

Optimierte Schwingungsisolation im Kurbelwellen-ZMS-Verbund

Andreas Anstätt, Carsten Mohr

LuK GmbH & Co. oHG, 77815 Bühl, Deutschland, Email: andreas.anstaett@luk.de

Einleitung

Drehschwingungen im Antriebsstrang können Getriebelasseln und Karosseriedröhnen bewirken, was durch den Einsatz eines Zweimassenschwungrades (ZMS) behoben werden kann. Der starke Zuwachs an Motordrehmoment und Leistung, sowie in speziellen Fällen auch die Erhöhung der Motordrehzahl stellen die ZMS-Entwicklung vor neue Herausforderungen. Je nach Eigenfrequenz der fest an die Kurbelwelle angekoppelten ZMS Primärseite kann es durch die periodische Anregung des Motors zu unerwünschten Resonanzen kommen, welche sich akustisch bemerkbar machen können. Die Konstruktion herkömmlicher ZMS ist so ausgelegt, dass die Eigenfrequenzen oberhalb des Drehzahlbereiches des Motors liegen. Bei hochdrehenden Motoren stößt diese Konstruktion jedoch an ihre Grenzen.

Schwingungssystem Kurbelwelle-ZMS

Die Kurbelwelle und die damit fest verbundene ZMS-Primärseite stellen ein Schwingungssystem dar. Schwingungen dieses Systems können verschiedene negative Auswirkungen haben, wie Festigkeitsprobleme der Primärseite, Lösen von Geberringen und Anlasserzahnkränzen, Trennprobleme der Kupplung oder die Übertragung der Schwingungen in das Ausrückssystem.

Die ersten Moden des Gesamtsystems werden durch die Eigenmoden des ZMS bestimmt. An der Schwingform des Gesamtsystems ist lediglich noch die letzte Kurbelwellenwange beteiligt. Eine gezielte Abstimmung des Gesamtsystems kann somit über die Auslegung des ZMS vorgenommen werden.

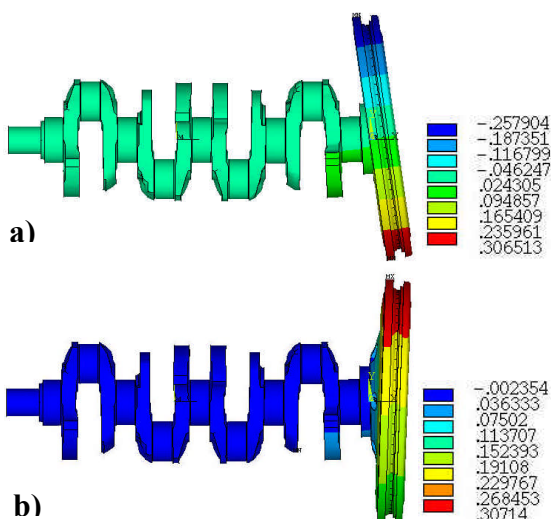


Abbildung 1: Rechnerische Modalanalyse eines Kurbelwellen-ZMS-Verbundes mit a) 1. Biegemode und b) Axialmode

Optimierung Zweimassenschwungrad

Bei der Entwicklung der neuen ZMS-Generation wurde bewusst eine extreme Absenkung der Eigenfrequenzen des ZMS verfolgt. Das Ziel bestand darin, die Eigenfrequenzen entweder in den Fahrbereich bei niedrigen Drehzahlen zu verschieben, da hier die Anregung gering ist, oder sogar unterhalb der Leerlaufdrehzahl. Da die sekundäre Schwungmasse des ZMS über ein Lager und den Torsionsdämpfer von der Primärseite weitgehend entkoppelt ist, bestimmt die Primärseite maßgeblich das Schwingverhalten des ZMS. Die gezielte Verschiebung der Eigenfrequenzen gelang durch den Einsatz einer „Flexplate“, ein Blechpaket mit drei Einzelblechen, womit die Biege- und Axialfrequenzen der ZMS Primärseite abgestimmt werden können. Zusätzlich wurde die Flanschbelastung durch diese „weiche“ Anbindung des ZMS an die Kurbelwelle minimiert.

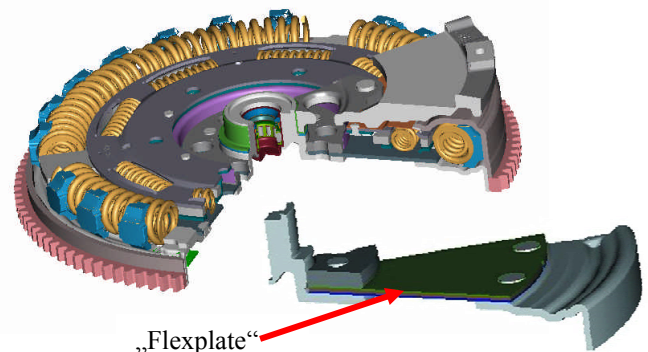


Abbildung 2: Aufbau eines ZMS mit Flexplate Primärseite

Die Berechnung und Auslegung in der Konzeptphase erfolgte mit modernen CAE Methoden. Beginnend mit der Basisauslegung, in welcher die Basisgeometrie festgelegt wird, können die im CAD-System erstellten Geometriedaten an die FEM Software übergeben und erste analytische Rechnungen bezüglich Eigenfrequenzen durchgeführt werden.

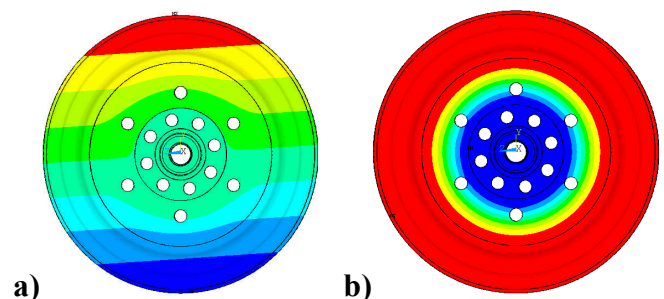


Abbildung 3: FEM Berechnung eines Flexplate ZMS mit a) 1. Biegemode 63Hz und b) Axialmode 84Hz

Die **Experimentelle Modalanalyse** dient zur Validierung der Berechnungsergebnisse der Eigenfrequenzen. Hierfür wird das ZMS auf einer Prüf-vorrichtung montiert und mit Beschleunigungssensoren ausgestattet. Die Anregung erfolgt mit einem Modalhammer. Die Messdaten werden über ein mehrkanaliges Frontend aufgezeichnet und mit einer Modalanalyse Software ausgewertet. Diese Software ermöglicht die Berechnung und Darstellung von Übertragungsfunktionen. Ebenfalls stehen verschiedene Curve-Fitting-Verfahren zur Auswahl. Die Ergebnisse können in Form von Diagrammen oder Tabellen und auch in Animationen der Schwingform dargestellt werden.

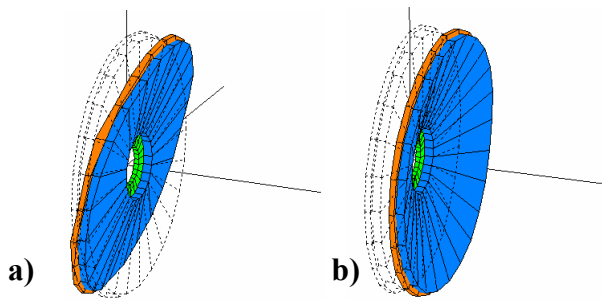


Abbildung 4: Biegemode a) und Axialmode b) als Ergebnis der Experimentellen Modalanalyse

In Abbildung 4a und 4b sind die in der Experimentellen Modalanalyse ermittelten Schwingformen dargestellt. In Abbildung 5 sind die dazugehörigen Übertragungsfunktionen dargestellt. Es handelt sich um die Übertragungsfunktion eines konventionellen ZMS. Die ersten beiden Biegemoden liegen bei 276Hz und 284Hz, die Axialmode ist bei 419Hz zu erkennen.

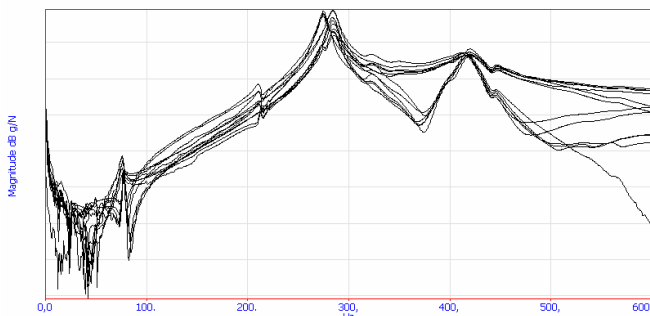


Abbildung 5: Übertragungsfunktionen konventionelles ZMS mit Biegemoden bei 276Hz und 284Hz und Axialmode bei 419Hz

Die in Abbildung 6 dargestellten Übertragungsfunktionen stammen hingegen von einem ZMS mit Flexplate. Hier wurde die Primärseite durch ein Primärblech ersetzt. Hier ist deutlich zu sehen, dass sowohl die beiden Biegemoden als auch die Axialmode stark hin zu niederen Frequenzen verschoben sind.

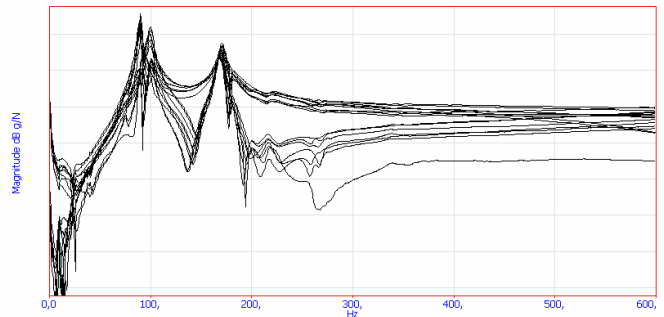


Abbildung 6: Übertragungsfunktionen ZMS mit einem Primärblech und Biegemoden bei 89Hz und 100Hz und Axialmode bei 169Hz

Weiterhin wurde eine Primärseite bestehend aus einem Blechpaket mit drei Blechen gemessen. Wie in Abbildung 7 zu erkennen ist, konnten die Eigenfrequenzen nochmals gesenkt werden.

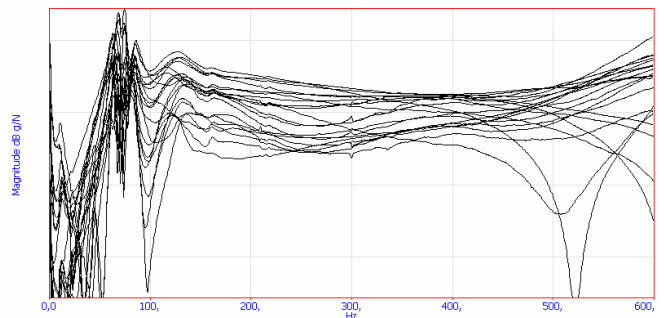


Abbildung 7: Übertragungsfunktionen ZMS mit einem Blechpaket mit drei Blechen mit Biegemoden bei 63Hz und 73Hz und Axialmode bei 84Hz

Der **Abgleich der rechnerischen mit der Experimentellen Modalanalyse** dient der Überprüfung und der Anpassung der Rechenmodelle. In den Versuchen konnte eine gute Übereinstimmung der Modelle festgestellt werden.

In **Fahrzeugmessungen** konnte die Wirksamkeit des Flexplate-ZMS nachgewiesen werden. Die errechneten Frequenzen konnten ebenfalls bestätigt werden. Die aus den Fahrzeugmessungen ermittelten Schwingamplituden dienen weiterhin der Dauerfestigkeitsberechnung mit den Methoden der Finiten Elemente. Die Belastung des Kurbelwellenflansches konnte durch den Einsatz des Flexplate gegenüber dem konventionellen ZMS weiter reduziert werden.

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurden die grundlegenden Schritte im Optimierungsprozess des ZMS dargestellt. Geänderte Randbedingungen wie breitere Anregungsspektren durch hochdrehende Motoren erfordern neue Lösungsansätze. Die Verschiebung der Eigenfrequenzen des ZMS in einen Drehzahlbereich mit geringer Anregung kann gezielt durch den Einsatz einer Flexplate Primärseite erreicht werden. Je nach Motorvariante ist eine Verschiebung der Eigenfrequenzen unterhalb der Leerlaufdrehzahl möglich.