半永久磁石ブラシレスモータの試作

正 員 山 田 博 (航空宇宙技研)

A Prototype Semipermanent Magnet Brushless Motor
Hiroshi Yamada, Member (National Aerospace Laboratory)

キーワード：モータ，半永久磁石モータ，ブラシレスモータ

1. ま え が き

著者は以前、放射状異方性 Nd 系希土類永久磁石リングを低慣性永久磁石回転子モータへ適用したことがある⁽¹⁾。このたびは、温度上昇などによる減磁の影響を減らすために、温度特性が Nd 系希土類磁石より優れている Sm 系希土類磁石を適用し、かつ減磁分を回転磁界でパルスのに着磁する間欠着磁法を採用すること、いわゆる磁石を永久磁石とヒステリシス磁石の中間的な半永久磁石として用いることによって、温度上昇などによる減磁の影響が小さな半永久磁石ブラシレスモータを試作した。ここでは、試作モータの原理、構造、トルク特性および等価回路を示し、その実用性を提案する。

2. 試作モータの原理・構造および仕様・性能

(1) 原理・構造 試作モータの駆動方法としては、同期モータとして運転した場合の同期脱出トルクのみを利用する直軸間欠着磁・横軸可変電流かつ自励駆動方式を採用する。その原理・構成・特徴などは

(i) 同期トルクのみを利用する自励駆動方式であるので、非同期トルクを大きくするための設計を必要としない。

(ii) 永久磁石回転子のようにトルク角が $\pi/2$ でのトルクのみを利用する自励駆動方式であるので、効率が高い。

(iii) 温度上昇などで減磁しても、トルク角が 0 の成分、つまり直軸分の間欠着磁によって磁束密度が再生できるので温度上昇などによるトルク低下が小さい。

(iv) トルク角が $\pi/2$ の成分、つまり横軸電流のみを偏差に比例させて、トルクを発生させることができるので直線性が良好である。

(v) 間欠着磁であるので、電機子電流による減磁の影響が小さい。

(vi) 自励駆動であるので、直流モータと同様なトルク対速度特性となるために安定性に優れている。ま

た、図 1 に回転子構造を示す。その特徴などは

(i) Sm 系希土類磁石は Nd 系希土類磁石に比べて機械強度に劣るので、小さな磁石体積ですますには放射状異方性の円筒磁石にできないために、円周を 15 個の厚さ方向異方性の板状磁石で構成してある。

(ii) 磁石は間欠着磁が容易で、かつ磁束密度も大きく、しかも温度特性が Nd 系希土類磁石よりも優れた 2-17 系 Sm-Co 磁石 (図 2 S 25) である。

(iii) 固定子スロットに基づく空間高調波磁界は、希土類磁石内で平滑化され、回転子鉄心には局部渦電流があまり流れない。ゆえに、磁石の固有抵抗が大きい (約 $84 \mu\Omega \cdot \text{cm}$) ことも加えて、局部渦電流に基づくトルク低下が小さい。

(iv) 磁石のマイナーループが囲む面積はほとんど 0 である。ゆえに、空間高調波磁界によって回転子に生じるマイナーループに基づくトルク低下は無視できる。

(v) 回転子鉄心は、機械的に強くかつ加工が容易な軟鋼からなっている。

(2) 仕様・性能 試作モータの主な仕様 (単位は mm)、性能は

図 1 回転子構造
Fig. 1. Prototype rotor.

図 2 B-H 特性
Fig. 2. B-H characteristics.

図 3 トルク対電流特性
Fig. 3. Torque-current characteristics.

(i) 固定子 鉄心：成層けい素鋼板 H 18, 120°×55°×30 (0.5°×60°), 半閉口, 12 スロット, 巻線：50Hz, 180V, 4A, H 種, 三相 2 極, Y 結線, 同心巻き, 1 相 1 極当たり 0.5°×(20°+43°+67°).

(ii) 定格：連続, 出力：300 W (3,000 rpm)。

3. 試作モータのトルク特性および等価回路

(1) トルク特性 10 A で着磁した後, 同期モ

電学論 D, 113 巻 11 号, 平成 5 年

図 4 等価回路
Fig. 4. Equivalent circuit.

ータとして運転した場合, 同期脱出時のトルク対電流特性を図 3 に示す。なお, 図には等方性アルニコ系磁石⁽²⁾, アルニコ 5⁽²⁾, Ce 系希土類磁石 (B)⁽³⁾, 等方性 Nd 系プラスチック磁石⁽⁴⁾, Nd 系希土類磁石 (HS 30 CR)⁽¹⁾ を適用した場合の特性も示した。図 3 から

(i) 電流が大きくなるとヒステリシスモータに近づくのでトルクが飽和するが, 磁束密度はヒステリシスモータより小さい (約 5.3 kG) ので, 磁気飽和が生じない。しかし, 間欠着磁のときに飽和しやすい。

(2) 等価回路 定格電流 4 A での同期モータとしての同期脱出時の等価回路を図 4 に示す。同図で

- (i) 定格電流が大きいため銅損の割合が大きい。
- (ii) 磁束密度が小さいので鉄損は無視できる。
- (iii) 磁石厚さが薄いのでリアクタンスが大きい。

4. む す び

S 25 を半永久磁石として用いれば, 温度の影響が小さく, かつトルク対磁石体積比が大きいののでかなり実用性のあるブラシレスモータになるように思われる。

(平成 5 年 4 月 1 日受付)

文 献

- (1) 山田：「低慣性永久磁石回転子モータの試作」, 電学論 D, 112, 1121 (平 4-11)
- (2) 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, 8, No.2 (昭 47-4)
- (3) 山田：「Ce-Co 磁石のヒステリシス電動機への応用」, 昭 52 電気学会全大, [6], p. 827
- (4) 山田, 他：「希土類プラスチック磁石を用いたサーボモータの試作」, 平 3 同上, [7], p. 856

山 田 博 (正員)

昭和 10 年 2 月 21 日生。37 年愛知工業大学工学部電気工学科卒業。同年科学技術庁航空宇宙技術研究所入所。以後, 誘導制御機器の研究に従事。第一級無線技術士, 第一種電気主任技術者。工学博士。