

卒業論文要旨

共鳴型非接触給電を用いた小型ベアリングレスモータの開発

システム工学群

機械・航空システム制御研究室 1230109 中川 拓海

1. 緒言

モータは電化製品から産業機械まで様々な分野で使用されている。その中で、人工心臓用のポンプや半導体製造において薬液を送り出す遠心ポンプに使用する目的で、非接触であり潤滑剤による汚損が起こりえないという特性をもつベアリングレスモータが期待されている⁽¹⁾。ベアリングレスモータとは、磁気浮上機構により軸受け部分を非接触で支持することに加えて、駆動部分を磁気軸受け部分と一体化させたものである⁽²⁾。これによって磁気軸受けの特徴である、摩擦・摩耗が起きない点などに加えて、小型化が可能であるという特徴をもつ。しかし、現在までに開発されているベアリングレスモータは永久磁石を使用したものがほとんどである⁽³⁾。永久磁石を使用すると、キュリー温度による使用制限や、外部の磁界、経年劣化による減磁などの問題が発生する。

そこで、使用可能な環境の拡大を目的として、電磁石のみを使用するベアリングレスモータの開発を行ってきた。本論文では電磁界解析ソフトを元に、小型ベアリングレスモータの設計と動作性の検討をおこなった。また、製作した試作機について報告する。

2. 試作機の概要

2.1 試作機の構造

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。回転子の中心の受電用コイルとその直下の送電用コイルにより、回転子部分に電力を供給している。浮上方法については図2に示すように、固定子のコイルによって回転子の歯を吸引することで、回転子を吊り下げることで支持する。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上昇させている。回転子に電流が流れた時の磁力の方向と磁極を図3に示す。隣り合う歯の発生磁力を反対方向にし、対角線上の歯を同方向に励磁した。コイルの巻き数は軽量化を考慮し、50回巻とした。固定子は、外径を小さくするために軸方向にコイルを巻き厚みを持った構造とした。コイルの巻き数は100回巻とし、三相交流を印加することで浮上と回転の両方を行う。

2.2 必要な浮上力が得られる高さ

コイルに電流を流した際にどれだけの浮上力を得られるかを解析した。解析には株式会社JSOLが提供する電磁界解析ソフトJMAGを用いた。回転子と固定子の上面が水平になる位置を基準として、回転の軸方向に-4mmから0mmまでの浮上力を0.5mmごとに解析した。条件として、固定子を図4のようにU、V、Wに分けた。その後U相の歯と回転子の歯を、互いに異極となるように電流を印加した。この時、回転子には1A、固定子には、3Aの三相交流で運用することを想定して、U相に3A、V相とW相に逆向きに1.5Aを印加した。また、2Aで運用する場合も

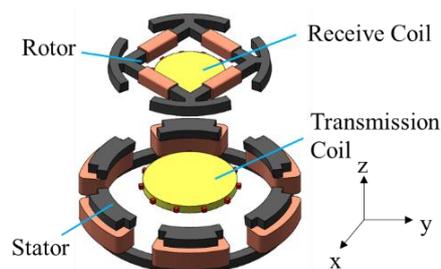


Fig.1 The structure of bearing-less motor

Table.1 Specifications of bearing-less motor

Parameter	Rotor	Stator
Material	SS400	
Teeth number	4	6
Winding number of coils	50	100
Mass	93g	-
Outside	φ78mm	φ100mm
Inside	38mm	φ80mm
Thickness	5mm	
Air gap	1mm	
Taper angle of teeth edge	7.5°	

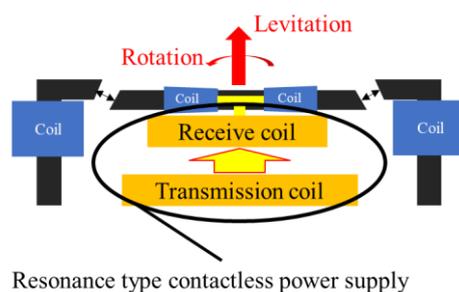


Fig.2 The schematic view of bearing-less motor

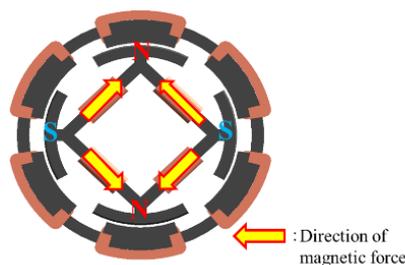


Fig.3 The top view of bearing-less motor showing magnetic power

想定して、同様に計算を行った。その結果を図5に示す。2.1節の表1より、必要な浮上力は約0.91Nと計算できることから、3Aであれば-1mmから-3mmの間で十分に浮上が可能であると考えられる。一方で、-2Aでは浮上できないと考えられる。

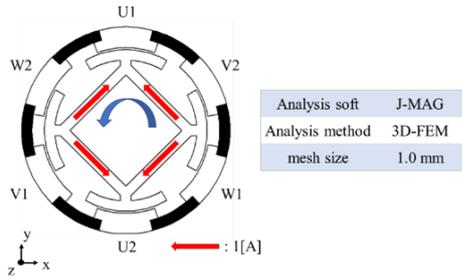


Fig.4 Situation of analysis

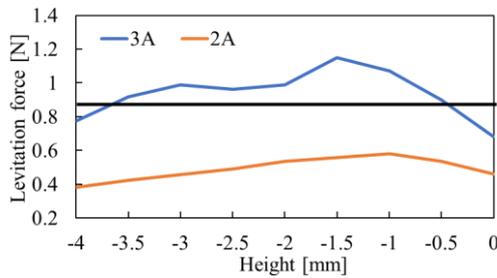


Fig.5 Analysis result of Levitation power

3. 試作機の作成と水平方向の位置固定

装置開発のための第一段階として、高さ方向のみの制御を行ったときの浮上可能性を検討する。このために水平方向および水平面内の軸まわりの回転を機械的に拘束して高さ方向の浮上制御のみを行うための補助機構を試作した。図6は試作したベアリングレスモータおよび補助機構の全体図、図7に補助機構の概要図を示す。図6に示すようにベアリングレスモータは、図4に示すようにコイルが巻かれている。非接触給電は、装置中央部の回転子側に受電用コイルとコンデンサを組み込んだ。その真下に送電用コイルを設置し、送電用コンデンサは固定子の外側に設置した。

高さ方向の浮上は、図5の結果より、回転子に1Aの電流、固定子に3Aの三相交流を流したとき、浮上力が回転子と-0.5mmの位置でつり合う。-0.5mm以下の高さで、浮上力が浮上体の重量より大きくなり-0.5mm以上では浮上力が小さくなる。これらのことより、この点を中心とした高さ方向の受動制御が可能であると考えられる。この浮上制御の可能性を評価するために、回転子の水平方向の移動と傾きを無くし、固定子の中心に位置させ、なおかつ、高さ方向の移動を自由に行えるようにすることが必要である。そのために試作機に取り付けるための回転子の水平方向・傾き拘束機構を試作した。図6で回転子の中央部に筒を取り付けることでこの装置を実現した。その断面図を図7に示す。回転子の中心に円筒を設置し、円筒に軸を差し込むことで回転子の水平xy軸方向の動きと傾きを固定する。固定する支柱は固定子の外側に設置した。これにより、回転子の高さz軸方向の動作のみを自由に行わせることが可能である。

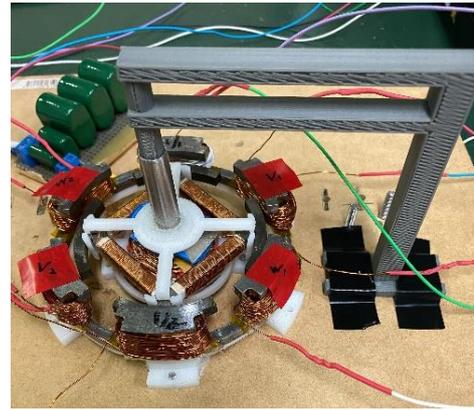


Fig.6 Prototype bearing-less motor

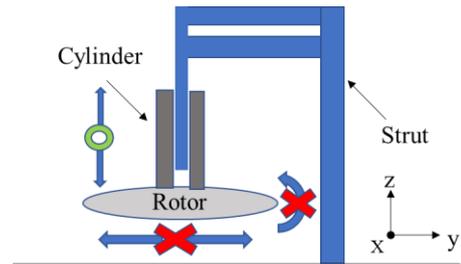


Fig.7 Horizontal direction and tilt fixing mechanism

4. 結言

非接触給電を用い、電磁石のみによって構成されたベアリングレスモータの具体的な設計、仕様とその動作方法についての提案を行った。また、電磁界解析ソフトJMAGを用いて、設計したベアリングレスモータに三相交流を流した場合に得られる浮上力を解析することで、浮上が可能であることが分かった。この装置を用いて高さ方向の浮上制御のみを行うため、水平方向および水平面内の軸まわりの回転を拘束する補助機構を試作した。今後は、作成した試作機による浮上回転を行いその性能を評価する。

文献

- (1) 千葉明,杉本紘也,“磁気軸受からベアリングレスモータへ”,電気学会誌,Vol.136, No.5, 301-304, (2016)
- (2) 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, Vol.166.No1133, 51, (2013)
- (3) 千葉明,深尾正,“ベアリングレスモータの開発動向”,電気学会論文誌 D,産業応用部門誌,Vol.121, No.7, 724-729, (2001)