

非接触給電を用いたベアリングレスモータにおける

回転制御方法の検討と試作機による検証

The rotation method of bearing-less motor with non-contact power supply and verification of prototype

知能機械システム工学コース

機械・航空システム制御研究室 1215016 谷井 勲

1. 緒言

ベアリングレスモータとは、磁気軸受機能を磁気的に一体化したモータと定義されており⁽¹⁾、摩擦・摩耗がなく、メンテナンスフリーであるなどの特徴を有することから、近年人工心臓ポンプなどへの応用が考えられているモータである。しかし、現在までに開発されてきたベアリングレスモータはいずれも、永久磁石を使用したものであった。永久磁石は強い磁力を有することから、小型化が可能であり、効率にも優れるが、キュリー温度の制限や外部磁界などによる減磁などの問題がある。そこで、本研究では、電磁石のみを使用することによって、永久磁石が使用できない環境下で使用できる新しいベアリングレスモータの開発をしてきた。

回転子の浮上制御には先行研究より成功していたが、回転制御については回転しない、逆回転するなどの課題があった。

そこで、回転制御に関する問題を磁場解析により調べ、その課題を解決するため新しい回転子の製作を行い、実際に試作機を用いて回転実験を行った結果を示す。

2. 試作機の概要

本稿で扱う試作機の構造を図1に、仕様を表1に、駆動時の側面図を図2に示す。回転子の中心に受電部、回転子の直下に送電部を設置し、回転子へ非接触給電を行っている。固定子・回転子はともに鉛直軸方向に2層構造としている。回転子は1層では周方向に対してすべてN極または、S極になるホモポーラ型である。浮上方法として、図2に示すように、固定子のコイルが回転子の歯を吸引し、回転子を吊り下げる形で支持する。また、回転子と固定子の歯にタオレをつけることで浮上力を増大させている。

2.1 水平位置制御方法

センサによって計測された回転子の水平方向変位をXY軸からRST軸の3軸に変換する。それぞれの変位に対してPD制御を行い、回転子が平衡位置に保たれるように制御を行う。

2.2 回転制御方法

図3に示すように、固定子コイルには浮上制御用と回転制御用の2種類のコイルを交互にそれぞれ100回ずつ巻いている。回転制御は、U→V→Wと順に矩形波電流を流し行う。

3. 回転方法の改善

3.1 回転子

回転制御が成功しない原因を調べるため、磁場解析ソフトJMAGを用いて、回転制御時に回転子にかかる力を調べた。浮上実験より、固定子全体にかかるバイアス電流と浮上制御用電流の合計は2Aであるため、全ての固定子に2A流し、更に

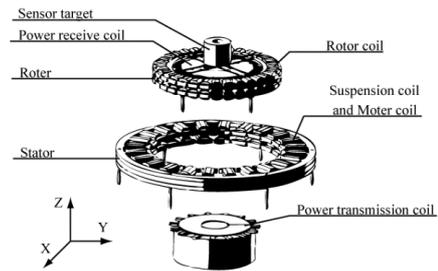


Fig.1 The structure of bearing-less motor

Table.1 Specifications of bearing-less motor

Parameter	Rotor	Stator
Material	SS 400	SS 400
Teeth number	32×2	24×2
Winding number of coil	100	100+100
Mass	772 g	-
Outside diameter	142 mm	220 mm
Inside diameter	100 mm	144 mm
Bias current	1.5 A	
Air gap	1 mm	
Taper angle of teeth edge	7.6°	

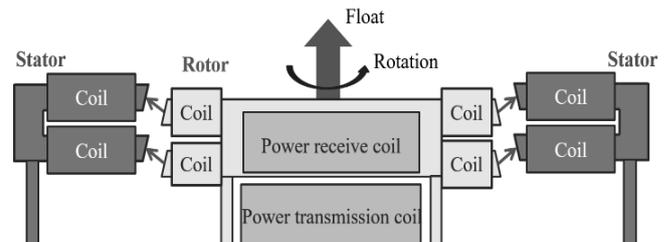


Fig.2 The schematic view of bearing-less motor

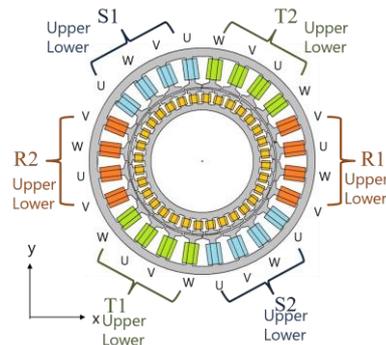


Fig.3 The wiring of stator

U相のみに回転電流として2Aの合計4Aを流している状態で、回転子の歯が2周期回転する時、回転子にかかるトルクを解析した。図4は本研究で使用していた、回転子コイルの巻き数が全て100回巻きを解析した結果である。

本研究のベアリングレスモータはステッピングモータ型であるため、回転子にかかるトルクは 180° の周期をもつことが理想であるが、この回転子では 90° の周期をもつことが分かる。また、回転子に復元力が働く点を安定点と呼び、この図では、回転の位相が進む際に、回転子にかかるトルクがプラスからマイナスになる点であるが、この回転子には、非常に多くの安定点が存在することから、任意の回転子を引き付けることができないと考えられた。

そこで、100回巻き50回巻きと交互に回転子コイルの巻き数を変更することで、安定点の減少と周期を伸ばすことができるのではないかと考え解析を行った。結果を図5に示す。従来の回転子に比べ、安定点が減少、また周期も 180° 周期になり、回転特性の向上が見られた。そこで浮上力や制御性などから、100回巻きと50回巻きを交互に配置した新しい回転子を製作し、回転実験を行った。

3.2 回転制御電流

回転制御用の電流として、矩形波を流していたが、100回巻き-50回巻きの新しい回転子を用いた場合でも、不要な安定点が存在するため、sin波を用いた3相交流での回転制御を行うことで、滑らかに回転させること考え、回転子の回転トルクと回転の位相、回転電流の位相の関係を調べた。

その結果を図6に示す。安定点の軌跡をたどると、安定点がつながっていない箇所が存在することが分かる。安定点が途切れる箇所では正方向にトルクが働くことから、回転子は正回転すると考えられる。しかし、回転の位相が上方へ遷移することで、回転子が急速に回転するなどの問題が生じ、3相交流での回転制御を行った場合でも回転子は滑らかに回転しない場合が考えられたが、実験によって、この影響を検証していくこととした。

4. 実験結果

新しい回転子を用いて回転実験を行った結果を図7に示す。設計の段階では回転制御電流として2Aを予定していたが、2Aでは回転子の高さ方向の変動が大きくなり、制御が困難であった。そこで、実験的に回転制御電流を1.2Aに設定し、周波数は回転子が最大で同期できる速度であった2Hzを用いて浮上制御を行っている状態から回転制御実験を行った。

図8に、この実験時の回転速度について、ビデオカメラを用いて計測した結果を示す。回転制御を開始してすぐの状態では回転子が回転制御電流に十分に同期できず、速度の上下があることがわかる。しかし、1周目を過ぎてからは速度の変動が少なくなった。また、2Hzの回転周波数では、計算上約 1.57rad/sec 得られるが、実験での回転速度の平均は約 0.83rad/sec であった。

5. まとめと今後の課題

回転子コイルの巻き数を交互に変更することによって、ベアリングレスモータの回転特性が向上することを示した。しかし、実用化に至るような回転を実現するため、今後は回転制御時の回転子の安定性の向上や、回転子の歯数を減らし、歯と歯のギャップを設けるなどの手法を用いて不要な安定点を無くすことによる回転特性の改善が必要であると考えた。

文献

[1] 朝間淳一, 「ベアリングレスモータの小形化・省電力化」
日本機械学会誌 2013.4 vol.166

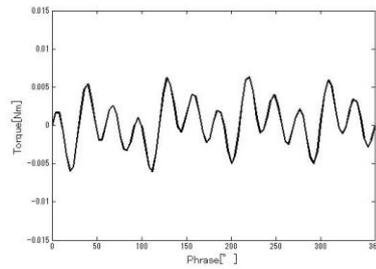


Fig.4 The analysis of conventional rotor

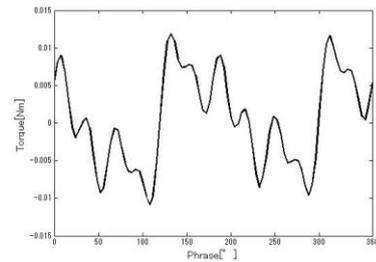


Fig.5 The analysis of new rotor

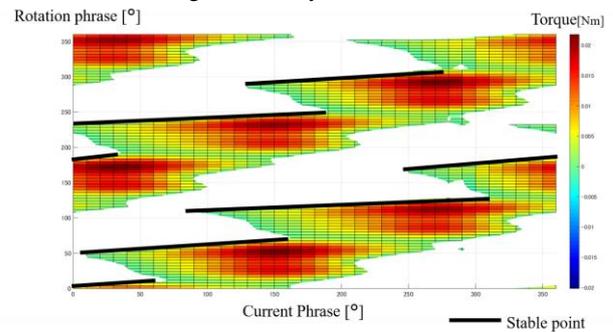


Fig.6 The analysis of 3 phase control

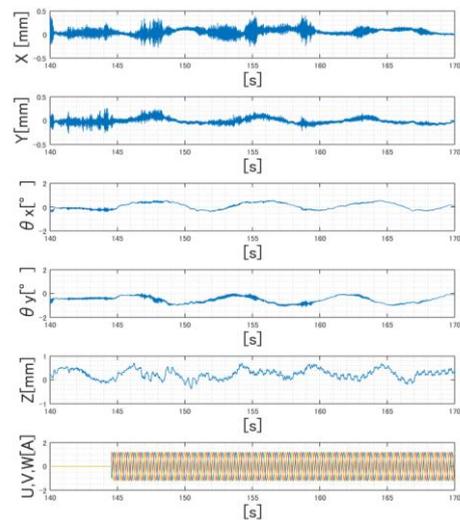


Fig.7 The result of Rotation experiment

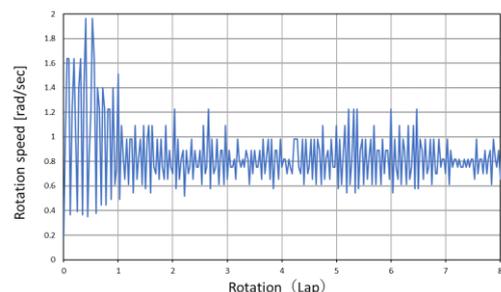


Fig.8 Rotating speed