

Dresdner Schriftenreihe zu elektrischen Maschinen und Antrieben

Band 3

Thomas Schuhmann

**Optimale Zustandsschätzung und -regelung an
Magnetlagern mit integrierten kapazitiven Lagesensoren**

Shaker Verlag
Aachen 2011

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zagl.: Dresden, Techn. Univ., Diss., 2011

Copyright Shaker Verlag 2011

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0423-6

ISSN 1869-8190

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

KURZFASSUNG

zur Dissertation

„Optimale Zustandsschätzung und -regelung an Magnetlagern mit integrierten kapazitiven Lagesensoren“

von

Thomas Schuhmann

Aktive Magnetlager sind strukturinstabile Systeme. Sie bedürfen einer ständigen Messung und Regelung der Rotorlage. In der vorliegenden Arbeit wird die Integration eines berührungslosen kapazitiven Wegmesssystems in das Statorblechpaket aktiver radialer Magnetlager beschrieben. Die gewählte Sensoranordnung führt zur Kollokation der Orte der Lagemessung und der Kraftereinleitung, was eine geringere Empfindlichkeit gegenüber radialen Eigenschwingungen der Welle mit sich bringt. Es wird gezeigt, dass diese Sensorintegration zu einer Erhöhung der Steifigkeit und Dämpfung aktiver magnetischer Lager beiträgt.

Als Maßnahme gegen das aufgrund der Integration der Lagesensoren stärkere Messrauschen schlägt die Arbeit den Einsatz von diskreten stochastischen Zustandsschätzern vor. Basierend auf einem stochastischen Systemmodell, bekannten Eingangs- sowie vertauschten Messgrößen gestatten diese eine hinsichtlich der Varianz des Schätzfehlers optimale Rekonstruktion der Zustandsgrößen. Es werden verschiedene Ansätze zur Modellierung der Regelstrecke sowie deren Nachbildung mittels linearer und erweiterter KALMAN-Filter dargestellt. Neben den eigentlichen Zustandsgrößen wie der radialen Lage und Geschwindigkeit oder dem Steuerstrom erfolgt dabei auch die Schätzung konstanter sowie zeitlich veränderlicher Systemparameter, z. B. radiale Störkräfte, Kraft-Strom- oder Kraft-Weg-Faktoren. Ansätze für die Bestimmung der die Rauschprozesse charakterisierenden Autokovarianzmatrizen werden diskutiert.

Durch Nutzung des optimalen Lageschätzwertes für die Lageregelung lassen sich die durch Messstörungen bedingten Lageabweichungen des Rotors deutlich reduzieren, was wiederum den Einsatz von einfachen und robusten Sensoren gestattet. Die Rückführung der geschätzten radialen Störkraft auf den Lagesollwert führt darüber hinaus zu einer Verringerung unwuchtbedingter Gehäusevibrationen und Rüttelkräfte, ohne dass hierfür ein zusätzlicher Drehwinkelgeber auf der Welle erforderlich ist.

Auf Basis der Schätzung des vollständigen Zustandsvektors durch das KALMAN-Filter zieht die Abhandlung den Vergleich zwischen einer klassischen PID-Lageregelung und einer optimalen Zustandsrückführung (LQG-Regelung) des Magnetlagers. Betrachtungen zur Wahl der Wichtungselemente des quadratischen Gütemaßes werden angestellt. Es zeigt sich, dass die optimal zustandsgeregelten Lagerstellen ein günstigeres Führungs- und Störübertragungsverhalten aufweisen als konventionell mittels differenzierender Regler stabiliertes Magnetlager.

Die Untersuchung des Einflusses der optimalen Schätz- und Regelverfahren auf den Stellenergiebedarf aktiver magnetischer Lager bildet einen weiteren Aspekt der Abhandlung. Aufgrund der Rauschreduzierung mittels des KALMAN-Filters sowie der Optimierung der Steuerstromverläufe durch den Zustandsregler ergeben sich hier Einsparpotentiale an Stellenergie im zweistelligen Prozentbereich.