

Über dieses Dokument

Inhalt

Das vorliegende Dokument ist der dritte Teil einer Reihe von vier Application Notes über Strukturodynamik. Das Dokument beinhaltet eine Einführung in die Betriebs-schwingformanalyse mit Informationen über die Anwendungsmöglichkeiten und das generelle Vorgehen.

1. Einleitung _____ 1
2. Erfassung der Beschleunigungen _____ 2
3. Ablauf einer Betriebsschwingformanalyse _____ 3

Zielgruppe

Dieses Dokument dient als Einstieg in die Strukturodynamik und wendet sich an Akus-tiker¹, die sich über die Grundlagen der Betriebsschwingformanalyse informieren möchten.

Fragen?

Sie haben Fragen? Wir freuen uns über Ihre Rückmeldungen!

Fragen zum Inhalt dieses Dokuments: Imke.Hauswirth@head-acoustics.com

Technische Fragen zu unseren Produkten: SVP-Support@head-acoustics.com

Strukturdynamik – Teil 3 (ODS)

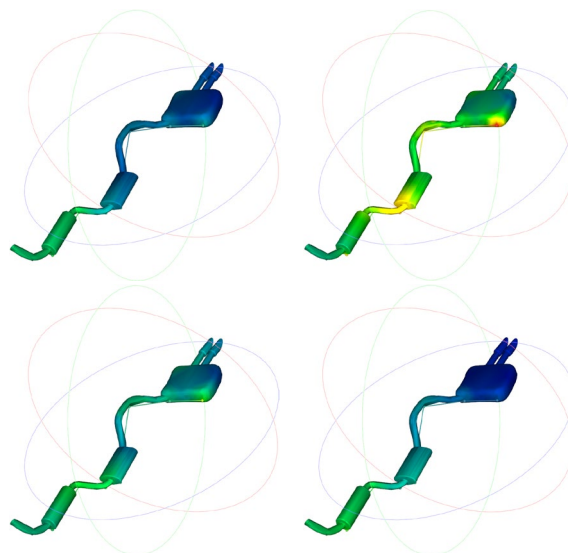
1. Einleitung

Was ist eine Betriebsschwingformanalyse?

Mittels der Betriebsschwingform-analyse (engl. operational deflection shape analysis, kurz ODS) werden die Schwingformen unter Betriebs-lasten bestimmt. Das Ergebnis der Betriebsschwingformanalyse zeigt also, wie sich eine Struktur unter realen Betriebsbedingungen dyna-misch verhält.

Die gewählten Betriebsbedingungen wie Drehzahl, Last oder Temperatur beeinflussen die Anregungsfunktion und somit auch das Ergebnis. Führen

die gewählten Betriebsbedingungen dazu, dass eine bestimmte Frequenz während der Messung nicht angeregt wird, kann das Testobjekt auch nicht mit dieser Frequenz schwingen. Die entsprechende Schwingungsform kann nicht aufgezeichnet werden, da die nötige Anregung nicht vorhanden war.



¹ Im nachfolgenden Text wird verallgemeinernd das generische Maskulinum verwenden. Dies soll ausschließlich der besseren Lesbarkeit dienen. Selbstverständlich möchten wir gleichermaßen alle Geschlechter ansprechen bzw. einbeziehen.

Welche Informationen werden gewonnen?

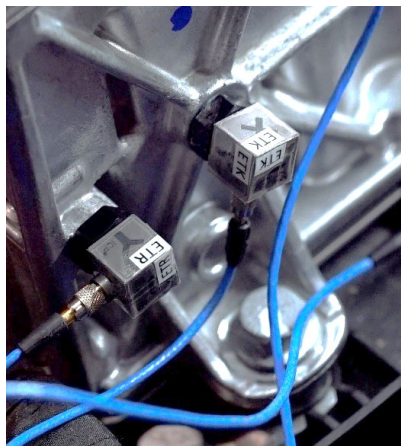
Die Betriebsschwingformanalyse liefert also kein systembeschreibendes, mathematisches Modell, wie dies bei der experimentellen Modalanalyse der Fall ist. Aus den gemessenen Betriebsschwingformen kann nicht auf das Systemverhalten bei einer anderen Lastsituation geschlossen werden. Dennoch liefert die Betriebsschwingformanalyse wertvolle Hinweise z. B. über hohe Auslenkungen bei bestimmten Frequenzen. Für die Bearbeitung strukturdynamischer Fragestellungen ist es in vielen Fällen am besten, wenn sowohl Betriebsdaten als auch modale Daten vorliegen. Auf diese Weise kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob die bei der Modalanalyse gefunden Eigenfrequenzen im tatsächlichen Betrieb überhaupt angeregt werden. Ist dies nicht der Fall, stellen die Eigenfrequenzen des Systems meist kein Problem dar.

Zur Ermittlung der Betriebsschwingformen wird während des Betriebs die Schwingung der Struktur an mehreren Punkten gemessen. Diese Messung kann mittels Weg-, Schnelle- oder Beschleunigungsaufnehmer erfolgen. Am häufigsten kommen hierfür Beschleunigungsaufnehmer zum Einsatz.

2. Erfassung der Beschleunigungen

Hinweise zu Beschleunigungssensoren

Mithilfe von Beschleunigungssensoren lassen sich die Beschleunigungen der Struktur messen. Meist werden piezoelektrische Beschleunigungssensoren eingesetzt. Beim Anbringen der Beschleunigungsaufnehmer muss berücksichtigt werden, dass das Aufbringen von zusätzlichen Massen auf eine Struktur die Eigenfrequenzen in niedrigere



Frequenzbereiche verschiebt. Der Gewichtseinfluss der Beschleunigungsaufnehmer darf nicht unterschätzt werden. Um diesen Effekt zu reduzieren, sollte die Sensormasse im Vergleich zur Masse der Struktur sehr klein sein. Weiterhin muss das Kabel des Sensors so verlegt werden, dass Störeinflüsse minimiert werden.

Abgesehen von den Sensoreigenschaften entscheidet auch die Befestigung des Sensors auf der Struktur über den erfassbaren Frequenzbereich. Neben der permanenten Befestigung, durch Schrauben oder Steckverbindungen, können die Sensoren magnetisch oder mit Wachs oder Klebstoff (z. B. Sekundenkleber oder X60) an der Struktur angebracht werden. Je höher der gewünschte Frequenzbereich, desto steifer muss die Verbindungen zwischen Sensor und Struktur sein.

Beschleunigungsaufnehmer haben üblicherweise einen Messbereich zwischen 1 und 10.000 Hz. Es muss darauf geachtet werden, dass die Eigenfrequenz des Sensors nicht im angestrebten Messbereich liegt.

Beschleunigungsaufnehmer haben üblicherweise einen Messbereich zwischen 1 und 10.000 Hz. Es muss darauf geachtet werden, dass die Eigenfrequenz des Sensors nicht im angestrebten Messbereich liegt.

Wahl des Koordinatensystems

Die Ausrichtung der Beschleunigungsaufnehmer muss auf das lokale Koordinatensystem des zugehörigen Messpunkts abgestimmt werden (siehe auch 1. Schritt im folgenden Kapitel), ansonsten kommt es zu Fehlern bei der Modalanalyse. Die lokalen Koordinaten werden durch ArtemiS SUITE automatisch im Hintergrund in ein globales Koordinatensystem transformiert. Durch die Auswahl eines geeigneten lokalen Koordi-

natensystems kann in vielen Fällen auf das Applizieren der Beschleunigungsaufnehmer mit Montageplättchen² verzichtet werden.

Der ideale Beschleunigungssensor

Ein idealer Beschleunigungsaufnehmer sollte eine hohe Empfindlichkeit, einen breiten Frequenzbereich und eine geringe Masse besitzen. In der Realität müssen allerdings meist Kompromisse gemacht werden, da z. B. eine hohe Empfindlichkeit oft eine höhere Masse des Sensors erfordert.

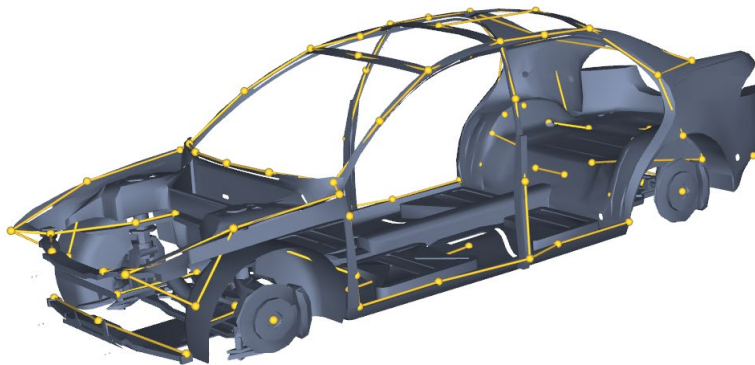
Laservibrometer

In einigen Anwendungsfällen ist der Einsatz von berührenden Sensoren nicht sinnvoll oder technisch nicht möglich, etwa bei einem ungünstigen Massenverhältnis zwischen Sensor und Messstruktur. Hier ist der Einsatz eines Laser-Doppler-Vibrometers als berührungslose Messmethode zu erwägen, da diese die Bewegung der Struktur ohne das Aufbringen zusätzlicher Masse bestimmen können.

3. Ablauf einer Betriebsschwingformanalyse

Modellerstellung

Bevor mit den Messungen begonnen werden kann, muss ein Modell der zu untersuchenden Struktur erstellt werden. Die Struktur wird dazu mit einer endlichen Anzahl



von Strukturpunkten angenähert. Dabei ist es wichtig, für die Modellerstellung und alle Messungen einheitliche Koordinatensysteme und einheitliche Messpunktbezeichnungen zu verwenden. Nur so kann eine fehlerfreie Zuordnung der Messergebnisse bei der Auswertung erfolgen. Für eine realisti-

schere Visualisierung können in ArtemiS SUITE zusätzlich zu den Messpunkten auch Modellpunkte in Form eines 3D-Modells des Messobjekts angelegt werden.

Auswahl sinnvoller Messpunkte

Weiterhin muss die Anzahl und Position der Mess- bzw. Strukturpunkte bei der Modellerstellung so gewählt werden, dass die Schwingformen im gewünschten Frequenzbereich auch tatsächlich identifiziert werden können. Wie bei der zeitlichen Diskretisierung analoger Signale können Strukturschwingungen nur dann valide identifiziert werden, wenn eine adäquate Anzahl von Messpunkten betrachtet wird. Andernfalls werden bei höherfrequenten Schwingungen die entsprechenden Schwingformen nicht korrekt erkannt, sondern zeigen stattdessen dieselben räumlichen Schwingungsbilder wie Schwingformen mit niedrigerer Frequenz (räumlicher Aliasing-Effekt). Außerdem muss berücksichtigt werden, dass ein Sensor, der an einem Knotenpunkt einer Schwingform appliziert wurde, diese nicht aufzeichnen kann.

Transmissibilitäten

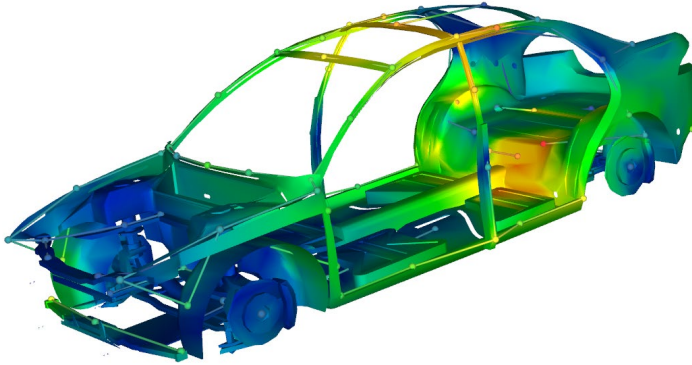
Statt Übertragungsfunktionen werden bei der Betriebsschwingformanalyse die Transmissibilitäten (Verhältnis Messsignal zu Referenzsignal) für jeden Messpunkt bestimmt. Dazu muss bei der Messung die Phasenbeziehungen der Messsignale untereinander erfasst werden; entweder indem alle Messpunkte gleichzeitig erfasst

² Montageplättchen werden ansonsten verwendet, um den Winkel des Sensors an das globale Koordinatensystem anzupassen.

werden oder durch die Aufzeichnung eines Referenzkanals, der bei jeder Messung gleichbleibt. Bei der Durchführung der Wiederholungsmessungen muss darauf geachtet werden, dass das Anregungssignal so exakt wie möglich reproduziert wird.

Visualisierung

Für die Betriebsschwingformanalyse werden die gemessenen Zeitdaten dann spektral analysiert. Basierend auf diesen Daten können dann die Schwingungsformen für eine



ausgewählte Frequenz anhand des zuvor erstellten 3D-Modells animiert dargestellt werden. Im Gegensatz zur Modalanalyse zeigt diese Visualisierung nicht von der Anregung unabhängige Eigenmoden, sondern Schwingungsformen, die sich aus der Anregungsfunktion und den dynamischen Eigenschaften des Systems zusammensetzen.

Shape Table und MPC-Wert

Mithilfe der frequenzabhängigen Visualisierung der gemessenen Bewegungen werden auffällige Frequenzen detektiert. Diese können in ArtemiS SUITE als Schwingungsform identifiziert und in einer Schwingungsform-Tabelle (Shape table) zusammengefasst werden. Als Hilfsmittel für eine sinnvolle Auswahl von Schwingformen kann der MPC-Wert (Modal Phase Collinearity) dienen. Dieser Wert beschreibt die Kollinearität der Phase der gemessenen Kanäle bei der ausgewählten Frequenz. Der Wert liegt zwischen 0 und 1, wobei 1 für eine hohe Kollinearität der Phase der einzelnen Messpunkte steht, d. h. die Messpunkte schwingen gleichphasig bzw. um 180° entgegengesetzt. Je größer die Phasenunterschiede sind, desto mehr tendiert der Wert gegen 0.

Weitere Auswertungen

Die Ergebnisse der Betriebsschwingformanalyse lassen sich direkt zur Optimierung des Schwingungsverhaltens nutzen. Durch die Kenntnis von kritischen Frequenzen mit hohen Amplituden in der Strukturantwort können Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden. Grundsätzlich sind hierfür zwei Ansätze möglich: Durch eine strukturelle Modifikation der Struktur kann diese verstärkt werden, so dass eine Anregung bei der kritischen Frequenz nicht mehr zu den ungewollten hohen Amplituden führt. Die andere Möglichkeit besteht darin das Frequenzspektrum der Anregungskraft so zu optimieren, dass die kritische Frequenz nicht mehr oder weniger stark vorhanden ist und somit die ungewünschten Schwingungen nur noch in abgeschwächter Form hervorruft. Weiterhin können die Ergebnisse der Betriebsschwingformanalyse mit den Ergebnissen einer Modalanalyse oder einer numerischen Simulation verglichen werden. In ArtemiS SUITE ist dies sehr komfortabel mit dem Schwingungsformen-Vergleichs-Projekt möglich.



Weiter zur [vierten Application Note zur Strukturanalyse über den Vergleich der Ergebnisse](#) aus unterschiedlichen strukturdynamischen Untersuchungen.