

RNAに基づく昇圧リアクトル機能を有するモータの出力特性算定に関する検討

張磊*, 吉田征弘, 櫻井将, 半田修士, 田島克文
(秋田大学)

Calculation for Output Characteristic of Motor Structure with Boost Reactor Function Based on RNA

L.Zhang, Y.Yoshida, S.Sakurai, N.Handa, K.Tajima
(Akita Univ.)

はじめに

近年、省エネルギーと温室効果ガス排出量の削減対策の一つとして世界の石油消費量の約 6 割を占める自動車の電動化が進んでいる¹⁾。しかしながら、ガソリン車と比べ、モータを使用した電気自動車の短い航続距離が課題となっている。電気自動車の駆動系は主にバッテリー、インバータ、モータから構成され、近年昇圧コンバータの導入によってシステムの全体損失を減少した報告がある²⁾。本稿では、駆動システムの小型軽量化に着目し、モータ昇圧コンバータを用いたモータ駆動システムにおいて、昇圧用リアクトルとモータを一体化した構造（以下、磁気デバイス一体構造モータ）を提案し、リラクタンネットワーク解析（RNA）にて同体格の SPM モータと基礎特性の比較を行ったので報告する。

提案モデルの諸元と特性検討

Fig.1 にベースモデルである従来の SPM モータの形状を示す。直径 215 mm、コイルエンドを含む積厚が 108 mm、積層電磁鋼板を使用したコアの積厚は 60 mm である。

Fig.2 に提案した磁気デバイス一体構造モータを示す。ベースモデルの固定子バックヨークを圧粉磁心を用いたボビン型リアクトルに置き換えることで、昇圧コンバータユニットにおけるリアクトル容積をゼロにすることが可能となる構造である。提案モデルにおいて軸長は 108 mm、リアクトルコイルはモータ固定子のバックヨーク部に 10 ターン巻かれている。ギャップ長、磁石の厚み、体格などのパラメータはベースモデルと同一としている。

Fig.3 にバッテリー、昇圧コンバータ、インバータからなる提案モデルの駆動回路を示す。バッテリー電圧が 300 V、コンバータのデューティ比が 0.5 と想定する。比較対象であるベースモデルは三相交流電流源駆動とし、RNA によって解析した最大相電流 270A における N-T 特性を Fig.4 に示す。

Fig.4 を見ると、低速領域において提案モデルの出力はベースモデルより低い、弱め界磁制御を用いた高速領域において提案モデルは出力向上が可能であることが明らかになった。

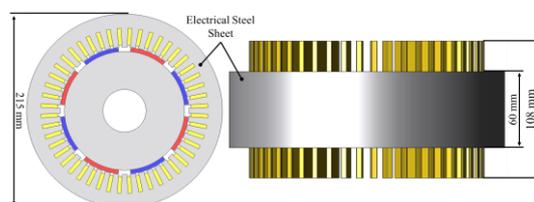


Figure 1. Structure of Base model.

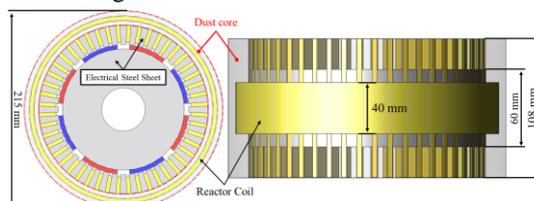


Figure 2. Structure of Proposed model.

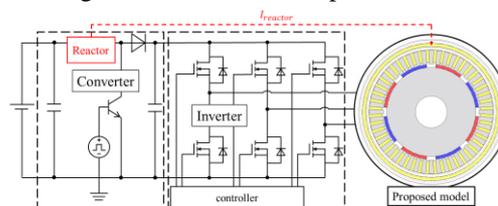


Figure 3. Drive circuit of the Proposed model.

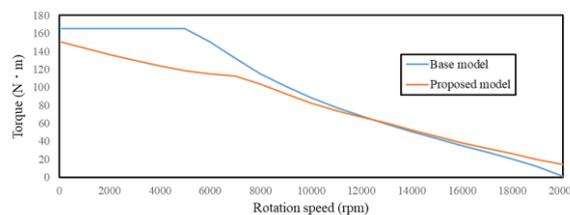


Figure 4. Comparison of N-T characteristics.

参考文献

- 1) International Energy Agency: "World energy balances Overview", pp.17 (2019)
- 2) 水谷良治: 「ハイブリッド自動車用モータの技術変遷」, 電気学会誌, Vol.138, No.5 pp.288-291 (2018)

Sm-Fe-N ボンド磁石を用いた高トルク IPMSM に関する検討

武田一真¹, 吉田征弘¹, 吉田理恵², 阿部将裕², 多田秀一², 山本宗生², 田島克文¹
(秋田大学¹, 日亜化学工業²)

A Study on High Torque IPMSM Using Sm-Fe-N Bonded Magnet

K Takeda¹, Y. Yoshida¹, R. Yoshida², M. Abe², S. Tada², M. Yamamoto², K. Tajima¹
(Akita Univ.¹, Nichia corporation²)

はじめに

PM モータの多くには、強力なネオジウム焼結磁石が用いられており、その原料には、保磁力を向上させるために、重希土類であるジスプロシウム (Dy) が含まれている。Dy は高コスト、供給が不安定、採掘や精錬に環境破壊を伴う等の問題があるため、近年、永久磁石モータの省レアアース、脱レアアース化が求められており、筆者らは、ボンド磁石を用いた重希土類フリーモータの検討が進めている¹⁾。

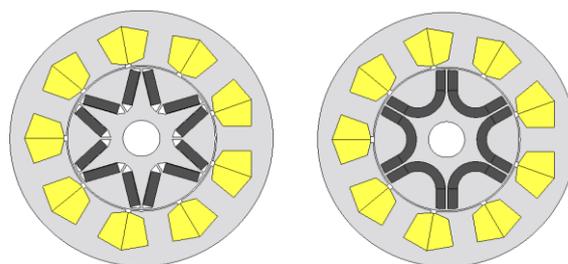
本項では、Dy フリーであるサマリウム鉄窒素 (Sm-Fe-N) ボンド磁石を用いたモータで、ネオジウム焼結磁石を用いたモータに匹敵するトルク特性を目指し、有限要素法を用いてトルク特性を算定した。

解析結果

Fig.1 (a) に高トルクを目的とした、比較対象である V 字型にネオジウム焼結磁石を配置した IPMSM 形状を、Fig.1 (b) に提案する U 字型に Sm-Fe-N ボンド磁石を配置した IPMSM 形状を示す。使用する磁石の残留磁束密度は、ネオジウム焼結磁石が 1.27 T、Sm-Fe-N ボンド磁石が 0.86 T である。また、モータ外径は 107 mm で、コイルは集中巻でティース当たり 75 ターンである。なお、ボンド磁石は磁性粉末を樹脂と混合した磁石であり、回転子コアに射出成型することができるため、本検討では、Sm-Fe-N ボンド磁石をロータに射出成型した回転子を想定してトルク特性を計算した。

Fig.2 に電流位相角とトルクとの関係を、Fig.3 に最大トルク位相角時のトルク波形を示す。U 字配置と V 字配置は共に電流位相角 15° で最大トルクとなった。このとき、U 字配置の平均トルクは 6.01 N·m、V 字配置の平均トルクは 6.36 N·m となり、トルクの差は 5.5% となった。

本検討より、回転子の磁石配置を V 字型から U 字型に変更して磁石表面積の向上とフラックスバリア部の漏れ磁束を除去することで、Sm-Fe-N ボンド磁石を用いたモータで、ネオジウム焼結磁石を用いたモータに迫るトルクを出力できることが示された。



(a) V-shaped model. (b) U-shaped model.

Fig.1 Sectional view of motors used in consideration.

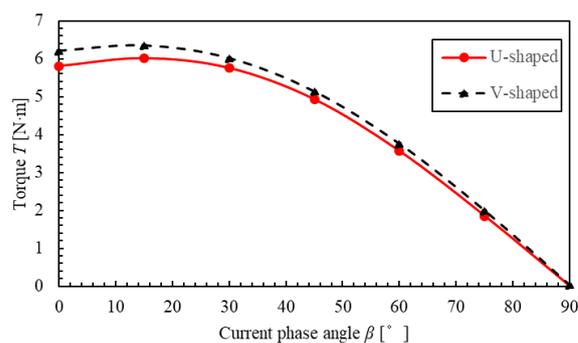


Fig.2 Torque-Current phase angle characteristics.

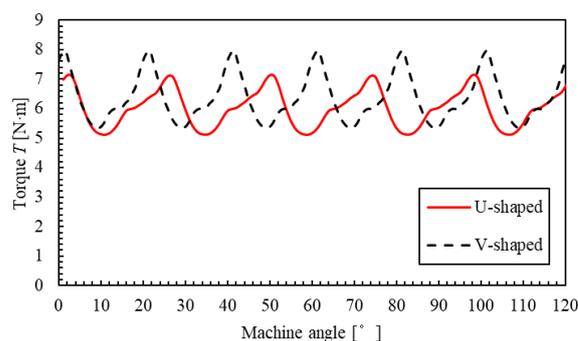


Fig.3 Torque characteristics at maximum Torque.

参考文献

- 1) 塚田裕太, 吉田征弘, 田島克文, 日本磁気学会論文特集号, Vol. 7, No. 1, pp. 73-79 (2023)

3 kVA 級永久磁石を有する直交磁心型可変インダクタの解析設計

会津翔太, 中村健二, *大日向敬, *有松健司
(東北大学, *東北電力)

Design and Analysis of 3 kVA Orthogonal-Core-type Variable Inductor with Permanent Magnets

S. Aizu, K. Nakamura, *T. Ohinata, and *K. Arimatsu
(Tohoku University, *Tohoku Electric Power Co., Inc.)

はじめに

可変インダクタは、電力用コンデンサと組み合わせることで電力系統に並列に接続することで、無効電力補償型の電圧調整装置として応用できる。先に筆者らは、直交磁心型可変インダクタの直流制御磁束の磁路に永久磁石を挿入することで、無制御時にもある一定の大きさの無効電力を発生することができる、新しい可変インダクタを提案した¹⁾。これにより、本可変インダクタは制御電流を正負に変化させることで、コンデンサレスで無効電力を実効的に遅れから進みまで線形かつ連続的に制御できる。

本稿では、本可変インダクタの試作試験を行うために、3 kVA 器の解析設計を行ったので報告する。

3 kVA 級永久磁石を有する直交磁心型可変インダクタの特性

Fig. 1 に、本検討で用いた永久磁石を有する直交磁心型可変インダクタと永久磁石の諸元を示す。先行研究の 1.67 kVA 器¹⁾をベースにして、3 kVA 器にサイズアップしたものであり、磁石はネオジウム焼結磁石を採用した。

本稿ではリラクタンスネットワーク解析 (RNA) を用いて、永久磁石の厚みを種々変化させたときの無効電力制御特性と主巻線電流歪み率を算定した。

Fig. 2 に、解析に用いた直交磁心型可変インダクタの 3 次元 RNA モデルを示す。

Fig. 3(a)に、無効電力制御特性の算定結果を示す。同図の制御幅を見ると、磁石厚は 1~5 mm 程度が適当であると考えられる。同図(b)は、定格換算した主巻線電流歪み率の算定結果である。この図を見ると、磁石厚 1~5 mm の範囲であれば、歪み率は 5% 以下であり、要求仕様を満足していることがわかる。

今後は、本可変インダクタの試作試験を行う予定である。

参考文献

- 1) 会津, 中村, 大日向, 有松, 日本磁気学会論文特集号, Vol. 7, No. 1, pp. 67-72 (2023)

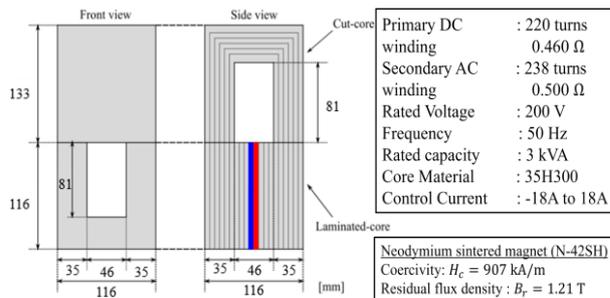


Fig. 1 Specifications of 3 kVA orthogonal-core-type variable inductor and permanent magnet.

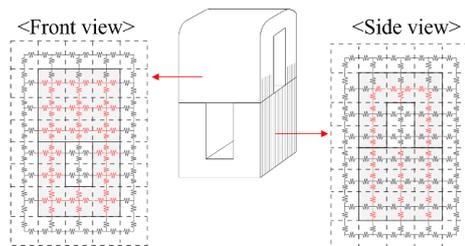
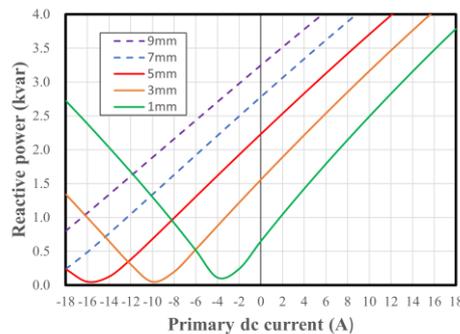
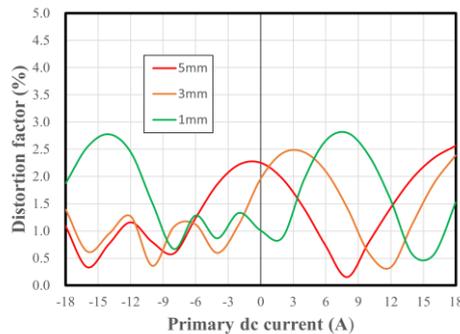


Fig. 2 Three-dimensional RNA model of orthogonal-core-type variable inductor.



(a) Reactive power characteristics



(b) Distortion factor of the secondary ac current

Fig. 3 Calculated characteristics of the variable inductor.

鉄系メタルコンポジット磁心リーケージトランスを用いた LLC-L 共振型 DC-DC コンバータの試作

宮田涼平, 依田克之, 南澤俊孝, 曾根原誠, 佐藤敏郎
(信州大学)

Fabrication of LLC-L resonant DC-DC converter using Fe-based composite magnetic core leakage transformer

Ryohei Miyata, Katsuyuki Yoda, Toshitaka Minamisawa, Makoto Sonehara, Toshiro Sato
(Shinshu University)

1.はじめに

パワーエレクトロニクス主回路電流検出シャント抵抗モジュール用絶縁型 DC-DC コンバータ (4~6 V 入力, 5 V · 30 mA 出力) のへの適用を目的にリーケージトランスを試作し, 10MHz 帯スイッチング LLC-L 共振型 DC-DC コンバータに適用した. トランスは PCB ベースのプレーナトランスであり, 二種類の鉄系メタルコンポジット磁心材料を組み合わせて作製した.

2.LLC-L 共振型 DC-DC コンバータの回路構成

本研究では, Fig.1 に示すようにトランス二次側の漏れインダクタンスを考慮した LLC-L 共振型 DC-DC コンバータとして各回路パラメータを算出した^[1]. このコンバータは負荷変動が小さいシャント抵抗モジュールへの実装を想定しており, 固定周波数で駆動させ, リニアレギュレータによって出力電圧を制御する方式を採用した.

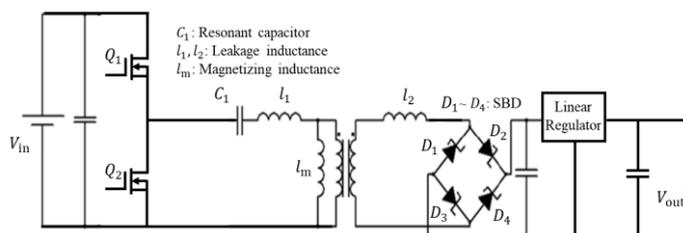
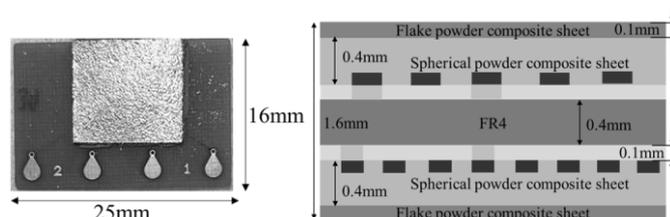


Fig.1 Circuit diagram of LLC-L resonant converter

3.リーケージトランスの構造と諸特性

Fig.2 に試作したリーケージトランスの外観と断面模式図を示す. トランス巻線の導体ラインは銅導体厚 35 μm の四層プリント基板を用いた. 磁心材料には低透磁率・低損失の等方性 Fe-Si 多結晶球形粉末/エポキシ樹脂コンポジットシートをインダクタンス調整用としてコイル側面及び上部に採用した. また, 面水平方向に高透磁率の鉄系ナノ結晶扁平粉末/シリコン樹脂コンポジットシートを磁気シールド用として最外層に配置した.



(a)Transformer top view (b)Cross-sectional schematic

Fig.2 Structure of Planer Power Inductor

Fig.3 にリーケージトランスの二次側開放時のインダクタンスと Q 値の周波数特性を示す. 共振回路の $l_1 C_1$ 直列共振周波数である 20 MHz での目標値は, インダクタンス 604 nH, Q 値 10 以上, 結合係数 0.9 に対し, 測定値はインダクタンス 593 nH, Q 値 7.47, 結合係数は 0.846 と Q 値が低いもののほぼ目標値を満たした, 学術講演会では, このトランスを LLC-L 共振型 DC-DC コンバータへ実装した場合の評価結果についても報告する.

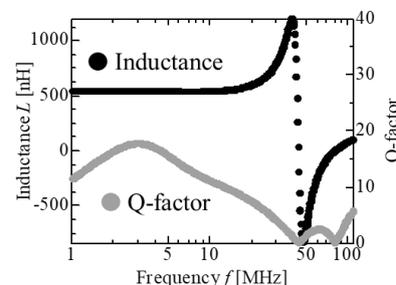


Fig.3 Inductance & Q-factor vs. frequency.

参考文献

- 1) 傳田隆之, 佐藤鴻全, 佐幸孝昭, 南澤俊孝, 佐藤敏郎, 曾根原誠, “リーケージトランスを用いた LLC-LC 共振型 DC-DC コンバータの基礎検討” 第 43 回日本磁気学会学術講演会, 27pA-13 2019.09