低慣性ヒステリシス電動機の試作[†]

山 田 博*

Experimental Design of a Low-Inertia Hysteresis Motor

Hiroshi YAMADA*

In general, conventional hysteresis motors have a small torque-inertia ratio as compared with conventional servo motors, because the hysteresis material has a small hysteresis loop, a large loss caused by harmonic waves based on slots, and a large specific gravity.

The author has proposed a new rotor structure of an axial air gap hysteresis motor in which anisotropic barium ferrite and Al-alloy plates are utilized. The barium ferrite has a large hysteresis loop, a small loss caused by harmonic waves based on the slots, and a small specific gravity. The proposed motor has a small inertia as a print motor, a large starting torque and a large synchronous torque as compared with conventional hysteresis motors.

This paper presents the structure, the induction of the equivalent circuit containing hysteresis and induction torques, and the experimental characteristics of the motor. The experimental characteristics are close to the characteristics of a print motor.

1. ま え が き

小形同期電動機としてのヒステリシス電動機は、その大きさの割に出力が小さく、また価格が高いなどの欠点をもっている。それにもかかわらず最近の民生機器の普及にともない、その利点としての定速度、低騒音および高信頼性などが買われ需用が伸びている。これと同時にヒステリシス電動機の研究も数を増すと共に電算機の入出力装置、自動制御装置、ジャイロ装置などへと、その利用分野も拡大し、また新しい利用分野への応用も考えられている。それにともなって、より小形高出力化、良好な起動特性、速度の安定性および低価格性が望まれている。

そのため筆者は、ヒステリシス材料として、価格が

安く、かつマイナーループによるヒステリシス損および渦電流損の極めて小さい特徴をもつ異方性の Ba・フェライトを使った。そしてこの円板をアルミ合金からなる放射状のかご形巻線で保持し、回転子全体を円板状にして、その慣性率をプリントモータに匹敵する程度にまで極めて小さくした超薄形の axial air gap ヒステリシス電動機を試作した¹⁾。この Ba・フェライトは高保磁力、低磁束密度のゆえに従来はヒステリシス電動機への応用が提議されていなかった。しかし、この試作から Ba・フェライトの同期時における高トルク性^{2),3)}とかご形巻線による誘導トルクを利用して、その小さな体積に比し大きな起動および同期トルクを得ることができることがわかった。ゆえにここに低慣性ヒステリシス電動機を提案するものである。

ここではこの試作電動機の構造を示すとともに、回転子に生ずるヒステリシスおよび誘導トルクを含む等価回路を誘導し、各定数の物理的概念を明白化した。また、この試作電動機の特徴を表わす諸特性を示すと共に、性能をプリントモータの性能と比較した。

2. 構 造

試作のヒステリシス電動機の実物写真を Fig. 1 に、またその構造を Fig. 2 に示す。Fig. 1, 2 でわかるように磁束通路を構成する継鉄 2 と回転子軸 5 を互いに独立に自由に回転できるようにしたことが低慣性になった一つの理由である。

また保磁力の高い Ba・フェライト磁石材料をヒステリシス材料として使用したことが、回転子の回転軸方向の厚みを薄くすることになり、比重が小さなことと相まってなお一層の低慣性を実現することができたのである。この構造で回転磁束は固定子の N 極から出て回転子を回転軸と平行に通過し継鉄に至る。継鉄に至った磁束はそれを円周方向に通過した後、ふたたび回転子を回転軸と平行に通過して固定子の S 極にいたる。したがって、磁束は Ba・フェライト内を常に回転軸と平行に通過していることになる。またこの Ba・

[†] 第 14 回自動制御連合講演会で発表 (昭 46・11)

* 航空宇宙技術研究所 調布市深大寺町 1880

* National Aerospace Laboratory, Chofu Tokyo
(Received January 10, 1973)

① rotor ③ stator plate ⑤ case
② shunt core ④ stator winding

Fig. 1 Proposed hysteresis motor

① rotor ③ stator plate ⑤ shaft
② shunt core ④ stator

Fig. 2 Motor structure

Fig. 3 Major and minor loops of Alnico 5 and Ba-ferrite

フェライトは回転軸方向に容易磁化軸を有する異方性のものである。その特性を Fig. 3 に示す。Fig. 3 には容易磁化軸方向の特性を示すとともにアルニコ 5 との比較も示してある。

このような異方性 Ba・フェライトを着磁せずに使うことによって比較的大きな同期トルクを得ることができる。それは、マイナーループがほとんど面積をもたないことと電気抵抗が高いことによって、固定子スロ

ットに基づくヒステリシスおよび渦電流損が極めて小さく、メインループの面積を有効に利用し得るためである。なお起動時間の短縮には同期トルクのみならず起動トルクをも高める必要がある。そのため、円板状 Ba・フェライトの一つ一つを高導電性と低比重性をもつアルミ合金でかご形巻線状に包むような構造にし、基本波回転磁界による誘導トルクを発生させるとともに、機械的にも強くしている。さらにトルクを高めるために固定子のスロットの前面に珪素鋼板を密着させてスロットによる高調波を低減させている。このようにして定格出力が 50 W の誘導電動機の固定子を使って、定格出力が 45 W のヒステリシス電動機となし得たのである。

つぎに各部定数を示す。

- (1) Ba・フェライト：湿式異方性フェリネット Q6, 外径 16mmφ, 厚さ 2mm のものを 16 個使用, 厚さ方向の異方性, 両平面研削仕上,
- (2) アルミ合金: 24S,
- (3) 回転子: 外径 120mmφ, 厚さ 2mm,
- (4) 継鉄: 軟鋼 SS41, 外径 105mmφ,

内径 75mmφ, 厚さ 5mm, (5) 固定子鋼板: ハイライトコア H18 (珪素鋼板), 外径 105mmφ, 内径 75mmφ, 厚さ 0.35mm, (6) 固定子鉄心: 同心円状の成層珪素鋼板, 外径 102mmφ, 内径 75mmφ, 高さ 35mm, スロット数 24, 半閉スロット, (7) 固定子巻線: 三相, Y結線, 4極, 35Ω, 線径 0.35mmφ, 1相1極当りの巻数 260, (8) ギャップ: 0.1×2mm.

3. 等価回路の誘導

従来から研究の対象とされていたヒステリシス電動機の等価回路は、かご形巻線などで積極的に誘導トルクを利用していない等方性材料を使った円周方向磁束形の円筒回転子に関するものがほとんどである。この等価回路を導くのにヒステリシスループを等価なだ円とか平行四辺形に近似して解析している。もともとヒステリシス電動機は固定子スロットの影響が大きく、かつヒステリシス材料の非線形性が高い。したがって解析結果と実験結果を定量的に合わせるためには解析が複雑となり実用性を失う恐れがある。

また、比較的簡単な解析といくつかの定数を実験的に求めてそれらの結果の一致をみた場合には、固定子とか材料の厚さなどが変れば改めて定数を実験的に求

めなくてはならないことになる。しかし近似的な円として線形的に解析し、定性的なトルク特性を知ることには必要なことである。事実、多くのメーカにおいては、従来のヒステリシス電動機に関して、定量的に解析した文献がいくつか出ているにもかかわらず、実際には定性的な解析と実験によるカットアンドトライによって設計しているのが実状である。この点はヒステリシスループの非線形性が強い Ba・フェライトにおいては、なおさらに定量的解析は実用性を失う可能性が強い。

したがって、ここでは定性的に、従来明らかにされていなかった固定子電流または誘導電流によって回転子に生ずる磁界および磁束密度分布と等価回路における各定数との関係を明確化する。同時に定性的に、ギャップなどを考慮に入れた等価なヒステリシスループのヒステリシス進角とか回転子抵抗が、基本波によるヒステリシスおよび誘導トルクに与える影響などを明確化する。

いま対称三相ヒステリシス電動機の第1相巻線に流れる電流 I_s は、以下その実数部を採用することにして

$$I_s = I_m e^{j\omega t} \quad (1)$$

ここに、 ω ：電源角周波数

(1)式の示す電流と第2,3相巻線に流れる電流によって回転子に回転軸 (x 軸) 方向をもった理想的な回転磁界 H_s が生ずるものとし、かつギャップおよび固定子などに要する励磁力をヒステリシス材料の励磁力に含めた等価な回転子材料を考えて

$$H_s = K_i I_s e^{-jp\theta} = H_m e^{j(\omega t - p\theta)} \quad (2)$$

ここに、 K_i ：比例定数、 p ：対極数、 θ ：固定子第1相巻線の中心を基準にした x 軸回りの円周角。

ここでヒステリシス材料、ギャップおよび固定子などを含めた等価的なメインループを等価な円形置きかえ、その等価透磁率を $\mu (= \mu_r - j\mu_i)$ とする。したがって回転子が同期角速度 ω_0 に達する以前では、回転子に生ずる磁束密度 B として

$$\begin{aligned} B &= \mu H_s = (\mu_r - j\mu_i) H_m e^{j(\omega t - p\theta)} \\ &= |\mu| H_m e^{j(\omega t - \phi - p\theta)} \end{aligned} \quad (3)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} |\mu| &= \sqrt{\mu_r^2 + \mu_i^2} \\ \phi &= \tan^{-1} \frac{\mu_i}{\mu_r} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

したがって $(1-s)\omega_0$ の角速度をもつ回転子には半径 r 方向をもった次の電界 E が生ずる。

$$\begin{aligned} E &= \mathbf{v} \times \mathbf{B} = -\mathbf{r}_0 r s \omega_0 B \\ &= -\mathbf{r}_0 r s \omega_0 |\mu| H_m e^{j(\omega t - \phi - p\theta)} \end{aligned} \quad (5)$$

ここに、 $\mathbf{v}$ ：半径 r における同期座標に対する回転子の接線速度、 $\mathbf{r}_0$ ： r 方向の単位ベクトル、 s ：すべり、したがって

$$\begin{aligned} E &= -r s \omega_0 |\mu| H_m e^{j(\omega t - \phi - p\theta)} \\ &= -r s \omega_0 B \end{aligned} \quad (6)$$

(5)式の電界によって、電流密度 $\mathbf{i}$ を生ずる。

$$\mathbf{i} = \frac{\mathbf{E}}{\rho} = -\frac{\mathbf{r}_0 r s \omega_0 |\mu| H_m e^{j(\omega t - \phi - p\theta)}}{\rho} \quad (7)$$

ここに、 ρ ：回転子の固有抵抗、ただしここでは簡単化のため回転子材料を均一とし、かつ端効果を無視するとともに半径 r 方向は極めて短いものとしている。

したがって、

$$\mathbf{i} = -\frac{r s \omega_0 |\mu| H_m e^{j(\omega t - \phi - p\theta)}}{\rho} = \frac{E}{\rho} \quad (8)$$

(7)式の電流密度 $\mathbf{i}$ によって生ずる磁界を $\mathbf{H}$ として

$$\text{rot } \mathbf{H} = \frac{\mathbf{r}_0}{r} \frac{\partial H}{\partial \theta} = \mathbf{i} = \mathbf{r}_0 i \quad (9)$$

ゆえに(8)式を使って

$$\begin{aligned} H &= \int r i d\theta = -\int \frac{r^2 s \omega_0 |\mu| H_m e^{j(\omega t - \phi - p\theta)} d\theta}{\rho} \\ &= \frac{r^2 s \omega_0 |\mu| H_m e^{j(\omega t - \phi - p\theta)}}{j p \rho} = -\frac{r}{j p} i \end{aligned} \quad (10)$$

以上の(2)、(3)、(6)、(8)および(10)式の間係を $\theta=0$ としてブロック線図に表わすと Fig. 4 (a) のようになる。Fig. 4 (a) のループを閉じ、また変形して Fig. 4 (b) を得る。

ここに

$$\left. \begin{aligned} i' &= \frac{E}{\rho + j r^2 s \omega_0 |\mu| p} \\ &= -\frac{r s \omega_0 |\mu| H_m e^{j(\omega t - \phi - \phi' - p\theta)}}{|z|} \\ H' &= -\frac{r}{j p} i' = \frac{r^2 s \omega_0 |\mu| H_m e^{j(\omega t - \phi - \phi' - \pi/2 - p\theta)}}{p |z|} \\ B' &= \mu H' = \frac{r^2 s \omega_0 |\mu|^2 H_m e^{j(\omega t - 2\phi - \phi' - \pi/2 - p\theta)}}{p |z|} \\ E' &= -r s \omega_0 B' \\ &= -\frac{r^3 s^2 \omega_0^2 |\mu|^2 H_m e^{j(\omega t - 2\phi - \phi' - \pi/2 - p\theta)}}{p |z|} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} |z| &= \sqrt{(\rho + r^2 s \omega_0 |\mu| p)^2 + (r^2 s \omega_0 \mu_r p)^2} \\ \phi' &= \tan^{-1} \left(\frac{r^2 s \omega_0 \mu_r p}{\rho + r^2 s \omega_0 |\mu| p} \right) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

さて電動機に生ずるトルク T はつぎのようになる⁴⁾。

$$T = K_t \oint_{\theta} H_s d(B+B')$$

$$= K_i \oint_{\theta} (H_s + H') d(B + B') \\ - K_i \oint_{\theta} H' d(B + B') = T_h + T_i \quad (13)$$

ここに, K_i : 比例定数, $T_h = K_i \oint_{\theta} (H_s + H') d(B + B')$

; ヒステリシストルク, $T_i = -K_i \oint_{\theta} H' d(B + B')$:

誘導トルク.

これらのトルクはつぎのように変形できる.

$$T = K_i \oint_{\theta} H_s d(B + B') \\ = K_i \int_0^{2\pi} H_s \frac{\partial(B + B')}{\partial \theta} d\theta \quad (14)$$

ここで(3)式および(11)式の第3式から, $\partial(B + B')/\partial \theta = -jP(B + B')$, $\partial(B + B')/\partial t = j\omega(B + B')$ なるために

$$d\theta = -\omega_0 dt \quad (15)$$

したがって

$$T = K_i \int_0^{-2\pi/\omega_0} H_s \frac{\partial(B + B')}{\partial \theta} d\theta \\ = K_i \int_0^{-2\pi/\omega_0} H_s \left[\frac{\partial(B + B')}{\partial t} \right]_s dt \\ = \int_0^{-2\pi/\omega_0} K_i I_s \cdot K_v V_s dt = KP \\ = K' \omega |\mu| H_m^2 \left\{ \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \right. \\ \left. + \frac{r^2 s \omega_0 |\mu|}{p |z|} \cos(2\phi + \phi') \right\} \quad (16)$$

ここに, K_v, K, K' : 比例定数, $[\partial(B + B')/\partial t]_s = K_v V_s$: 固定子座標についての偏微分, V_s : I_s によって固定子第1相巻線に生ずる端子電圧, P : 固定子から眺めた場合の回転子側に流入する電力,

同様に

$$T_h = K_i \int_0^{-2\pi/\omega_0} (H_s + H') \left[\frac{\partial(B + B')}{\partial t} \right]_s dt \\ = \int_0^{-2\pi/\omega_0} K_i (I_s + I_2) K_v (V_s + V_2) dt \\ = KP_h = K' \omega |\mu| H_m^2 \left[\cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \right. \\ \left. + \frac{r^2 s \omega_0 |\mu|}{p |z|} \left\{ \cos(2\phi + \phi') - \cos \phi' \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{r^2 s \omega_0 |\mu|}{p |\mu|} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \right\} \right] \quad (17)$$

また

$$T_i = -K_i \int_0^{-2\pi/\omega_0} H' \left[\frac{\partial(B + B')}{\partial t} \right]_s dt \\ = - \int_0^{-2\pi/\omega_0} K_i I_2 K_v (V_s + V_2) dt$$

$$= KP_i = K' \omega |\mu| H_m^2 \left\{ \frac{r^2 s \omega_0 |\mu|}{p |z|} \cos \phi' \right. \\ \left. - \frac{r^4 s^2 \omega_0^2 |\mu|}{p^2 |z|^2} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \right\} \quad (18)$$

ここに, I_2 : 固定子第1相巻線に換算した回転子電流, V_2 : I_2 によって固定子第1相巻線に生ずる端子電圧, P_h : 固定子から眺めた場合の回転子側に流入するヒステリシス電力, P_i : 固定子から眺めた場合の回転子側に流入する誘導電力.

以上のことから Fig. 4 (b) を集中定数で表わすと Fig. 4 (c) となる. ここに K_s は比例定数であり, sV_s, sV_2 は V_s, V_2 に対応した回転子側での巻数比が1の場合の等価端子電圧である. また Fig. 4 (c) を固定子第1相巻線に換算し, かつ(16)~(18)式から等価回路として Fig. 4 (d) を得る. Fig. 4 (d) に一次漏れインピーダンスおよび固定子スロットに基づく損失抵抗を考慮し, 定電圧源に直して $s > 0$ における等価回路として Fig. 4 (e) を得る⁵⁾. この等価回路の各定数の定量的な値は文献⁵⁾ のように実験的に求めることになる.

以上の解析によってつぎのことが判明した.

(1) ヒステリシス電動機のトルクは, 抵抗 R_0 と R_2/s に消費される電力に比例する. このことは文献⁴⁾ のように, トルクは固定子電流によって生ずる磁界 H_s と, 合成磁束密度 $B + B'$ の, 回転子角 θ をパラメータとした $B-H$ 曲線の包む面積に比例することから明らかである.

(2) 固定子電流および誘導電流によって生ずる磁界 $H_s + H'$ と, 合成磁束密度 $B + B'$ の, 回転子角 θ' をパラメータとした $B-H$ 曲線の包む面積に比例するものをヒステリシストルクと定義すれば, それは抵抗 R_0 に消費される電力に比例する.

(3) 誘導電流が生ずる磁界 H' と, 合成磁束密度 $B + B'$ の, 回転子角 θ をパラメータとした $B-H$ 曲線の包む面積に比例するものを誘導トルクと定義すれば, それは抵抗 R_2/s に消費される電力に比例する.

また, H_m が一定とすれば

(4) 誘導電流によって, $\phi < \pi/4$, $\phi' \doteq 0$ のときは ρ の減少とともにトルクが増大し, $\phi > \pi/4$, $\phi' > 0$ のときはトルクが減少する.

(5) ヒステリシストルクは $\phi \rightarrow \pi/2$, $\rho \rightarrow \infty$ にしたがつて大きくなる.

(6) 誘導トルクは $\phi = 0$, $\phi' = 0$ のときに最大となる.

したがってトルクを増すには, (1)からスロット部の H_s の低下を防ぎ, 基本波による $\partial(B + B')/\partial \theta$ の

Fig. 4 Induction process of equivalent circuit

減少を防ぐために、スロットの開口部をせまくするとともにスロット数を増す必要がある。また、一般に $\phi' < \pi/4$ なることを考えれば、起動トルクは(4)からあまり大きくならない程度に、回転子抵抗を小さくする必要がある。

以上のことと、Fig. 4 (e)から低慣性ヒステリシス電動機の構造としては、スロットの前面に薄い固定子鋼板を密着し、Ba・フェライトの面積および基本波に対する回転子抵抗があまり小さくならないようにする必要がある。なおスロットに基づく高調波に対する回転子抵抗は十分大きくなるように、Ba・フェライトの数をスロットの数より少なく選ぶ必要がある。

4. トルク特性および考察

試作の低慣性ヒステリシス電動機の特徴を示す主要特性をつぎに示す。

(1) Ba・フェライトの高同期・低起動トルク特性。一般に保磁力の高い材料ほど同期トルクが増加し、起動トルクが低減する傾向にある。このことはBa・フェライトなどの場合にもいえることである。Fig. 2の回転子としてむくの軟鋼 SS 41 (継鉄) とむくの Ba・フェライトまたはアルニコ 5 をはり合わせ、かつ固定子鋼板のない構造で比較した特性を、Fig. 5 (a) に示す。Fig. 5 (a) でわかるように、単位体積あたりの同期トルクはアルニコ 5 より Ba・フェライトの方が大きい。これは Ba・フェライトのマイナーループが面積をほとんど有しないことと、電気抵抗が非常に高いことによって、Fig. 4 (e) の r_0 が小さいこと、

すなわちスロットに基づく同期トルクの減少が少ないためである。それに反し起動トルクが小さいのは、高保磁力のために使用する材料の厚さが薄くなりスロットの影響が効き、3の(1)で示されるように歯の下部の $\partial H_s / \partial \theta$, $\partial B / \partial \theta$ の減少とスロット部の H_s , $\partial H_s / \partial \theta$, $\partial B / \partial \theta$ の減少のために、Fig. 4 (e) の r_2 が大きくなるためである。したがってかご形巻線などによって、基本波による誘導トルクを高める構造を採用すれば、Ba・フェライトの低比重性と相まって、かなり軽い重量で比較的大きな出力を取り出すことが可能となる。

(2) 誘導トルク特性。起動トルクを高めるために、かご形巻線を並用して誘導トルクを利用することができる。Fig. 2の回転子として、むくの Ba・フェライトに接着された継鉄の構造を変え、誘導トルクを利用し、かつ固定子鋼板のない場合の特性を Fig. 5 (b) に示す。Fig. 5 (b) でわかるように、スロットの影響は継鉄に至るまでに平滑化されて、継鉄の構造に無関係に同期トルクが等しいことがわかる。また起動トルクは、継鉄が成層珪素鋼板 ESI (electrical sheet iron) よりむくの軟鋼 SS 41 の場合、さらにかご形巻線の場合というように、3の(4)で示される等価な ρ が小さくなるにしたがって大きくなっている。ゆえに、軽い Al 合金などにかご形巻線を行ない、回転子抵抗を適当な値にすることによって、起動特性が良好になることがわかる。

(3) Ba・フェライトの分割特性。低慣性とするために Ba・フェライトを継鉄と分離させ、Fig. 2 のように Ba・フェライトを Al 合金製のかご形巻線状の

Fig. 5 Torque characteristics {—synch. torque (or current),start. torque (or current), thickness: Ba-ferrite ≈ 2 , Alnico 5 ≈ 7.5 , unit: mm}

Table 1 Comparison between the conventional print motor and the hysteresis motor

characteristics	units	print motor	hysteresis motor
frequency	Hz	DC	50
voltage	V	21	200
current	A	7.0	0.8
output	W	100	45
revolution	rpm	3,000	1,500
rating	hr	Continuous	Continuous
insulation	class	B	E
torque	kg·cm	3.25	3.0
starting current	A	40	0.97
starting torque	kg·cm	20	7.2
fly-wheel effect GD^2	kg·cm ²	1.01×4	1.2×4
stall-torque acceleration	10^3 rad/s^2	19.6	6.0
mechanical time constant J/D	ms	17	32
starting time (no load)	"	2×18	40
volume	mm ³	$152\phi \times 74$	$150\phi \times 80$
weight	kg	3.5	4.8
magnetic (hysteresis) material		Alnico 5	Ba-ferrite (ferrinet Q6)

もので保持し、かつ固定子鋼板のない場合のトルク特性を Fig. 5 (c) に示す。Fig. 5 (c) でわかるように起動トルクは、それ程電流が増さないのにかわらず大きくなっている。これは 3 の (4), (6) の ϕ が比較的小さく、 ϕ' が 0 に近い状態でかつ ρ が適当に小さ

くなるために、有効に誘導トルクが出ているものと思われる。また、同期トルクが半減しているのは、Ba・フェライトの体積の減少と同時に、Al 合金部での局部電流によって Fig. 4 (e) の r_0 が大きくなるものと思われる。

(4) 固定子鋼板による特性。これらの実験で最良形状をもつ Fig. 2 のように、固定子スロットの影響を低減させるために固定子歯の表面に、珪素鋼板からなる固定子鋼板を密着させる。こうすることによって Fig. 5 (d) のように、電流が減少しているにもかかわらず起動トルクが増大する。これはスロットの影響が低減し、3 の (3) の $H_s, \partial H_s / \partial \theta, \partial (B+B') / \partial \theta$ が増したために Fig. 4 (e) の

r_2 が減少したためである。この Fig. 2 の構造のものは、Ba・フェライトをアルニコ 5 に置換え内側に Al を合金を充てんしたものに対し慣性では約 1/5、トルク慣性比では約 10 倍となっている。なおアルニコ 5 の代りに等方性アルニコを使った従来の円周方向磁束形のものと比較した場合もほぼ同程度である。

以上の低慣性ヒステリシス電動機の特性と (株) 安川電機製作所の標準形プリントモータ JKPM-12 のそれとを比較すると Table 1 のようになる。Table 1 からわかるように大体同容積のものでは、試作のヒステリシス電動機の出力がプリントモータのその 1/2 以下になっている。しかし、これは周波数を高めることによって出力を向上させ得る可能性を含んでいる。また起動トルクは約 1/3 と低い、これは定電圧源で比較したためにプリントモータでは、その原理からして起動電流が大きいことによる。以上の二点を除けば大体プリントモータに匹敵するまでに至っている。なお、この試作品は既製の誘導電動機の固定子を使用した。Ba・フェライトを使ったこの試作電動機は誘導電動機よりもギャップ磁束密度が低いことを考えれば、core の各部における磁束通過断面積を小さくすることができ、固定子継鉄部が、薄くなるためにさらに超薄化が可能となる。同時に、スロットを広くできるために固定子巻線の銅量を多くして効率を高めることができる。

5. む す び

ヒステリシス材料として Ba・フェライトを使うことによって、そのモータ容積に比し極めて低慣性をもったヒステリシス形同期電動機を得ることができた。なおそのトルク慣性比はプリントモータには及ばないが、Ba・フェライトの形状を半扇形にすればいくらかなりとそれに近づける可能性を含んでいる。しかしプリントモータに比し速度制御装置を必要としない点は経済的に有利であり、かなり実用性のあるものといえよう。なおコルギングに対しては Ba・フェライトの数を奇数にするとか、かご形巻線をスキューすることによって一層平滑性を増すことができる。

終わりに、本研究にさいし種々のご援助をたまわった日本特殊鋼(株)の吉野泰文氏、東北金属工業(株)の畠山敏雄氏に深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 山田：低慣性ヒステリシス電動機の試作，第 14 回自動制御連合講演会前刷，229/230 (1971)
- 2) 山田：軸方向の空隙をもったヒステリシス電動機の試作，第 12 回自動制御連合講演会前刷，205/206 (1969)
- 3) 山田：フェライトを使ったヒステリシス電動機，第 13 回自動制御連合講演会前刷，231/232 (1970)
- 4) 山田：軸方向励磁ヒステリシス電動機のトルク特性，第 10 回 SICE 学術講演会予稿集，471/472 (1971)
- 5) 山田：高エネルギー磁石のヒステリシス電動機への応用，計測自動制御学会論文集，8-2，132/140 (1972)