

Aktive Schwingungskompensation zur Innengeräuschkinderung in Fahrzeugen

F. Svaricek¹, H.-J. Karkosch², K. Kowalczyk¹, P.M. Marienfeld²

¹ *Institut für Systemdynamik u. Flugmechanik, 85577 Neubiberg, Deutschland, Email: ferdinand.svaricek@unibw-muenchen.de*

² *ContiTech Vibration Control GmbH, 30419 Hannover, Deutschland, Email: hans-juergen.karkosch@vc.contitech.de*

Einleitung

Das Innenraumgeräusch moderner Fahrzeuge setzt sich aus vielen einzelnen Geräuschquellen zusammen. Neben den Fahrbahnanregungen und der aerodynamischen Anregung ist heute wie früher der Verbrennungsmotor eine Hauptschwingungsquelle im Fahrzeug. Diese Schwingungen gelangen als Körperschall, zum Beispiel über die Schnittstelle „Motorlagersystem“, in den Fahrgastinnenraum. Dort werden sie zum Teil wieder als Luftschall emittiert und sind für die Insassen als Geräusch oder störende Vibrationen wahrnehmbar. Zur Eliminierung dieses Übertragungspfades sollte das Motorlagersystem ideal weich sein, um die Antriebseinheit bestmöglich zu isolieren. Auf der anderen Seite hat das Motorlagersystem u.a. die Aufgabe, die statische Last sowie das Antriebsmoment zu stützen. Hieraus resultiert eine möglichst hohe Steifigkeit der Lagerung, was im Zielkonflikt zu der akustischen Optimierung des Fahrzeugs steht.

Neue Antriebskonzepte verstärken Schwingungsprobleme

In der Vergangenheit haben sich die Gummi-Metall-Lager zu komplexen Bauteilen weiterentwickelt. Ein Beispiel hierfür ist das so genannte Hydrolager, welches durch Einsatz einer Flüssigkeit im Lagerinneren eine frequenzselektive Dämpfung erzeugt. Diese Bauteile werden für die Kraftfahrzeuge gezielt in Hinblick auf die jeweilige Motorisierung entwickelt.

In der jüngsten Zeit ist insbesondere in Nordamerika und Japan ein Trend zu erkennen, der neue Antriebskonzepte in den Fokus der Öffentlichkeit rückt. Dies liegt wohl zum Teil an den angekündigten gesetzlichen Forderungen nach reduzierten Flottenverbräuchen und geringeren Abgasemissionswerten sowie an dem gestiegenen Umweltbewußtsein der Automobilkäufer.

Beispiele für diese Antriebskonzepte sind Zylinderabschaltung und Hybridantrieb. Beide Konzepte stellen an das Motorlagersystem erhöhte Anforderungen. In Hinblick auf den in der Einleitung angesprochenen Zielkonflikt zwischen steifer und weicher Motorlagerung kann für zylinderabschaltbare Antriebe folgendes festgehalten werden:

- Das Tragen der statischen Last des vergleichsweise schweren Motors und das Stützen des Antriebsmoments bei Teil- sowie Vollzylinderbetrieb erfordert eine hohe statische Steifigkeit.
- Der unruhige zylinderabgeschaltete Betrieb erfor-

dert eine gute Isolation, das heißt, es ist eine geringe dynamische Steifigkeit gefordert.

Bei Hybridfahrzeugen muß hauptsächlich zwischen Benzin- oder Dieselmotoren unterschieden werden, welche in Kombination mit einem Elektromotor eingesetzt werden. Wirkt der Elektromotor nur unterstützend, spricht man von „milden Hybriden“. Kann das Fahrzeug hingegen längere Zeit ausschließlich mit dem Elektromotor fahren, wird dieses als „Voll-Hybrid-Antrieb“ bezeichnet. Unabhängig von dieser Unterscheidung können auch hier erhöhte Anforderungen an das Motorlagersystem festgestellt werden:

- Das Stützen der relativ schweren Hybridantriebseinheit erfordert eine hohe statische Steifigkeit.
- Durch das häufige An- und Abstellen des Verbrennungsmotors wird der kritische Bereich der Motorlagerungsresonanz häufig durchlaufen. Hier ist eine hohe Dämpfung gefordert.
- Die Drehzahl des Verbrennungsmotors ist häufig nicht starr an die Raddrehzahl gekoppelt. Damit das „Klangbild“ nicht zu stark beeinflusst wird, ist eine gute Isolation und somit eine geringe Steifigkeit notwendig.

Anhand der beiden Anforderungscharakteristika kann man erkennen, daß bei diesen Antriebskonzepten bezüglich der Aggregatlagerung Auslegungszielkonflikte bestehen, die sich mit herkömmlichen Techniken nicht lösen lassen.

Lösungsansätze zur Komfortverbesserung

Der Automobil- sowie Automobilzuliefererindustrie stehen verschiedene schwingungstechnische Komponenten und Systeme zur Verfügung, um den Komfort in Kraftfahrzeugen bei gestiegenen Anforderungen aufrecht zu erhalten oder zu verbessern. Hierzu zählen zum Beispiel Antischallsysteme, die ausschließlich den akustischen Komfort in der Fahrgastzelle verbessern können. Näher an der Schwingungsquelle wirken unter anderem adaptive Lager, aktive Strukturen, aktive Motorlager und aktive Schwingungstilger [1]. Diese Komponenten können den Luft- sowie Körperschall verbessern. Im Folgenden werden am Beispiel eines von der ContiTech Vibration Control GmbH entwickelten aktiven Tilgersystems die Wirkungsweise und die Systemkomponenten eines solchen mechatronischen Systems beschrieben.

Aktives Tilgersystem

Die grundsätzliche Konfiguration eines aktiven Tilgersystems ist aus Abbildung 1 ersichtlich. Steuergerät und Verstärker haben bei dieser Anwendung die Aufgabe, das Sensorsignal derart zu verarbeiten, daß der Aktor eine Schwingung generiert, die die gleiche Amplitude wie die Störung hat, aber um 180° phasenverschoben ist. Die Anforderungen an die Regel- und Steueralgorithmen sind hoch. Um eine ausreichende Kompensationswirkung sicherzustellen, muß die Gegenschwingung im gesamten Arbeitsbereich mit einer Genauigkeit von ± 5 Grad in der Phase und $\pm 0,5$ dB in der Amplitude generiert werden [3].

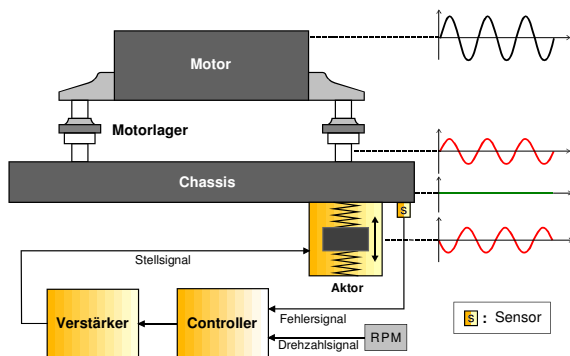


Abbildung 1: Prinzip des aktiven Tilgersystems.

Die mit einem aktiven Schwingungstilger erreichbare Performance hängt unmittelbar von der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Aktoren ab. Hier sind insbesondere elektrodynamische und elektromagnetische Antriebskonzepte zu finden, wobei mit letzteren eine wesentlich höhere Kraftausbeute realisierbar ist [2].

Die zweite Basiskomponente ist das elektronische Steuergerät. Angepaßt auf den jeweiligen Anwendungsfall muß auf diesem ein geeignetes Regelungskonzept umgesetzt werden, wobei in den letzten Jahren sowohl der bekannte Filtered-X-Algorithmus [3] als auch neue Störgrößenbeobachteransätze [4] eingesetzt wurden.

Ergebnisse Fahrversuch

Um das Potential des aktiven Schwingungstilgers darzustellen, wurde eine Mittelklasselimosine mit dem Tilgersystem ausgestattet. Der längseingebaute Dieselmotor wird vorne von zwei Motorlagern getragen. Das am Motor angeflanschte Getriebe wird in der Mitte des Fahrzeugs von einem Querträger mit Getriebeleger gestützt. Gerade bei stark beschleunigter Fahrt gerät der Querträger in Schwingungen, die bis in die Fahrgastzelle übertragen werden. Dort sind sie als störender Luftschall wahrnehmbar. Die akustische Ausgangssituation des Fahrzeugs wurde während einer konstant beschleunigten Fahrt im dritten Gang aufgezeichnet (siehe Abbildung 2 links). In dem Spektrogramm ist zu erkennen, daß mehrere dominante Motorordnungen vorliegen.

Zur Verbesserung der Innenraumakustik wurde der ak-

tive Tilger direkt unterhalb des Getriebelegers chassisseitig am Querträger in vertikaler Wirkrichtung positioniert. Nach der Inbetriebnahme des Tilgersystems wurde eine vergleichbare konstant beschleunigte Fahrt unternommen und ebenfalls der Schalldruck aufgezeichnet. Das Ergebnis ist in Abbildung 2 (rechts) dargestellt.

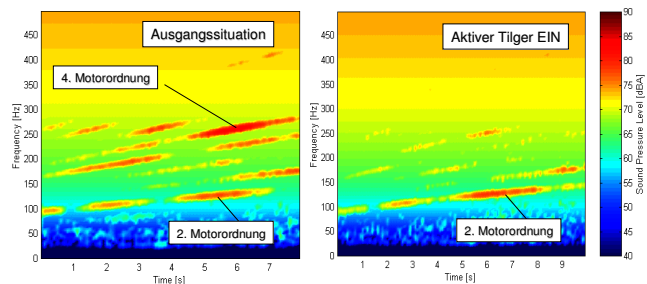


Abbildung 2: Spektrogramme des Schalldruckpegels während beschleunigter Fahrten.

Hier ist deutlich zu erkennen, daß das aktive Tilgersystem am Getriebeleger in der Lage ist, die Motorordnungen im Bereich zwischen 150 Hz und 300 Hz signifikant zu reduzieren. Lediglich die zweite Motorordnung bleibt nahezu unverändert. Dieses ist damit zu begründen, daß der Hauptübertragungspfad der zweiten Motorordnung über die vorderen beiden Motorlager verläuft.

Zusammenfassung

Insbesondere bei neuen Antriebskonzepten wie Zylinderabschaltung und Hybridantrieb bestehen Zielkonflikte hinsichtlich der Entwicklung eines Motorlagersystems. Zur Lösung dieses Zielkonflikts können unter anderem aktive Motorlager und aktive Tilgersysteme beitragen. Am Beispiel eines von der ContiTech Vibration Control GmbH entwickelten aktiven Tilgersystems wurde aufgezeigt, daß ein aktives Tilgersystem in der Lage ist, die Innenraumakustik signifikant zu verbessern.

Literatur

- [1] Marienfeld, P. M., C. Bohn, H.-J. Karkosch, F. Svaricek, „Reduzierung des motorseitig eingeleiteten Körperschalls durch Einsatz adaptiver und aktiver Lagersysteme“, Fahrzeugschwingungen – Global Chassis Control, Tagung im Haus der Technik, Essen, 2002.
- [2] Eberhard, G., H.-J. Karkosch, P. M. Marienfeld, S. Preussler, F. Svaricek, „Aktive Schwingungskompensation im Kfz“, Adaptronic Congress 2000. Potsdam, 4./5. April 2000.
- [3] Svaricek, F., C. Bohn, V. Härtel, H.-J. Karkosch, „Aktive Schwingungskompensation im Kfz aus regelungstechnischer Sicht“, Automatisierungstechnik 49: 249-260, 2001.
- [4] Kowalczyk, K., C. Bohn, H.-J. Karkosch, F. Svaricek, „Active Control of Engine-Induced Vibrations: An Experimental Comparison of the FxLMS and the Disturbance Observer Approach“, Actuator 2004, Bremen.