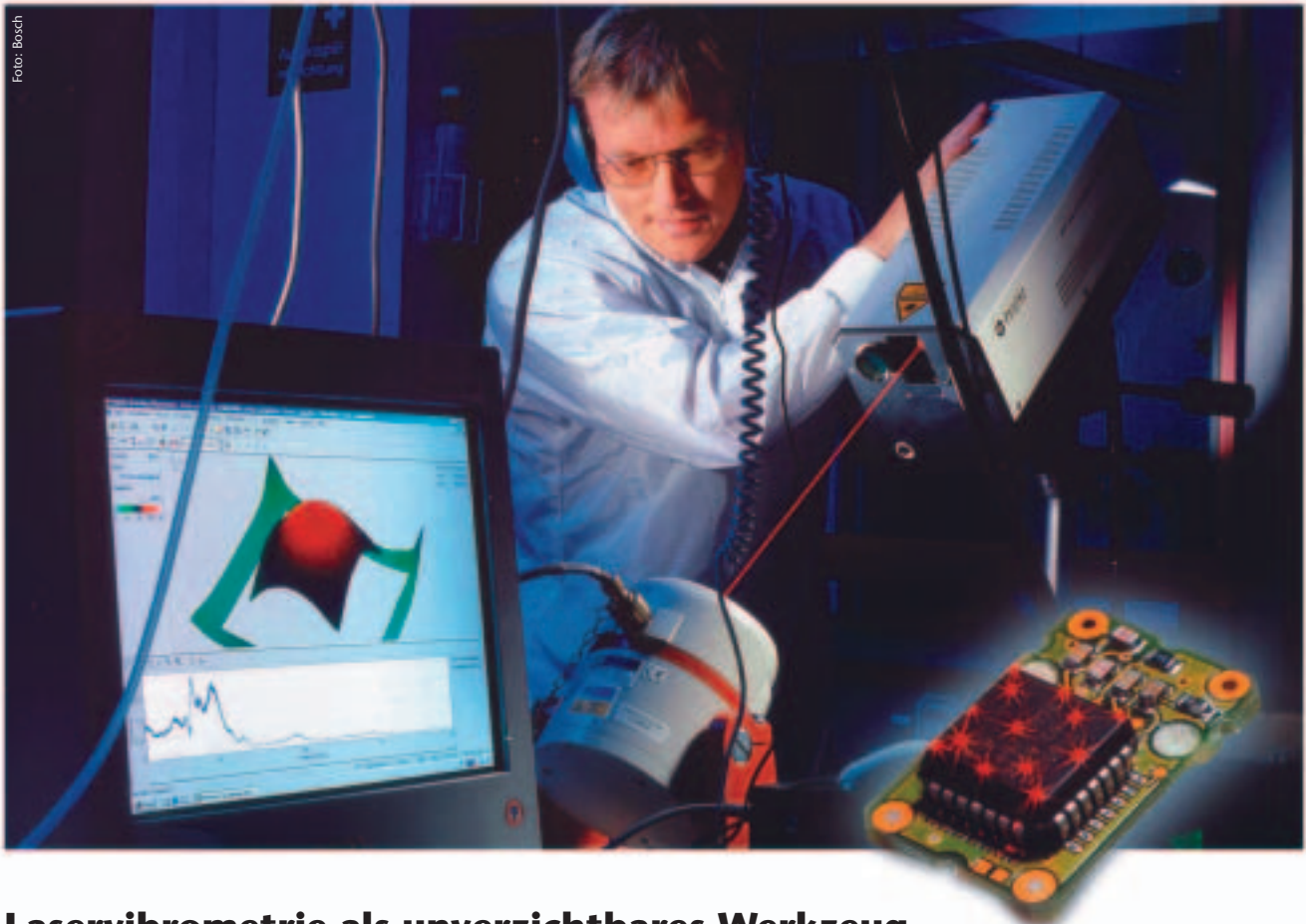


MEMS – Zuverlässige Helfer im Kfz



Laservibrometrie als unverzichtbares Werkzeug in der MEMS-Entwicklung

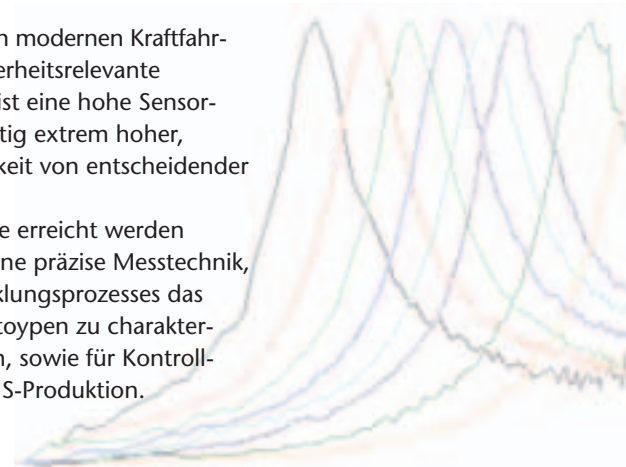
Vor 50 Jahren beschränkte sich die „Sensorik“ in einem Kraftfahrzeug auf eine Hand voll mechanischer oder bestenfalls elektromechanischer Instrumente, wie Tachometer oder Drehzahlmesser. In einem modernen Auto dagegen leisten eine Vielzahl mikroprozessorgesteuerter, elektronischer Sensoren und Aktoren komplexe Mess-, Überwachungs- und Steuerungsaufgaben.

Unverzichtbare Werkzeuge bei der Entwicklung und Produktion dieser stillen Helfer sind Verfahren der modernen berührungslosen optischen Messtechnik, wie die Laser-Vibrometrie.

Moderne Sensorelemente in Kraftfahrzeugen sind heute zu einem großen Teil als Mikrobausteine realisiert, als so genannte MEMS (Mikro-Elektro-Mechanische Systeme). Sie vereinen in kompakter Weise auf einem Chip sowohl mechanische als auch elektrische bzw. elektronische Funktionen. MEMS können mit ihrer Umgebung prinzipiell entweder als Sensor oder als Aktor in Wechselwirkung treten, wobei in der Automobiltechnik insbesondere die Mikrosensorik eine Schlüssel-funktion eingenommen hat. Somit kann ein auf MEMS-Technik basierendes System auf entsprechende physikalische oder chemische „Reize“ elektrisch oder auch mechanisch reagieren.

Da MEMS-Bauelemente in modernen Kraftfahrzeugen zunehmend sicherheitsrelevante Aufgaben übernehmen, ist eine hohe Sensor-genauigkeit bei gleichzeitig extrem hoher, lebenslanger Zuverlässigkeit von entscheidender Bedeutung.

Damit diese Qualitätsziele erreicht werden können, benötigt man eine präzise Messtechnik, um während des Entwicklungsprozesses das Systemverhalten der Prototypen zu charakterisieren und zu verifizieren, sowie für Kontroll-messungen bei der MEMS-Produktion.



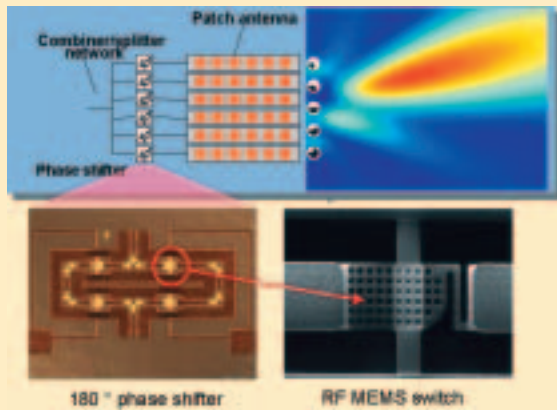


Bild 1: Funktion einer Patch-Antenne

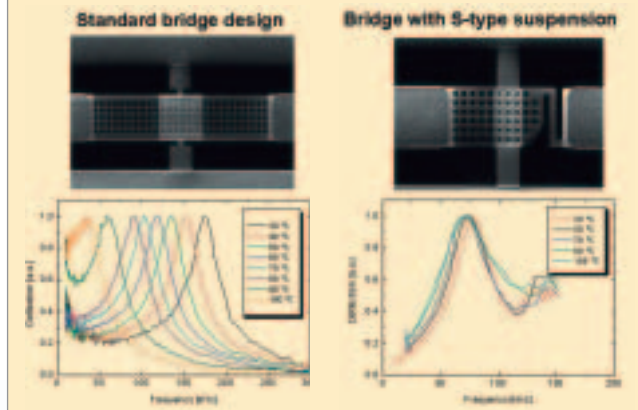


Bild 2: Resonanzmessungen an MEMS-Schaltern

Hohe Anforderungen im Bereich Automotive

Zu den sicherheitsrelevanten Einsatzbereichen für MEMS zählen beispielsweise Bremssysteme, Airbag-Steuerungen oder elektronische Stabilitätskontrollsysteme.

Die Zuverlässigkeitsanforderungen sind nicht zuletzt deshalb so hoch, weil die Bausteine während ihrer gesamten Lebensdauer stark beanspruchenden Umgebungsbedingungen wie Vibration, Temperaturwechsel und Korrosion ausgesetzt sind. Die auf die Lebensdauer bezogenen Defektraten für diese Bauteile liegen deshalb in Bereichen von nur wenigen ppm.

Die für Sensoren erforderliche Genauigkeit liegt bei Anwendungen in der Automobilindustrie in der Größenordnung von 1% über die gesamte Lebensdauer des Bauteils, entsprechend 15 – 20 Jahren oder einer Laufleistung von ca. 200.000 km.

Selbstverständlich sollen alle diese Anforderungen bei möglichst geringen Produktionskosten erfüllt werden.

Vibrometrie macht's möglich

Die Laser-Doppler-Vibrometrie als flexible und präzise Schwingungsmesstechnik hilft maßgeblich dabei, das mechanische Verhalten der MEMS schnell, rückwirkungsfrei und genau zu charakterisieren und dadurch die hohe Qualität der Bauteile sicher zu stellen.

Mit Einpunktvibrometern lassen sich Systemresonanzen der Bauelemente messen. Das Bewegungsverhalten von MEMS über die gesamte Fläche des Bauelementes wird mit speziellen Microscope Scanning Vibrometern schnell und über einen breiten Frequenzbereich bestimmt.

Die aus den Messwerten berechnete, anschaulich animierte Darstellung der Betriebsschwingformen hilft entscheidend beim Verständnis der untersuchten Prozesse.

Adaptive Antennen

In der Hochfrequenztechnik bietet sich eine Vielzahl von Anwendungen für adaptive Antennen, deren Abstrahlcharakteristik bzw. Sende- oder Empfangsrichtung an äußere Randbedingungen angepasst werden kann. Bei Radaranwendungen können beispielsweise durch sequenzielles Scannen des Abstrahlwinkels und Messung der Laufzeit Objekte in unterschiedlichen Entfernungen detektiert und ihre Winkelposition gemessen werden.

Die Anpassung der Abstrahlcharakteristik kann ohne bewegliche Elemente mit planaren Patch-Antennen realisiert werden, deren Strahlkeule sich aus der Überlagerung der elektromagnetischen Wellen vieler einzelner Antennenelemente („Patches“) ergibt. Die Antennen-Patches werden spalten- und zeilenweise derart zusammengeschaltet, dass eine feste Phasenbeziehung zwischen ihnen besteht. Hierzu werden geeignete Phasenschieber benötigt, die mit den Verfahren der Mikrosystemtechnik realisiert werden können. Diese Phasenschieber enthalten als grundlegendes Bauelement Hochfrequenz-MEMS-Schalter, über die definierte Umwegleitungen zu- oder abgeschaltet werden können, sodass sich eine feste Phasenlage einstellt (Bild 1).

Ziel der Entwicklungsingenieure bei Bosch ist ein klar definiertes, von Umgebungsbedingungen unabhängiges und während der Lebensdauer des Bauteils gleichbleibendes Schaltverhalten.

MEMS-Design und Schwingungseigenschaften

Die von den Ingenieuren zunächst realisierte Schalterform mit einem Standard-Brücken-Design zeigte ein mit der Umgebungstemperatur variierendes Schaltverhalten, klar erkennbar an der Verschiebung der mit dem Vibrometer gemessenen Brückenresonanz (Bild 2, links).

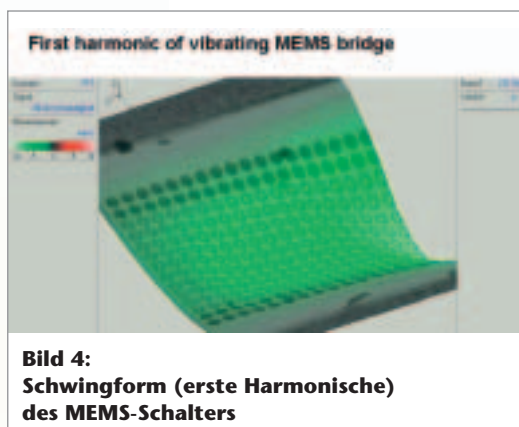
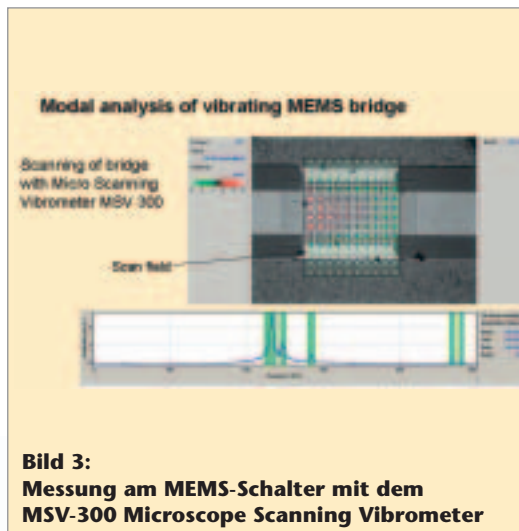
Verantwortlich hierfür ist der Unterschied in den thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Aluminiumbrücke und des Silicium-Substrats. Durch eine modifizierte Geometrie der Brücke kann dieser Effekt weitgehend kompensiert werden, wie das in Bild 2 rechts abgebildete Spektrum zeigt.

Scanning-Untersuchungen

Die Untersuchung des Schaltverhaltens in der Zeitdomäne zeigt ein ausgeprägtes Prell- oder Nachschwingverhalten. Um sich ein Bild von der tatsächlichen flächenhaften Bauteildynamik beim Schalten zu machen, wurden Untersuchungen mit dem Scanning Laser Vibrometer durchgeführt (Bild 3). Die visualisierten Ergebnisse zeigen neben der Grundschwingung die Anwesenheit höherer Harmonischer der Brückenfläche im Spektrum des Bauteils (Bild 4 und Bilder unten). Die Laservibrometrie liefert auch hier wichtige strukturdynamische Informationen für eine Optimierung der Baustein-Funktionalität.

Fazit

Die fortgeschrittenen Sicherheits- und Komforteigenschaften heutiger Kraftfahrzeuge basieren auf modernsten Bauelementen der Mikrosystemtechnik. Aktuelle optische Mess- und Prüfverfahren wie die Laser-Doppler-Vibrometrie stellen im Entwicklungs- und Produktionsprozess dieser MEMS-Elemente sicher, dass die geforderten Funktions- und Qualitätsmerkmale erreicht oder übertroffen werden und wir darum heute sicherer unterwegs sind als jemals zuvor.



AUTOREN · KONTAKT

Dr. Roland Müller-Fiedler,
Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Kunz,
Robert Bosch GmbH, Stuttgart,
Zentralbereich Forschung und
Vorausentwicklung
roland.muellerfiedler@de.bosch.com

