

多相反動電気機械における最適の極弧と極間隔の比及び

巻線ピッチと極ピッチの比の決定について

天 池 邦 弘*

Determination of optimum values of the polar arc per pole pitch and the winding pitch per pole pitch of the polyphase reaction machine

Kunihiro AMAIKE

The author clarified in his earlier work the performance of the polyphase reaction machine at synchronous and asynchronous speeds.

In this study he analyzes distributions of the magnetic permeance of the air gap and the magnetomotive force of the armature winding. And optimum values of the polar arc per pole pitch and the winding pitch per pole pitch to get the best performance of the machine are deduced.

(1) は し が き

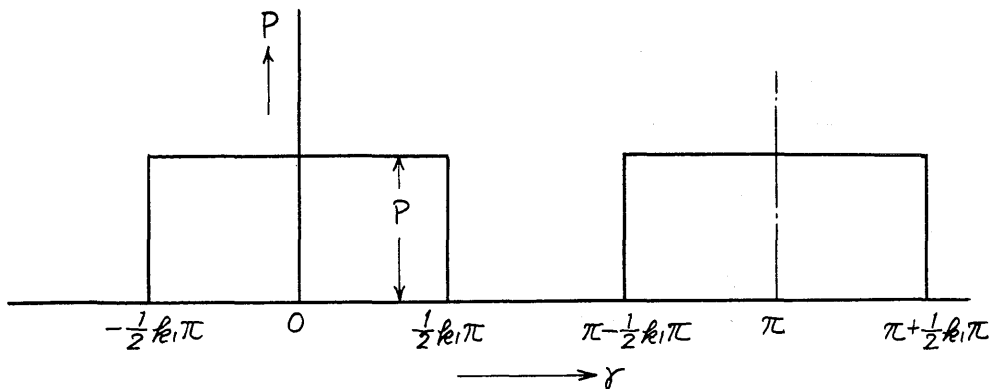
著者はかつて各種反動電気機械の特性^{1)~3)}を同期及び非同期速度を通じて一様に明かにしかが、反動電気機械においては極弧/極間隔及びコイルピッチ/極ピッチを適当に選ぶことが極めて重大な問題であって、その特性は殆んどこれ等の値によって左右される。

この論文は反動電気機械の特性を最良にする、最適の極弧/極間隔及びコイルピッチ/極ピッチの決定方法について述べたものである。

(2) 空隙パーミアンス分布

平等空隙凸極を有する反動電気機械において、その半径方向に対する空隙パーミアンス分布を第1図(a)の如く仮定する。即ち電機子溝及び制動巻線溝の影響を無視し、極間の空隙パーミアンスは0、極弧の下空隙パーミアンスは電機子周辺単位長さ当たり一様にPとする。

今空隙内の注意の一点の凸極の中心軸から測った電気角度を γ とし、極弧/極間隔を k_1 とすれば、図から明かな様に任意の位置角 γ における空隙パーミアンス $P(\gamma)$ には



第1図 (a)

* 電気工学科教授

$$P(\gamma) = P(\gamma + \pi) \quad (1)$$

及び

$$P(\gamma) = P(-\gamma) \quad (2)$$

が成立するので

$$P(\gamma) = P_0 + P_2 \cos 2\gamma + P_4 \cos 4\gamma + \dots \quad (3)$$

として示される.

(3)式において, P_0 の値は

$$P_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} P(\gamma) d\gamma = \frac{1}{2\pi} 2\pi k_1 P = k_1 P \quad (4)$$

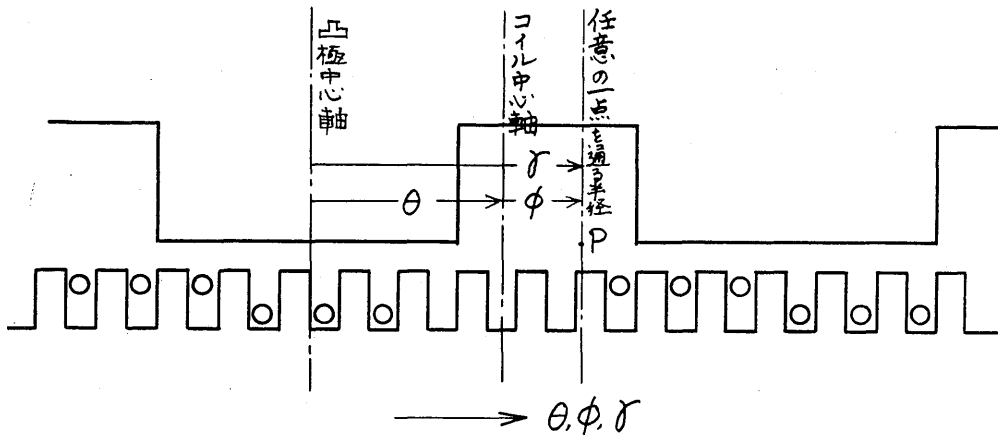
であり, 又 P_2 の値は

$$P_2 = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi P(\gamma) \cos 2\gamma d\gamma = \frac{2P}{\pi} \sin k_1 \pi \quad (5)$$

である.

(3) 起磁力分布

任意の一相の電機子巻線が第1図(b)の様に配列されているとき, 各コイルに単位電流が流れたときの起磁力の合成 M_{mf} は, 電機子巻線の中心軸ら測った電気角度 ϕ に対して, 整数溝巻のときには



第1図 (b)

$$M_{mf}(\phi) = \sum_{\xi=0}^{\infty} M_{mf \cdot 2\xi+1} \cos(2\xi+1)\phi \quad (6)$$

として示される. たし ξ は0及び正の整数である.

何となれば整数溝巻の時には

$$M_{mf}(\phi) = M_{mf}(\phi + 2\pi) \quad (7)$$

$$M_{mf}(\phi) = M_{mf}(-\phi) \quad (8)$$

及び

$$M_{mf}(\phi) = -M_{mf}(\phi + \pi) \quad (8)'$$

が成立するからである.

又 $M_{mf \cdot 2\xi+1}$ の値は

$K_{d \cdot 2\xi+1}$ = 第 $2\xi+1$ 調波の分布巻係数

$K_{p \cdot 2\xi+1}$ = 第 $2\xi+1$ 調波の短即巻係数

n = 毎極毎相のコイル巻数

$$K_{2\xi+1} = K_{d \cdot 2\xi+1} K_{p \cdot 2\xi+1} / 2\xi+1$$

に対して

$$\begin{aligned} M_{mf \cdot 2\xi+1} &= \frac{4}{\pi} n K_{d \cdot 2\xi+1} / 2\xi+1 \\ &= \frac{4}{\pi} n K_{2\xi+1} \end{aligned} \quad (9)$$

として示されるものである。

(4) 磁束密度の分布

(3)式で示される空隙パーミアンス分布に、(6)式で示される起磁力分布が作用した時の磁束密度の分布は、継鉄、磁極鉄心及び電機子鉄心等における磁気抵抗を無視すれば、次の如くなる。

即ち凸極の中心軸と電機子巻線の中心軸とのなす角を θ とすれば、第1図(b)に示す如く

$$\gamma = \theta + \phi \quad (10)$$

の関係があるから、半径方向に通ると仮定した磁束密度 B の分布は

$$B(\theta, \phi) = M_{mf}(\phi) P(\theta + \phi) \quad (11)$$

から

$$\begin{aligned} B(\theta, \phi) &= \frac{4}{\pi} n \sum_{\xi=0}^{\infty} K_{2\xi+1} [P_0 \cos(2\xi+1)\phi \\ &\quad + \frac{P_2}{2} \{\cos(2\theta + 1 - 2\xi\phi) + \cos(2\theta + 3 + 2\xi\phi)\} \\ &\quad + \frac{P_4}{2} \{\cos(4\theta + 3 - 2\xi\phi) + \cos(4\theta + 5 + 2\xi\phi)\} \\ &\quad + \dots\dots\dots] \end{aligned} \quad (12)$$

となる。

(5) 毎相の自己インダクタンス

自己インダクタンスとして、洩れインダクタンスを無視した、電機子反作用を与えるインダクタンスのみとれば、その単相定数 L_a は

$$L_a = \ell r n \sum_{m=1}^h \int_{-\frac{\pi}{2} + \frac{2m-1}{2q}\pi}^{\frac{\pi}{2} - \frac{2m-1}{2q}\pi} B(\theta, \phi) d\phi \quad (13)$$

として示される。ただし ℓ は電機子の軸方向の実効長さ、 r は電機子の半径、 b は毎極の溝数、 $2h$ は毎極毎相のコイル辺数である。

(13)式に(12)式を代入して

$$\begin{aligned} L_a &= k_2 n_2 \sum_{\xi=0}^{\infty} K_{2\xi+1} [2P_0 K_{2\xi+1} (-1)^\xi \\ &\quad + P_2 (K_{1-2\xi} - K_{2\xi+3}) (-1)^\xi \cos 2\theta \\ &\quad + \dots\dots\dots] \end{aligned} \quad (14)$$

ただし

$$k_2 = \frac{4\ell r}{\pi}$$

$$K_{1-2\xi} = K_{d, 1-2\xi} K_{p, 1-2\xi} / 1-2\xi$$

$$K_{3+2\xi} = K_{d, 3+2\xi} K_{p, 3+2\xi} / 3+2\xi$$

である.

(14)式に(4)及び(5)式を代入して

$$L_a = k_3 n^2 \sum_{\xi=0}^{\infty} K_{2\xi+1} [(-1)^\xi K_{2\xi+1} k_1 + \frac{1}{\pi} (-1)^\xi (K_{1-2\xi} - K_{2\xi+3}) \sin k_1 \pi \cos 2\theta + \dots] \quad (15)$$

ただし

$$k_3 = 2P k_2$$

である.

(6) 直軸及び横軸リアクタンス

(15)式において $\cos 4\theta$ 以上の高調波を無視すれば, 直軸リアクタンスの単相定数 X_{da} は

$$X_{da} \simeq k_4 n^2 \sum_{\xi=0}^{\infty} (-1)^\xi K_{2\xi+1}^2 (k_1 + K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \quad (16)$$

として示される. ただし k_4 は電源の角周波数 ω に対して

$$k_4 = \omega k_3 \quad (17)$$

であり, 又

$$K_{2\xi+1}' = \frac{1}{\pi} \frac{K_{1-2\xi} - K_{2\xi+3}}{K_{2\xi+1}} \quad (18)$$

である.

同様にして横軸リアクタンスの単相定数 X_{qa} は

$$X_{qa} \simeq k_4 n^2 \sum_{\xi=0}^{\infty} (-1)^\xi K_{2\xi+1}^2 (k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \quad (19)$$

として示される.

(16)及び(19)式はともに $k_1 = 0$ のとき 0 となるが, これは漏れリアクタンスを無視し, かつ極間の空隙パーミアンスを 0 とみているからで被る. 従って(16)及び(19)式はともに k_1 が小さい時には誤差の大となることは注意を要することである.

直軸及び横軸リアクタンスの三相定数 X_d 及び X_q は

$$\left. \begin{aligned} X_d &= \frac{3}{2} X_{da} \\ X_q &= \frac{3}{2} X_{qa} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

として示される.

(7) 負荷角 $\delta \simeq \pm \frac{\pi}{4}$ における基本波電流密度を一定に保ったときの極弧/極間隔と毎相のコイルの巻数との関係

同期速度におけるトルクの最大値は負荷角 $\delta = \pm \frac{\pi}{4}$ のとき生じ、このときの電機子電流 I' は電機子巻線の抵抗を無視すれば

$$I' \simeq \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{X_d^2 + X_q^2}}{X_d X_q} E_f \quad (21)$$

として示される。ただし E_f は電機子供給電圧である。

(21)式に(16), (19)及び(20)式に代入して

$$I' \simeq \frac{2E_f \sqrt{\left\{ \sum_{\xi=0}^{\infty} (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 (k_1 + K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \right\}^2 + \left\{ \sum_{\xi=0}^8 (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 (k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \right\}^2}}{3\sqrt{2} k_4 n^2 \sum_{\xi=0}^{\infty} \sum_{\zeta=0}^{\infty} (-1)^{\xi} (-1)^{\zeta} K_{2\xi+1}^2 K_{2\zeta+1}^2 (k_1 + K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) (k_1 - K_{2\zeta+1}' \sin k_1 \pi)} \quad (22)$$

が得られる。ただし ξ 及び ζ は 0 及び正の整数である。

$\delta = \pm \frac{\pi}{4}$ における電流密度を同一に保つためには、導体の断面積を I' に比例させればよいが、与えられた電機子鉄心では、導体の断面積は巻数に逆比例するから、 S を導体の断面積、 K_5 及び K_6 を定数として

$$\frac{I'}{S} = \frac{I'}{k_5/n} = k_6 \quad (23)$$

を満足する必要から

$$n \simeq k_7 \frac{\sqrt{\left\{ \sum_{\xi=0}^{\infty} (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 (k_1 + K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \right\}^2 + \left\{ \sum_{\xi=0}^8 (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 (k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \right\}^2}}{\sum_{\xi=0}^{\infty} \sum_{\zeta=0}^{\infty} (-1)^{\xi} (-1)^{\zeta} K_{2\xi+1}^2 K_{2\zeta+1}^2 (k_1 + K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) (k_1 - K_{2\zeta+1}' \sin k_1 \pi)} \quad (24)$$

の関係が成立する。ただし

$$k_7 = \frac{2E_f}{3\sqrt{2} k_4 k_5 k_6}$$

である。

(8) 基本波電流密度を同一に保った時の $\delta = \pm \frac{\pi}{4}$ におけるトルクと極弧 / 極間隔及びコイルピッチ / 極ピッチとの関係

前にも述べた様に反動電気機械では、トルクの最大値は負荷角 $\delta = \pm \frac{\pi}{4}$ のとき生じ、その最大値 T_s は電機子巻線の抵抗を無視すれば、同期ワットで

$$T_s \simeq \frac{1}{2} \frac{X_d - X_q}{X_d X_q} E_f^2 \quad (25)$$

として示される。

この式に(16), (19)及び(20)式を代入すれば

$$T_s \simeq \frac{2E_f^2}{3k_4 n^2} \frac{\sum_{\xi=0}^{\infty} (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 \sin k_1 \pi}{\sum_{\xi=0}^{\infty} \sum_{\zeta=0}^{\infty} (-1)^{\xi+\zeta} K_{2\xi+1}^2 K_{2\zeta+1}^2 (k_1 + K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) (k_1 - K_{2\zeta+1}' \sin k_1 \pi)} \quad (26)$$

(26)式の n に(24)式を代入すれば

$$T_s \simeq k_8 \frac{\left\{ \sum_{\xi=0}^{\infty} (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi \right\} \left\{ \sum_{\xi=0}^{\infty} \sum_{\zeta=0}^{\infty} (-1)^{\xi+\zeta} K_{2\xi+1}^2 (k_1 + K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \right\}}{\left\{ \sum_{\xi=0}^{\infty} (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 (k_1 + K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \right\}^2 + \left\{ \sum_{\zeta=0}^{\infty} (-1)^{\zeta} K_{2\zeta+1}^2 (k_1 - K_{2\zeta+1}' \sin k_1 \pi) \right\}} \quad (27)!!$$

となる。ただし

$$k_8 = 2E_f^2 / 3k_4 k_7^2$$

である。

(27)式が電流密度を同一に保ったときの、 $\delta \simeq \pm \frac{\pi}{4}$ におけるトルクと極弧 / 極間隔及びコイルピッチ / 極ピッチの関係を示す基本式である。

簡単のため空隙パーミアンス及び起磁力分布の高調波を無視し、 ξ 及び ζ は共に 0 のみをとることとすれば

$$\begin{aligned} K_{d1} &= \text{基本波の分布巻係数} \\ K_{p1} &= \text{短即巻係数} \\ K_{d3} &= \text{第三高調波の分布巻係数} \\ K_{p3} &= \text{短即巻係数} \end{aligned}$$

に対して

$$\begin{aligned} K_{2\xi+1} &= K_{d \cdot 2\xi+1} K_{p \cdot 2\xi+1} / 2\xi + 1 = K_{d1} K_{p1} \\ K_{1-2\xi} &= K_{d \cdot 1-2\xi} K_{p \cdot 1-2\xi} / 1 - 2\xi = K_{d1} K_{p1} \\ K_{3+2\xi} &= K_{d \cdot 3+2\xi} K_{p \cdot 3+2\xi} / 3 + 2\xi = K_{d3} K_{p3} / 3 \\ K_{2\xi+1}' &= \frac{1}{\pi} \frac{K_{1-2\xi} - K_{3+2\xi}}{K_{2\xi+1}} = \frac{1}{\pi} \frac{K_{d1} K_{p1} - \frac{K_{d3} K_{p3}}{3}}{K_{d1} K_{p1}} \end{aligned}$$

となるから

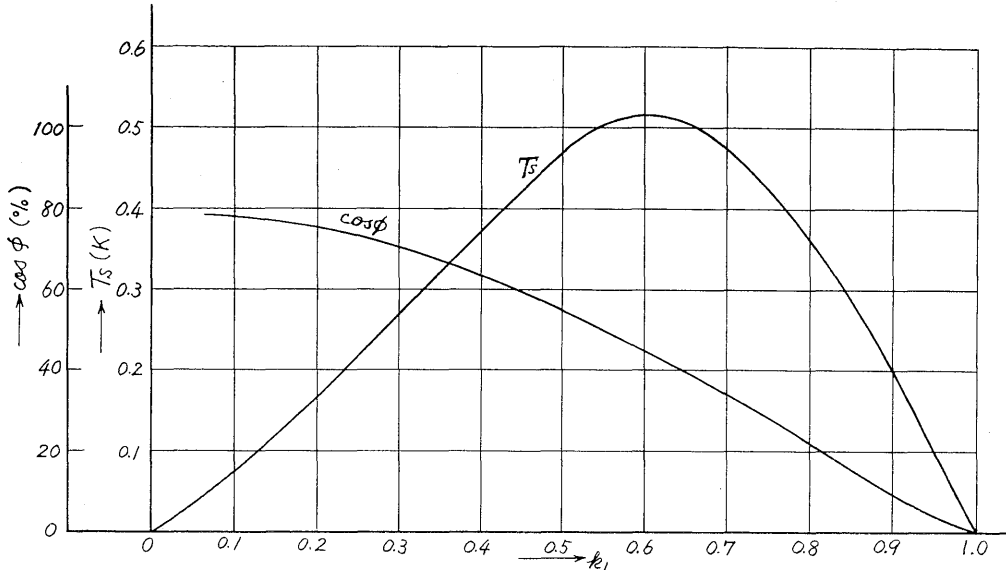
$$K = \frac{k_8}{\pi}$$

に対して

$$\begin{aligned} T_s &\simeq K \frac{K_{d1} K_{p1} (K_{d1} K_{p1} - \frac{K_{d3} K_{p3}}{3}) \sin k_1 \pi (k_1 K_{d1} K_{p1} + \frac{K_{d1} K_{p1} - \frac{K_{d3} K_{p3}}{3}}{\pi} \sin k_1 \pi)}{(k_1 K_{d1} K_{p1} + \frac{K_{d1} K_{p1} - \frac{K_{d3} K_{p3}}{3}}{\pi} \sin k_1 \pi)^2 + (k_1 K_{d1} K_{p1} - \frac{K_{d1} K_{p1} - \frac{K_{d3} K_{p3}}{3}}{\pi} \sin k_1 \pi)^2} \\ &\quad (k_1 K_{d1} K_{p1} - \frac{K_{d1} K_{p1} - \frac{K_{d3} K_{p3}}{3}}{\pi} \sin k_1 \pi) \\ &= K \frac{K_{d1} K_{p1} (K_{d1} K_{p1} - \frac{K_{d3} K_{p3}}{3}) \sin k_1 \pi \{ (k_1 K_{d1} K_{p1})^2 - (\frac{K_{d1} K_{p1} - \frac{K_{d3} K_{p3}}{3}}{\pi} \sin k_1 \pi)^2 \}}{(k_1 K_{d1} K_{p1})^2 + (\frac{K_{d1} K_{p1} - \frac{K_{d3} K_{p3}}{3}}{\pi} \sin k_1 \pi)^2} \quad (28)!! \end{aligned}$$

第2図 多相反動電気機械に於ける極弧/極間隔とトルク及び力率集中巻

集中巻

 k_1 = 極弧/極間隔 K = 定数 T = 負荷角が $\pm \frac{\pi}{4}$ のときのトルク (電流密度一定) $\cos \phi$ = " 力率 (")

となる。

(28)式が電流密度を同一に保ったときの、 $\delta \approx \pm \frac{\pi}{4}$ におけるトルクと極弧/極間隔及びコイルピッチ/極ピッチの関係を示す近似基本式である。

数値例を示すと次の如くなる。

(A) 集中巻

この場合には $K_{d1}=1$, $K_{p1}=1$, $K_{d3}=1$ 及び $K_{p3}=1$ であるから(28)式から

$$T_s \approx K \frac{\frac{2}{3} \sin k_1 \pi \left(k_1^2 - \frac{4}{9\pi^2} \sin^2 k_1 \pi \right)}{k_1^2 + \frac{4}{9\pi^2} \sin^2 k_1 \pi} \quad (29)$$

となる。

第2図の曲線 T_s はこの巻線に対する T_s と k_1 との関係を(29)式から求めて曲線に示したもので電流密度を同一に保った時トルクを最大にする極弧/極間隔 k_1 は $k_1 \approx 0.60$ である。

(B) 毎極毎相3溝でコイルピッチ7溝の短即分布巻

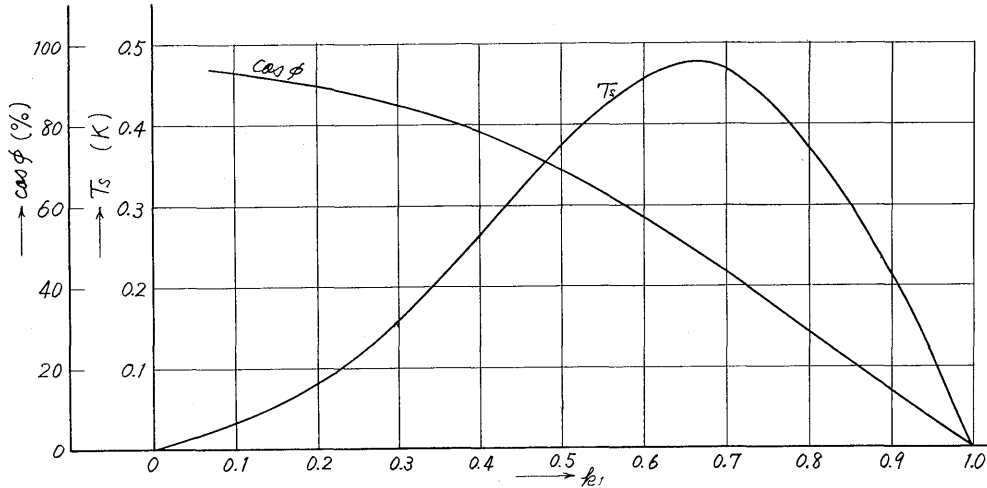
この場合には $K_{d1}=0.96$, $K_{p1}=0.94$, $K_{d3}=0.667$ 及び $K_{p3}=0.500$ であるから(28)式から

$$\begin{aligned} T_s &\approx \frac{0.903 \times 0.792 \sin k_1 \pi \left\{ (0.903 k_1)^2 - \left(\frac{0.792}{\pi} \sin k_1 \pi \right)^2 \right\}}{(0.903 k_1)^2 + \left(\frac{0.792}{\pi} \sin k_1 \pi \right)^2} \\ &= K \frac{0.715 \sin k_1 \pi (k_1^2 - 0.0778 \sin^2 k_1 \pi)}{k_1^2 + 0.0778 \sin^2 k_1 \pi} \quad (30) \end{aligned}$$

となる。

第3図 多相反動電気機械に於ける極弧/極間隔とトルク及び力率

毎極毎相 3溝 コイルピッチ7溝

 k_1 = 極弧/極間隔 K = 定数 T_s = 負荷角 $\delta = \pm \frac{\pi}{4}$ のときのトルク (電流密度一定) $\cos \phi =$ " 力率 (")

第3図の曲線 T_s はこの巻線に対する関係を(30)式から求めて曲線に示したもので、電流密度一定のときの $\delta \approx \pm \frac{\pi}{4}$ におけるトルクを最大にする極弧/極間隔 k_1 は $k_1 \approx 0.65$ である。第2図と第3図と比較すると集中巻に対して短即分布巻はトルクは僅かに減少するが、 k_1 の値は大きくなることが分る。 k_1 が大きくなれば一定の極間隔に対して極弧の長さが大きくなるので、制動巻線の装荷を増すことができ、従って起動を容易にしかつ制動効果を増すことになる。

(9) 負荷角 $\delta \approx \pm \frac{\pi}{4}$ における基本波電流密度を一定に保ったときの力率と極弧/極間隔の関係

負荷角 $\delta \approx \pm \frac{\pi}{4}$ における力率 $\cos \phi$ の式は電機子巻線の抵抗を無視すれば

$$\cos \phi \approx \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{X_d - X_q}{\sqrt{X_d^2 + X_q^2}} \quad (31)$$

で示される。

この式に(16)、(19)及び(20)式を代入すれば

$$\cos \phi \approx \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sum_{\xi=0}^{\infty} (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi}{\sqrt{\left\{ \sum_{\xi=0}^{\infty} (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 (k_1 + K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \right\}^2 + \left\{ \sum_{\xi=0}^{\infty} (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 (k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \right\}^2}} \quad (32) \quad \therefore$$

この式が $\delta \approx \pm \frac{\pi}{4}$ における基本電流密度を一定に保ったときの力率と極弧/極間隔及びコイルピッチ/極ピッチの関係を示す基本式である。

簡単のためトルクの場合と同じ様に、 ξ 及び ζ は0のみとすることとすれば $K_{2\xi+1}$ 、 $K_{1-2\xi}$ 、 $K_{3+2\xi}$ 及び $K_{2\xi+1}'$ は前節に示した如くであるから

$$\begin{aligned}
\cos\phi &\simeq \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\frac{2}{\pi} \sin k_1 \pi (K_{d1} K_{p1} - \frac{1}{3} K_{d3} K_{p3})}{\sqrt{\left\{k_1 K_{d1} K_{p1} + \frac{1}{\pi} \left(K_{d1} K_{p1} - \frac{1}{3} K_{d3} K_{p3}\right) \sin k_1 \pi\right\}^2 + \left\{k_1 K_{d1} K_{p1} - \frac{1}{\pi} \left(K_{d1} K_{p1} - \frac{1}{3} K_{d3} K_{p3}\right) \sin k_1 \pi\right\}^2}} \\
&= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\frac{2}{\pi} \sin k_1 \pi \left(K_{d1} K_{p1} - \frac{1}{3} K_{d3} K_{p3}\right)}{\sqrt{(k_1 K_{d1} K_{p1})^2 + \left\{\frac{1}{\pi} \left(K_{d1} K_{p1} - \frac{K_{d3} K_{p3}}{3}\right) \sin k_1 \pi\right\}^2}} \quad (33) \quad \therefore
\end{aligned}$$

となる。この式が $\delta \simeq \pm \frac{\pi}{4}$ における基本波電流密度を一定に保ったときの力率と極弧 / 極間隔及びコイルピッチ / 極ピッチの関係を示す近似基本式である。

(32) 及び (33) 式は共に極弧/極間隔 k_1 が小さいときには誤差が大となることは注意を要することである。

数値例を示すと次の如くなる。

(A) 集中巻

この場合は前節に述べた様に $K_{d1}=1$, $K_{p1}=1$, $K_{d3}=1$ 及び $K_{p3}=1$ であるから (33) 式から

$$\cos\phi \simeq \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{-\frac{4}{3\pi} \sin k_1 \pi}{\sqrt{k_1^2 + \frac{4}{9\pi^2} \sin^2 k_1 \pi}} \quad (34)$$

となる。第2図の曲線 $\cos\phi$ はこの巻線に対する力率と k_1 との関係を (34) 式から求めて曲線に示したものである。

(B) 毎極毎相3溝でコイルピッチ7溝の短節分布巻

この場合は前節に述べた様に $K_{d1}=0.96$, $K_{p1}=0.94$, $K_{d3}=0.667$ 及び $K_{p3}=0.500$ であるから (33) 式より

$$\cos\phi \simeq \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{0.558 \sin k_1 \pi}{\sqrt{k_1^2 + 0.0778 \sin^2 k_1 \pi}} \quad (35)$$

となる。第3図の曲線 $\cos\phi$ は、この巻線に対する力率と k_1 の関係を (35) 式より求めて曲線に示したものである。

第2図と第3図と比較すると集中巻に対して短節巻は力率が非常に改善されることが分る。

(10) 毎極毎相の溝数が与えられたときのコイルピッチ/極ピッチの決定について

力率の近似式 (33) 式の分母及び分子を $K_{d1} K_{p1}$ で割ってみれば明かな様に負荷再 $\delta \simeq \pm \frac{\pi}{4}$ における基本波電流密度を一定に保ったときの、或定まった k_1 に対する力率を大きくするためには、大体において第三高調波に対する巻線係数を0とすればよいので、コイルピッチ / 極ピッチを $2/3$ に選べばよい。

このときのトルクの式は $K_{p1}=0.866$ 及び $K_{p3}=0$ なることから (28) 式から

$$T_s \simeq K \frac{0.75 K_{a1}^2 \sin k_1 \pi \left\{ k_1^2 - \left(\frac{1}{\pi} \sin k_1 \pi \right)^2 \right\}}{k_1^2 + \left(\frac{1}{\pi} \sin k_1 \pi \right)^2} \quad (36)$$

として示される。

数値例を示すと、毎極毎相3溝でコイルピッチ/極ピッチが2/3のときには $K_{a1}=0.96$ より

$$T_s \simeq \frac{0.692 \sin k_1 \pi \{ k_1^2 - (0.318 \sin k_1 \pi)^2 \}}{k_1^2 + (0.318 \sin k_1 \pi)^2} \quad (37)$$

となる。

第4図の曲線 T_s はこの巻線に対するトルクと極弧/極間隔の関係(37)式より求めて曲線に示したものであって、 T_s の最大は $k_1=0.7$ のとき起り、その値は集中巻の82.5%となり又同じ毎極毎相の溝数でコイルピッチ/極ピッチが7/9のときの90%となってその減少は僅かである。

次にこの場合の力率は(33)式に前と同じ様に $K_{p1}=0.866$, $K_{p3}=0$ 及び $K_{a1}=0.96$ を代入し

$$\cos \phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{0.636 \sin k_1 \pi}{\sqrt{k_1^2 + 0.1015 \sin^2 k_1 \pi}} \quad (37)$$

となる。

第4図の曲線 $\cos \phi$ は、この巻線に対する力率と k_1 の関係を(37)式より求めて曲線に示したものであって、この曲線からコイルピッチ/極ピッチが2/3のときには、力率が非常に改善されることが分る。

(11) む す び

以上で反動電気機械の負荷角 $\delta \simeq \pm \frac{\pi}{4}$ における基本波電流密度を同一に保ったときの、トルクを最大にしかつ力率を良好にする極弧/極間隔及びコイルピッチ/極ピッチの選び方が明確になった。

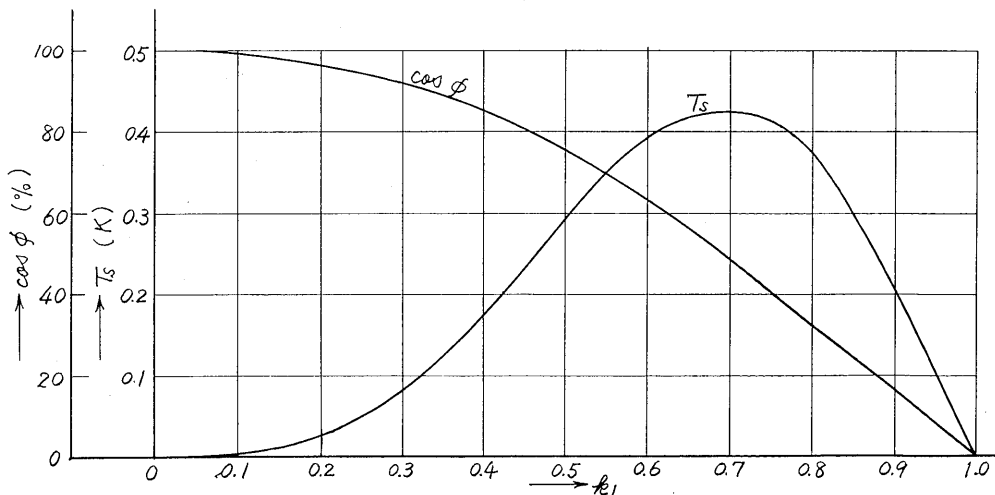
第4図 多相反動電気機械に於ける極弧/極間隔とトルク及び力率

毎極毎相3溝 コイルピッチ6溝

k_1 =極弧/極間隔 K =定数

T_s =負荷角 $\delta = \pm \frac{\pi}{4}$ のときのトルク (電流密度一定)

$\cos \phi =$ " " 力率 (")



この研究では継鉄、磁極鉄心及び電機子鉄心の磁気抵抗、漏れ磁束によるリアクタンス、電気子及び制動巻線の溝の存在等を見捨てし、空隙における磁束は半径方向にのみ通ると仮定し、かつ極間の空隙パーミアンスを 0 とみているので多少の誤差は免れない。

又近似値を用いて計算するときには、空隙パーミアンス及び起磁力の空間的高調波を見捨てしているので、その誤差は更に大きくなるものと思われる。然し簡単に極弧/極間隔及びコイルピッチ/極ピッチを決定するときには、充分実用できるものと思われる。

この研究の結果明らかになった重要なことは次の如くである。

(1) 与えられた巻線に対して最適の極弧/極間隔 k_1 を定めるには、先づ (27) 又はその近似式である (28) 式を用いて T_s と k_1 との関係を求める。次に (32) 又はその近似式である (33) 式を用いて $\cos\phi$ と k_1 との関係を求める。これ等二つの結果を考慮して、 T_s が最大になる附近で、かつ $\cos\phi$ の値のできるだけ大きい値になる様な k_1 を選ばばよい。磁気飽和や漏れリアクタンスを考慮すると k_1 は T_s が最大となるところよりもやや小さく、 T_s がその最大値の 90 % 程度になる様に選ぶのが特性上及び経済上から有利である。又 k_1 を上の様に T_s の最大となるところより稍小さく選ばば、力率の曲線からも明かな様に力率も良くなる。

(2) T_s を最大にする k_1 の値は (27) 式又はその近似式である (28) 式からも明かな様に集中巻よりも分布巻、全節巻よりも短節巻の方が大きくなる。従って短節分布巻にすれば k_1 の値を大きく選んでもよいので、制動巻線の装荷を大きく出来る。制動巻線の装荷を大きくすることが出来れば、機械の起動及び同期化を容易にするばかりでなく、制動作用を増大させるにも効果がある。又短節分布巻では時間的及び空間的高調波の減少にも役立つので、銅損及び鉄損を減少して効率を良くするばかりでなく、振動及び騒音の減少にも役立つことになる。

(3) 力率についても (32) 式又はその近似式である (33) 式からも明かな様に集中巻よりも分布巻、全節巻よりも短節巻の方が改善される。特にコイルピッチ/極ピッチが $2/3$ のときには力率が最高となる。ただし (32) 式又は (33) 式は k_1 の小さいところでは誤差が大きいので、 k_1 の小さいところの力率を考えるとときには注意を要する。

尚一つ注意すべきことは、短節分布巻にすれば上に述べた様に、トルクを最大にする極弧/極間隔 k_1 を大きくし、かつ力率も改善できるがその半面トルク T_s の大きさを減少することで、同一寸法の機械に対して出力が減少することになるので、そのことを考慮して極弧/極間隔及びコイルピッチ/極ピッチを決定しなければならない。

終りにこの研究の図面の作成には、中部工業大学学生坪井和男君が協力されたことを附記して、ここに感謝の意を表する次第である。

昭和 39. 12. 1 受付

参 考 文 献

- (1) 加藤 電気学会電気工学論文集 第 4 巻 第 4 号 頁 224 (昭和 27 年 7 月)
- (2) 加藤 電気学会電気工学論文集 第 4 巻 第 5 号 頁 281 (昭和 27 年 9 月)
- (3) 加藤 電気学会電気工学論文集 第 4 巻 第 5 号 頁 288 (昭和 27 年 9 月)

中部工業大学紀要第Ⅰ集正誤表

ページ	行	誤	正
目次	1	創刊に寄せて	創刊にあたって
3	2	$K_{d, 2\xi+1}$	$K_{d, 2\xi+1}$
4	24	被る.	ある.
5	6	$\left\{ \sum_{\xi=0}^8 (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 (k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \right\}^2$	$\left\{ \sum_{\xi=0}^{\infty} (-1)^{\xi} K_{2\xi+1}^2 (k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi) \right\}^2$
5	6	$(k_1 - K_{2\xi+1} \sin k_1 \pi)$	$(k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi)$
5	14	$(k_1 - K_{2\xi+1}^2 \sin k_1 \pi)$	$(k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi)$
5	14	$(k_1 - K_{2\xi+1} \sin k_1 \pi)$	$(k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi)$
5	26	$(k_1 + K_{2\xi+1} \sin k_1 \pi)$	$(k_1 + K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi)$
6	4	$(k_1 - K_{2\xi+1} \sin k_1 \pi)$	$(k_1 - K_{2\xi+1}' \sin k_1 \pi)$
53	4	PRETENTIONED	PRETENSIONED
53	12	Pretentioned	Pretensioned
53	16	tenscile	tensile
53	19	pretentioned	pretensioned
82	30	中柱と繋ぎ柱	中柱と繋梁
92	18	3 ページ	39 ページ
92	23	1965	1955
目次	10	—集束磁界の影響(その1)	(その1)—集束磁界の影響—