

Diss. ETH Nr. 15498

*Polysolenoid-Linearantrieb mit
genutetem Stator*

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

DANIEL AUSDERAU

Dipl. El.-Ing. ETH
geboren am 7. Februar 1971
von Bussnang

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. J. Hugel, Referent
Prof. Dr. J. Roth-Stielow, Korreferent

2004

Kurzfassung

Durch die Dezentralisierung der Antriebstechnik in der verarbeitenden Industrie sind in zunehmendem Mass Servo-Antriebssysteme an den Stellen der Arbeitsbewegungen erforderlich. Bei linearen Bewegungen kommen dabei immer häufiger elektromagnetische lineare Direktantriebe zum Einsatz. Durch den getriebe- und damit spielfreien Aufbau lassen sich verschleissarme Systeme mit hoher Bewegungsdynamik bei gleichzeitig guter Positioniergenauigkeit realisieren.

Der in dieser Arbeit behandelte Polysolenoid-Linearantrieb zeichnet sich aufgrund der hohen Kraftdichte sowie der leichten Läuferbauweise durch ein hohes Beschleunigungsvermögen aus. Dabei handelt es sich um einen zylinderförmigen, permanenterregten Synchronantrieb mit genutetem Stator. Mit dem Konzept des eisenlosen Läufers wird eine querkraftarme¹ Bauform untersucht, ausgelegt und aufgebaut.

Ausgehend von der Arbeitsbewegung wird zuerst allgemein auf die Anforderungen dynamischer Linearantriebssysteme eingegangen. Für den Polysolenoidantrieb werden die verschiedenen Aspekte der Antriebsauslegung behandelt. Um eine hohe Effizienz der Kraftbildung zu erreichen, werden die geometrischen Verhältnisse des magnetischen Kreises mithilfe der Güte bewertet und optimiert. Die Reluktanzkräfte sowohl in axialer als auch in radialer Richtung werden positionsabhängig quantifiziert. Während die als Lastkraft wirkende axiale Reluktanzkraft durch konstruktive Massnahmen minimiert wird,

¹Die Querkraft entspricht der radialen Reluktanzkraft bei nichtzentrischer Anordnung von Läufer und Stator, welche durch Fertigungstoleranzen bedingt ist.

ist die radiale Reluktanzkraft im Zusammenhang mit der Lagerung des Läufers thematisiert. In den thermischen Betrachtungen wird sowohl auf die Verluste als auch auf die Modellierung des Antriebs bei unterschiedlichen Kühlungsarten eingegangen. Die thermischen Widerstände werden auf Basis der verschiedenen physikalischen Wärmetransportmechanismen ermittelt. Schliesslich wird das Wachstumsverhalten für die wichtigsten Auslegungs- und Kenngrössen bestimmt.

Die Berechnungen basieren sowohl auf analytischen als auch auf numerischen (FEM) Ansätzen. Die Ergebnisse werden anhand von Messungen an einem realisierten Antrieb verifiziert.

Abstract

On account of the decentralization of the drive technique in the processing industry, there is an increasing need for servo drive systems at the locations of the working movements. For linear movements more and more electromagnetic linear direct drives are used. The gearless and therefore playless assembly allows of systems with little wear, high movement dynamics and good positioning accuracy.

The polysolenoid linear drive treated in this work is outstanding in its high acceleration ability, based on the high power density as well as on the lightweight slider construction. It is a cylindrical, permanent magnet synchronous drive with a slotted stator. Using the concept of the ironless slider, a construction with little radial force² will be examined, designed and realized.

Starting with the load movement, the requirements of dynamic linear drive systems are discussed. For the polysolenoid drive, the different aspects of the drive design are treated. To achieve a high force generation efficiency, the geometric ratios of the magnetic circuit are valued and optimized with the aid of the performance factor. The reluctance forces both in axial and in radial directions are position dependent quantified. While the axial reluctance force, acting as load force, is minimized by constructive measures, the radial force is discussed in connection with the slider bearing. In thermal considerations, the losses as well as the drive modelling at different cooling methods

²Reluctance force based on excentric arrangement of slider and stator, caused by fabrication tolerances.

Abstract

are studied. The calculations of the thermal resistances are based on the different physical heat transfer mechanisms. Finally, the growth behavior for the most important design parameters and drive characteristics will be determined.

The calculations are based both on analytical and on numeric (FEM) approaches. The results are verified with measurements of a realized drive.