

Entwicklung eines hybriden aktiven Lagerungssystems mit paralleler Kraffteinleitung

Roman Kraus¹, Jonathan Millitzer², Christian Hatzfeld³, Roland Werthschützky³

¹ Fraunhofer-Institut LBF – LOEWE-Zentrum AdRIA, 64289 Darmstadt, E-Mail: roman.kraus@lbf.fraunhofer.de

² Fraunhofer-Institut LBF – Kompetenzzentrum Mechatronik/Adaptronik, 64289 Darmstadt

³ Technische Universität Darmstadt, Institut EMK, 64283 Darmstadt

Einleitung

Als Maßnahme zur Reduktion von Strukturschwingungen sind die Möglichkeiten passiver Lagerkonzepte weitestgehend ausgeschöpft. Aktive Lager mit unterschiedlicher Topologie rücken aus diesem Grund zunehmend in den Fokus aktueller Forschungstätigkeiten.

Bei hybriden aktiven Lagern, deren lasttragender Pfad lediglich aus einer seriellen Kopplung der Aktorik mit einem passiven Element besteht, gestaltet sich die Auslegung des Aktors in der Praxis schwierig. Durch die serielle Anordnung muss die Aktorik meist große statische Vorlasten ertragen und gleichzeitig, bedingt durch die geringe Steifigkeit des Koppelelementes, über große Stellwege verfügen, um genügend große dynamische Kräfte einleiten zu können.

Durch eine Lagertopologie die zusätzlich zu einem seriellen auch ein parallel angeordnetes Element enthält, können diese Nachteile umgangen werden. Der Großteil der statisch wirkenden Kräfte wird dann über das parallel zur Aktorik positionierte Element übertragen, sodass sich geringe Anforderungen an die Dimensionierung des Aktors und somit auch an die erforderliche Leistungselektronik [1] ergeben. Aufgrund der gesunkenen Anforderungen an die Aktorik erleichtert diese Lagertopologie auch den Einsatz eines wegübersetzten Piezoaktors.

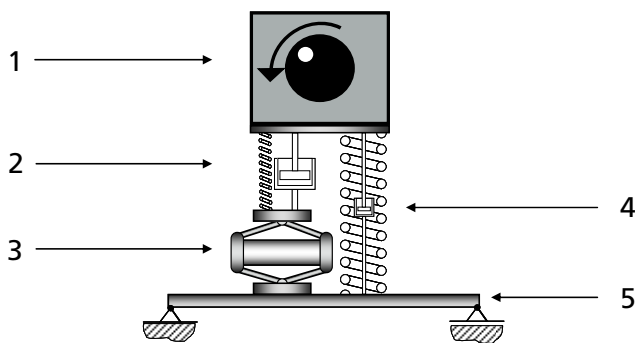


Abbildung 1: Topologie des Lagers mit wegübersetztem Piezoaktor (3), Koppelelement (2) und Steifigkeit (4). Das Lager ist mit einer resonanten Anbindungsstruktur (5) und einem Unwuchterreger (1) verbunden.

Entkopplung der Aktorik

Zur Entkopplung der Aktorik von statischen Kraftanteilen kommt ein Kunstharz-Koppelelement zum Einsatz. Durch die frequenzabhängige Steifigkeit ergibt sich hierbei das gewünschte Verhalten einer statischen Entkopplung bei gleichzeitiger Übertragung dynamischer Kräfte. Die Nachbildung des dynamischen Verhaltens unter der Annahme

eines Kelvin-Voigt-Elementes wie in Abbildung 1 dargestellt, ist hierbei nicht mehr ausreichend. Eine angepasste Systembeschreibung auf Basis fraktionaler Ableitungen

$$F = s^\alpha \Delta x \quad \text{mit} \quad s^\alpha \approx \frac{\sum_n b_n s^n}{\sum_n a_n s^n} \quad (1)$$

lässt sich allerdings, wie es in [2] vorgestellt wird, einfach als Übertragungsfunktion realisieren. Abbildung 2 zeigt den Vergleich aufgenommener Messwerte und der angepassten analytischen Systembeschreibung auf Basis fraktionaler Ableitungen mit einer Übertragungsfunktion fünfter Ordnung im Frequenzbereich.

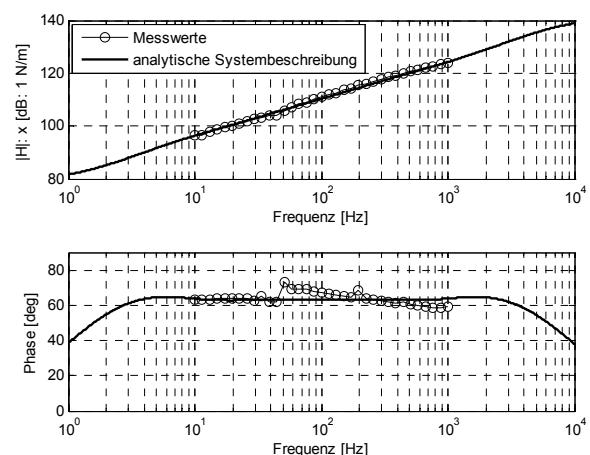


Abbildung 2: Vergleich der Messwerte mit der angepassten analytischen Systembeschreibung.

Simulationsmodell

In einer Gesamtsystemsimulation soll die Lagerfunktion unter Berücksichtigung von angepassten Umgebungsbedingungen überprüft werden. Das Lager trägt im Modell die statische Last der Motormasse, die durch eine Unwuchterregung mit steigender Frequenz angeregt wird. Das Lager selbst wird von einer resonanten Anbindungsstruktur getragen und beinhaltet neben einer Steifigkeit zur Aufnahme statischer Kräfte ebenfalls ein angepasstes analytisches Modell des Koppelelementes mit frequenzabhängiger Steifigkeit und das Modell eines wegübersetzten Piezoaktors mit übersetzungsabhängigem Wirkungsgrad. Neben der mechanischen Anbindung des Lagers und der Erregung berücksichtigt das Simulationsmodell ebenfalls die Hochpasscharakteristik des einzusetzenden Kraftsensors und die zeitdiskrete Signalverarbeitung mit Antialiasing- und Rekonstruktionsfiltern. Durch die aktive Lagerung soll, aufgrund der verringerten Einleitung dynamischer Kräfte,

der Körperschalleintrag in die Anbindungsstruktur minimiert werden. Zur Ansteuerung der Aktorik kommt eine adaptive Schwingungskompensation [3] zum Einsatz, die das dynamische Systemverhalten des lasttragenden Lagers berücksichtigt. Die Einleitung von dynamischen Gegenkräften über den Aktor und das Koppelement führt hierbei zu einer destruktiven Interferenz am Kraftmesspunkt, also am Anbindungspunkt des Motorlagers an der Anbindungsstruktur, und damit zu einer Minimierung der dynamischen Kopplungskräfte.

Entwurfsmethodik und Optimierung

Zunächst werden die konstanten Betriebsparameter wie beispielsweise der Frequenzbereich und die Kraft der Unwuchterregung sowie das dynamische Verhalten der Anbindungsstruktur für die Gesamtsystemsimulation festgelegt und, sofern vorhanden, anhand von Messdaten angepasst.

Aus der Vielzahl von variablen Lagerparametern im Simulationsmodell werden die für eine Optimierung sinnvollen Parameter bestimmt. Aufgrund der Komplexität des Gesamtsystems bietet sich eine numerische Optimierung auf Grundlage des bestehenden Simulationsmodells mit integrierter Regelungstechnik an. Hierfür kommen verschiedene Optimierungsverfahren in Betracht. Die Wahl fällt auf einen Genetischen Algorithmus, der robust und gradientenfrei arbeitet und ebenfalls komplexe Optimierungsprobleme beherrscht.

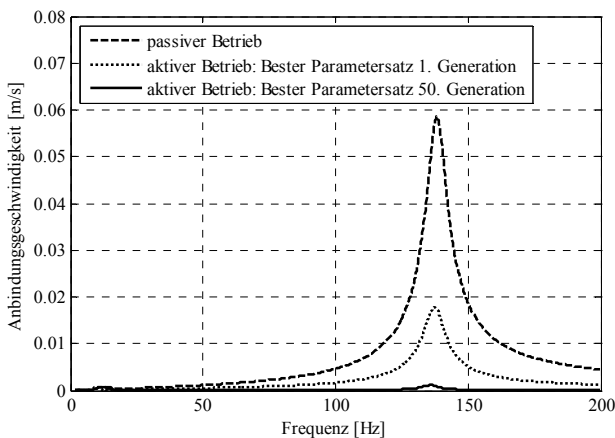


Abbildung 3: Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe des Anbindungspunktes der resonanten Anbindungsstruktur für eine Unwuchterregung mit steigender Frequenz

Der Einsatz von Optimierungsverfahren macht im Allgemeinen die Definition von Zielfunktionen erforderlich. Beim vorgestellten Lager werden dazu die Reduktion des Körperschalls der Anbindungsstruktur sowie der dabei notwendige Leistungsbedarf bewertet. Ein weiteres Ziel der Optimierung ist es, das Verhalten des Lagers im passiven Betriebsfall dem Verhalten eines konventionellen Motorlagers anzupassen. Abbildung 3 zeigt die durch den Einsatz des Genetischen Algorithmus optimierten Geschwindigkeitsverläufe der Anbindungsstruktur für den passiven

Betriebsfall und den aktiven Betrieb mit verschiedenen Parametersätzen der Optimierung.

Sensorik

Zur Messung der Kopplungskraft zwischen aktivem Lager und Anbindungsstruktur kommen neben einem kommerziell erhältlichen Sensor ebenfalls verschiedene in die Anbindungsstruktur integrierte resistive und piezoresistive Sensoren [4] zum Einsatz. Hierdurch wird ein Abgleich der strukturintegrierten Sensoren mit dem kommerziell erhältlichen Sensor möglich. In zukünftigen Anwendungen ist durch den Einsatz strukturintegrierter Sensortechnik auf DMS-Basis neben einer Kostenreduzierung ebenfalls eine Reduktion der benötigten Bauraumhöhe möglich.

Neben den Sensoren zur Messung der Kopplungskraft werden zwei elektrodynamische Differenzgeschwindigkeitsensoren eingesetzt, mit Hilfe derer durch eine Geschwindigkeitsrückführung eine aktive Erhöhung der Dämpfung zur Bedämpfung der Starrkörperresonanz der getragenen Masse möglich wird.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Wahl geeigneter paralleler und serieller Elemente kann bei der vorgestellten neuartigen Topologie einer aktiven Lagerung der Kraftfluss gezielt in einen statischen und dynamischen Kraftpfad aufgeteilt werden. So wird die Aktorik weitgehend frei von statischen Belastungen gehalten und zusätzlich stark gesunkene Anforderungen an die Leistungsversorgung gestellt.

Die Ergebnisse aus der Optimierung werden derzeit konstruktiv umgesetzt. Das Lager wird anschließend in einem eigens entwickelten Motorlagerprüfstand untersucht.

Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten entstanden im Rahmen des LOEWE-Zentrums AdRIA (Adaptronic – Research, Innovation, Application), das vom Fraunhofer LBF koordiniert und vom Land Hessen finanziell gefördert wird. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung. Besonderer Dank gilt auch unserem Diplomanden Daniel Pfeffer.

Literatur

- [1] Jungblut, T.; Mayer, D; Herold, S.: Experimentelle Charakterisierung von piezoelektrischen Aktorsystemen für die aktive Lärm und Schwingungsreduktion. DAGA 2010 – 36. Jahrestagung für Akustik, Berlin.
- [2] Krishna B. T.; Reddy K. V. V. S.: Active and Passive Realization of Fractance Device of Order $\frac{1}{2}$. Department of ECE, GITAM University, Andhra University, India.
- [3] Kuo, Sen M.; Morgan, Dennis R.: Active Noise Control Systems. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996
- [4] Rausch, J. ; Werthschützky, R. : Design und Test miniaturisierter, piezoresistiver Silizium Dehnmess-elemente. AHMT 2010