

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	能動制御軸数を削減したベアリングレスモータの新しい構造の提案と受動安定方向の振動低減に関する研究
Title(English)	Novel Structures of Bearingless Motors with Reduced Active Positioning Axes and Vibration Reductions in Passively Stabilized Directions
著者(和文)	杉元紘也
Author(English)	Hiroya Sugimoto
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第4169号, 授与年月日:2018年7月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:千葉 明,七原 俊也,安岡 康一,藤田 英明,萩原 誠
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4169号, Conferred date:2018/7/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(論文博士)

論文要旨 (和文2000字程度)

報告番号	乙 第	号	氏 名	杉元 紘也
<p>(要 旨)</p> <p>ベアリングレスモータは、磁気軸受機能が磁氣的に一体化されたモータであり、回転軸を非接触で磁気支持すると同時に、トルクを発生させることができる。したがって、無摩擦・無摩耗、潤滑油不要、長寿命・メンテナンスフリー、高効率・省エネルギーという特長がある。これまで、半導体製造装置用の超純水や化学薬液を搬送する遠心ポンプ、補助人工心臓用遠心ポンプ、バイオリアクタ用攪拌機、プロセスチャンバ用回転テーブル、フライホイール、コンプレッサ、冷却ファンへの応用が検討されている。</p> <p>小形で低コストが要求されるファンやブローへの応用には、能動的な制御軸数が少ない 2 軸制御形ベアリングレスモータや 1 軸制御形ベアリングレスモータが適している。2 軸制御形ベアリングレスモータは、半径方向のみを能動的に磁気支持するため、1 台のベアリングレスモータのみで構成される。また、三相インバータは、半径方向の磁気支持用に 1 台、モータ駆動用に 1 台必要であり、回転子の変位検出用センサは 2 台であるため、5 軸、4 軸及び 3 軸制御形ベアリングレスモータと比較して低コストである。回転子の軸方向及び傾き方向は、永久磁石の吸引力を利用した受動安定であるため、モータ構造はベアリングレスモータの中で最もシンプルである。一方、外乱により振動が発生し、危険速度で振動が増加するため、振動抑制方法に関する研究が近年盛んに行われている。</p> <p>1 軸制御形ベアリングレスモータ及び磁気軸受モータは、z 軸方向のみを能動的に磁気支持する方式であり、現在最も制御軸数の少ないベアリングレスモータである。従来、磁気支持制御用とモータ駆動用に、それぞれ単相インバータ 1 台と三相インバータ 1 台が必要であったが、シングルドライブベアリングレスモータのコンセプトが提案され、三相インバータ 1 台のみで実現可能となった。したがって、回転子の変位検出用センサを 1 台追加すれば、三相インバータでベアリングレスモータを駆動することが可能であるため、5 軸制御形ベアリングレスモータや 2 軸制御形ベアリングレスモータと比較して、システム全体を小形・低コスト化することができる。</p> <p>従来のベアリングレスモータの応用先は、無汚染が要求される半導体製造装置や補助人工心臓用のポンプ、回転ステージなどが中心であった。つまり、機械的ベアリングを用いることができない特殊環境化で動作する高い信頼性が要求される用途であった。一方、近年は長寿命・メンテナンスフリーに加え、省エネルギーが</p>				

強く要求される情報通信機器に搭載される冷却ファンへの応用が期待されている。データセンタやスーパーコンピュータの大量導入が進む一方、増大する消費電力低減の要求が高まっており、サーバ冷却用ファンには、冷却性能の向上だけでなく、消費電力の低減が求められているため、冷却ファン用モータの高速化と低損失化が検討されている。しかし、現状の機械的ベアリングで発生する損失は、回転速度の増加に伴い増加し、高速化と低損失化はトレードオフの関係にある。さらに、データセンタやスーパーコンピュータなどのサーバに搭載され、24 時間稼働している冷却ファンには、長寿命・メンテナンスフリーが要求されるため、冷却ファン用モータのベアリングレス化が強く求められている状況にある。

冷却ファン用モータは、小形・低コストが要求されるため、1 軸制御形ベアリングレスモータが有効であるが、受動安定方向が増えるため、外乱が印加時の振動を如何に低減するかが重要な課題である。 z 軸方向以外の半径方向と傾き方向の 4 自由度は、受動形磁気軸受で発生する復元力により受動安定する。受動形磁気軸受はバネ力のみ発生し、ダンピング力は発生しないため、共振時に振動が発生し、最悪の場合、危険速度でタッチダウンする。特に、冷却ファンへの応用を考慮し軸長を短くした場合、傾き方向の剛性が低下し、外乱に対する回転子の振動は大きくなるため、振動を低減するための研究が必要とされている。

本論文では、システムの小形・低コスト化のため、従来の 5 軸制御形と比較して、能動制御軸数を削減した 2 軸制御形及び 1 軸制御形ベアリングレスモータについて、新しい構造を提案する。さらに、受動安定方向の振動発生要因と現象を明らかにし、革新的な振動低減方法を提案することを目的とする。2 軸制御形ベアリングレスモータについては、トロイダル巻を用いてコイルエンドを短縮した新しい構造を提案する。さらに、試作機の傾き方向の振動発生要因を明らかにし、半径方向の磁気支持制御用 PID コントローラの積分ゲインの調整による振動低減法を提案する。また、1 軸制御形ベアリングレスモータについては、V 形巻線と反発受動形磁気軸受を持つ新しいシングルドライブベアリングレスモータの構造を提案する。さらに、半径方向の振動発生要因を分析し、回転角度検出誤差低減による振動低減法を提案する。また、冷却ファンへの応用を目指し、受動安定方向の剛性を向上した新しい 1 軸制御形シングルドライブベアリングレスモータの構造を提案し、実機検証により有効性を明らかにする。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(論文博士)

論文要旨 (英文)

(300語程度)

(Summary)

報告番号	乙 第	号	氏 名	杉元 紘也
<p>(要 旨)</p> <p>Bearingless motors, in which a magnetic bearing function is magnetically integrated in a single motor, have several key advantages: they suffer no wear, require no lubricant or maintenance, and are non-polluting. As a result, bearingless motors have been applied in a range of applications, including centrifugal pumps, contamination-free ventricular-assist devices, high purity pharmaceutical mixing devices, rotating stages, flywheels, compressors and cooling fans.</p> <p>One of the most effective solutions for the down-sizing and the cost reduction is reducing the number of the active positioning axes because the numbers of actuators, displacement sensors and inverters can be reduced. Therefore, two-axis actively positioned bearingless motors have been developed. Only radial positions of the disk-shaped rotor are actively regulated. The other axial and tilting directions are passively stabilized. In addition, one-axis actively positioned bearingless motors have been studied for further cost reduction and downsizing. Only axial position of the rotor shaft is actively regulated. The other radial and tilting directions are passively stabilized. Therefore, when a disturbance is applied to the rotor, vibrations occur in the passively stabilized directions. Thus, the vibration reduction is required.</p> <p>In past studies, several vibration reduction methods have been proposed. However, additional permanent magnets, copper rings, displacement sensors, the damping coils or damping materials must be installed to reduce the vibration.</p> <p>This paper presents a novel method of the tilting vibration reduction without any additional physical components in the two-axis actively positioned bearingless motor. When the rotor is non-collocated structure, the tilting vibration is reduced by an interference between radial and tilting directions. In addition, this paper presents a novel method of the radial vibration reduction in the one-axis actively positioned bearingless motor by minimization of angular position error. Furthermore, a novel single-drive bearingless motor has been proposed for cooling fan applications with high torque and high radial stiffness. In experiments, it is found that stable magnetic suspension and the motor drive of the proposed machine are successfully achieved.</p>				

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).