

Simulation des aktiven Piezo-Materialverhaltens

Entwicklertools für den Entwurf und die Analyse von Piezo- und Ultraschallwandlern

In Resonanz schwingende Piezowandler

In der Ultraschalltechnik werden Sonotroden und Ultraschallkonverter eingesetzt, um Resonanzschwingungen zu erzeugen. Es ist Stand der Technik sie in der Entwurfsphase mittels numerischer Simulationsprogramme (z. B. Finite-Element-Simulationen) auf Resonanz abzustimmen und ihre Geometrie mit dem Ziel optimaler Amplitudenverteilung zu optimieren (Bild 1). Meist werden dazu CAD-basierte Berechnungsprogramme eingesetzt, mit denen Modalanalysen des passiven Materialverhaltens durchgeführt werden können.

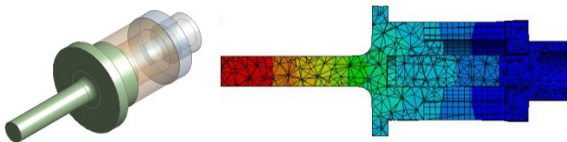


Bild 1 FEM-Analyse der Längsschwingung eines Ultraschallkonverters (Amplitudenverteilung)

Piezoelektrisch aktives Materialverhalten in FEM

Mit professionellen Finite-Element-Programmen wie ANSYS kann neben dem passiven Materialverhalten auch das aktive elektromechanische Verhalten gerechnet werden. Dies ermöglicht die Analyse von Ultraschallwerkzeugen bei Betrieb in Serien- oder Parallelresonanzfrequenz (etwas plakativ auch als „Resonanz“ und „Antiresonanz“ bezeichnet). Elektrische Spannungsverteilungen in Piezowandlern und Frequenzgänge (z.B. elektrische Impedanz bzw. Admittanz) lassen sich ebenfalls ausgeben (Bild 2).

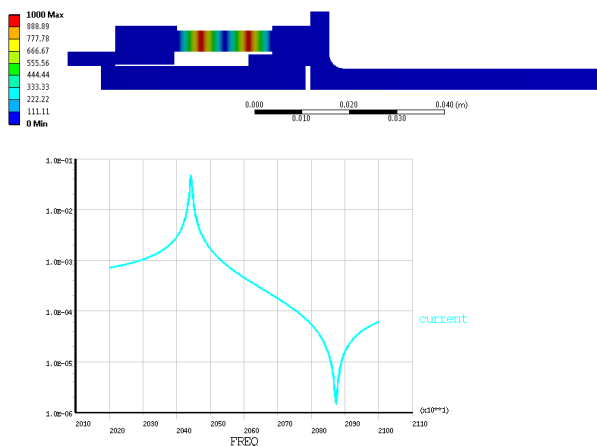


Bild 2 Elektrische Spannungsverteilung in den Piezoelementen eines Ultraschallkonverters und Admittanzkurve im Bereich seiner $\lambda/2$ -Schwingungsform (Ergebnisse einer elektromechanischen FEM-Berechnung)

In den Materialmodellen der FEM-Programme wird berücksichtigt, dass sich der Werkstoff in Polarisationsrichtung anders verhält als quer dazu (Anisotropie). Dadurch lassen sich auch Systeme mit Wechseln der Polarisationsrichtung korrekt abbilden (z.B. Piezotransformatoren und Stapelaktoren in Ultraschallwerkzeugen). Problematisch dabei: Die zur Parametrierung benötigten Materialdaten werden zwar von den Herstellern bereitgestellt, aber die Umrechnung in die von den FEM-Programmen benötigten Darstellungen erfordert Spezialkenntnisse.

Wichtige Kennwerte zur Charakterisierung des elektromechanischen Verhaltens von Ultraschallsystemen lassen sich damit bereits im Konstruktionsprozess sehr genau berechnen, u.a.

- welche elektrischen Ströme bei Betrieb in Resonanz auftreten
- welche elektrischen Spannungen bei Betrieb in Antiresonanz entstehen
- wieviel Wirkleistung eine Sonotrode durch Materialdämpfung absorbiert
- wie sich Piezowandler im Zusammenspiel mit elektrischen Bauelementen verhalten (Bild 3)

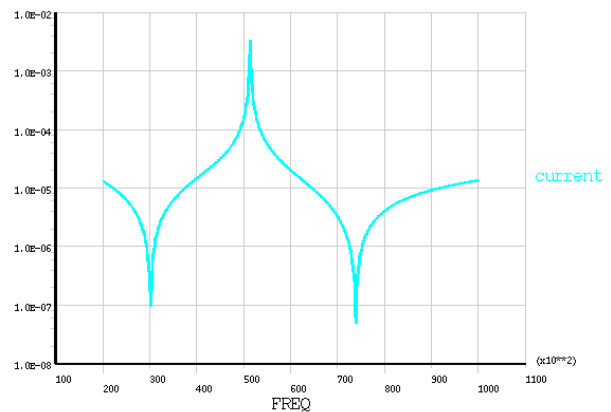


Bild 3 FEM-Simulation der elektrischen Eingangsadmittanz eines 50 kHz-Ultraschallwandlers mit abgestimmter Parallelinduktivität („Kompensationsspule“)

Die ATHENA Technologie Beratung GmbH bietet hier ein breites Methodenspektrum an, mit dessen Hilfe Sie Ihre Simulationswerkzeuge optimal auszureizen lernen und ein tieferes Systemverständnis entwickeln.

Innere Dämpfung und Lasteinflüsse

Sehr intensiv beschäftigen wir uns bei der ATHENA Technologie Beratung GmbH mit der Modellierung von Dämpfung und von Lasteffekten in FEM-Simulationen. Ein Beispiel zeigt das Bild 4, in dem die durch eine Laststeifigkeit hervorgerufene Frequenzverschiebung eines $\lambda/2$ -Stabwandlers dargestellt ist.

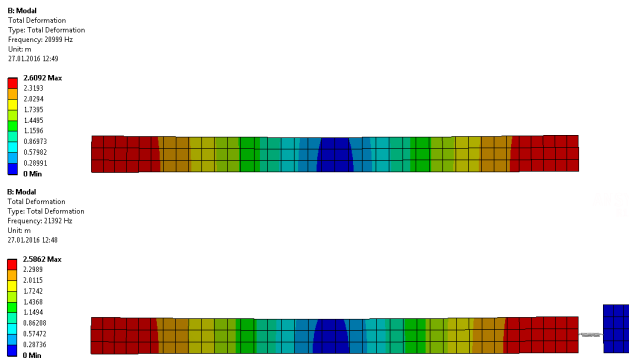


Bild 4 Resonanzfrequenz der $\lambda/2$ -Schwingungsform eines 21 kHz-Ultraschallwandlers unbelastet (oben) und mit Feder-Ankopplung an einen festen Untergrund (unten). Die Frequenzverschiebung beträgt etwa 380 Hz.

UltraToolSim: ATHENA-Simulationsprogramm

Speziell für den Bereich piezoelektrischer Konverter und Sonotroden haben wir bei der ATHENA Technologie Beratung GmbH ein Matlab-basiertes Simulationsprogramm entwickelt, mit dem das lineare elektromechanische Verhalten inklusiv Dämpfung sekundenschnell gerechnet werden kann. Es bildet die optimale Ergänzung zu Finite-Element-Rechnungen: Es eignet sich für die systematisch Vordimensionierung ebenso wie für Analysen und Optimierungen zum Verhalten eines Konverters mit Sonotrode und / oder mit Belastung.

Basierend auf den Elementargleichungen eines piezoelektrischen Längsschwingers werden mit dem Simulationsprogramm charakteristische Übertragungsfunktionen im Frequenzbereich, Schwingungsverteilungen entlang der Konverter-Längsachse, Leistungsverteilungen und elektrische Ersatzparameter eines vereinfachten Standard-Ersatzschaltbildes errechnet (Bild 5).

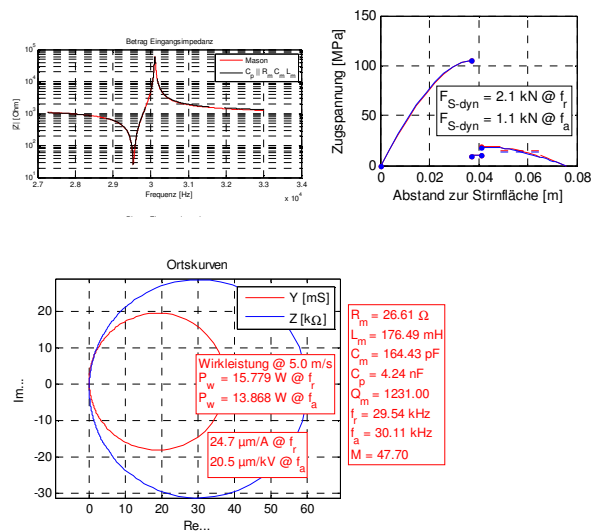


Bild 5 Frequenzgang der Impedanz eines Konverters (oben links), Zugspannungsverteilung und Ortskurven mit charakteristischen Kennwerten (unten; hier ohne Belastung untersucht)

Mit Hilfe dieses Programms lassen sich auch elementare Zusammenhänge leicht nachvollziehen, z.B. die Frage, warum viele Ultraschallkonverter bei gleicher Ausgangsamplitude bei Betrieb in Antiresonanz etwas weniger Leistung brauchen als in Resonanz.

Kontakt

Autor: Dr.-Ing. Walter Littmann, Leiter der Technischen Entwicklung der ATHENA Technologie Beratung GmbH



ATHENA
Technologie Beratung GmbH
Technologiepark 13
33100 Paderborn

Tel.: +49-52 51-3 90 65 60
Fax: +49-52 51-3 90 65 63

E-Mail: info@myATHENA.de
<http://www.myATHENA.de>