

零相回路を用いた複合起磁力モータの トルクブーストに関する検討

村上和寛*, 野口季彦 (静岡大学), 服部晃尚, 金子陽一 (株式会社デンソー)

Study on Torque Boost of Compound Magnetomotive Force Motor Using Zero-Phase Circuit

Kazuhiro Murakami, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

Akihisa Hattori, Yoichi Kaneko (DENSO CORPORATION)

1. はじめに

近年, PM モータの可変速運転領域の拡大を目指した研究が精力的に行われている。PM モータの多くはエネルギー密度が高いネオジム磁石を使用して誘起電圧定数を高めることにより, 低速運転域で大きなトルクを出力するように設計できる。しかし, 低速運転域で大トルクを出力できる PM モータは高速運転が非常に困難であり, 低速運転域での大トルクと高速運転の両立による可変速運転領域の拡大はトレードオフの関係にある。筆者らは高速運転域の拡大を PM モータの構造からアプローチし, 低速運転域におけるトルクの増大を駆動方法から改善することを目指してきた。その一つとして, PM モータのロータ構造を 1 極対毎にイメージポールを形成することにより, 高速運転域の拡大を実現する新しいコンシクエントポールモータを検討してきた¹⁾。

本稿では, 上記検討を踏まえて, 三相電流と零相電流を用いて駆動することで低速運転域においてトルクをブーストする手法について検討したので報告する。

2. 原理モータの概要

Fig. 1 に原理モータモデルのステータ巻線構造を示す。原理モータの基本構造は 8 極相当 (磁石磁極: 4 極, イメージポール: 4 極) 12 スロットである。ロータは N 極と S 極の 1 極対毎にイメージポールを形成する構造とし, 同相のイメージポールに対向する巻線と磁石に対向する巻線は直列接続とする。したがって, ロータコアの磁気回路は不平衡であるが, 各相のインダクタンスはバランスする。このため, 不平衡なロータ起磁力によるモータ電流制御への悪影響はない。原理モータは従来の PM モータに比べ磁石量を半分としているため磁石磁束が少なく, ロータの磁気回路は鉄が占める割合が多いので, インダクタンスが大きくなる。よって, 原理モータの可変速運転特性は低速運転域ではトルクが小さくなるが, 弱め界磁を行う高速運転域の拡大を期待することができる。

3. 提案モータと動作原理

従来の PM モータの磁石起磁力は電機子の回転磁界と同期する成分により占められ, その他の高次成分は僅かである。しかし, 原理モータは N 極と S 極の 1 極対毎にイメー

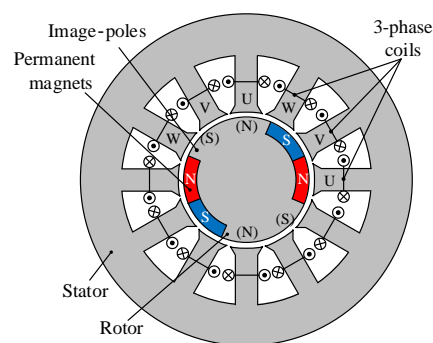


図 1 原理モータモデル

Fig. 1. Principle motor model.

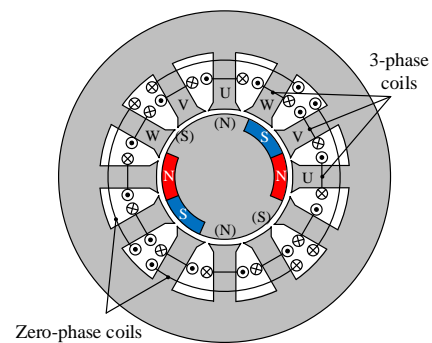


図 2 提案モータモデル

Fig. 2. Proposed motor model.

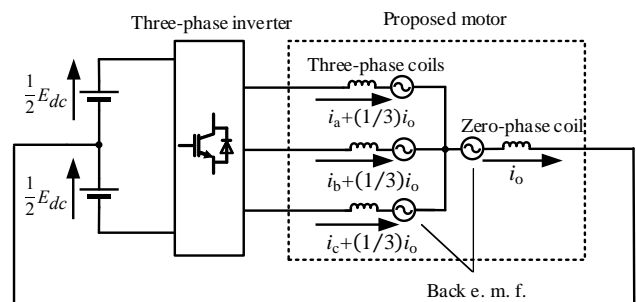


図 3 零相巻線を利用したモータ駆動回路

Fig. 3. Motor drive circuit using zero-phase coil.

ジポールを形成することにより、ロータの磁石起磁力が電機子の回転磁界と同期する 8 極成分だけでなく、低次磁石起磁力である 4 極成分ももつ。そこで、原理モータの駆動方法として、低速運転域で三相と零相を用いることにより、1 台のインバータで 8 極成分と 4 極成分の磁石起磁力に同期させ、その結果として、低速運転域でのトルクブーストを実現する手法を検討する。Fig. 2 に提案モータモデルのステータ巻線構造を示す。提案モータは同一ティースに三相巻線と単相巻線を設けた二重巻線構造をもつ。三相巻線による回転磁界は磁石起磁力の 8 極成分、零相巻線による交番磁界は 4 極成分と同期させる。Fig. 3 に提案モータの駆動回路を示す。三相交流に同相の交流成分（零相成分）を重畳することで、零相巻線により 4 極の交番磁界を発生させる。以上のように、原理モータを複合起磁力モータと捉え、駆動方法を三相のみから三相と零相にて駆動することで、インバータの台数を増加させることなく低速運転域でのトルクブーストを実現することができる。

4. シミュレーション結果

電磁界解析ソフト JMAG-Designer 17.0™ を用いて、原理モータと提案モータの運転特性を解析した。

<4・1>原理モータの特性比較

原理モータと従来の SPM モータの N-T 特性を比較する。ベンチマークである SPM モータは原理モータのステータと共通でエアギャップも同一としている。差異として、原理モータは 8 極相当（磁石磁極：4 極、イメージポール：4 極）であるが、SPM モータは 8 極全てを磁石とするため磁石体積は倍である。Fig. 4 に最大出力運転時の N-T 特性を示す。直流バス電圧は 12 V とし、各相の起磁力は 1306 AT である。原理モータと SPM モータ共に突極比は 1 である。原理モータは SPM モータに比べ磁石磁束が少ないことから低速運転域でのトルクが 50% まで減少する。しかし、電圧飽和に達して弱め界磁を行うと高速運転域が大幅に拡大されることを確認できる。

<4・2>原理モータの磁石起磁力

Fig. 5 に原理モータのロータ表面磁束密度分布と FFT 解析結果を示す。ロータ構造を 8 極（磁石磁極：4 極、イメージポール：4 極）とすることで、磁石起磁力に 8 極成分と 4 極成分が含まれていることを確認できる。

<4・3>トルクブーストの検証

三相と零相回路を用いた提案モータにて三相巻線による回転磁界は 8 極成分に同期させ、零相巻線による交番磁界は 4 極成分に同期させる。解析条件として、三相巻線各相の起磁力は 1306 AT、零相巻線の起磁力は 640 AT とした。解析では電流源を用いて三相巻線各相に電流振幅が 1/3 の同相方形波電流を重畳し零相巻線に通電する。Fig. 6 に三相+零相回路と三相回路のみで提案モータを駆動した場合のトルク波形と FFT 解析結果を示す。零相は単相駆動である

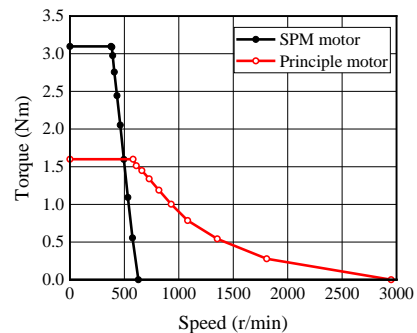


図 4 原理モータと SPM モータの N-T 特性比較

Fig. 4. Comparison of N-T Characteristics between principle and SPM motor models.

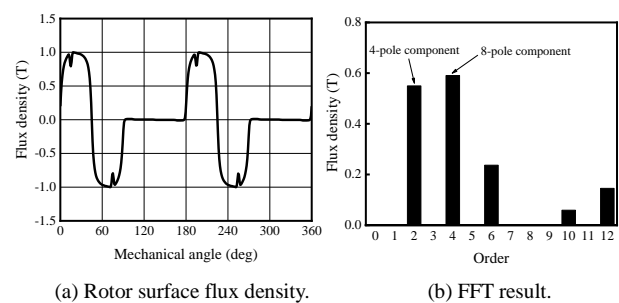


図 5 ロータ表面磁束密度と FFT 解析結果

Fig. 5. Rotor surface flux density and FFT analysis result.

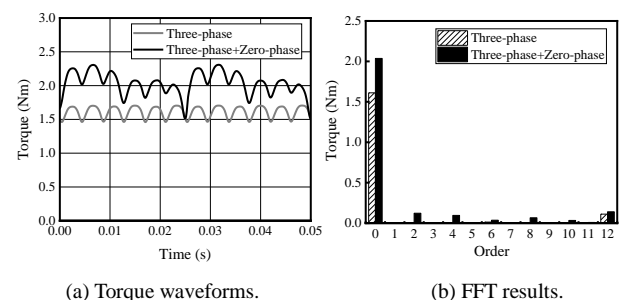


図 6 三相+零相と三相駆動時のトルク波形と FFT 解析結果

Fig. 6. Torque waveforms and FFT analysis results between three-phase and three-phase plus zero-phase.

ためトルクリプルが大きいが三相と零相で駆動することにより平均トルクがブーストされることを確認できた。

5. まとめ

本稿では、複合起磁力をもつ原理モータを三相と零相回路を用いて駆動することにより、平均トルクをブーストできることを確認した。今後は、零相巻線に生じる誘起電圧が高速運転域における出力特性の拡大に影響するので、回路動作にて零相巻線に生じる誘起電圧を抑制する手法について検討する。

文献

- (1) 村上・野口・青山：「新規コンシクエントポールモータの提案と数学モデルの基礎検討」H30 電学東海大 (2018)
- (2) 土方・茂田・刈谷・赤津・加藤：「二巻線方式を用いた複合起磁力モータに関する検討」電学論 D, Vol. 133, No. 10, pp. 986-994 (2013)