

Diss. ETH Nr. 19961

Der lagerlose Multipolarmotor

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

FRANZ KLAUS ZÜRCHER

Dipl. El.-Ing. ETH
geboren am 21. Oktober 1982
von Trachselwald (BE)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. J. W. Kolar, Referent
Prof. Dr. J. Petzoldt, Korreferent

2012

Kurzfassung

In den letzten Jahren ist das Interesse an magnetisch gelagerten Motoren stetig gestiegen. Aufgrund der immer schneller und günstiger werdenden Elektronikkomponenten konnte die Leistungsfähigkeit solcher Systeme kontinuierlich verbessert und der Preis reduziert werden. Auf der Anwendungsseite sorgen die steigenden Ansprüche an die Reinheit in industriellen Bereichen wie der Pharma-, Bio-, Nano- und Halbleitertechnologie für immer grössere Anforderungen an die verwendeten Rotationssysteme. Zwar kann bei permanenterregten Synchronmaschinen auf eine mechanische Kommutierung verzichtet werden, dennoch verursachen die bisher benötigten Kugel- und Gleitlager ständig unvermeidbaren Abrieb und damit Partikel. Magnetisch gelagerte Motoren bieten hier eine attraktive Alternative, da sie gänzlich ohne mechanische Lager, ohne Schmiermittel und ohne Dichtungen auskommen können.

Es existiert eine Vielzahl von verschiedenen Konzepten für magnetisch gelagerte und lagerlose Motoren. Eine gute Performance bezüglich des Drehmomentes sowie der Lagereigenschaften bei gleichzeitig sehr kompakten Einbaumassen bietet das Konzept des *lagerlosen Scheibenläufermotors*. Für kleine Durchmesser und kleine Polpaarzahlen werden heutzutage bereits verschiedene darauf basierende Ausführungsformen kommerziell hergestellt und industriell genutzt. Für grössere Durchmesser und grössere Polpaarzahlen wurden, basierend auf dem Prinzip des lagerlosen, beziehungsweise magnetisch gelagerten Scheibenläufermotors, vier verschiedene Konzepte vorgeschlagen, welche hier kurz verglichen werden.

Diese Arbeit befasst sich mit der Synthese und Optimierung multipolarer, lagerloser Scheibenläufermotoren mit mittleren Durchmessern und hohem Beschleunigungsvermögen. Dieses Konzept, bei dem auf einem einzigen, zusammenhängenden Statoreisen durch Wicklungen sowohl Tragkräfte zur Lagerung des Rotors, wie auch ein Drehmoment erzeugt werden, bietet mehrere Vorteile und eignet sich für die praktische Anwendung.

Im ersten Teil der Arbeit werden mit einem analytischen Modell die grundlegenden Bedingungen untersucht, unter welchen ein von einem Wicklungssystem erzeugtes Magnetfeld in Interaktion mit dem Rotormagnetfeld als Lagerkräfte nutzbare Querkräfte, respektive ein resultierendes Drehmoment erzeugt. Weiter wird die optimale Wahl der Topologieparameter und die Synthese von Wicklungssystemen, welche die zuvor hergeleiteten Bedingungen erfüllen, analysiert.

Der zweite Teil der Arbeit befasst sich mit der Optimierung der Geometrie und den Windungszahlen solcher Topologien sowie dem Einfluss der Systemskalierung auf die Eigenschaften des Lagers und des Antriebs. Mithilfe des analytischen Modells sowie von 3-D-FEM-Simulationsmodellen werden die Auswirkungen von Variationen der freien Parameter auf die Antriebs- und Lagerparameter sowie auf die Eigenfrequenzen des Rotors untersucht.

Schliesslich werden die Ergebnisse der Arbeit anhand von zwei Prototypen mit verschiedenen Topologien und Abmessungen verifiziert. Es wird gezeigt, wie eine praktische Realisierung solcher Systeme erfolgen kann und welche Komponenten dazu benötigt werden, so dass der Umsetzung für die industrielle Nutzung nichts mehr im Weg steht.

Abstract

Magnetically levitated motors have gained significant popularity over the last years. Thanks to the cost reduction and performance improvement of the electronic components, the performance of magnetically levitated systems has been increased continuously while they were getting more and more affordable for various applications.

In many industry branches such as biotechnology, nanotechnology or semiconductor manufacturing the demand for high-purity process equipment including rotating machinery has increased. Magnetically levitated motors are highly qualified for such conditions, since no sealings and no lubricants are needed and no wear due to friction is occurring.

A promising and interesting topology for these applications concerning the bearing characteristics and the torque generation is the *bearingless slice motor* concept. For small numbers of pole pairs and small diameters, several commercial products have been developed based on this concept and are used in various industrial applications.

This thesis examines the synthesis and optimization of multipolar, bearingless slice motor topologies with medium diameters and high acceleration capabilities.

In a first part, it is shown how the magnetic field density distribution originating from a stator winding configuration may simultaneously generate a levitation force and a motor torque due to its interaction with the permanent magnet rotor field.

Furthermore, the synthesis of adequate topologies and winding systems producing the required specific field density distribution is derived.

The second part of this thesis deals with the optimization of the geometry and winding numbers of such topologies. Additionally, the influence of the system scaling on the bearing characteristics, motor properties and system eigenfrequencies is investigated.

In conclusion, two prototypes with different geometry and topology are

constructed and brought into operation. The proposed topologies and the corresponding simulation results are verified with measurements. By this, the feasibility of developing bearingless slice motors with a high number of pole pairs and a high rotor diameter is proven for commercial and industrial applications.