

空間高調波を活用したトランスバースバイパス 磁束制御形可変界磁 PM モータの基礎検討

青山 真大* (スズキ株式会社), 野口 季彦 (静岡大学)

Preliminary Study of Variable Magnetic Flux PM Motor with Transverse Bypass Flux Control Utilizing Space Harmonics
Masahiro Aoyama* (SUZUKI Motor Corporation), Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

1. はじめに

近年、欧州を中心に 48V マイルド HEV システムの技術開発が盛んに行われている。48V システムは高電圧のフル HEV システムに比べ燃費改善効果が劣るが、一方で車両重量が軽い B セグメント以下のコンパクトカーにとっては小型軽量で安価な HEV システムとなり、コストメリットと燃費改善効果を得やすい。このようなシステムは低電圧駆動のため、界磁制御可能なクローポール形モータとインバータを組み合わせた ISG システムが主流となっている。しかし、クローポール形モータの場合、スリップリングを用いた他励式のため、大出力化に伴い従来よりも界磁電流を増やす必要に対してブラシの摩耗や耐久性が問題となる。さらに鉄塊のロータ構造のため、鉄損増加により高効率化が困難である。それらの問題に鑑みて近年可変界磁モータが盛んに検討されている。代表的な研究として磁石磁力を可変にするメモリモータやロータスキュー角を調整するモータが提案されている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、前者は磁石を着減磁するためにパルス電流を電機子電流に重畳しなければならず、モータ出力よりもインバータ容量が増大する問題があり、後者はスキュー角を機械的に調整する外部アクチュエータが必要になる。

本稿では、それらの課題に対して簡単な構造で回転速度の増加とともに自動的に電機子鎖交磁束を低減できる可変界磁 PM モータを提案する。

2. 空間高調波を活用した可変界磁の原理

図 1 に提案する空間高調波を活用したトランスバースバイパス磁束制御形可変界磁 PM モータを示す。集中巻トロイダルステータのラジアルギャップ面とアキシヤルギャップ 2 面を活用したモータである。図 2 に示すようにラジアルギャップ面には磁石ロータを内包し、磁石磁束が 3 次元磁路を形成できるようにギャップを有したトランスバースバイパス磁路を備えている。トランスバースバイパス磁路の両端部には磁気短絡コイル (S-coil) が巻かれており、S-coil に直流電流が流れることで磁石磁束がバイパス磁路に漏れてステータ鎖交磁束量を調整できる。S-coil への給電はアキシヤルギャップ面に配置した誘導コア (シャフトに締結さ

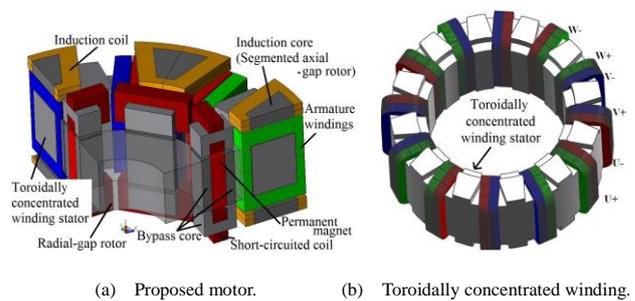


Fig. 1. Transverse bypass flux control type variable magnetic flux PM motor.

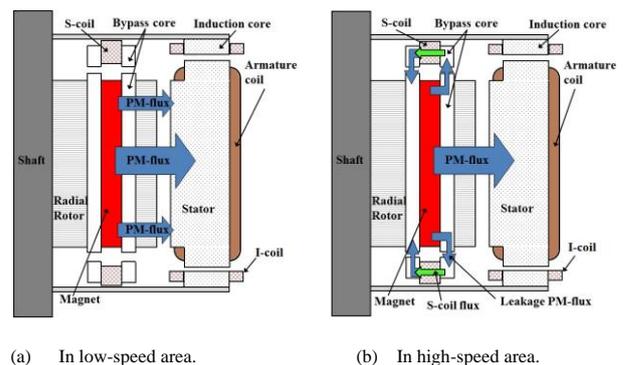


Fig. 2. Principle of variable magnetic flux.

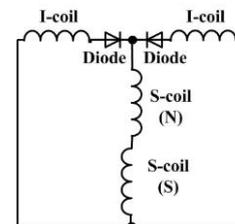


Fig. 3. Rotor winding rectifier circuit.

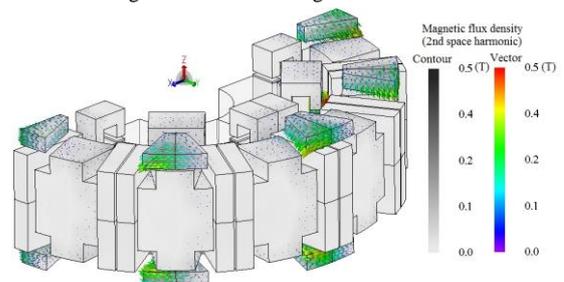


Fig. 4. Second-space-harmonic vectors.

れロータと同期回転)に鎖交する静止座標上の第2次空間高調波を図3の全波整流回路で整流することによりスリップリング等を用いずに非接触で得ることができる。誘導コアは図4に示すように第2次空間高調波の磁路のみ形成できれば良いため、セグメント構造としている。

3. 電磁界解析による可変界磁の確認

図5に電機子起磁力 $636 A_{rms} T$ の一定励磁条件における電流位相に対する可変速トルク特性を示す。図6にロータ巻線を開放にした場合と、ロータ巻線を図3の整流回路結線したときのUV線間電圧基本波実効値の比較を示す。両図に示したように空間高調波によりS-coilに誘導起電力が発生し、図3の整流回路で整流されて図7のロータ電流が自励されることで磁石磁束の短絡アシスト用起磁力源として活用することができる。その短絡起磁力によってラジアル面に配置したロータ磁石磁束の一部がトランスバースパイパス磁路の方向に短絡磁路を形成し、電機子巻線に鎖交する磁束量を低減できている。その結果、図5(a)に示すようにトルクが低下し、図6に示すように電機子線間電圧を低減することが可能となる。今回は基礎検討のため、短絡起磁力の最適化を行っていないが、モータ要求仕様に対して基底回転速度以上の領域で空間高調波による短絡起磁力と、磁石起磁力のバランス設計を行うことで弱め界磁制御を不要としながら回転速度の増加とともに自励的にステータ鎖交磁束を低減することができる。その結果、電流位相進角で電機子磁束と磁石磁束が干渉することで増加する空間高調波(特に第5次, 第7次)による鉄損増加や電磁振動に対しても大きな改善効果をもたらすと期待できる。さらにモータ出力向上と高効率エリアの拡大も期待できる。図8に500 r/minと3000 r/minにおける磁束ベクトル分布を示すが、同図より回転速度の増加とともにトランスバースパイパス磁路に鎖交する漏れ磁束が増加していることが確認できる。

4. まとめ

本稿では簡単な構造で回転速度の増加とともに自励的に電機子鎖交磁束を低減できる可変界磁PMモータを提案した。電磁界解析により、空間高調波をロータ磁石磁束の短絡起磁力源として活用し、可変界磁を実現できることを確認した。今後は磁石起磁力や磁気短絡起磁力のバランスに関して最適設計を行うとともに、図5(b)の誘導コアにおけるドラッグトルクの低減を狙った磁気回路設計を進める。さらに、実機試作を行い動作原理の検証を進める予定である。

文 献

- (1) 塚・結城・橋場・高橋・安井・ゴウウテックランシー:「可変磁気メモリモータの原理と基本特性」, 電学論D, Vol. 131, No. 1, pp. 53-60 (2011)
- (2) 野中・大賀・大戸:「可変界磁モータの駆動に関する考察」, 電学論D, Vol. 135, No. 5, pp. 451-456 (2015)

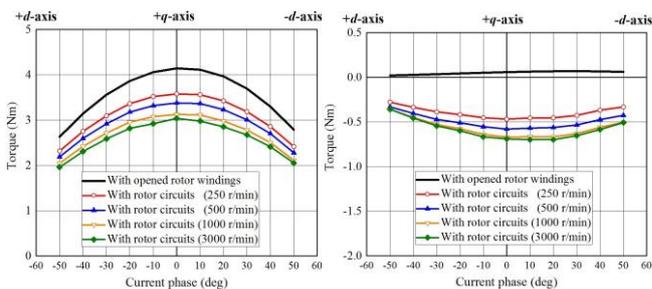


Fig. 5. Adjustable speed drive torque characteristics.

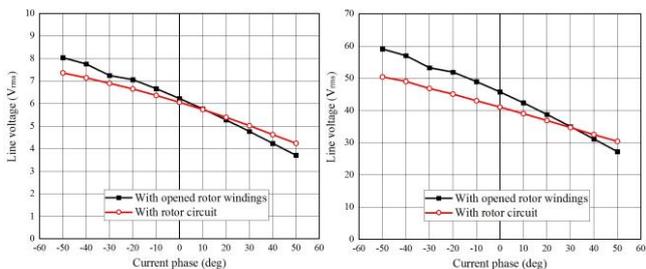


Fig. 6. Line voltages between U-phase and V-phase.

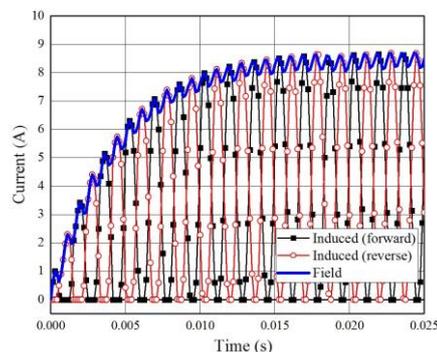


Fig. 7. Self-excited rotor currents (3000 r/min, 0 deg).

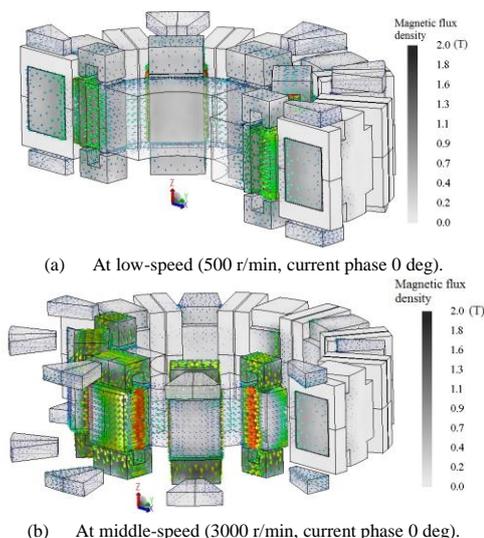


Fig. 8. Leakage magnetic flux vectors with respect to rotation speed.