

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：53701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560349

研究課題名(和文)レアアースを材料に用いない同期リラクタンスモータの高出力化に貢献する新しい制御法

研究課題名(英文) Novel Control Method for Higher Output Power of Synchronous Reluctance Motors Not Used Rare-earth Metal

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) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：高効率だが磁石の材料としてレアアースを用いざるを得ない永久磁石同期モータに替わるモータとして、レアアース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。そこで、研究代表者は、高周波電流をモータに注入して、低速時の位置センサレス制御に、無負荷時において成功していた。本研究では、負荷印加時でも、零速度を含む極低速領域での位置センサレス制御することに成功した。

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 PMSMs needs the rare-earth metal. However, it has become difficult to take possession of the rare earth. Therefore, this study proposes to apply the synchronous reluctance motors which have no the rare earth magnets instead of the PMSMs. The power of the synchronous reluctance motors is less than one of the PMSMs. The purpose of study is the realization of the position sensorless control of the synchronous reluctance motors. The position sensorless control is expected to bring higher output power. In this study, a novel position sensorless control method of the synchronous reluctance motors using the high frequency currents is proposed under very low speeds and loaded conditions. The experimental results show that it is possible to control the synchronous reluctance motors without the position sensors under very low speeds and loaded conditions.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電力工学・電力変換・電気機器

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

## 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が、幅広く用いられるようになったが、永久磁石の原料として欠かせないレアアースの産出国は偏在しており、希土類磁石の安定供給ができなくなる可能性や高価である深刻な問題を抱えている。この問題を解決するため、永久磁石同期モータの代わりに、レアアース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。このモータは、効率が上がるが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。そこで、同期モータをサーボモータとして用いるのに不可欠で大きなスペースを要する回転子位置センサを取り除く位置センサレス制御が実現すれば、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。色々な手法でセンサレス制御に関する研究が進められているが、低速時は困難であり、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、高周波電流をモータに注入することによって、同期リラクタンスモータの低速時における回転子位置センサレス制御を行うことを試み、無負荷時において、成功していた。

本研究の目的は、さらに実用化に向けて、低速・負荷状態での位置センサレス制御を実現することである。

## 3. 研究の方法

(1) 無負荷状態で成功した低速時における同期リラクタンスモータの位置センサレス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、改めて、負荷印加を想定したコンピュータシミュレーションを行う。

(2) 同期リラクタンスモータに、負荷装置を接続し、負荷を印加できるように実験装置を構築する。そして、(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、デジタルシグナルプロセッサ(DSP)によるモータ制御装置をプログラミングして、接続した負荷装置により負荷を印加した状態で、同期リラクタンスモータを低速で位置センサレス制御を行い、提案手法の有効性を確認する。

## 4. 研究成果

(1) 低速時における同期リラクタンスモータの位置センサレス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、無負荷状態で成功した実験過程で問題になった、モータのわずかな三相非対称性のために高周波注入の際だけ現れる逆相電圧・電流のことを考慮し、改めて、負荷印加を想定したコンピュータシミュレーションを行い、これらの問題を解析することによって、問題を解決し、負荷に対してより強固になることを確認した。さらに、実機実験装置のデジタルシグナルプロセッサ(DSP)によるモータ制御装置のプログラムに改良を加え、無負荷状態で、新たな手法の有効性を確認した。

(2) (1)において確立した、負荷に対してより強固になる手法を用いて、負荷印加状態でも、低速時における同期リラクタンスモータの位置センサレス制御を実現することに成功した。

(3) (2)において、同期リラクタンスモータの位置センサレス制御が最も困難である零速度を含む極低速領域で正逆転駆動をさせても、位置センサレス制御を行うことに成功した。以上のことより、本研究では、研究開始当初に成功していた無負荷状態だけでなく、零速度を含む極低速領域での負

荷印加状態でも、位置センサレス制御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、論文、国際会議、電気学会の全国大会、産業応用部門大会、研究会にて発表し、その業績は、自らのホームページやresearchmapなどで公開した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

①KATO Kosuke, KATO Shinji, and TOMITA Mutuwo, "Rotor Position Sensorless Estimation of High Efficiency Synchronous Reluctance Motor at Low Speed for Realization of Low-Carbon Society", Journal of Ecotechnology Research(International Association of Ecotechnology Research), **査読有**, Vol.16 [3-4], 2012, pp.91-95

[学会発表] (計13件)

①Shota Kondo, Yumika Sato, Taiga Goto, Mutuwo Tomita, Masaru Hasegawa, Shinji Doki, Shinji Kato

【発表確定】"Position and Velocity Sensorless Control for Synchronous Reluctance Motor at Low Speeds and under Loaded Conditions Using High-Frequency Extended EMF Observer and Heterodyne Detection", XXIth International Conference on Electrical Machines(ICEM'2014), **査読有**, 2014年9月2日~2014年9月5日, Berlin Germany, Andel's Hotel Berlin

②Taiga Goto, Yumika Sato, Shota Kondo, Mutuwo Tomita, Masaru Hasegawa, Shinji Doki, Shinji Kato

【発表確定】"Position and Velocity Sensorless Control of IPMSM Using Full-Order Observer Based on Extended Electromotive Force with a New Observer

Design Method", XXIth International Conference on Electrical Machines

(ICEM'2014), **査読有**, 2014年9月2日~2014年9月5日, Berlin Germany, Andel's Hotel Berlin

③佐藤 弓華, 近藤 翔太, 富田 睦雄, 長谷川 勝, 道木 慎二, 加藤 真二, 「新しい設計法を用いた同次元拡張誘起電圧オブザーバによるIPMSMの位置センサレス制御」, 電気学会・モータドライブ/リニアドライブ・合同研究会, MD-13-061・LD-13-123, pp.109-114, 平成25年12月7日, 三重大学工学部

④Saki Nohara, Mutuwo Tomita, Masaru Hasegawa, Shinji Doki, Shinji Kato, "A New Design Method of Full-Order Extended Electromotive Force Observer for Position Sensorless Control of IPMSM", Proceedings of the 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2013-Vienna), pp.2510-pp.2515, **査読有**, 13th, Nov.2013, Vienna Austria, Austria Center Vienna

⑤野原 紗季, 富田 睦雄, 長谷川 勝, 道木 慎二, 加藤 真二, 「IPMSMの位置センサレス制御のための同次元拡張誘起電圧オブザーバの新しい設計法」, 平成25年電気学会産業応用部門大会講演論文集[III], pp. III-297-III-300, 平成25年8月30日, 山口大学 吉田キャンパス

⑥富田 睦雄・長谷川 勝・道木 慎二・加藤 真二, 「高周波拡張誘起電圧外乱オブザーバと同期検波を用いたシンクロナスリラクタンスモータの低速・負荷印加時における位置・速度センサレス制御」, 平成25年電気学会産業応用部門大会講演論文集[III], pp. III-225-III-228, 平成25年8月28日, 山口大学 吉田キャンパス

⑦野原 紗季, 富田 睦雄, 長谷川 勝, 道木 慎二, 加藤 真二, 「同次元拡張誘起電圧オブザーバによるIPMSMの位置・速度推定実験」,

電気学会・モータドライブ/リニアドライブ・合同研究会, MD-12-071・LD-12-091, pp. 41-pp. 46, 2012年12月13日～2012年12月14日, 高知工科大学

⑧栗田 壮一郎・富田 睦雄・長谷川 勝・道木 慎二・加藤 真二, 「高周波拡張誘起電圧外乱オブザーバと同期検波を用いたシンクロナスリラクタンスモータの低速時における位置・速度センサレス制御」, 平成24年電気学会産業応用部門大会講演論文集[III], pp. III-287-III-290, 2012年08月21日～2012年08月23日, 千葉工業大学 津田沼キャンパス

⑨KURITA, Soichiro , TOMITA, Mutuwo , HASEGAWA, Masaru , DOKI, Shinji , KATO, Shinji , "Position Sensorless Control of Synchronous Reluctance Motor at Low Speeds Using High-Frequency Extended EMF Observer and Heterodyne Detection", Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering 2012 (ICEE2012-Kanazawa)pp. 234-pp. 239, **査読有**, 9th, July. 2012, 石川県立音楽堂 (日本国金沢市)

⑩所 千絵美・栗田 壮一郎・富田 睦雄・長谷川 勝・道木 慎二・加藤 真二, 「同一次元拡張誘起電圧オブザーバによるIPMSMの位置・速度推定」, 平成24年電気学会全国大会講演論文集[4], 4-115, pp. 4-195-4-196, 平成24年3月23日, 広島工業大学 五日市キャンパス

⑪栗田 壮一郎・加藤 光祐・富田 睦雄・長谷川 勝・道木 慎二・大熊 繁・加藤 真二, 「高周波拡張誘起電圧外乱オブザーバと同期検波を用いたシンクロナスリラクタンスモータの低速時における位置センサレス制御」, 電気学会・モータドライブ・リニアドライブ・合同研究会, MD-11-55, LD-11-79, pp. 7-12, 平成23年12月15日, 静岡大学 浜松キャンパス

⑫Kosuke Kato, Mutuwo Tomita, Masaru Hasegawa, Shinji Doki, Shigeru Okuma, Shinji Kato, "Position and Velocity Sensorless Control of Synchronous Reluctance Motor at Low Speed Using Disturbance Observer for High-Frequency Extended EMF", Proceedings of the 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2011-Melbourne), pp. 1971-pp. 1976, **査読有**, 9th, Nov. 2011, Crown Conference Centre, Melbourne, Australia

⑬加藤 光祐・富田 睦雄・道木 慎二・大熊 繁・加藤真二, 「高周波拡張誘起電圧外乱オブザーバと同期検波を用いたシンクロナスリラクタンスモータの低速時における位置推定」, 平成23年電気学会産業応用部門大会講演論文集[I], pp. I-569-I-570, 平成23年9月8日, 琉球大学 千原キャンパス

[その他]

ホームページ等

・富田睦雄 (とみたむつを) の研究業績  
<http://www.mutuwo-tomita-lab.com/home/gyoseki>

・富田 睦雄 - 研究者 - researchmap  
<http://researchmap.jp/read0056415/>

・Prof. Dr. Mutuwo Tomita's Researches and Biography (in English)  
<http://www.mutuwo-tomita-lab.com/home/english>

・高効率同期モータの制御と開発  
<http://www.gifu-nct.ac.jp/techno/seeds2013/pdf/E7.pdf>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

富田 睦雄 (TOMITA, Mutuwo)

岐阜工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号：20311029