

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ベアリングレス高速ロータを持つ磁気ギアドモータの提案と特性改善に関する研究
Title(English)	Proposal and Improvement of a Novel Magnetic-gear Motor with Bearingless High-speed Rotor
著者(和文)	熊代明
Author(English)	Akira Kumashiro
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:甲第12698号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:千葉 明,沖野 晃俊,赤塚 洋,萩原 誠,清田 恭平,深見 正
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12698号, Conferred date:2024/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		熊代 明	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	千葉明	教授	審査員	清田恭平	准教授
		沖野晃俊	准教授		深見正	金沢工業大学・教授
	審査員	萩原誠	准教授			
		赤塚洋	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

近年、電気自動車やロボットの発展に加えて、様々な産業部品への電動化の発展に伴い、小型かつ高トルクなモータの需要が増加している。一般的には、モータを積厚方向、あるいは半径方向に大型化させるとトルクを増加することができる。一方で、体積や重量が増加してしまう。そのため、小型高トルクを実現するには、モータの体積を保ったまま高速化することで出力を向上させつつ、機械式減速機を用いて所望の速度域に減速する、いわゆるギアードモータの構成が広く用いられている。このシステムでは、歯車の摩擦で動力を伝達することから、摩耗や摩擦損が問題である。また、機械式減速機は潤滑が必要とし、潤滑油の飛沫や混入を嫌う用途には不適といった問題がある。さらに、歯の摩耗が避けられず定期的な交換が必要である他、過大な入力時に破損するなどの問題がある。すなわち、機械式減速機では、歯面の潤滑や過負荷な入力を防止する保護装置の付加、定期的なメンテナンスが必要である。

これらの問題を解決するために、動力の伝達に歯面の摩擦ではなく、磁力による相互作用を用いた磁気減速機が提案されている。このシステムでは、低速軸に接続されたロータ、高速軸に接続されたロータ、固定子の 3 つの部品で構成されている。一般的には、これらの部品は、いずれかが軟磁性体材料の突極構造で構成された部品であり、それ以外の二つの部品はともに極数の異なる永久磁石が存在する。この方式ではすべての磁石がトルクの伝達に寄与することから、より大きなトルクを伝達することが可能である。

さらに、この構造にモータ機能を付加した磁気ギアードモータも提案されている。このモータは、動力伝達に摩擦力ではなく磁力を用いるため、非接触な動力伝達を可能とする。したがって、機械式減速機が抱える摩耗や潤滑などの問題を解決できる。加えて、過大なトルクが入力された場合でも、動力伝達が非接触のため、物理的な破壊は生じない。さらに、モータと減速機の磁石が共通のため、同等のトルクを持つモータと比較すると、小型化された事例が報告されている。一方で、出力速度を高速化させると、高速側のロータを支持する機械ベアリングの損失が増大する。そのため、一般的な産業用モータや自動車駆動用のモータで要求される毎分数千回転の領域への適用には問題があった。

本論文では、高速ロータを磁気支持させた磁気ギアードモータを提案した。このモータでは、追加の 3 相巻線によって、高速ロータに能動的にラジアル力を発生させることで、高速側の機械ベアリングを廃した非接触磁気支持を実現している。この構造により、従来の磁気ギアードモータで問題となる高速ロータ側の機械ベアリングの発熱や寿命の問題を解決できる。加えて、従来の磁気ギアードモータでは 2 つのロータを同心軸上に精度良く組み立てる必要があり、製造コストの上昇に繋がっていたが、能動的にラジアル位置の制御が可能となったことで、フレキシブルな調整が可能である長所がある。

さらに、本論文では、高速ロータを磁気支持させた磁気ギアードモータの電磁界解析を行い、適した構造を導き、磁気支持性能、並びにトルク性能の解析を行った。さらに、提案モータの試作機を試作し、磁気支持、並びに回転の試験を行った。提案する磁気ギアードモータのベアリングレス化は世界で初めての構成である。リラクタンクス式の磁気ギアードモータに支持巻線を付加した。この構造は、トルク密度が低下する欠点があるものの、巻線磁界の磁路における磁気抵抗が低下するため、単位電流当たりのトルク・磁気支持力が上昇する効果がある。この構造を採用したことにより、巻線性能に余裕を持たせることで、試験を容易にした。この試作機より、高速ロータを磁気支持させた磁気ギアードモータの磁気支持を世界で初めて実証した。

一方、試作機にはトルク密度が低い欠点があったため、この欠点を補うために、トルク密度を向上させた高速ロータを磁気支持させた磁気ギアードモータも提案した。提案モータでは、磁気ギアードモータの方式をリラクタンクス式からコンシクエントポール式に変更した。この構造により、トルク密度を向上させつつ、巻線磁界の磁路の磁気抵抗は低く保てるため、トルク密度と磁気支持性能を両立できるメリットがある。

以上、本論文は世界初の磁気ギアードベアリングレスモータを提案しており、博士論文として認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」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。