

# Rotierende Ultraschallwerkzeuge mit kontaktloser Energieübertragung

Induktiver Transformator für Piezo-Resonanzschwingkreis

## Ultraschallkonverter

Das Herzstück eines Ultraschallwerkzeugs ist der Ultraschallkonverter, genau gesagt: die Piezokeramik in seinem Innern. Hier wird die elektrisch zugeführte Energie auf Basis des indirekten piezoelektrischen Effekts in mechanische Vibrationen gewandelt. Ultraschallkonverter sind meist als Verbundschwinger aus Piezoscheiben mit metallischen Endstücken ausgeführt, und zwar werden die Abmessungen so gewählt, dass der Piezo-Metall-Verbund seine erste Resonanzfrequenz (die der sogenannten  $\lambda/2$ -Resonanz) bei einer gewünschten Betriebsfrequenz oberhalb 20 kHz besitzt. In Leistungsschallanwendungen wird der Konverter oft durch einen mechanischen Amplitudenverstärker ergänzt („Horn“), um ohne Überschreitung der maximal zulässigen mechanischen Spannung in den Piezoelementen hohe Schallintensitäten in der Prozesszone erreichen zu können (Bild 1).

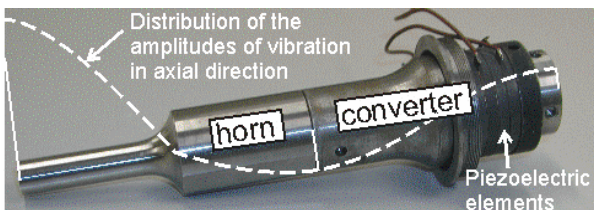


Bild 1 Ultraschallkonverter mit Piezoelementen und Horn zur Amplitudenverstärkung

Zur modellbasierten Charakterisierung der Schwingungseigenschaften bedienen wir uns einer mechatronischen Betrachtungsweise. Sie drückt sich in Ersatzschaltbildern aus, welche die beiden wesentlich beteiligten physikalischen Domänen – Elektrotechnik und Mechanik – umfassen (Bild 2).

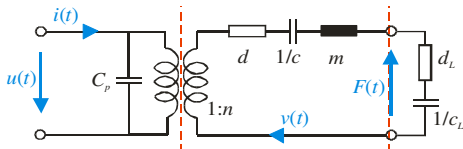


Bild 2 Elektromechanisches Ersatzschaltbild für den Ultraschallkonverter aus Bild 1 (rechts: Lastdämpfung  $d_L$  und –steifigkeit  $c_L$ )

## Rotierende Ultraschallkonverter mit berührungsloser Energieübertragung

Zunehmende Verbreitung finden in der Ultraschalltechnik Systeme mit rotierenden Ultraschallkonvertern, so z. B. beim Ultraschall-Rollnahtschweißen oder in Maschinen der Ultraschallbearbeitung (Bild 4). Eine zentrale Frage beim Entwurf derartiger Systeme betrifft die Übertragung der Energie vom ruhenden Gehäuse auf das rotierende Ultraschallwerkzeug. Da Schleifringe eine große Schwachstelle darstellen, werden zunehmend induktive, berührungslose Energieübertragungssysteme eingesetzt.

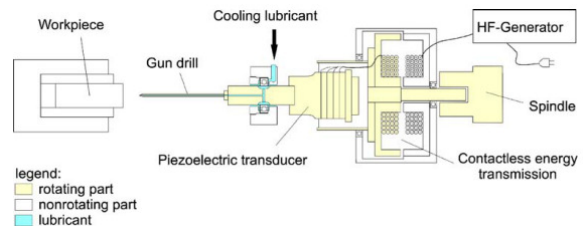


Bild 4 Rotierendes Ultraschallwerkzeug mit berührungsloser induktiver Energieübertragung [1]

Für die Optimierung des Systems „Ultraschallwerkzeug mit kontaktloser Energieübertragung“ verwenden wir einen mechatronischen Modellierungsansatz [2], mit dem sich die magnetisch-induktiven, die elektrischen und die mechanischen Schwingungseigenschaften des Gesamtsystems übersichtlich darstellen lassen (Bild 5).

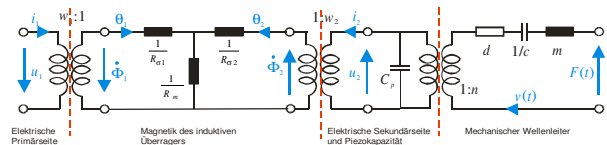


Bild 5 Ersatzschaltbild für ein Ultraschallwerkzeug mit berührungsloser induktiver Energieübertragung

## Funktionsdemonstrator „Rotierender Ultraschall“

Im Rahmen einer von der ATHENA Technologie Beratung GmbH mitbetreuten Studienarbeit an der Universität Paderborn wurde eine klassische Standbohrmaschine um eine rotierende Ultraschall-Aktorik erweitert, so dass sich die Überlagerung von Rotations- und Ultraschallenergie und ihre Auswirkungen auf Bearbeitungsprozesse untersuchen lassen (Bild 6).



Bild 6 Funktionsdemonstrator mit rotierendem Ultraschallkonverter mit kontaktloser Ultraschalleinkopplung

Die Ultraschalleinkopplung auf die rotierende Bohrspindel erfolgt kontaktlos mittels einer induktiven Energieübertragung, die so abgestimmt wurde, dass sie gleichzeitig als resonantes LLCC-Filter für die Leistungselektronik wirkt (Bild 7). Damit wird die primärseitige Regelung zur Resonanzverfolgung erleichtert (speziell bei nicht ideal harmonischen Anregungssignalen), und es ergibt sich blindleistungsfreier Betrieb vor und nach der Filterstufe.

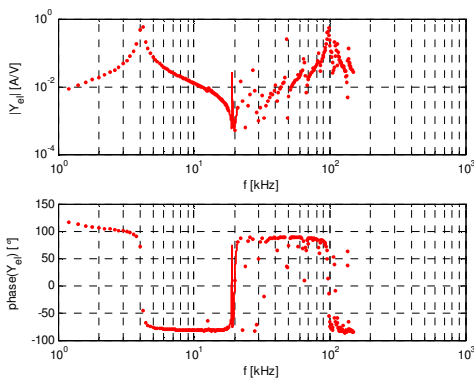


Bild 7 Gemessener Frequenzgang eines Ultraschallwerkzeugs mit berührungsloser induktiver Energieübertragung als resonantes LLCC-Filter (für Betriebsfrequenz 20 kHz)

Die induktiven Eigenschaften lassen sich u. a. über den Luftspalt zwischen der ruhenden und der rotierenden Wicklung des Übertragers variieren. Ein spezielles Magnetik-Modell erlaubt dabei die systematische Dimensionierung der Übertragungsstufe (Bild 8).

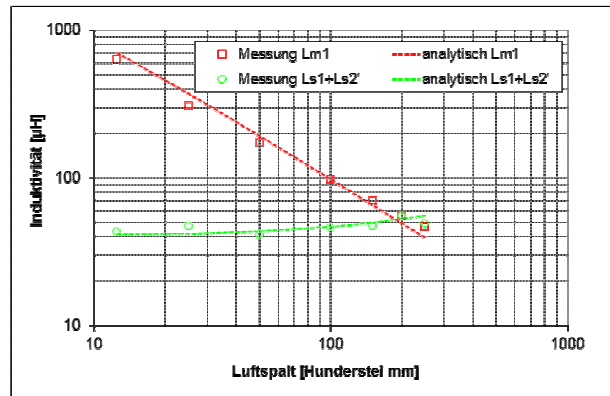


Bild 8 Vergleich der Abhängigkeit der Haupt- und der Streuinduktivität vom Luftspalt in Modell und Messung

### Literatur

- [1] C. Potthast, J. Wallaschek et al., *Piezoelectric actuator design for ultrasonically assisted deep hole drilling*, J Electroceram (2008) 20, S. 187-192
- [2] W. Littmann, F. Schiedeck, *Neue mechatronische Analogien in der Magnetik zur Modellierung elektromagnetomechanischer Systeme*, Forschung im Ingenieurwesen, Bd. 72, Nr. 2, 121-133

### 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](mailto:info@myATHENA.de)  
<http://www.myATHENA.de>