

Hochintegrierte Magnetlager- Systeme

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

PHILIPP BÜHLER

Dipl. El.-Ing. ETH

geboren am 27. Januar 1967

von Alt St. Johann

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. G.Schweitzer, Referent

Prof. Dr. H. Stemmler, Korreferent

Zürich 1995

Kurzfassung

Elektromagnetische Lager ermöglichen die berührungsfreie Lagerung von Rotoren. Gegenüber konventionellen Lagerungsmethoden haben sie wesentliche Vorteile. Sie arbeiten vollständig verschleiss-, wartungs- und schmiermittelfrei bei hohen Temperaturen, im Hochvakuum und bei hohen Drehzahlen. Magnetische Lagerungen haben dank ihrer nahezu idealen Eigenschaften Einzug in viele neue Anwendungsgebiete gefunden und ihre Leistungsfähigkeit bewiesen. Den Vorteilen dieser Lager stehen die hohen Kosten gegenüber. Für den Einsatz in Massenprodukten sind Magnetlager noch zu aufwendig.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, neue Realisierungsmöglichkeiten zu finden. Es werden Konzepte gesucht, die sich besser integrieren lassen, um dadurch den Aufwand zu reduzieren.

Im ersten Teil der Arbeit werden verschiedene Konzepte für magnetische Lagerungen betrachtet und Ideen gesammelt. Dies führt zu einem neuen Konzept mit spezialisiertem Leistungsverstärker, welches mit kleinem elektronischen Aufwand umgesetzt werden kann.

Im zweiten Teil der Arbeit wird eine spezielle magnetgelagerte hochtourige Spindel für 60'000 upm entworfen. Der Rotor wird in allen fünf Achsen aktiv magnetisch gelagert. Die Forderungen bezüglich Kosten, Energieverbrauch und Eignung zur Massenproduktion können dank dem neuen Konzept eingehalten werden.

Ein Mikrokontroller mit dem Reglerprogramm ergibt zusammen mit dem optimierten Sensorsystem und dem spezialisierten Leistungsverstärker eine sehr kompakte Magnetlagerelektronik. Der Prototyp erreicht die geforderte Drehzahl bei minimalen Lagerverlusten. Besondere Aufmerksamkeit wird der Programmierung des Mikrokontrollers geschenkt. Neben dem eigentlichen Regler besteht die Software unter anderem aus der Schnittstelle zum Entwicklungssystem, einer automatischen Unwuchtkompensation und einem aufwendigen Überwachungsteil.

Die Arbeit zeigt, wie eng das Zusammenspiel von Mechanik, Elektronik und Software in einem mechatronischen Produkt sein kann, und welche Schwierigkeiten bei der Entwicklung eines solchen Systems gelöst werden müssen.

Abstract

Active Magnetic Bearings (AMBs) provide a means for contact free suspension of rotors. They have many advantages compared to other types of bearing, since they don't suffer from wear and require no maintenance or lubrication. AMBs are independent of their environmental conditions, thus they can operate at high temperatures, in a vacuum, and at high rotational speeds. In recent years, they have been applied in many new fields and their superior performance has been proved.

For many applications, however, AMBs are still too expensive and too complicated. The aim of this thesis is to find new concepts for the realisation of highly integrated, low cost AMBs.

The first part of this thesis addresses different concepts of magnetic bearings and combines new ideas. This leads to a new design using a specialised power amplifier which enables a system realisation with a minimum of electronics.

The second part of this work presents a new magnetically suspended high speed spindle built to run at 60'000 rpm. The rotor is controlled with respect to all five axes by active magnetic bearings. The requirements, namely the low costs; low energy losses and the possibility of mass production, can be met using the new concept.

The compact AMB electronics consists of a micro controller with control software, an optimised sensor system and a specialised power amplifier. The prototype rotor reaches the desired speed with a minimum of bearing losses. Special attention is given to the programming of the micro controller. This incorporates not only the position control for the rotor, but also routines for communication with the development system, an automated unbalance compensator and a sophisticated supervisory system.

This work demonstrates the strong interaction between mechanics, electronics and software in a mechatronic product and shows the difficulties which arise and how they can be solved.