

Analyse und Optimierung piezoelektrischer Sensoren

Finite-Element-Analysen des elektromechanischen Verhaltens inklusiv Dämpfung

Piezoelektrische Sensoren

Piezoelektrische Sensoren werden in vielen Anwendungen eingesetzt, z.B. zur Abstandsmessung oder als Empfänger akustischer Signale (Typ „Telefonmembran“), s. Bild 1. In kommerziellen und industriellen Anwendungen findet man unterschiedlichste Bauformen der Sensoren, wobei Biegewandler als elektroakustisches Wandlungselement am häufigsten anzutreffen sind.



Bild 1 Handgerät zur akustischen Abstandsmessung [TCM]

Anders als Längs- oder Torsionsschwinger, die als Piezoaktoren weite Verbreitung finden, lassen sich runde oder oval geformte Membran- oder Plattenwandler allenfalls mit großem Aufwand analytisch durch mathematische Gleichungen beschreiben. Die numerische Analyse mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente ist bedeutend einfacher.

Piezoelektrisches Materialverhalten

Im Bild 2 ist der Querschnitt eines rotationssymmetrischen Biegewandlerelements dargestellt. Die obere Schicht ist eine Piezoscheibe aus Weichkeramik mit Durchmesser 10 mm und Dicke 0.5 mm. Die untere Scheibe besteht aus Aluminium (Durchmesser x Dicke = 24 x 1 mm²). Sie ist am Rand fest eingespannt.

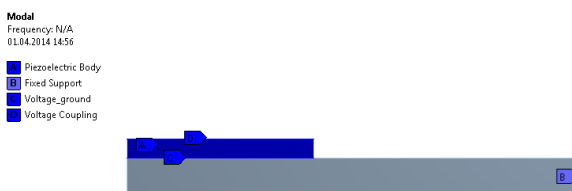


Bild 2: Setup zur Analyse eines außen fest gelagerten Biegewandlers mit aufgeklebter Piezoscheibe. Dargestellt ist ein Radialschnitt; die Rotationsachse ist links.

Wird die Aluschicht auf Masse gelegt und die obere Deckschicht der Piezokeramik metallisiert („Elektrode“), so ergibt sich in der ersten Resonanz ein Verformungszustand, in dem das System gebogen wird (s. Bild 3). Die Piezoscheibe wird dabei im Wesentlichen in Radial-

richtung deformiert („planarer“ d_{31} -Effekt), wenn sie in Dickenrichtung polarisiert ist. Zur korrekten Analyse dieser Verformung muss die Anisotropie, d.h. Richtungsabhängigkeit der Materialeigenschaften berücksichtigt werden.

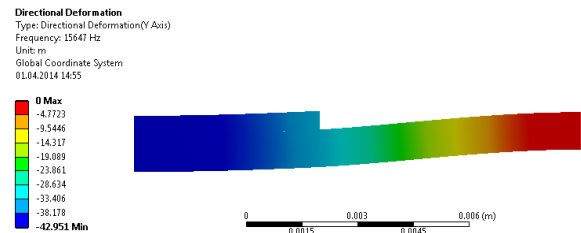


Bild 3: Erste Biegeresonanz der Piezoscheibe aus Bild 2 (für isolierte Elektroden bei ca. 15.65 kHz).

Harmonische Analyse für Druckerregung

Für Sensoranwendungen ist von besonderem Interesse, welche elektrische Spannung man an der Deckelektrode messen kann, wenn ein gegebener Schalldruck auf die Unterseite einwirkt. Bei der Resonanzfrequenz nimmt er ein Maximum an, dessen Wert u.a. durch innere Strukturdämpfung in den Materialien bestimmt wird. Hier wird eine Materialgüte von 70 für die Piezokeramik und 10000 für Aluminium verwendet.

Bei der Resonanzfrequenz lässt sich die Empfindlichkeit des Wandlers berechnen (im Beispiel beträgt sie 160 mV/Pa, s. Bild 4).

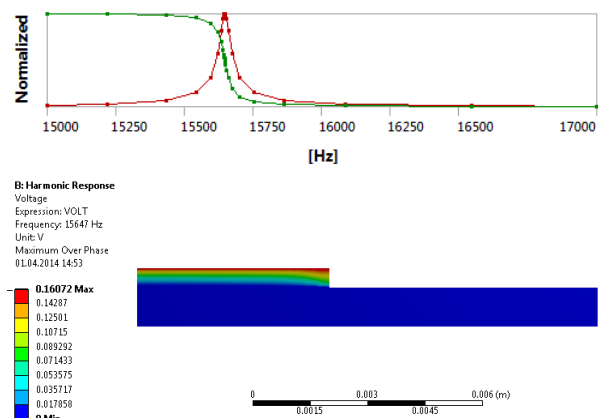


Bild 4: Frequenzgang und Verteilung der elektrischen Spannung des Biegewandlers bei Resonanzanregung durch einen Schalldruck von 1 Pa (offene Elektroden).

Praktische Gesichtspunkte

In der Praxis wird der auf Basis linearer elektromechanischer Theorie berechnete Idealzustand durch diverse unerwünschte Einflüsse reduziert, die im Allgemeinen als Nachgiebigkeiten und zusätzliche Dämpfungseffekte wirken.

In der Anwendung ist der berechnete Kennwert der Empfindlichkeit bei offenen Elektroden zwar wertvoll, aber nur Mittel zum Zweck für eine sinnvolle Systemauslegung. Gewöhnlich werden die Wandler elektrisch passend beschaltet, um den Einzugsbereich der Resonanz zu vergrößern. Ggf. nimmt man dabei Einbußen bei der Empfindlichkeit in Kauf (Bild 5).

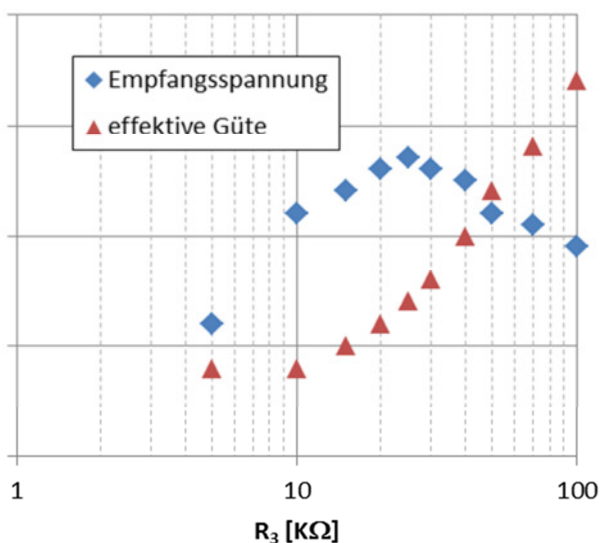


Bild 5: Veränderung der Übertragungsempfindlichkeit und der effektiven Schwinggüte eines Impuls-Echo-Sensors bei Variation eines externen Abstimmwiderstandes.

Messtechnische Analysen

Zur experimentellen Charakterisierung von Sensoren stehen uns bei der ATHENA Technologie Beratung GmbH zahlreiche Präzisionsmessgeräte zur Verfügung. Neben Laservibrometern sind dies diverse Mikrofone (u.a. Ultraschallmikrofon) und ein Impuls-Echo-Messprüfstand („Sensitivity measuring instrument“) zur Charakterisierung der Übertragungseigenschaften von Luftultraschallwandlern.

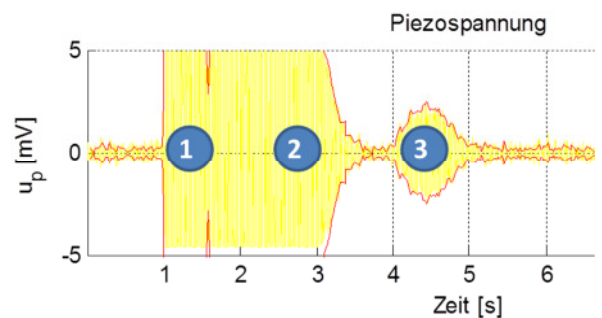


Bild 5: Gemessener Zeitverlauf der elektrischen Spannung an den Klemmen eines piezoelektrischen Impuls-Echo-Wandlers, mit den Phasen „Anregung“ (1), „Aus-schwingen“ (2) und „Echoempfang“ (3); Signale zur Darstellung bei +/- 5 mV abgeschnitten.

Gern analysieren wir Ihre Systeme mittels numerischer Analysen, charakterisieren sie messtechnisch oder sind bei der Systemauslegung oder -optimierung behilflich.

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>