

Anwendung des Quellendeskriptors zur Entwicklung vibrationsarmer Maschinen und Anlagen

Agnes T.L. Sayer, Hannes A. Bonhoff

Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, TA7, Einsteinufer 25, 10587 Berlin, Deutschland

Email: agnes.sayer@tu-berlin.de

Einleitung

Bei Maschinen sowie bei Anlagensystemen werden Schwingungen von der Quelle über mehrere Berührungspunkte an Empfängerstrukturen weitergegeben. Die Größe, die diese Übertragung beschreibt, ist die komplexe Leistung. Diese wird durch die Einführung von Interface-Mobilitäten in einzelne Ordnungen aufgeteilt und weiterhin in zwei Terme aufgespalten [1]. Der Quellendeskriptor beschreibt diejenige Leistung, die ohne innere Anregung der Quelle auf die Berührungspunkte aufgebracht werden muss, um die freie Schnelle zu generieren.

Die Kopplungsfunktion stellt dar, wie stark die einzelnen Ordnungen des Quellendeskriptors übertragen werden.

Für eine Quelle, bei der eine bestimmte Ordnung dominiert, muss genau diese Ordnung verringert werden, um den Quellendeskriptor und damit die komplexe Leistung zu minimieren. In diesem Beitrag wird untersucht, welche Möglichkeiten zur Verkleinerung der Ordnungen des Quellendeskriptors existieren.

Konzept der Interface-Mobilitäten

Die Idee der Interface-Mobilitäten ist es, eine theoretische Linie durch alle Berührungspunkte zwischen Quelle und Empfänger zu ziehen, welche das Interface darstellt [2]. Auf diesem Interface werden die Kraft- und Schnelleverteilungen mithilfe einer örtlichen Fourier Reihe in einzelne Ordnungen aufgespalten.

Für die Ordnungen der Schnelle gilt somit [2]

$$\hat{v}_p = \frac{1}{C} \int_0^C v(s) e^{-jk_p s} ds. \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

Für die Interface-Zahl k_p gilt $k_p = \frac{2p\pi}{C}$. Dabei steht C für die Kontur des Interfaces und s ist die Koordinate der Schnelle. Die einzelnen Ordnungen werden von p dargestellt.

Die nullte beziehungsweise erste Ordnung der Schnelle entspricht bei einem kreisförmigen Interface der Schnelleverteilung, die bei einer rein translatorischen beziehungsweise rein rotatorischen Bewegung der Quelle entsteht. Diese Bewegungen stellen die Starrkörperbewegungen dar [2].

Für die aus Kraft und Schnelle bestimmten Mobilitäten gilt [2]

$$\hat{Y}_{pq} = \frac{1}{C^2} \int_0^C \int_0^C Y(s|s_0) e^{-jk_p s} e^{-jk_q s_0} ds ds_0. \quad (\text{m}/(\text{Ns})) \quad (2)$$

Hier stellt s_0 die Koordinate der Kraftanregung dar. Die Interface-Zahl k_q ist definiert als $k_q = \frac{2q\pi}{C}$, wobei für

beide Ordnungsparameter gilt $p, q \in \mathbb{Z}$.

Die komplexe Leistung ergibt sich dann zu [2]

$$Q = \frac{1}{2} \sum_{p=-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{v}_{p,FS}|^2 \hat{Y}_{p-p,R}}{|\hat{Y}_{p-p,S} + \hat{Y}_{p-p,R}|^2}. \quad [\text{Nm/s}] \quad (3)$$

In dieser Gleichung entspricht $\hat{v}_{p,FS}$ der freien Schnelle der Quelle. Größen mit dem Index R sind Eigenschaften des Empfängers und Größen mit dem Index S charakterisieren die Quelle.

Wird die komplexe Leistung mit der komplex konjugierten Mobilität der Quelle erweitert, kann diese in zwei Terme aufgespalten werden.

$$Q = \sum_{p=-\infty}^{\infty} S_p \cdot C_{f,p}. \quad [\text{Nm/s}] \quad (4)$$

Für den Quellendeskriptor ergibt sich dann

$$S_p = \frac{1}{2} \frac{|\hat{v}_{p,FS}|^2}{\hat{Y}_{p-p,S}^*}. \quad [\text{Nm/s}] \quad (5)$$

und für die Kopplungsfunktion

$$C_{f,p} = \frac{\hat{Y}_{p-p,S}^* \hat{Y}_{p-p,R}}{|\hat{Y}_{p-p,S} + \hat{Y}_{p-p,R}|^2}. \quad [1] \quad (6)$$

Manipulation des Quellendeskriptors

Durch Veränderungen der aktiven Eigenschaft der Quelle, der freien Schnelle, können die Ordnungen des Quellendeskriptors verschoben werden. Diese Modifikationen wurden in einem analytischen Quelle-Modell untersucht. Dieses Modell besteht aus zwei Bauteilen, einer starren Masse und einer Platte. Dadurch ist gewährleistet, dass die charakteristischen Bereiche der Quellenmobilität, nämlich der Massenbereich, die Anti-Resonanz, der Steifigkeits- und der Resonanzbereich, in der numerisch betrachteten Quelle vorhanden sind. Die Bauteile sind über vier Berührungspunkte miteinander verbunden. An der Platte befinden sich außerdem vier Punkte, die das Quelle-Empfänger-Interface darstellen.

Um die Manipulierbarkeit des Quellendeskriptors aufgrund Veränderungen der freien Schnelle zu untersuchen, wird die Quelle an unterschiedlichen Punkten translatorisch oder rotatorisch angeregt. Für eine translatorische Kraftanregung, die irgendwo auf der Quelle, jedoch nicht im Quellenmassenmittelpunkt stattfindet, treten alle drei relevanten Ordnungen des Quellendeskriptors auf, siehe

Abbildung 1. Nach [2] sind diese für ein 4-Punkt-Interface ausreichend, um eine annähernd vollständige Darstellung zu erhalten.

Die Ordnungen +1 und -1 sind bei dieser Art der Anregung identisch [2], deshalb wird in den Diagrammen nur die Ordnung +1 dargestellt.

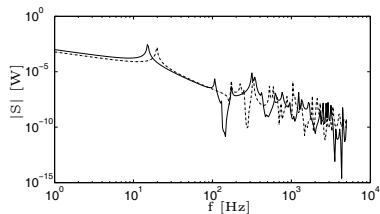


Abbildung 1: Ordnungen des Quellendeskriptors bei einer translatorischen Anregung irgendwo auf der Quelle, allerdings nicht im Quellenmittelpunkt; —: S_0 , - -: S_{+1} .

Wird nun die Anregung auf der Quelle so verschoben, dass sie am Quellenmassenmittelpunkt stattfindet, verringern sich die ersten beiden Ordnungen, siehe Abbildung 2. Bei diesem Anregepunkt dominiert die translatorische Bewegung der Quelle. Rotatorische Bewegungen um die x- und y-Achse treten kaum auf.

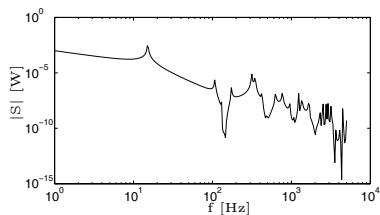


Abbildung 2: Ordnungen des Quellendeskriptors bei einer translatorischen Anregung am Quellenmittelpunkt; —: S_0 , - -: S_{+1} .

Weiterhin kann auch versucht werden, den Quellenmassenmittelpunkt auf den Anregepunkt zu legen. So kann durch ein seitliches Befestigen einer zusätzlichen Masse an der Quelle der Massenmittelpunkt selbiger verschoben werden.

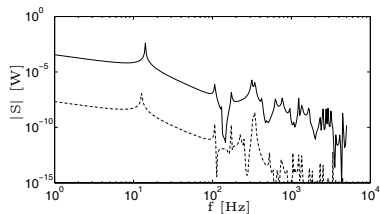


Abbildung 3: Ordnungen des Quellendeskriptors: Verschiebung des Quellenmittelpunktes auf den Anregepunkt; —: S_0 , - -: S_{+1} .

Gezeigt werden die Ordnungen des Quellendeskriptors nach einer Verschiebung des Quellenmittelpunktes auf den Anregepunkt. Deutlich zu erkennen ist, dass die erste Ordnung wesentlich kleiner ist als die nullte Ordnung.

Im Vergleich mit Abbildung 1 zeigt sich, dass die erste Ordnung in Abbildung 3 deutlich geringere Werte

annimmt als bei Abbildung 1.

Bei einer Änderung der Anregungsart von Kraft- auf Momentanregung verringert sich die nullte Ordnung. Die rotatorische Bewegung der Quelle ist hier dominant, siehe Abbildung 4.

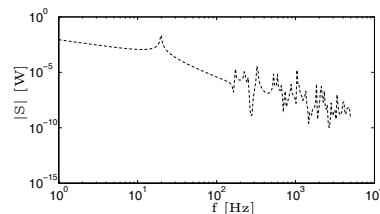


Abbildung 4: Ordnungen des Quellendeskriptors bei einer Momentanregung um die x-Achse; —: S_0 , - -: S_{+1} .

Zusammenfassung

Festzustellen ist, dass die Ordnungen des Quellendeskriptors verringert werden können. Diese Änderungen können durch eine Verschiebung des Anregepunktes, eine Verschiebung des Quellenmittelpunktes und eine Veränderung der Anregungsart realisiert werden.

Für Quellen, bei denen der Quellendeskriptor aus einer dominanten nullten Ordnung besteht, die in den Empfänger übertragen wird, kann durch einen Übergang von Kraft- zu Momentanregung diese Ordnung stark verringert werden.

Bei Quellendeskriptoren mit dominanten ersten Ordnungen können diese auf zwei Arten verringert werden. Zu Einem kann der Anregepunkt so verschoben werden, dass er mit dem Quellenmittelpunkt übereinstimmt, und zum Anderen gibt es die Möglichkeit die Quelle so zu verändern, dass der Quellenmittelpunkt auf den Anregepunkt fällt. Diese Ergebnisse wurden theoretisch ermittelt und in Experimenten validiert.

Weiterhin müssen diese Resultate in der Praxis erprobt werden.

Literatur

- [1] Mondot, J.M., Petersson, B.A.T.: Characterization of structure-borne sound sources: The source descriptor and the coupling function. *Journal of Sound and Vibration* 114 (1987), 507 - 518
- [2] Bonhoff, H.A.: The influence of cross-order terms in interface mobilities for structure-borne sound source characterization. *Journal of Sound and Vibration* 329 (2010), 3280 - 3303