

令和元年6月21日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06221

研究課題名(和文) トラクションモータ向け電流重畳可変磁束リラクタンスモータの開発

研究課題名(英文) Development of a current superimposition variable flux reluctance motor for a traction motor

研究代表者

新口 昇 (Niguchi, Noboru)

大阪大学・工学研究科・助教

研究者番号：60614039

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、トラクションモータ用途として、電流重畳可変磁束リラクタンスモータ(CSVFRM)とスイッチリラクタンスモータ(SRM)の比較を実施した。CSVFRMはSRMよりトルク密度が高く、トルクリップルが低いことが明らかになった。しかし、電磁振動面では、CSVFRMの基本の電磁力モードがSRMより小さいため、共振点が低くなり、騒音が大きくなる傾向があることがわかった。これを解決するため、4相駆動のCSVFRMを提案し、トルク密度は6相駆動のCSVFRMより低くなったがSRMよりは高く、騒音は低減できたが依然としてSRMよりは大きかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電流重畳可変磁束リラクタンスモータとスイッチリラクタンスモータでは、トルクリップルは電流重畳可変磁束リラクタンスモータの方がはるかに小さいが、騒音と振動は逆転することがわかった。これは、共通のステータを用いた場合、基本の電磁力モードが電流重畳可変磁束リラクタンスモータの方が小さいために低次の固有モードと共振を起こすからである。振動騒音以外は電流重畳可変磁束リラクタンスモータが優れているため、振動騒音の低減のためには、極数とスロット数を2倍にするなど、電磁力モードの高次化が必要であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：The comparison between a current superimposition variable flux reluctance motor and switched reluctance motor was implemented. The torque density and torque ripple of the current superimposition variable flux reluctance motor were higher and lower, respectively, than those of the switched reluctance motor. However, the noise of the current superimposition variable flux reluctance motor is higher than that of the switched reluctance motor. This is because the fundamental radial force mode of the current superimposition variable flux reluctance motor is lower than that of the switched reluctance motor. In order to solve this problem, a current superimposition variable flux reluctance motor which operate using 4-phase currents was proposed. The noise was decreased. However, the noise of the 4-phase current superimposition variable flux reluctance motor is still higher than that of the switched reluctance motor.

研究分野：回転機

キーワード：リラクタンスモータ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

トラクションモータ用途として、すでに永久磁石式同期モータや誘導機が実用化されている。リラクタンスモータでは、スイッチトリラクタンスモータがいくつかの機関で研究されているが、実用化には至っていない。一方、本研究申請と同じ分野の可変磁束リラクタンスモータとしては、ステータに界磁コイルを設置した界磁コイル方式が提案されており、国内では名古屋工業大学、金沢大学、芝浦工業大、海外ではイギリスのシェフィールド大学などの多数の機関が研究している。本可変磁束リラクタンスモータは、ステータに界磁磁場を制御する界磁コイルと、回転磁界を生成する電機子コイルの2つのコイルを有するため、分布巻や分割コアへの適用ができないといった巻線の制約が多い上、製造面の課題が多く、実用化には至っていない。

このような可変磁束リラクタンスモータに対して、申請者が開発した電流重畳可変磁束リラクタンスモータは、1つのコイルで可変磁束特性を得ることができる世界初のモータで、世界中でも申請者の所属機関しか研究を行っていない。

2. 研究の目的

電流重畳可変磁束リラクタンスモータは、ワイドパワーバンドかつ高効率といった特性を有するだけでなく、レアアースフリーで、製造面の課題もない。そこで、筆者らはトラクションモータ用途に研究を行い、永久磁石式モータと比較して、パワーバンドや発熱面で優位であることをすでに明らかにした。本申請では、実用化に向けたステップとして、トラクションモータ用途に向けた最適設計とダウンサイジング機による試作検証を行い、他方式の可変磁束リラクタンスモータと比較して、優位性を示すことを目的とする。

3. 研究の方法

電気自動車やハイブリッド自動車のトラクションモータ向けに可変磁束リラクタンスモータを開発することが本研究申請の目的である。すでに、世界初となる電流重畳可変磁束リラクタンスモータを提案し、原理検証を完了すると同時に、トラクションモータへの適用に目途を付けている。そこで、本研究申請では、数値シミュレーションによる最適設計(平成28年4月~平成29年6月)、試作機による検証(平成29年7月~平成30年3月)、他方式のモータとの比較(平成30年4月~平成31年3月)の3ステップで研究を行う。

4. 研究成果

電流重畳可変磁束リラクタンスモータとスイッチトリラクタンスモータを比較した結果、下記の通りであった。

・トルク密度

電流重畳可変磁束リラクタンスモータの方が高い。

・トルクリップル

電流重畳可変磁束リラクタンスモータの方が低い。電流重畳可変磁束リラクタンスモータでは、複数相で同時にトルクを発生させるためである。

・騒音

電流重畳可変磁束リラクタンスモータの方が大きい。電流重畳可変磁束リラクタンスモータの基本の電磁力モード次数が低いためである。

電流重畳可変磁束リラクタンスモータの振動騒音が大きい問題を解決するため、4相電流重畳可変磁束リラクタンスモータを提案した。4相電流重畳可変磁束リラクタンスモータでは、これまでの6相電流重畳可変磁束リラクタンスモータとはロータの突極数とステータのスロット数の関係が異なり、基本の電磁力モードの次数が高くなる。これにより、共振が発生する固有振動数を高くすることができ、騒音振動の低減が可能である。

また、4相電流重畳可変磁束リラクタンスモータと6相電流重畳可変磁束リラクタンスモータを比べると、4相電流重畳可変磁束リラクタンスモータの方がトルク密度が低く、トルクリップルが増加するが、スイッチトリラクタンスモータと比べるとトルク密度は高く、トルクリップルは低い。

4相電流重畳可変磁束リラクタンスモータは、パルス駆動もしくはベクトル制御での駆動が可能である。これらの制御手法をチューニングすることで、スイッチトリラクタンスモータと同等の振動騒音レベルを実現できると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

(1) 新口昇, 平田勝弘, 小原章, "5次の高調波磁束で駆動する電流重畳可変磁束リラクタンスモータ", 日本 AEM 学会誌, 査読あり, Vol.26, No.1, pp.8-14, 2018.03

(2) 小原章, 平田勝弘, 新口昇, 高原一晶, "電流重畳可変磁束モータの DC 電流制御", 日本 AEM 学会誌, 査読あり, Vol.25, No.2, pp.125-130, 2017.06

(3) 新口昇, 平田勝弘, 小原章, "電流重畳可変磁束リラクタンスモータにおける高調波電流", 日本 AEM 学会誌, 査読あり, Vol.25, No.2, pp.70-75, 2017.06

(4) Akira Kohara, Katsuhiko Hirata, Noboru Niguchi, Yuki Ohno, "Finite-Element Analysis

and Experiment of Current Superimposition Variable Flux Machine Using Permanent Magnet", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 査読あり, Vol.52, No.9, 8107807, 2016.09

(5) 小原章, 平田勝弘, 新口昇, 大野勇輝, "永久磁石型電流重畳可変磁束モータの性能評価", 日本 AEM 学会誌, 査読あり, Vol.24, No.3, pp.161-166, 2016.09

〔学会発表〕(計 20 件)

(1) 小原章, 平田勝弘, 新口昇, "電流重畳可変磁束モータにおける制御方法と運転領域に関する考察", 第 27 回 MAGDA コンファレンス in Katsushika, OS3-5, pp.66-67, 2018.10

(2) 小原章, 平田勝弘, 新口昇, 鈴木寛典, "電流重畳可変磁束モータとスイッチトリラクタンスモータの振動比較", 電気学会 モータドライブ・回転機・自動車合同研究会, RM-18-53, pp.13-17, 2018.07

(3) 新口昇, 平田勝弘, 小原章, 高原一晶, "電流重畳可変磁束リラクタンスモータの電流制御手法の検討", 第 30 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 3-4-01, pp.574-579, 2018.05

(4) Akira Kohara, Katsuhiro Hirata, Noboru Niguchi, "Vibration Comparison of Current Superimposition Variable Flux Machine and Switched Reluctance Machine", Proceedings of the International Conference on Electorical Machines (ICEM2018) Alexandroupoli Greece, AF-004677, pp.2337-2342, 2018.09

(5) N. Niguchi, K. Hirata, A. Kohara, K. Takahara, H. Suzuki, "Hybrid Drive of a Variable Flux Reluctance Motor and Switched Reluctance Motor", Proceedings of the International Conference on Electorical Machines (ICEM2018), Alexandroupoli, Greece, AF-003875, pp.238-242, 2018.09

(6) N. Niguchi, K. Hirata, A. Kohara, K. Takahara, "VECTOR CONTROL OF CURRENT SUPERIMPOSITION VARIABLE FLUX RELUCTANCE MOTOR", Proceedings of APSAEM2018 (9th Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics), Yogyakarta, Indonesia, pp.72-73, 2018.07

(7) 新口昇, 平田勝弘, 小原章, 高原一晶, "電流重畳可変磁束リラクタンスモータとスイッチトリラクタンスモータのハイブリッド駆動", 第 26 回 MAGDA コンファレンス in 金沢 A3-02, pp.71-76, 2017.10

(8) 新口昇, 平田勝弘, 小原章, "電流重畳可変磁束リラクタンスモータの突極数による特性差", 電気学会 回転機・リニアドライブ・家電・民生合同研究会, LD-17-71, pp.45-49, 2017.08

(9) 新口昇, 平田勝弘, 小原章, "5 次の高調波磁束で駆動する電流重量可変磁束リラクタンスモータ", 第 29 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 3-4-05, pp.359-364, 2017.5

(10) 寺田恭介, 平田勝弘, 新口昇, 森元瑛樹, 小原章, "巻線計数を考慮した電流重量可変線磁束リラクタンスモータの設計", 電気学会 リニアドライブ研究会 LD-17-8 pp.41-46 2017.1

(11) Akira Kohara, Katsuhiro Hirata, Noboru Niguchi, Kazuaki Takahara, "AC/DC Current Ratio in a Current Superimposition Variable Flux Reluctance Machine", Proceedings of ISEF2017(18th International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering), Lodz, Poland, 0084-0411, 2017.09

(12) Noboru Niguchi, Katsuhiro Hirata, Akira Kohara, "Current Superimposition Variable Flux Reluctance Motor with 8 Salient Poles", Proceedings of ISEF2017(18th International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering), Lodz, Poland, 0022-0350, 2017.09

(13) Akira Kohara, Katsuhiro Hirata, and Noboru Niguchi, "DC Current Control Method of a Current Superimposition Variable Flux Reluctance Machine", Proceeding of IEEE COMPUMAG 2017, Daejeon, KOREA, PD-M3-3, 2017.6

(14) Noboru Niguchi, Katsuhiro Hirata, Akira Kohara, and Kazuaki Takahara, "Characteristics Investigation of a Variable Flux Magnetic-Geared Motor Using Mathematical and Numerical Methods", Proceeding of IEEE COMPUMAG 2017, Daejeon, KOREA, PA-A4-5, 2017.6

(15) 小原章, 平田勝弘, 新口昇, 高原一晶, "電流重畳可変磁束モータの DC 電流制御", 第 25 回 MAGDA コンファレンス in Kiryu, OS-10-1, pp.365-369, 2016.11

(16) 新口昇, 平田勝弘, 小原章, "電流重畳可変磁束リラクタンスモータにおける高調波電流", 第 25 回 MAGDA コンファレンス in Kiryu, OS-07-3, pp.329-334, 2016.11

(17) 寺田恭介, 平田勝弘, 新口昇, 森元瑛樹, 小原章, "電流重畳可変磁束リラクタンスモータにおける巻線係数の考察", 電気学会 回転機・リニアドライブ・家電・民生合同研究会, LD-16-087, pp.111-116, 2016.08

(18) 小原章, 平田勝弘, 新口昇, "集中巻と分布巻による電流重畳可変磁束リラクタンスモータの比較", 電気学会 回転機・リニアドライブ・家電・民生合同研究会 LD-16-086 pp.105-110, 2016.08

(19) 新口昇, 平田勝弘, 小原章, 森元瑛樹, "電流重畳可変磁束リラクタンスモータへの弱め界磁制御の適用", 電気学会 回転機・リニアドライブ・家電・民生合同研究会, LD-16-085, pp.99-104, 2016.08

(20) Noboru Niguchi, Katsuhiro Hirata, Akira Kohara, "Characteristics of a Wide Power Band Variable Flux Reluctance Motor", Proceedings of the International Conference on Electrical Machines (ICEM2016), Lausanne, Switzerland, LF-000361, pp182-187, 2016.09.
〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

該当なし

6. 研究組織

(1)研究分担者

該当なし

(2)研究協力者

該当なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。