

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：12101

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14135

研究課題名（和文）径方向に振動する電磁アクチュエータを用いた交流モータのトルクリップル低減法の構築

研究課題名（英文）Torque Ripple Suppression Method Using Coriolis Force Generated by Electromagnetic Oscillatory Actuator

研究代表者

加藤 雅之（Kato, Masayuki）

茨城大学・理工学研究科（工学野）・講師

研究者番号：20851265

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では半径方向に往復運動するリニアアクチュエータが発生させるコリオリ力を利用したトルクリップル抑制法を提案した。リップルの周波数の2倍でリニアアクチュエータを振動させることにより、共振が発生し抑制効果が最大化した。またその有効性を実験的に明らかにした。ただし、ロータ上に静止したリニアアクチュエータに給電するためのスリップリングを要するため、システムが複雑化する恐れがあり、改良の余地がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では半径方向に往復運動するリニアアクチュエータが発生させるコリオリ力を利用したトルクリップル抑制法を提案した。リップルの周波数の2倍でリニアアクチュエータを振動させることにより、共振が発生し抑制効果が最大化した。またその有効性を実験的に明らかにした。本成果はモータで不可避なトルクリップルの抑制法の一つとして位置づけられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, a torque ripple suppression method using the Coriolis force generated by a radially reciprocating linear actuator is proposed. The linear actuator was made to oscillate at twice the frequency of the ripple, and resonance was generated to maximize the suppression effect. The effectiveness of this method was experimentally demonstrated. However, the system may become complicated because a slip ring is required to feed power to the linear actuator stationary on the rotor, and there is room for improvement.

研究分野：電気機器工学

キーワード：モータ 交流モータ リニアアクチュエータ コリオリ力 トルクリップル

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

省エネルギー社会の流れを受けて、動力の電動化が推進される中、埋込磁石型同期モータは従来方式よりも高トルク・高効率な特徴から電気自動車用モータをはじめ多くの産業分野から注目されている。しかし、モータ形状・制御器に起因するトルクリップルと呼ばれる脈動成分がモータの出力トルクに発生し、振動・騒音の増加、応答性の低下といった問題を招く。そのため、それぞれのトルクリップルに対してハード・ソフトの両面から様々な解決策が検討されている。

2. 研究の目的

半径方向に駆動可能な LOA を IPMSM の回転子表面に設置し、LOA の振動により生じるコリオリ力を円周方向の減衰力として利用することで、トルクリップルをアクティブに低減する手法の構築を目的とする。

3. 研究の方法

SRM と LOA の連成構造を図 1 に示す。SRM の回転子表面に LOA が設置されている。LOA コイルを励磁すると、半径方向に電磁力が発生する。これによって、LOA 可動子が半径方向に振動し、コリオリ力が円周方向に発生する。LOA 可動子の振動位相を適切に制御することによりコリオリ力がトルク脈動の負方向に発生し、トルク脈動が低減される。このトルク脈動低減法はパラメトリック励振とも理解される。以下の条件を満たすときパラメトリック励振が発生し、トルク脈動が低減されると考えられる。

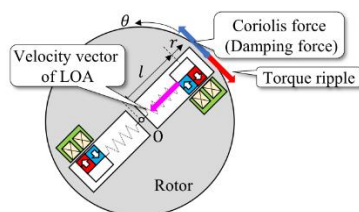


図 1 SRM と LOA の連成構造

図 1 SRM と LOA の連成構造

4. 研究成果

DC モータ、回転盤、スリップリングからなる簡易試験装置を製作した。(図 2 参照) DC モータに交流電圧 (19V p-p, 7.1Hz) のみを印加し揺動運動をさせた場合における、ストッパーを付けた場合と付けない場合の DC モータ回転角度波形を図 3 に示す。FFT 解析結果から、ストッパーを付けない場合、マスは半径方向に振動し DC モータの回転角度脈動の基本波が 13.8deg から 13.2deg に約 4.4%低減されたことが明らかになった。したがって、パッシブ動作時における提案するトルク脈動低減法の妥当性が実験的に検証された。また、ストッパーを付けない場合において検出されたマス加速度は第二次高調波が主成分であった。モータの回転角度脈動の周波数成分はほぼ基本波のみであるため、マスの加速度がパラメトリック励振条件を満たしていることが確認された。

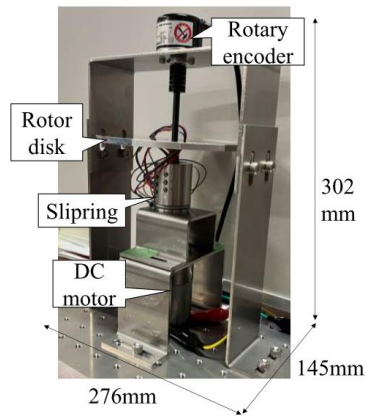


図2 DC モータを用いた簡易試験装置

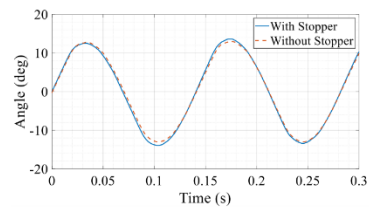


図3 回転角度脈動波形

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Kato Masayuki | 4. 巻 16 |
| 2. 論文標題 Numerical Simulation on Electromagnetic Energy Harvester Oscillated by Speed Ripple of AC Motors | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Energies | 6. 最初と最後の頁 940 ~ 940 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en16020940 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Kato Masayuki, Shimaguchi Kosuke | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Topology Optimization of Electromagnetic Devices with Movable Magnetic Path under Fixed Amount of Materials | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of CEFC 2022 | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CEFC55061.2022.9940642 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Kato Masayuki, Kitayama Fumiya | 4. 巻 58 |
| 2. 論文標題 Reduction of Rotational Vibration Using Coriolis Force Generated by Electromagnetic Oscillatory Actuator Moving in Radial Direction | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics | 6. 最初と最後の頁 1 ~ 5 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2021.3077130 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 KATO Masayuki, NAITO Satoko, KITAYAMA Fumiya | 4. 巻 29 |
| 2. 論文標題 Basic Study on Reduction of Rotational Vibration Using Linear Oscillatory Actuator | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics | 6. 最初と最後の頁 309 ~ 314 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14243/jsaem.29.309 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 加藤雅之 |
| 2. 発表標題 交流モータの速度脈動を加振源とする電磁式エネルギーハーベスタの基礎検討 |
| 3. 学会等名 第31回MAGDAコンファレンスin鹿児島 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 M. Kato, and K. Shimaguchi |
| 2. 発表標題 Topology Optimization of Electromagnetic Devices with Movable Magnetic Path under Fixed Amount of Materials |
| 3. 学会等名 CEFC 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山下新史, 加藤雅之 |
| 2. 発表標題 径方向に振動する電磁式エネルギーハーベスタによる交流モータの速度リップル低減の数値解析 |
| 3. 学会等名 電気学会東京支部茨城支所研究発表会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 長沼大樹, 加藤雅之 |
| 2. 発表標題 半径方向に振動するソレノイドアクチュエータを用いた簡易試験装置によるトルク脈動低減技術の実験的検証 |
| 3. 学会等名 電気学会東京支部茨城支所研究発表会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 M. Kato, and F. Kitayama |
| 2. 発表標題 Reduction of Rotational Vibration Using Coriolis Force Generated by Electromagnetic Oscillatory Actuator Moving in Radial Direction |
| 3. 学会等名 INTERMAG2021, Lyon, France (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年～2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 長沼大樹, 加藤雅之 |
| 2. 発表標題 交流モータのトルクリップル低減を目的とした半径方向に可動するリニア振動アクチュエータの特性解析 |
| 3. 学会等名 電気学会東京支部茨城支所研究発表会 (オンライン) |
| 4. 発表年 2021年～2022年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
| | | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |