

Ergebnisse der Diskussion zu Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung der Blocked Force Methode

Prof. Dr. Benno Kotterba, DGaQs e.V. Karlsruhe

Donnerstag, 01.02.2018, 10 bis 16 Uhr
im Akademie Hotel, Am Rüppurrer Schloss 40, 76199 Karlsruhe

Inhalt

| | |
|---|---|
| Einleitung | 1 |
| Übersicht | 2 |
| Fragen, Anmerkungen und Folgerungen aus den Diskussionen | 3 |
| Ergebnisse der Studie an Labor-Messeinrichtungen..... | 3 |
| Einflüsse auf die Messungen in einem Blocked force Prüfstand | 3 |
| Zielsetzung für und Anforderungen an die Blocked Force Methode beim Einsatz in einem Prüfstand | 4 |
| Aktuelle Situation (nach Befragung der Teilnehmer): | 5 |
| Offen sind folgende Fragen:..... | 6 |
| Schlussfolgerungen | 6 |
| Zielsetzung für weiterführende Untersuchungen und Studien..... | 6 |
| Einsatz im Bereich Entwicklung:..... | 6 |
| Möglicher Einsatz für eine fertigungsnahe offline* Beurteilung der Qualität der Produktionsprozesse.... | 6 |

Einleitung

Die Messung und Prüfung von Aggregaten (Motoren, Antriebe, Wälzlager, usw.) zum Nachweis der Qualität ist grundsätzlich mit verschiedenen Messmethoden möglich. Der subjektiven Wahrnehmung durch das Ohr kommt sicher die Messung und Bewertung des Luftschalls am nächsten. In der Produktion sind Luftschallmessungen allerdings problematisch oder mit einem hohen Aufwand verbunden, um Störgeräusche aus der Umgebung zu unterdrücken.

In der Produktion werden daher häufig Körperschallmessungen mittels Beschleunigungsaufnehmern vorgenommen. Dazu ist erforderlich, die Prüflinge in eine Struktur einzubringen, die selbst

Postanschrift:
DGAQS
Reinhold-Schneider-str. 38
D – 76199 Karlsruhe

Kontakt:
Tel: +49 – 721 - 9379245
Fax: +49 – 721 – 9379246
E-Mail: info@dgaqs.de
www.dgaqs.de

Vorstand:
Prof. Dr. Benno Kotterba
Gerd Pecher
Rüdiger Ruddies

Bankverbindung:
Sparkasse Karlsruhe
IBAN
DE73 6605 0101 0022 3017 74
BIC KARSDE66XXX

schwingungsfähig ist und dadurch Rückwirkungen auf das Abstrahl- und Schwingungsverhalten des Prüflings hat. Das Messergebnis entsteht aus den resultierenden Schwingungen zweier gekoppelter dynamischer Systeme und ist deshalb hinsichtlich der Eigenschaften des Prüflings nur bedingt aussagekräftig.

Um diese Rückwirkung zu vermeiden wird seit einiger Zeit die Methode der Blocked Force Methode propagiert. Dazu wird eine modifizierte Quasi-Transferpfadanalyse durchgeführt, bei der der Prüfling an eine große Masse ankoppelt wird. An den Befestigungspunkten werden die eingeleiteten Kräfte in allen drei Raumachsen mittels Triaxial-Kraftsensoren erfasst und ausgewertet. Diese Methode bestimmt unter idealen Bedingungen aus den dynamischen Kraftverläufen an den Befestigungspunkten das Schwingungsverhalten des Prüflings. Dabei hat in der Theorie die große Masse keine Rückwirkung und damit keinen Einfluss, da sie als nicht schwingungsfähiges System angenommen wird.

Theoretisch scheint die Blocked Force Methode einige Vorteile zu bieten. Das sind z.B. die exakt definierbaren Messbedingungen sowie einfache und gut reproduzierbare Mess- und Prüfaufbauten. Allerdings hat diese Methode in der Praxis auch Grenzen und birgt Risiken. Sie lässt in jedem Fall keine Rückschlüsse auf das tatsächliche Schwingungsbild in der Applikation und damit auch keine Vorhersage für das Zusammenwirken mit angekoppelten Systemen zu.

Übersicht

In diesem Workshop wurden die Methode, die Ergebnisse einer VDA-initiierten Studie sowie praktische Beispiele vorgestellt und diskutiert.

Folgende Vorträge wurden gehalten:

- Prof. Dr. Benno Kotterba, DGaQs: Vorstellung und Einführung in die Methoden der Blocked Force Messung
- Dr. Otto Brass, Robert Bosch GmbH, Bühlertal: VAP - Verstellmotoren-Akustikprüfstand (Bsp. Fensterheber) – Bericht über eine untersuchung, die im Auftrag des VDA Arbeitskreises durchgeführt wurde
- Rüdiger Ruddies, Robert Bosch GmbH, Bühl: Zu bearbeitende Aufgaben und Grenzen der Blocked Force Methode beim Einsatz in einem Prüfstand
- Lothar Schmidt, DGaQs: Vorteile bzw. Nachteile der Blocked Force Methode gegenüber der herkömmlichen Körperschallmessung im EOL-Prüfstand (Wiederholgenauigkeit/Präzision und Eignung zur Unterscheidung von iO/niO Prüflingen)

Fragen, Anmerkungen und Folgerungen aus den Diskussionen

Ergebnisse der Studie an Labor-Messeinrichtungen

Die Diskussion der Blocked force Methode hat bereits eine längere Historie, bisher wurden damit aber noch keine Prüfstände realisiert und in der Produktionsumgebung eingesetzt. Nach einer VDA-Anfrage an Bosch wurde in einer umfangreichen Laborstudie die Methode untersucht und mit Ergebnissen aus Fahrzeugmessungen korreliert. Dazu wurden 96 Fensterheberantriebe (8-12 Nm) auf einer speziell konstruierten Blocked force Messeinrichtung gemessen, anschließend in ein Referenzfahrzeug eingebaut und dort der abgestrahlte Luftschall mit Kunstkopf aufgezeichnet.

In der Messeinrichtung findet die Übertragung der Schwingungsenergie zwischen Blocked force und Free-Free-Boundary statt (Energiefluss $F \cdot v$). Es handelt sich um die Kraftmessung in einer standardisierten Umgebung. Die Herausforderung lag dabei in der schwingungs- und torsionsfreien Ankopplung der Last. Gemessen wurde bis zu einer Bandbreite von ca. 50-70 Hz bis ca. 2 kHz. Schallabstrahlung über 2 kHz ist im Fahrzeug wegen der hohen Schalldämpfung des Gesamtsystems nicht von Bedeutung.

Beim Aufbau der Messeinrichtung müssen zur Sicherstellung der „unendlichen Masse“ die Impedanzen an den Ankopplungspunkten bestimmt werden. Gefordert wird dabei, dass die Eingangsimpedanz um den Faktor 10 höher ist als die Ausgangsimpedanz des Fensterheberantriebs (im Frequenzbereich bis 2.5 kHz).

Die Auswertung der Merkmale aus den linear summierten Signalen aller drei triaxialen Kraftaufnehmer zeigen folgende Bewertungen der Blocked force Methode:

- Verwendung des Kraftaufnehmers ist günstig, da er im Kraftfluss misst.
- Dublizierung der Prüfstände ist möglich.
- Prognosegüte bei Mittelwertbetrachtung (bei Varianten) beträgt ca. 2-3 dB (bei Verwendung von gemittelten Kraftmerkmalen, gemittelt über die verwendete Charge).
- Die gemittelten Merkmale zeigen eine hohe Korrelation zu Merkmalen aus LS-Messung im Fahrzeug.

Einflüsse auf die Messungen in einem Blocked force Prüfstand

In der Praxis werden folgende Einflüsse auf die Messungen in einem Blocked force Prüfstand wirksam:

- Montage des Kraftsensor zwischen Prüfling und großer Masse
 - Wegen der Wiederholpräzision muss der Sensor vorgespannt werden, daraus resultiert der Einfluss durch die Vorspannung und die Problematik „Sensor als Feder-Dämpfungs-System“

- Durch mehrere Montagepunkte erfolgt die Einleitung über mehrere Kontaktpunkte (= Feder u. Dämpfer), Ziel ist hier: möglichst starre Ankopplung und dadurch hohe Impedanz.
 - Im Prüfstand ist eine möglichst weiche Lagerung der großen Masse wünschenswert, um eine tiefe Eigenresonanz zu erreichen.
 - Durch die tiefe Eigenresonanz durch die Masse-Lagerung und die möglichst starre Ankopplung der Sensoren wird der spezifischer Messbereich begrenzt.
- Anwendung der Blocked force Methode zur Messung realer Produkte:
- Die gemessenen Kraftsignale werden für die Simulation der modellierten realen Struktur herangezogen. Damit könnte die Struktur unabhängig vom anregenden Produkt optimiert werden..

Zielsetzung für und Anforderungen an die Blocked Force Methode beim Einsatz in einem Prüfstand

Die aktuellen Erfahrungen mit der Blocked Force Methoden für den Einsatz in EOL-Prüfständen zeigen:

Wunsch und Forderungen des Managements hinsichtlich der möglichst wiederholbaren und zuverlässigen Messung der Akustik werden derzeit nicht erfüllt, da zu viele Fragen offen sind und bisher keine belastbaren Erfahrungen mit der Methode vorliegen.

- Probleme sind die ungeklärten Einflüsse in der Fertigung: Temperatur, Bauteileigenschaften, Feuchtigkeit, Takt-/Messzeit etc.

Mit der Blocked Force Methoden kann derzeit nur das Ziel als realistisch erreichbar bewertet werden, in Design- und Entwicklungs-Messeinrichtungen die Designvorgaben zu bestimmen und in gleichartigen offline-Messeinrichtungen zu verifizieren.

- Möglichkeit: gemessene Signale als Eingang in Simulation, Modellierung der Transferpfadanalyse
- Risiko: Fehlerhafte Signaldaten an OEM für die Verwendung in der Simulation zur Optimierung der Modelle angekoppelter Strukturen und damit in Folge fehlerhafte Anpassung in der Applikation
- notwendig: offener Austausch und Diskussion der Mess- und Simulationsergebnisse

Konformitätsnachweise und eine Validierung in der Fertigung sind derzeit nicht möglich.

- Ungeklärte Probleme der Blocked Force Methode in der Serie:

- bisher nur Aussagen als Mittelung vieler Messwerte über eine große Stichprobe von Prüflingen
- Methode zur Verarbeitung der Kraftsignale ungeklärt: lineare oder energetische Summation und Mittelung der Zeitsignale
- Einsatz im Takt der Prüfung in der Fertigung (z.B. Prüfzeit ca. 120s) nicht möglich, da für definierte Merkmale (Amplitudenmodulation) größere Messdauern erforderlich sind (z.B. Merkmale für Schwankung und Rauigkeit der Schallereignisse)
- Einfluss der Federsteifigkeit der vorgespannten Sensoren
- Derzeit keine Sensoren für große Prüflinge verfügbar (z.B. Fahrzeuggetriebe)
- Die Unterschiede der gemittelten Merkmale zwischen gleichen Blocked-Force-Prüfständen betragen bis zu 4 dB
- Hoher Aufwand für Anpassung an neue Applikation
- Kosten für 3-D-Kraftsensoren und Aufspannung bei 50-90 TEUR
- bisher keine Lösung für die störungsfreie Prüfung mit Last
- Hoher zeitlicher Wartungs-/Kalibrieraufwand (Demontage; Shaker etc.)
- Abgleich mehrerer Prüfstände (da Redundanz erforderlich um Taktzeit einzuhalten) schwierig, da es bisher keine zufriedenstellenden Kalibrierwerkzeuge und -verfahren gibt.

Aktuelle Situation (nach Befragung der Teilnehmer):

Welche Relevanz hat heute die Blocked Force Methode:

- Absicht:
 - Einsatz als Entwicklungs- und Designmesseinrichtung möglich; bisher gibt es keine als geeignet nachgewiesene Realisierungen als EOL-Prüfstände
 - Möglich ist durch Entwicklungs- und Designmesseinrichtung die Spezifikation von absoluten Werten für Zulieferprodukte (z.B. Verstellantriebe)
 - Serienbegleitende Messungen z.B. bei Hochlauf neuer Produkte allerdings vorerst nur Offline möglich und sinnvoll
- Anwendungsbereiche:
 - Designverifikation
 - Variantenvergleich
 - Simulation
 - Virtual acoustic prototyping
- Zielsetzung:
 - Reproduzierbare Ergebnisse an gleichen Prüfständen; Kunde \leftrightarrow Zulieferer
 - Komponentenbeschreibung und Identifikation der Einflüsse von Einbausituation/Applikation
 - Einbausituation beherrschen

Offen sind folgende Fragen:

- Zu welchen Zeitpunkten der Fahrzeugentwicklung werden die Signale aus den Blocked force Messungen für die Auslegung von Produkten und Strukturen berücksichtigt?
- Wie kann in einem Prüfstand die wiederholgenaue Ankopplung des Prüflings erfolgen, ohne ihn verschrauben zu müssen und durch eine außen gelagerte Haltevorrichtung die Schwingungseigenschaften des Transferpfades zu beeinflussen?

Schlussfolgerungen

- Eine praktikable technische Realisierbarkeit der Blocked force Methode ist schwierig und bisher nicht nachgewiesen/verifiziert.
- Die Blocked Force Methode ist für die statistische Prozesskontrolle offline parallel zu Standard EOL denkbar.

Es gilt Kunden und Qualitätssicherung zu überzeugen, dass derzeit eine 100% Prüfung mit Blocked Force (noch) nicht möglich ist, da es bisher keine geeigneten serientauglichen Mess- und Prüfeinrichtungen gibt und zudem weder Erfahrungen vorliegen noch die offenen Fragen geklärt sind.

Zielsetzung für weiterführende Untersuchungen und Studien

Einsatz im Bereich Entwicklung:

- Heute: Vereinbarung von Spezifikationen für neue Produkte und Designvalidierungen
- Neu:
 - Kombination von Blocked Force Methode zur Bestimmung der Signale des anregenden Objektes (z.B. Verstellmotor) und Verwenden der gemessenen Kraftsignale für die Simulation des Strukturverhaltens (auch Simulationen der Gesamtstrukturen durch OEMs)
 - Entwicklung und Designabgleich von Aggregaten sowie die Modellierung und Optimierung von Strukturen

Möglicher Einsatz für eine fertigungsnahe offline* Beurteilung der Qualität der Produktionsprozesse

- Mittelwertbetrachtung zur Erfassung von Qualitätsschwankungen und Prozessveränderungen

* außerhalb der Produktionsanlagen und EoL-Prüfeinrichtungen.