

平成 30 年 6 月 17 日現在

機関番号：53701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05970

研究課題名(和文) 依然供給リスクの高いレアアースが不要な同期リラクタンスモータの新しい高出力制御法

研究課題名(英文) New High Power Control Method of Synchronous Reluctance Motors without Rare-earth Metal whose Supply Risk still has been High

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：高効率だが磁石の材料として依然供給リスクが高いレアアースを用いる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。そこで、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一時的な停止や逆転が生じていた。本研究では、高周波電流を重畳し、極低速時の位置センサレス制御において、スムーズな駆動に成功した。

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 magnets of PMSMs needs the rare-earth metal whose supply risk still has been high. 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, several stopping and reverse for a very short period of time occurred per one rotation. In this study, a novel position sensorless control method without stopping and reverse of the SynRMs by superimposing 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

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は、依然、埋蔵量が少なく、産出国も限られており、供給リスクが非常に高く、磁石の供給不安や高価格という深刻な問題を抱えている。このため、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取り除く位置センサレス制御を行い、この位置センサの分、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。色々な手法の位置センサレス制御法が提案されているが、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極低速時の回転子位置センサレス制御に成功したが、一時的な停止や逆転が発生していた。

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、極低速域においても、一時的な停止や逆転が伴わない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) 負荷印加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、高周波電流フィードバック制御システムを用いた位置センサレス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を用いた位置センサレス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位置センサレス制御を様々な負荷印加状態で行い、一時的な停止や逆転を伴わず、スムーズに駆動することを実験により確認する。

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、実機実験への移行の際に問題になった、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、高周波電流フィードバック制御システムを用いた位置センサレス制御システムのコンピュータシミュレーションをこれらの問題を解析することによって、問題を解決し、スムーズな回転が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、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位置センサレス制御システムを、実機実験装置に適用し、定常負荷を印加した状態において、実機の極低速時においても、一時的な停止や逆転が発生することが少なくなることに成功した。

(3) (2)において成功していた定常負荷状態だけではなく、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がより困難である過渡的な負荷状態においても、一時的な停止や逆転がほぼ発生しなくなることに成功した。以上のことより、本研究では、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、極低速域においても、研究開始当初に発生していた一時的な停止や逆転が伴わない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、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)

[学会発表] (計 14 件)

①畑中 孝斗, 馬淵 俊弥, 富田 睦雄, 近藤 翔太, 長谷川 勝, 道木 慎二, 加藤 真二, 「高周波電流制御システムを用いた零速度を含む極低速時におけるSynRMの位置センサレス制御」, 平成30年電気学会全国大会講演論文集, No.5-088, pp.152-153, (九州大学 伊都キャンパス), (2018.03.14)

②馬淵 俊弥, 富田 睦雄, 近藤 翔太, 長谷川 勝, 道木 慎二, 加藤 真二, 「拡張誘起電圧に基づく同次元オブザーバを用いたIPMSMの位置センサレス制御」, 平成30年電気学会全国大会講演論文集, No.5-099, pp.173-174, (九州大学 伊都キャンパス), (2018.03.14)

③牧村 愛萌, 馬淵 俊弥, 富田 睦雄, 近藤 翔太, 長谷川 勝, 道木 慎二, 加藤 真二, 「高周波電流制御システムを用いた極低速域におけるシンクロナスリラクタンスモータの位置センサレス制御」, 平成29年電気学会産業応用部門大会講演論文集[III], No.3-13,

pp.III-103-III-106, (函 館 ア リ ー ナ), (2017.08.29)

④【国際会議 ICEMS2017-Sydney, Best Paper Award (The Third Prize) 受賞】

Toshiya Mabuchi, Ayame Makimura, Mutuwo Tomita, Shota Kondo, Masaru Hasegawa, Shinji Doki, Shinji Kato, "Position Sensorless Control of Synchronous Reluctance Motors at Very Low Speeds Region Using High-frequency Current Control System", Proceedings of the 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2017-Sydney), Paper ID:086, DOI:

10.1109/ICEMS.2017.8055979, pp.1-6, 【査読有】, (International Convention Centre Sydney, NSW, Australia), (2017.08.13)

⑤ Toshiya Mabuchi, Ayame Makimura, Mutuwo Tomita, Shota Kondo, Masaru Hasegawa, Shinji Doki and Shinji Kato, "A Study of Design Method of Full-Order Observer based on Extended Electromotive Force for Position Sensorless Control of IPMSMs", Proceedings of the 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2017-Sydney), Paper ID:512, DOI:

10.1109/ICEMS.2017.8056278, pp.1-6, 【査読有】, (International Convention Centre Sydney, NSW, Australia), (2017.08.13)

⑥ Ayame Makimura, Yuta Nomura, Shota Kondo, Mutuwo Tomita, Masaru Hasegawa, Shinji Doki, and Shinji Kato, "Study of Influence of Inductance Variation of Position Sensorless Control of SynRM at Low Speeds by Estimating High-Frequency Extended EMF Caused by Superimposed Current", Proceedings of 2016 IEEE 2nd Annual Southern Power Electronics Conference (IEEE SPEC2016-Auckland),

No.212, pp.1-pp.6, DOI :
10.1109/SPEC.2016.7846065, 【査読有】,
(The University of Auckland, Auckland, New
Zealand), (2016.12.08)

⑦富田 睦雄, 近藤 翔太, 松本 純, 長谷川
勝, 道木 慎二, 加藤 真二, 「IPMSMの最大
トルク制御と位置センサレス制御を実現す
る磁束モデルを用いた同次元オブザーバ
の設計法」, 平成28年電気学会産業応用部門
大会講演論文集 [III], No.3-64,
pp.III-343-III-346, (群馬大学 荒牧キャンパ
ス), (2016.09.01)

⑧近藤 翔太, 野村 勇太, 富田 睦雄, 長谷
川 勝, 道木 慎二, 加藤 真二, 「高周波電
流注入と拡張誘起電圧外乱オブザーバを用
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変動の影響」平
成 28 年電気学会全国大会講演論文集
[4-054], Vol.4, pp.89-90, (東北大学川内キ
ャンパス), (2016.03.16)

⑨近藤 翔太, 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
センサレス制御」, 電気学会・マグネティッ
クス/モータドライブ/リニアドライブ・合同
研究会, MAG-15-152・MD-15-135・
LD-15-083, pp.95-100, (鹿児島県種子島
(南種子町研修センター)), (2015.11.21)

⑩遠松 聖也, 近藤 翔太, 富田 睦雄, 松本 純,
長谷川 勝, 道木 慎二, 加藤 真二, 「IPMSM
の最大トルク制御と位置センサレス制御を
実現可能にする磁束推定のための同次元
オブザーバの設計法」, 電気学会・マグネテ
ィクス/モータドライブ/リニアドライブ・
合同研究会, MAG-15-153・MD-15-136・
LD-15-084, pp.101-106, (鹿児島県種子島
(南種子町研修センター)), (2015.11.21)

⑪ Shota Kondo, Mutuwo Tomita, Masaru
Hasegawa, Shinji Doki, Shinji Kato,

"Position Sensorless Control of SynRM at
Low Speeds by Estimating High-Frequency
Extended EMF Using Disturbance
Observer", Proceedings of 2015 IEEE
International Future Energy Electronics
Conference (IEEE IFEEC 2015-Taipei),
No.290082, pp.1-5,
DOI:10.1109/IFEEC.2015.7361401, 【査読
有】, (Howard International House, Taipei,
Taiwan), (2015.11.03)

⑫ Seiya Tomatsu, Shota Kondo, Mutuwo
Tomita, Atsushi Matsumoto, Masaru
Hasegawa, Shinji Doki, Shinji Kato, "A
Design Method of Full-Order Flux Observer
for Realization of both MTPA Control and
Position Sensorless Control of IPMSM",
Proceedings of 2015 IEEE International
Future Energy Electronics Conference (IEEE
IFEEC 2015-Taipei),
ISBN:978-1-4799-7657-3, MD2-02: Motor
Drives II-02, No.290187, pp.1-5,
DOI:10.1109/IFEEC.2015.7361447, 【査読
有】, (Howard International House, Taipei,
Taiwan), (2015.11.03)

⑬遠松 聖也, 近藤 翔太, 富田 睦雄, 松本
純, 長谷川 勝, 道木 慎二, 加藤 真二,
「IPMSM の最大トルク制御と位置センサレ
ス制御が実現可能な磁束推定のための同
次元オブザーバの設計法」, 平成 27 年電
気学会産業応用部門大会講演論文集 [III],
pp.III-325-III-328, (大分大学),
(2015.09.04)

⑭近藤 翔太, 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
乱オブザーバを用いた SynRM の低速・負
荷印加時における位置センサレス制御」, 平
成 27 年電気学会産業応用部門大会講演論
文集 [III], pp.III-257-III-260, (大分大学),
(2015.09.02)

[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/>

・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）博士の研究シーズ集

<http://www.mutuwo-tomita-lab.com/home/seeds-japanese>

・ Prof. Dr. Mutuwo Tomita's Researches and Biography (in English)

<http://www.mutuwo-tomita-lab.com/home/english>

・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

<http://www.mutuwo-tomita-lab.com/home>

・富田 睦雄, 田中 俊彦:「学会情報 国際会議レポート(The 2nd IEEE Southern Power Electronics Conference (SPEC 2016), December 5-8, 2016, Auckland, New Zealand)」 電気学会産業応用部門ニューズレター 2017年5月号, pp.13, (2017.05)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejias/137/5/137_NL5_13/_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