

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：53701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04119

研究課題名(和文) 供給不安が喫緊の課題であるレアアース不要の同期リラクタンスモータの高出力新制御法

研究課題名(英文) A novel high power control method of synchronous reluctance motors without rare earth magnets whose supplies have urgent matter

研究代表者

富田 睦雄 (Tomita, Mutuwo)

岐阜工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：20311029

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：高効率だが磁石の材料として供給不安が喫緊の課題であるレアアースが必須の永久磁石同期モータに替わるモータとして、磁石を用いない同期リラクタンスモータを採用することが考えられるが出力が小さい。そのため、同期モータの制御に不可欠で大きなスペースを占める位置センサを取り除く位置センサレス制御を行えば、このスペースの分、大きな体格のモータを採用でき、高出力化が実現できるが、低速時は困難であった。研究代表者は、高周波電流を用いて、極低速時の位置センサレス制御に成功していたが大きな高周波電流注入が必要で損失が大きかった。本研究では、高周波電流の電流制御性能を向上させ高周波電流を小さくすることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、供給不安が喫緊の課題であるレアアースを全く用いないため高効率ながらも出力が永久磁石同期モータに及ばない同期リラクタンスモータが極低速時においても、損失が小さくなる小さな高周波電流重畳によって位置センサレス制御が可能になった。これによって、位置センサの分だけ大きな体格の同期リラクタンスモータの採用により高出力化が実現する。以上により、同期リラクタンスモータが普及していくことが考えられ、今後も安定したエネルギー効率の向上に貢献できる。この波及効果は極めて大きい。

研究成果の概要(英文)：Recently, the permanent magnet synchronous motors(PMSMs) which are high efficiency have been widely used. The magnets of PMSMs needs the rare-earth metal whose supplies have urgent matter. Therefore, this study proposes to replace the PMSMs with the synchronous reluctance motors(SynRMs) without the magnets. The power of the SynRMs is less than that of the PMSMs. The purpose of study is the realization of the position sensorless control of the SynRMs and the position sensorless control is expected to bring higher power. A position sensorless control method of the SynRMs by using high-frequency currents has been succeed. However, the large high-frequency current was necessary and loss was large. In this study, a novel position sensorless control method of the SynRMs, by superimposing very small high-frequency currents, is improved in very-low-speeds region and the experiments show the method is useful.

研究分野：工学

キーワード：同期リラクタンスモータ 制御 電気有効利用 センサレス 低速

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

現在、高効率な永久磁石同期モータの需要が増加しているが、永久磁石の原料として不可欠なレアアース、中でもジスプロシウムは、依然、埋蔵量が少なく、産出国も極めて偏在しており、供給不安が喫緊の課題であり[1]、磁石の価格高騰や供給について、深刻なリスクを抱えている。

このため、永久磁石同期モータと同様に回転子に電流を流さないため効率がよく、しかも、永久磁石を全く用いない同期リラクタンスモータを普及させることが、今後も安定して、エネルギー効率の向上を図るうえで急務である。しかし、このモータは磁石を用いないため、出力が永久磁石同期モータに及ばない。モータの出力を向上させる一手法として、同期モータをサーボモータとして用いるのに不可欠な大きなスペースを要する回転子位置センサを回転子位置推定演算によって取り除く回転子位置センサレスでのトルク制御を行い、この回転子位置センサの分、大きな体格で高出力なモータを採用することがあげられる。色々な手法の回転子位置センサレス制御法が提案されているが、低速時は制御が困難であり実用的ではなかった。

2. 研究の目的

以上の背景を鑑みて、研究代表者は、モータ駆動に無関係な高周波電流をモータに重畳し、回転子位置情報を推定することによって、同期リラクタンスモータの極低速時の回転子位置センサレスでのトルク制御に成功したが、定格電流の約4%程度の高周波電流の重畳が必要で高周波電流による損失が大きくなってしまっていた。

本研究の目的は、さらなる実用化に向けて、新たに高周波電流フィードバック制御システムを採用し、高周波電流重畳の制御性能を向上させることによって、高周波電流が小さい時においても、極低速域における良好な回転子位置センサレスでのトルク制御を実現し高周波電流による損失を減少させることである。

3. 研究の方法

(1) 定格電流の約4%程度の高周波電流を重畳した状態で成功した極低速時における同期リラクタンスモータの回転子位置センサレスでのトルク制御の実験過程で得た、コンピュータシミュレーションから実機実験への移行の際に、問題になった点を踏まえて、高周波電流フィードバック制御システムを用いた回転子位置センサレスでのトルク制御システムのコンピュータシミュレーションを行う。

(2) (1)で行ったコンピュータシミュレーションによって得られた結果を基に導出した高周波電流フィードバック制御システムを用いた回転子位置センサレスでのトルク制御システムをデジタルシグナルプロセッサ(DSP: digital signal processor)によるモータ制御装置上にプログラミングして、同期リラクタンスモータの極低速域での回転子位置センサレスでのトルク制御が、重畳する高周波電流を小さくしても良好に行えることを実験により確認する。

4. 研究成果

(1) 極低速時における同期リラクタンスモータの回転子位置センサレスでのトルク制御のコンピュータシミュレーションでは問題にならなかったが、実機実験への移行の際に問題になったのは、モータのわずかな三相非対称性のために高周波重畳の際だけ現れる逆相電圧・電流の影響である。これを考慮して高周波電流フィードバック制御システムを用いた回転子位置センサレスでのトルク制御のコンピュータシミュレーションを改めて行った。コンピュータシミュレーションにより、これらの問題を解析することによって問題を解決し、重畳する高周波電流を小さくしても可能であることを確認した。

(2) (1)において行ったコンピュータシミュレーションによって得られた結果を基に導出した、極低速時における高周波電流フィードバック制御システムを用いた回転子位置センサレスでのトルク制御システムを、実機実験装置に適用し、実機実験の極低速時において、重畳する高周波電流が小さい時においても、良好な結果を得ることに成功した[2][3][4]。

(3) 以上のことより、本研究では、重畳するモータ駆動に無関係な高周波電流を小さくしても、極低速時の回転子位置センサレスでのトルク制御が可能になり、高周波電流による損失を小さくすることが可能になることを明らかにすることができた。

(4) 本研究の成果は、国際会議 Proceedings, 電気学会の産業応用部門大会などにて発表し、その業績は、researchmap や自らのホームページなどで公開した。

〈参考文献〉

[1] 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構レポート, 「鉱物資源マテリアルフロー2016, 6. レアアース(REE)」, (2017. 01).

[2] 畑中 孝斗・加藤 聡馬・伊藤 亮人・富田 睦雄・長谷川 勝・道木 慎二・加藤 真二, 「高周波電流重畳システムを用いた極低速域における SynRM の位置センサレス制御」, 2019年電気学会産業応用部門大会講演論文集[III], No. 3-18, pp. III-207-III-210, (長崎大学 文教キャンパス), (2019. 08. 21).

[3] 畑中 孝斗, 加藤 聡馬, 富田 睦雄, 長谷川 勝, 道木 慎二, 加藤 真二, 「高周波電流重畳システムを用いた極低速時における SynRM の位置センサレス制御」, 令和元年度 電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会講演論文集, No. H1-6 (企画セッション「東海地区のモータドライブ技術 I」), (大同大学), (2019. 09. 09).

[4] Takato Hatanaka, Soma Kato, Mutuwo Tomita, Masaru Hasegawa, Shinji Doki and Shinji Kato, "Position Sensorless Control of Synchronous Reluctance Motors at Low-Speeds", Proceedings of the 4th IEEE International Future Energy Electronics Conference, pp. 521-526, DOI: 10.1109/IFEEEC47410.2019.9014679, (2019. 11).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hatanaka Takato, Kato Soma, Tomita Mutuwo, Hasegawa Masaru, Doki Shinji, Kato Shinji	4. 巻 -
2. 論文標題 Position Sensorless Control of Synchronous Reluctance Motors at Low-Speeds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 4th IEEE International Future Energy Electronics Conference	6. 最初と最後の頁 521 ~ 526
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IFEEC47410.2019.9014679	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 Soma, Hatanaka Takato, Tomita Mutuwo, Matsumoto Atsushi, Hasegawa Masaru, Doki Shinji	4. 巻 -
2. 論文標題 Pole Assignment of Full-Order Flux Observer to Realize Both MTPA Control and Position Sensorless Control of IPMSM	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 4th IEEE International Future Energy Electronics Conference	6. 最初と最後の頁 515 ~ 520
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IFEEC47410.2019.9014918	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 Mabuchi Toshiya, Hatanaka Takato, Tomita Mutuwo, Hasegawa Masaru, Doki Shinji, Kato Shinji	4. 巻 -
2. 論文標題 Investigating Pole Assignment of Full-Order Observer Based on Extended Electromotive Force for Position Sensorless Control of IPMSMs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 XIII International Conference on Electrical Machines	6. 最初と最後の頁 1579 ~ 1585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICELMACH.2018.8506894	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 Hatanaka Takato, Mabuchi Toshiya, Tomita Mutuwo, Hasegawa Masaru, Doki Shinji, Kato Shinji	4. 巻 -
2. 論文標題 Robust Position Sensorless Control Against Inductance Variations of Synchronous Reluctance Motors in Low-Speed Region Using High-frequency Current Control	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 XIII International Conference on Electrical Machines	6. 最初と最後の頁 1677 ~ 1683
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICELMACH.2018.8507089	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 Soma, Tomita Mutuwo, Hasegawa Masaru, Doki Shinji	4. 巻 -
2. 論文標題 Position Sensorless Estimation for Surface Permanent Magnet Synchronous Motor Using Eddy Current	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 23rd International Conference on Electrical Machines and System	6. 最初と最後の頁 1972 ~ 1976
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/ICEMS50442.2020.9291246	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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 加藤 聡馬、富田 睦雄、長谷川 勝、道木 慎二
2. 発表標題 渦電流を用いた表面磁石型同期モータの停止時の回転子位置推定
3. 学会等名 令和二年度 電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会, Paper No : B4-7, (WEB開催(愛知県立大学)), (2020.09.04)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 立喜、國枝 武史、富田 睦雄、長谷川 勝、道木 慎二
2. 発表標題 高周波電流制御を用いたSynRMの低速時の位置センサレス制御におけるインダクタンス誤差の影響
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会講演論文集, No.5-099, pp.169-170, (オンライン開催(大阪大学 豊中キャンパス)), (2021.03.09)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 畑中 孝斗・加藤 聡馬・伊藤 亮人・富田 睦雄・長谷川 勝・道木 慎二・加藤 真二
2. 発表標題 高周波電流重畳システムを用いた極低速域におけるSynRMの位置センサレス制御
3. 学会等名 2019年電気学会産業応用部門大会講演論文集[III], No.3-18, pp.III-207-III-210, (2019.08.21), (発表場所:長崎大学 文教キャンパス)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤 聡馬・畑中 孝斗・伊藤 亮人・富田 睦雄・松本 純・長谷川 勝・道木 慎二・加藤 真二
2. 発表標題 MTPA制御が容易な磁束モデルに基づく同一次元オブザーバを用いたIPMSMの位置センサレス制御
3. 学会等名 2019年電気学会産業応用部門大会講演論文集[III], No.3-62 pp.111-369-111-372, (2019.08.22), (発表場所:長崎大学 文教キャンパス)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 亮人・加藤 聡馬・畑中 孝斗・富田 睦雄・長谷川 勝・道木 慎二・加藤 真二
2. 発表標題 渦電流を用いたSPMSMの位置推定
3. 学会等名 2019年電気学会産業応用部門大会講演論文集[III], No.3-74 pp.111-421-111-424, (2019.08.22), (発表場所:長崎大学 文教キャンパス)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 畑中 孝斗・加藤 聡馬・富田 睦雄・長谷川 勝・道木 慎二・加藤 真二
2. 発表標題 高周波電流重畳システムを用いた極低速時におけるSynRMの位置センサレス制御
3. 学会等名 令和元年度 電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会講演論文集, No.H1-6 (企画セッション「東海地区のモータドライブ技術I」), (2019.09.09), (発表場所:大同大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 亮人・加藤 聡馬・畑中 孝斗・富田 睦雄・長谷川 勝・道木 慎二・加藤 真二
2. 発表標題 渦電流を用いたSPMSMの回転子位置推定
3. 学会等名 令和元年度 電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会講演論文集, No.H1-7 (企画セッション「東海地区のモータドライブ技術I」), (2019.09.09), (発表場所:大同大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤 聡馬・畑中 孝斗・富田 睦雄・松本 純・長谷川 勝・道木 慎二・加藤 真二
2. 発表標題 MTPA制御が容易な磁束モデルを持つ同一次元オブザーバを用いたIPMSMの位置センサレス制御
3. 学会等名 令和元年度 電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会講演論文集, No.H2-2 (企画セッション「東海地区のモータドライブ技術II」), (2019.09.09), (発表場所:大同大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤 聡馬・畑中 孝斗・富田 睦雄・長谷川 勝・道木 慎二・加藤 真二
2. 発表標題 渦電流を用いたSPMSMの位置推定法
3. 学会等名 令和2年電気学会全国大会講演論文集, No.5-095, pp.156-157, (2020.03.11), (発表場所:東京電機大学 東京千住キャンパス)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 馬淵俊弥・富田 睦雄・長谷川 勝・道木 慎二・加藤 真二
2. 発表標題 IPMSMの位置センサレス制御のための拡張誘起電圧に基づく同一次元オブザーバの極配置
3. 学会等名 平成30年電気学会産業応用部門大会講演論文集[III], No.3-49, pp.III-281-III-284, (2018.08.30), (発表場所:横浜国立大学)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>国立岐阜工業高等専門学校(岐阜高専) 電気情報工学科教授 富田睦雄(とみたむつを)の研究業績 https://www.mutuwo-tomita-lab.com/home/gyoseki</p> <p>researchmap.V2 (富田睦雄) https://researchmap.jp/mutuwo_tomita</p> <p>国立岐阜工業高等専門学校(岐阜高専) 電気情報工学科教授 富田睦雄博士の研究室のホームページ https://www.mutuwo-tomita-lab.com/</p>

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
---------	---------