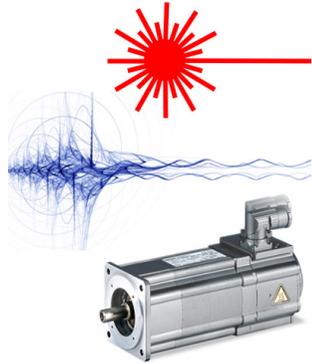


Performanceanalyse von Antriebssträngen mithilfe eines Rotations-Laservibrometers

Martinewski, V.; Cao, X.

Die Anforderungen an Antriebe im Bereich der Forschung und Entwicklung sind hoch. Oftmals müssen spezielle Prüfabläufe mit hohen dynamischen Verfahrbewegungen realisiert werden. Um die gewünschten Belastungen zu realisieren, ist die Auswahl eines geeigneten Antriebes essentiell. Eine Möglichkeit zur Analyse des lastabhängigen Geschwindigkeitsprofils ist das Verwenden eines Rotations-Laservibrometers, welches mit hohen Abtastfrequenzen eine detaillierte Beobachtung der Bewegung des Antriebsstranges ermöglicht.



The requirements for drives in research and development are high. Often special test sequences have to be realized with high dynamic movements. In order to achieve the desired loads, the selection of a suitable drive is essential. One way of analyzing the load-dependent speed profile is to use a rotary laser vibrometer, which allows a detailed observation of the movement of the drive train at high sampling frequencies.

Hintergrund und Ziel

Hochdynamische Prüfabläufe erfordern einen hochdynamischen Antrieb. Um im Vorfeld einer Versuchsdurchführung die Performance eines Antriebes zu analysieren, wurde am Institut für Maschinenwesen in Kooperation mit dem Institut für Elektrische Informationstechnik eine Messung des Geschwindigkeitsprofils eines Synchron-Servomotors während verschiedener Positionieranweisungen durchgeführt. Die Schwierigkeit die maximale Performance abzurufen besteht in dem Abgleich von Motor-Trägheitsmoment, Abtriebs-Trägheitsmoment und den Motor-Regelparametern. Eine höhere Beschleunigung ist nicht immer mit einem größeren Motor zu erzielen, da mit jeder größeren Bauform zwar die Leistung und das abrufbare Drehmoment steigen, hier wiederum aber das Motorträgheitsmoment und die erreichbaren Geschwindigkeiten sinken. Für einen Spezialfall einer Anwendung ist es daher wichtig, den optimalen Punkt zu treffen.

Zur Vorabschätzung der Performance unter verschiedenen programmierbaren Steuerapplikationen diente ein verfügbarer Synchron-Servomotor. Zur Messung

des Geschwindigkeitsprofils wurde ein Rotations-Laservibrometer der Firma PolYTEC verwendet.

Das Rotations-Laservibrometer

Laser-Doppler-Vibrometrie (LDV) ist eine berührungslose Messmethode zur Erfassung der Schwingungsgeschwindigkeit. Diese Messtechnik ermöglicht Schwingungsmessung bis in den MHz-Bereich mit hoher Amplituden-Genauigkeit.

Das Prinzip der optischen Interferenz stellt die Grundlage für die Laser-Doppler-Vibrometrie dar. Es besagt, dass die Gesamtintensität aus der Überlagerung zweier zeitlich kohärenter Lichtstrahlen von der Phasendifferenz der beiden Lichtstrahlen abhängig ist. Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau der verwendeten Vibrometer.

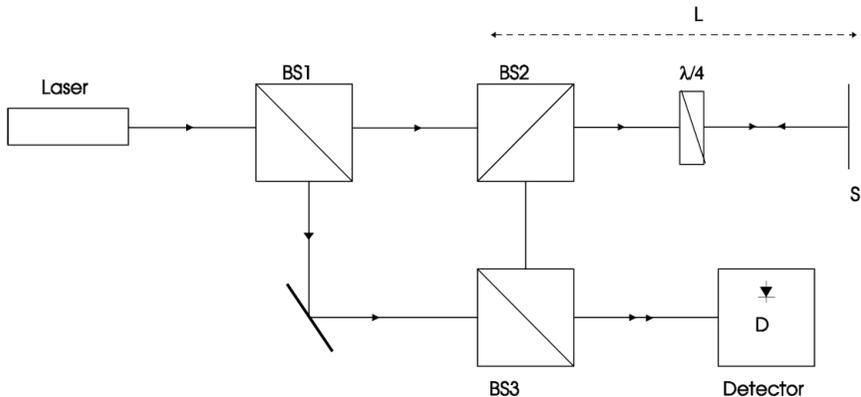


Abbildung 1: Modifizierter Mach-Zehnder-Vibrometer /1/

Der Strahl eines Helium-Neon-Lasers wird von dem Strahlteiler (BS 1) in einen Mess- und einen Referenzstrahl aufgeteilt. Der Messstrahl passiert den Polarisationsstrahlteiler (BS2) und die Lambda-Viertel-Platte und wird vom Messobjekt S reflektiert. Dieser reflektierte Strahl wird von BS2 abgelenkt und überlagert mit dem Referenzstrahl hinter dem Strahlteiler BS3. Der Fotodetektor gibt die Intensität des überlagerten Strahls als elektrisches Signal aus.

Für die Phasendifferenz $\Delta\Phi$ der beiden Strahlen gilt /1/:

$$\Delta\Phi = \frac{4 \cdot \pi \cdot L}{\lambda} = 2 \cdot \pi \cdot f_D \cdot t = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{2 \cdot v}{\lambda} \right) \cdot t$$

Dabei ist λ die Wellenlänge des Helium-Neon-Lasers (633 nm), t die Zeitdauer der Änderung des Abstands L zwischen BS2 und Messobjekt und f_D die Doppler-Frequenzverschiebung, welche von der Geschwindigkeit des Messobjekts v und der Wellenlänge des Lasers abhängig ist. Durch die Intensität lässt sich also die Phasendifferenz bestimmen, und somit auch die Doppler-Frequenzverschiebung bzw. die gesuchte Schwingungsgeschwindigkeit.

Um die Rotationsgeschwindigkeit eines rotierenden Körpers zu messen, werden zwei oben beschriebene Interferometer parallel zueinander angeordnet verwendet (Abbildung 2), welche die horizontalen Bauteilgeschwindigkeiten v_A und v_B der tangentialen Geschwindigkeiten v_{tA} und v_{tB} messen. Die Abstände zwischen Messpunkten A, B und die Drehachse des Körpers werden mit R_A und R_B gekennzeichnet. Es kann bewiesen werden, dass die Rotationsgeschwindigkeit ω durch die von beiden Interferometer gemessenen Doppler-Frequenzverschiebungen f_{DA} und f_{DB} mit der Formel

$$f_{DA} + f_{DB} = \frac{2 \cdot d \cdot \omega}{\lambda} \tag{2}$$

bestimmt werden kann [1]. Dabei ist d der Abstand der beiden Messstrahlen.

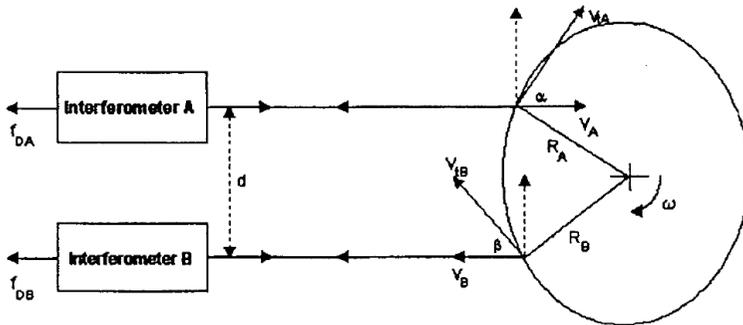


Abbildung 2: Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit aus zwei Interferometern /1/

Messaufbau

Der Messaufbau zur Messung von Geschwindigkeiten eines Antriebsstranges mit einem Rotations-Laservibrometer ist trivial. Neben dem Laservibrometer wird ein Messverstärker benötigt, welcher den analogen Drehzahl-Messwert in ein digitales Signal umwandelt. Dieses digitale Signal kann anschließend für weitere Untersuchungen am Messcomputer verwendet werden. Lediglich das Ausrichten des Lasers bedarf ein gewisses Feingefühl. Für eine gültige Messung sind die beiden austretenden Laserstrahlen so auszurichten, dass diese parallel zu der

Senkrechten der Drehachse liegen. Die Ausrichtungsgenauigkeit wird dem Anwender anhand von drei Status-LEDs signalisiert.

Messverlauf und Messergebnis

Die mit diesem Messverfahren möglichen Messungen werden anhand zweier beispielhafter Messschriebe dargestellt. Untersucht wurde ein Synchron-Servomotor, welcher über ein Getriebe eine maximale Drehzahl am Abtrieb von ca. 670 U/min aufweist.

Der erste Messschrieb zeigt den Verlauf der Geschwindigkeit bei einer Positionier-Ablaufsteuerung. Hier wird dem Motor eine Soll-Position vorgegeben, welche unter Berücksichtigung von Größen wie maximalem Drehmoment und maximaler Drehzahl versucht wird zu erreichen. Werden keine Grenzen definiert, erfolgt die Positionierung entlang der Stromlinie und ist damit nur noch abhängig von den Regelparametern des Umrichters. Abbildung 3 zeigt das Geschwindigkeitsprofil, welches entsteht, wenn eine Positionierung gestartet wird und die Maximaldrehzahl schnellstmöglich erreicht wird.

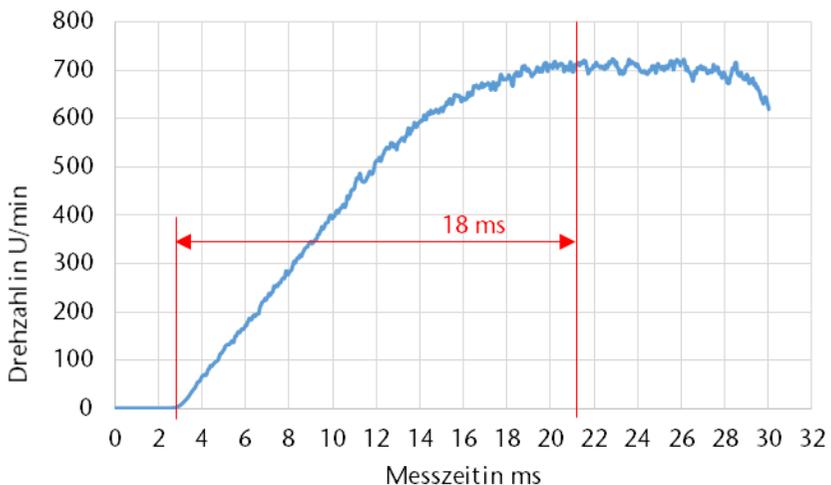


Abbildung 3: Geschwindigkeitsprofil Positionier-Ablaufsteuerung

Zu erkennen ist, dass die Geschwindigkeit bis zu einer Drehzahl von ca. 600 U/min linear ansteigt und kurz vor Erreichen der Maximaldrehzahl einen flacheren Verlauf annimmt, da aufgrund der Motorkennlinie das maximale Moment in Bereichen der Grenzgeschwindigkeit abnimmt. Wird die Zeit zwischen Drehzahl null und Maximaldrehzahl gemessen, ist eine Beschleunigungszeit von ca. 18 ms erreichbar.

Neben der Positionier-Ablaufsteuerung gibt es diverse weitere Applikationen, um einem Synchron-Servomotor eine Verfahrenweisung zu übermitteln. Eine weitere gängige Applikation ist der Drehzahlfolger. Dieser wird eingesetzt, wenn Geschwindigkeitsprofile realisiert werden sollen. Den gemessenen Verlauf der Geschwindigkeit bei Beschleunigung auf Maximaldrehzahl und Invertierung der Drehzahlvorgabe mithilfe der Drehzahlfolger-Applikation ist in Abbildung 4 dargestellt.

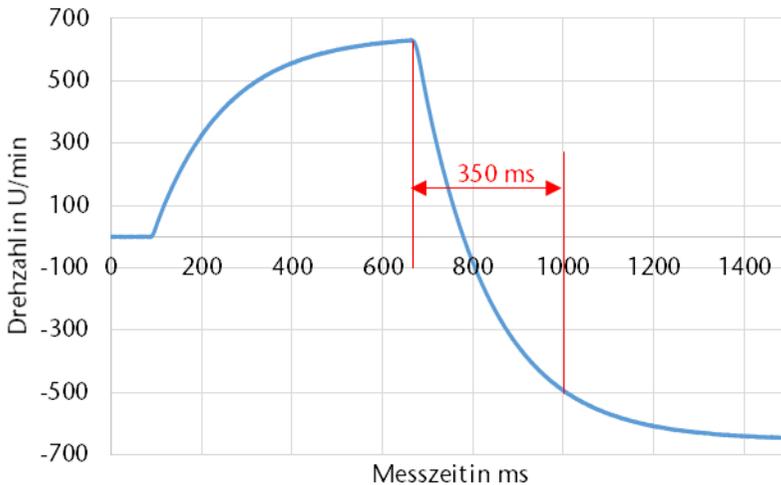


Abbildung 4: Geschwindigkeitsprofil Drehzahlfolger

Bereits an der Einteilung der Abszisse ist zu erkennen, dass die Beschleunigungszeiten hier deutlich von denen der Positionier-Ablaufsteuerung abweichen. Um Maximaldrehzahl zu erreichen, wird eine Zeit von über 500 ms benötigt. Der Geschwindigkeitsverlauf ist nicht ebenso linear wie bei der Positionier-Ablaufsteuerung, sondern nimmt einen weichen, kurvenartigen Verlauf an. Wird der Zeitpunkt betrachtet, ab dem die Drehzahlvorgabe invertiert wird, ist zunächst der gewünschte lineare Verlauf, der die maximale Beschleunigung andeutet, zunächst zu erkennen. Ab Drehrichtungsumkehr wird die Beschleunigung abgeschwächt und die Geschwindigkeit nähert sich der Maximaldrehzahl an. Die Zeit zwischen Sollwertinvertierung und Erreichen einer tolerierbaren Negativdrehzahl beträgt minimal ca. 350 ms. Dieser Wert wurde herangezogen, um Vergleichsmessungen bei Variation der Regelparameter und Grenzwertvorgaben durchzuführen. In den Untersuchungen konnte kein signifikanter Parameter erörtert werden, der zu einer Optimierung der Beschleunigungszeiten des Motors führt, wonach Abbildung 4 den charakteristischen Grenzwert-Verlauf der Drehzahlfolger-Applikation darstellt.

Zusammenfassung und Fazit

Um die Performance von Motoren untersuchen zu können, wurde am Institut für Maschinenwesen in Kooperation mit dem Institut für Elektrische Informationstechnik geprüft ob Rotations-Laservibrometer für diese Aufgabe geeignet sind. Es hat sich gezeigt, dass mit einer Auflösung im MHz-Bereich die Drehzahlverläufe sehr genau aufgezeichnet werden können. Ein großer Vorteil ist die berührungslose Messmethode und der simple Messaufbau, sodass auch an bereits bestehenden Antriebssträngen Messungen durchgeführt werden können, ohne mechanisch gekoppelte Messtechnik verbauen zu müssen. Speziell für den Abgleich der Motor-Regelparameter für einen speziellen Lastfall kann mit dem mobil einsetzbaren Laser-Vibrometer der Ist-Zustand analysiert und die Performance durch Parametervariation optimiert werden.

Um hochdynamische Prüfabläufe zu erfassen und zu optimieren, wird diese Messmethode in Zukunft häufiger am Institut für Maschinenwesen zum Einsatz kommen.

Literatur

/1/ User Manual, Rotational Vibrometer, Polytec GmbH