

三次元磁路と非対称磁石配置をもつ可変界磁 PM モータの検討

土井 康太朗*, 野口 季彦(静岡大学)

Discussion on Adjustable Field PM Motor with 3D Magnetic Path and Asymmetric Magnet Arrangement

Kotaro Doi, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

1. まえがき

著者らは高トルク特性と高速・低トルク領域の高効率特性の両立を目的とした可変界磁 PM モータを提案してきた⁽¹⁾。本稿では、可変界磁を実現するための三次元磁路構造を説明し、リラクタンストルクを有効活用した新しい高出力密度ロータ構造を提案する。JMAG-Designer 21.0 による三次元有限要素解析 (以下、3D-FEA) を行った結果、各運転領域における提案モータの特性を明らかにし、その有用性を確認したので報告する。

2. 三次元磁路と非対称磁石配置

Fig. 1 に解析モデルを示す。さらに、Table 1 にこのモータの諸元を示す。本モータはスプリットしたステータコアの間に巻いた界磁巻線 (以下、零相巻線) によって界磁磁束を能動的に変化させる。さらにロータシャフトとステータフレームは零相磁束のための三次元磁路となっている⁽¹⁾。Fig. 2 にロータ断面を示す。ロータ内部の磁石配置は N 極側と S 極側とで非対称になっている。Fig. 3 に無負荷時のギャップの磁束密度分布波形を示す。零相磁束を透過しないときアンバランスな界磁磁石磁束は三次元磁路を通りスプリットしたロータコア間で短絡する。ここで、零相磁束を透過させると磁束密度分布波形が対称に近づく。このとき一次成分は 20.3% 変化させることができる。

3. 3D-FEA による高トルク特性の評価

Fig. 4 に最大電機子電流通電時の零相起磁力と電機子電流位相角 0deg の平均トルクおよび位相角を変化させたときの最大平均トルクの関係を示す。零相起磁力の増加に対してマグネットトルクが増加し、総合トルクは零相起磁力 2000AT および位相角 50deg で最大の 55.0Nm となる。2000AT のマグネットトルクが 34.4Nm であるから提案モータはリラクタンストルクを有効活用できている。Fig. 5 に Fig. 1 の提案モデルに対して零相起磁力を最大とした場合の理想状態モデルを示す。このモデルのマグネットトルクは 35.4Nm、総合トルクは位相角 49deg で 55.1Nm であるから、提案モデルは 2000AT のときにほぼ同等のトルク性能を発揮できる。

4. 3D-FEA による高速・低トルク領域の特性の評価

Fig. 6 に最大電機子電流の 1/8 通電時、回転数 6000r/min における零相起磁力 0AT と Fig. 5 モデルの電機子電流位相角と平均トルクの関係の比較、Fig. 7 に電機子電流位相角と相電圧基本波振幅の関係の比較を示す。Fig. 6 内の★はトルクが 3.26Nm のポイントを示す。さらに Fig. 7 の★は Fig. 6

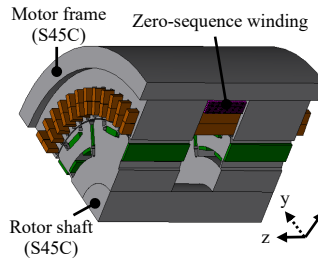


Fig. 1. Motor model.

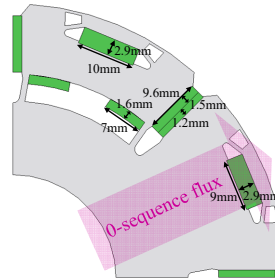


Fig. 2. Rotor geometry.

Table 1. Specification.

No. of slots /poles	48 / 8
Stator diameter	φ 140 mm
Stack length	87.1 mm
No. of turns of 0-sequence winding	500
Maximum 0-sequence current and density	4Adc, 20.4A/mm ²

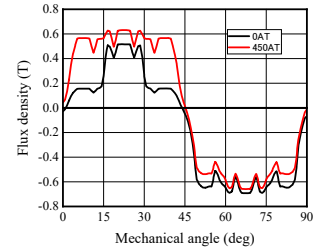


Fig. 3. Air gap magnetic flux density.

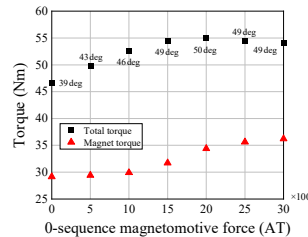


Fig. 4. Average torque vs. 0-sequence magnetomotive force.

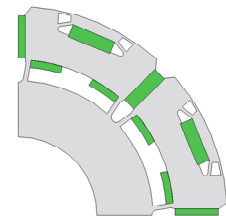


Fig. 5. Ideal model.

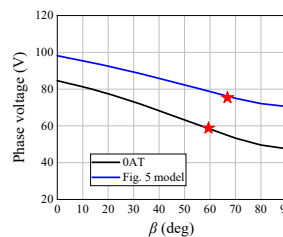


Fig. 6. Fundamental phase-voltage vs. current phase angle.

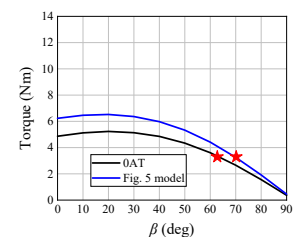


Fig. 7. Average torque vs. current phase angle.

のポイントの位相角に対応する。このとき、0AT と Fig. 5 モデルの相電圧基本波振幅はそれぞれ 56.2V, 75.0V であるから、提案モータは短絡磁束による電圧低減によって鉄損が低減し効率が改善することが期待できる。

文献

(1) K. Iwama and T. Noguchi, *Energies*, vol. 15, no. 1, p. 52, Dec. 2021.