表面PM同期モータのセグメント形磁化方式による コギングトルクの低減と回転子鉄心の削減

正員 吉田欣二郎* 正員 袈裟丸勝巳*
学生員 佐野 伸次*

Cogging Torque and Rotor Core Reduction of Segment type Surface-Mounted-PM Motor

Kinjiro Yoshida*, Member, Katsumi Kesamaru*, Member, Sinji Sano*, Student Member

This paper describes the torque characteristics of surface-mounted-PM motor with concentrated stator winding. The torque is analyzed in detail by 2D FEM, and the proposed segmented PM motor is very useful to reduce the cogging torque. The simulation results by FEM are presented together with the considerably reduced rotor iron structure.

キーワード：永久磁石 (PM), 同期モータ, コギングトルク, 有限要素法

Keywords: permanent magnet, synchronous motor, cogging torque, finite element method

1. まえがき

PM モータにおいて、回転子PMの異方性を磁束流の方向にあわせる極異方性化は、コギングトルクの低減に有効であるが、PMの異方性を付けるための処理が難しいという問題がある⁽¹⁾。

本稿では、PMを複数の平行配向セグメント磁石で模擬する極異方性方式⁽²⁾⁽³⁾（本文ではセグメント形磁化方式と呼ぶ）の表面PM形同期モータについて、有限要素法による磁界解析を行い、コギングトルクおよび平均トルクの考察を行い、本モータの回転子鉄心に対する指針を与えた。

2. モータ構造

図1は固定子集中巻線を有するPMモータの解析モデルを示す。定格は1.3kW, 極数8, 回転子鉄心半径36.1mm, PM厚み3mmである。図2は回転子PMの着磁状態を示し、図2(a)はラジアル磁化タイプであり、図2(b)は1極を6つのセグメントに分割磁化したセグメント磁化タイプである。なお、PMのスキューはコギングトルクの低減に有効であるが本文では考慮していない。

3. 有限要素解析

モータの対称性を考慮して、モデルの1/4について、一次三角形要素を用いて要素数4710, 節点数2407に分割した。回転については、固定子を時計方向に0.75°刻みで回転す

ることによって模擬した。さらに機械的負荷角 $\delta_m = 90^\circ$ 一定とし、正弦波実効電流 $I = 10.7\text{ A}$ で定電流制御シミュレーションを行っている⁽¹⁾。

図1 表面PM形同期モータ

Fig. 1. Surface-mounted-PM SM.

図2 回転子PM構成

Fig. 2. PM on Rotor.

* 九州大学大学院システム情報科学研究院
電気電子システム工学部門
〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1
Dept. of Electrical and Electronic Systems Eng.,
Graduate School of information Science and Electrical Eng.,
Kyushu University
6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581

図3 コギングトルク

Fig. 3. Cogging torque.

図4 負荷トルク

Fig. 4. Load torque.

図5 トルク特性

Fig. 5. Torque characteristics.

4. 解析結果

図3はラジアル磁化、セグメント磁化の回転角に対するコギングトルクを示す。ラジアル磁化のトルクの変動幅は5.4Nmであり、セグメント磁化は0.6Nmと約1/9に減少することが判る。負荷時のトルク波形を図4に示し、この場合ラジアル磁化の平均トルク T_{av} は、セグメント磁化に比して10%程度大きくなるが、そのトルクリプルも約50.5%と大きい。

次に、回転子鉄心のPM背後の継鉄深さ L_{ry} のトルクに与える影響を調べた。図5は L_{ry} を36.1mm(鉄心半径)

(a) Radial, $L_{ry} = 36.1$ mm(b) Segment, $L_{ry} = 36.1$ mm (c) Segment, $L_{ry} = 3.1$ mm

図6 最大出力時の磁力線分布

Fig. 6. Flux distribution at maximum power.

から0mm(鉄心なし)に変えた時の平均トルク特性を示し、図(a)はラジアル磁化であり、図(b)はセグメント磁化である。例えば、 L_{ry} を36.1mmから3.1mmと浅くした場合、その最大トルクはラジアル磁化で24.4%低下するが、セグメント磁化では2.6%と、その減少割合は小さい。また、セグメント磁化では△印の回転子鉄心なしでも最大トルクの約58%の出力トルクが可能である。

図6は最大出力時の磁力線分布を示す。図(a)のラジアル磁化は、図(b)のセグメント磁化に比して、回転子鉄心への磁力線の入り込みが少なく、図5(b)の継鉄深さに対するトルク特性が理解できる。図(c)は $L_{ry} = 3.1$ mmとした場合のセグメント磁化の磁力線分布を示す。従って、セグメント磁化はPM背後の鉄心厚みを薄くでき、回転子電磁鋼板の削減が期待できる。

5. むすび

本文で記述したセグメント磁化方式表面PM同期モータはラジアル磁化方式に比してコギングトルクを大幅に軽減できることを示した。また、回転子のPM背後の鉄心深さも浅く設計でき、鉄心(電磁鋼板)の削減が可能である。(平成15年6月3日受付,平成15年8月11日再受付)

文 献

- (1) K. Ohnishi: "Cogging Torque Reduction in Permanent Magnet Brushless Motor", *T. IEE Japan*, Vol.122-D, No.4 pp.338-345 (2002-4) (in Japanese)
大西和夫:「永久磁石ブラシレスモータのコギングトルク低減」, 電学論 D, 122, 4, pp.338-345 (2002-4)
- (2) K. Yoshida, K. Kesamaru, and Y. Hita: "Analysis of Eddy Currents in PM of Surface-Mounted-PM SM", *T. IEE Japan*, Vol.117-D, No.10, pp.1288-1289 (1997-10) (in Japanese)
吉田欣二郎・袈裟丸勝巳・日田泰弘:「表面PM形SMのPM部うず電流解析」, 電学論 D, 117, 10, pp.1288-1289 (1997-10)
- (3) K. Yoshida, S. Nakayama, and K. Kesamaru: "Influence of Coating of PM on Eddy Currents in PM of Surface-Mounted-PM SM", *T. IEE Japan*, Vol.121-D, No.1, pp.139-140 (2001-1) (in Japanese)
吉田欣二郎・中山誠二・袈裟丸勝巳:「表面PM形SMのPM部うず電流に及ぼすPMコーティングの影響」, 電学論 D, 121, 1, pp.139-140 (2001)