 1.5\beta]$$

同理

$$T_1 + T_2 = \frac{F_m}{\beta I} [\cos 1.5\beta - \cos 2.5\beta]$$

$$T_1 + T_2 + T_3 = \frac{F_m}{\beta I} [\cos 2.5\beta - \cos 3.5\beta]$$