

Diss. ETH Nr. 13180

Die Auslegung lagerloser Induktionsmaschinen

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

URS BIKLE

Dipl. El.-Ing. ETH
geboren am 24. Juni 1969
von Winterthur ZH

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. J. Hugel, Referent
Prof. Dr. K. Reichert, Korreferent
1999

Kurzfassung

Elektrische Maschinen mit integriertem Magnetlager sind dem Namen entsprechend in der Lage, im Aktivteil auf den Rotor sowohl ein Drehmoment als auch Lateralkräfte, die zur berührungsfreien Lagerung der Welle dienen, auszuüben. Dies kann erreicht werden, indem im Stator neben der Antriebswicklung noch ein weiteres Wicklungssystem anderer Polzahl untergebracht wird. Im vergangenen Jahrzehnt wurden von mehreren Forschergruppen Prototypen derartiger Querkraftmaschinen gebaut, die auf unterschiedlichen Maschinenprinzipien basierten. Das Hauptaugenmerk der angestellten Untersuchungen lag auf der Überprüfung des Prinzips, welchem die gleichzeitige Entstehung von Drehmoment und Querkraften zu Grunde liegt, und auf der Optimierung der Tragkraftregelung. Weil die Industrie ein steigendes Interesse an Antriebssystemen mit Querkraftmaschinen zeigt, wurde endlich auch eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Auswahl der Maschine sowie deren elektrischer und magnetischer Auslegung nötig.

Die vorliegende Arbeit beschreibt über eine Betrachtung der Luftspaltfelder, wie in einer elektrischen Maschine gezielt ein Drehmoment und Querkraften aufgebaut werden können. Die anschließende Analyse verschiedener Drehfeldmaschinen bezüglich ihrer Antriebs- und Trageigenschaften führt auf eine Untersuchung der Grenzen von Querkraftmaschinen. Daraufhin liefert die Arbeit detaillierte Auslegungskriterien der Wicklungen und des magnetischen Kreises von Querkraft-Induktionsmaschinen. Es zeigt sich, dass ein Rotor mit Käfigwicklung wenig Sinn macht, sondern andere Varianten von Kurzschlusswicklungen gefunden werden müssen. Auch bei den Statorwicklungen ergeben sich Einschränkungen hinsichtlich der gewählten Nutzzahlen und der Parallelschaltbarkeit mehrerer Zweige. Die Dimensionen von Querkraft-

maschinen hängen in starkem Masse von den zulässigen Strombelägen und Luftspaltflussdichten sowie vom gewählten Längen/Durchmesser-Verhältnis ab. Quantitative Angaben vermitteln einen guten Eindruck über den Einfluss der einzelnen Parameter. Weiter wird gezeigt, wie sich die Überlagerung der Luftspaltfelder auf die in der Maschine entstehenden Verluste auswirkt. Die Theorie wird durch Messungen an einer schnelllaufenden Versuchsmaschine verfestigt.

Abstract

An electrical machine with integrated magnetic bearings generates in its active part a torque as well as lateral forces, which act on the rotor and keep it in suspense. This can be achieved by adding a second winding system to the stator additionally to the driving winding. In the past decade several researchers built prototypes of these lateral force machines based on variable machine types. However, the main purpose of these prototypes was to proof the principle which the generation of both torque and lateral forces relies on and to optimize the control of the lateral forces. Because industrial manufacturers show an increasing interest on lateral force machines, it became necessary to make investigations on the choice of the machine type and on the magnetic and electric design.

The following thesis uses the magnetic and electric fields to describe, how both torque and lateral forces can be built up in an electrical machine. An analysis of different AC machines in respect of their driving and bearing characteristics leads to the limits of lateral force machines. Thereupon the work focuses on the detailed design criteria of the winding systems and of the magnetic circuit for lateral force induction machines. It is shown that a squirrel cage rotor is not feasible and that other types of short circuited rotor windings have to be found. The stator windings are subject to restrictions concerning slot numbers and the parallel connection of several winding parts, too. The dimensions of lateral force machines depend heavily on the admitted ampere turns and flux densities in the air gap as well as on the length/diameter ratio. The influence of these parameters on lateral forces and torque is shown quantitatively. In addition it is shown, how the superposition of the air gap fields affects the losses in the machine. Test results on a high-speed prototype machine confirm the theoretical results.