

Forschungsberichte Mechatronische Systeme im Maschinenbau

Bernd Riemann

**Robuste Regelung aktiver Rotoren:
Unsicherheitsbeschreibungen in der μ -Synthese**

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2015

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.

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2014

Copyright Shaker Verlag 2015

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3728-9

ISSN 2198-8536

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

Für schnelldrehende rotordynamische Systeme stoßen passive Maßnahmen zur Reduktion von Biegeschwingungen in extremen Anwendungsfällen an Grenzen, so dass aktive Maßnahmen eine vielversprechende Alternative darstellen. Die Dynamik der Biegeschwingungen verändert sich dabei oft deutlich in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl. Dies ist meist auf Einflüsse von hydrodynamischen Schmierfilmen in Gleitlagern sowie auf den gyroskopischen Effekt zurückzuführen.

Regelungen zur aktiven Schwingungsreduktion müssen die drehzahlabhängige Systemdynamik berücksichtigen, wenn robuste Stabilität und Performance gefordert sind. Eine Analyse robuster Regelverfahren zeigt die Eignung der μ -Synthese zum Reglerentwurf für unsichere, elastische Strukturen. Anwendungen der μ -Synthese für hydrodynamisch gelagerte Rotoren sind bisher nicht bekannt und verfügbare Veröffentlichungen zur Anwendung auf Rotoren mit gyroskopischem Effekt erreichen nur geringe Robustheit. Die vorliegende Arbeit präsentiert daher übertragbare Methodiken zum robusten Reglerentwurf mittels μ -Synthese für drei verschiedene Anwendungsfälle anhand von repräsentativen Rotor-Prüfständen.

Der erste Reglerentwurf dient der Unterdrückung von *Oil Whip*-Instabilitäten, die beim Einsatz von Gleitlagern für elastische Rotoren durch Destabilisierung der ersten Biegemode entstehen. Es können deutliche Vereinfachungen für das drehzahlabhängige Systemmodell getroffen werden, so dass übliche Vorgehensweisen der μ -Synthese angewendet werden können.

Bei einem zweiten Reglerentwurf für hydrodynamisch gelagerte Rotoren mit stark ausgeprägten *Oil Whirl*-Schwingungen sind einige der zuvor getroffenen Vereinfachungen nicht zulässig. Zudem ergibt die starke Veränderung der Eigenfrequenz einer speziellen Eigenmode eine große Robustheitsanforderung. Modale Unsicherheiten, die deutlich größer als in bekannten Anwendungsfällen sind, werden hier spezifisch eingestellt, so dass ein robuster Reglerentwurf erfolgreich durchgeführt werden kann.

Für den dritten Reglerentwurf zur Berücksichtigung gyroskopischer Unsicherheiten sind die Dynamikveränderungen des untersuchten Rotorsystems besonders stark. Eine effiziente Unsicherheitsbeschreibung ist dabei nur über eine direkte mathematische Beschreibung der Gyroskopie möglich. Um diese ohne Konservativität einzustellen, müssen reelle Unsicherheiten verwendet werden. Lösungsverfahren zur Behandlung dieser Unsicherheiten sind jedoch oft nicht zuverlässig, so dass bisher kein erfolgreicher Entwurf möglich war. Um dennoch eine Lösung mit der sog. *DK-Iteration* zu ermöglichen, werden die Unsicherheitsbereiche daher stets um komplexe Werte erweitert. Diese Konservativität wird mit der hier entwickelten Entwurfsmethodik überwunden, so dass ein Regler mit robuster Stabilität und Performance für den gesamten Drehzahlbetriebsbereich entworfen werden kann. Die vorgestellte Methodik umfasst eine Modellierung mit minimaler Unsicherheitsstruktur sowie eine Synthese mit einer optimierten Version der sog. μK -Iteration. Dies ermöglicht

erstmals einen Entwurf mit reellen gyroskopischen Unsicherheiten. Der Entwurf zeigt, dass eine robuste Reglersynthese für elastische Strukturen mit großen, reellen Unsicherheiten möglich ist und leistet somit einen allgemeinen Beitrag zur robusten Regelung.