

Systematische Entwicklung von Ultraschallkonvertern

Zielorientiert vom modellbasierten Entwurf bis zur Messung an Prototypen

Konverter zur Erzeugung von Ultraschall

Ultraschallwerkzeuge zur Erzeugung von Schwingungen mit hohen Leistungen und Amplituden im Ultraschallbereich sind in industriellen und medizintechnischen Anwendungen seit langem weit verbreitet. Das Herzstück eines Ultraschallwerkzeugs ist der Ultraschallkonverter, in dem die elektrisch zugeführte Energie in mechanische Vibrationen gewandelt wird. Ultraschallkonverter sind meist als Verbundschwinger aus Piezoscheiben mit metallischen Endstücken ausgeführt. Die Abmessungen werden so gewählt, dass der Piezo-Metall-Verbund seine erste Resonanzfrequenz bei einer gewünschten Betriebsfrequenz oberhalb 20 kHz besitzt. In Leistungsschallanwendungen wird der Konverter oft durch einen mechanischen Amplitudenverstärker ergänzt („Horn“, s. Bild 1).

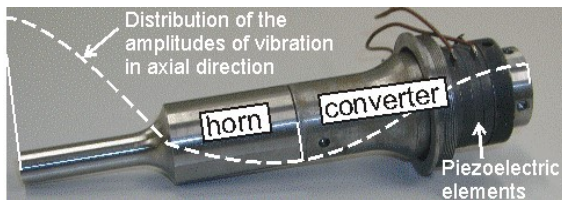


Bild 1 Ultraschallkonverter mit Piezoelementen und Horn zur Amplitudenverstärkung

Dimensionierung von Konvertern

Durch neue Anforderungen, die durch innovative Prozesse entstehen, findet eine ständige Weiterentwicklung statt, die die applikationsspezifische Neuentwicklung von Konvertern erfordert. Derzeit führt die Elektromobilität zu einer starken Nachfrage nach Ultraschallkonvertern im kW-Bereich, aber auch in medizinischen Anwendungen werden etablierte Standards ständig weiterentwickelt.

Dies ist nicht so einfach, denn trotz ihres relativ einfachen mechanischen Aufbaus sind Ultraschallkonverter Hochtechnologie-Erzeugnisse: Sowohl die elektromechanische Schwingungstheorie zu ihrer Beschreibung und Dimensionierung als auch die vielen Fehlerquellen, die sich bei der Detailkonstruktion und beim Zusammenbau in der Praxis ergeben, erfordern besonderes Spezialwissen des Entwicklungsingenieurs. Neben Festigkeitsanforderungen, Verlusten durch innere Reibung und Grenzflächenreibung, Limitationen in übertragbarer Leistung und Spannung muss die Wärmeentwicklung in die Betrachtung einbezogen werden, wenn die Entwicklung eines Konverters erfolgreich sein soll.

Bei der ATHENA Technologie Beratung GmbH folgen wir beim Entwurf einem bewährten Entwicklungsleitfaden, der sich in sieben Entwicklungsschritte gliedert (Bild 2).

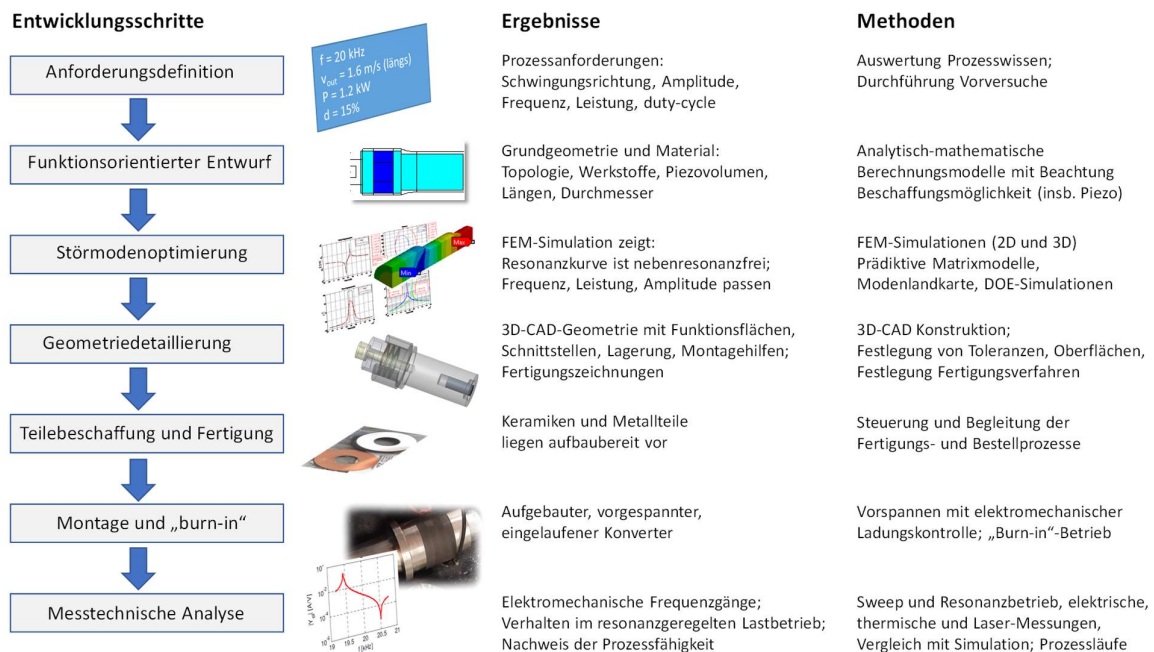


Bild 2 Entwicklungsleitfaden für den Neuentwurf von Ultraschallkonvertern

Aufbau und Konverterentwurf

Betrachtet man einen typischen Ultraschallkonverter von außen, so ist es auf den ersten Blick etwas verwunderlich, warum dieses System einen komplizierten Entwurf benötigen sollte. Im Wesentlichen besteht ein Standardkonverter aus ein paar metallischen Drehteilen, einigen Piezorringen mit Elektrodenblechen und einem zentralen Schraubbolzen zum Vorspannen der Piezoringe (sie vertragen eine schwellende Druckbelastung erheblich besser als eine Zug-Druck-Wechselbelastung). Beste Voraussetzungen also für eine kostengünstige Massenfertigung – sofern ein passendes Design bekannt ist.

Angepasstes Schwingergesign

In Produkten der Ultraschalltechnik sind Kosten und Bau- raum limitiert. Für den Ultraschallkonverter folgt daraus als erstes die Frage, wie groß der Durchmesser der Piezokeramik mindestens sein muss, wie viele Scheiben man einsetzen muss und welche Dicke diese besitzen sollten. Weiterhin sollte der Piezoaktor an einer optimalen Position entlang der Schwingerachse platziert sein, wobei im Allgemeinen ein Kompromiss aus übertragbarer Leistung und erreichbarer Ausgangsamplitude angestrebt wird. Aus Sicht des Ultraschallgenerators ist eine vernünftige Impedanzanpassung erforderlich. Darüber hinaus stellt sich die Frage nach dem sinnvollsten Material für die Metallteile: Muss es wirklich Titan sein oder reicht auch Alu oder Stahl oder Kunststoffe? Zudem müssen alle genannten Fragen für mindestens zwei Betriebspunkte abgewogen werden - Resonanz- oder Antiresonanzbetrieb?

Der iterative Entwurfsansatz

Nun gibt es prinzipiell die Möglichkeit, alle Material- und Geometrieparameter so lange zu variieren bis man weiß welche Designgröße auf welche Zielgröße Einfluss hat. Leider wird man dabei schnell feststellen, dass eigentlich alles auf alles einen Einfluss hat und dass sich darüber hinaus die Resonanzfrequenz des Systems bei jeder kleinsten Variation verändert, was dann stets mit weitreichenden Folgen kompensiert werden muss. Schnell stellt sich die Frage: Welche Größen sind frei wählbar, welche Abhängigkeiten gibt es? Was sind überhaupt die relevanten Zielgrößen der Optimierung? Amplitude, Leistung, Gewicht, Kosten,...?

Funktionsorientierter Entwurf

Bei der ATHENA Technologie Beratung GmbH wurde in enger Kooperation mit der Universität Paderborn eine mathematisch-analytische Beschreibung des Systems „Ultraschallkonverter“ entwickelt, in der die wesentlichen schwingungsmechanischen Abhängigkeiten erfasst sind.

Daraus wurde bei der ATHENA Technologie Beratung GmbH ein Entwurfsmodell entwickelt, mit dem wir aus den Anforderungen unserer Kunden Konvertergeometrien berechnen können, die die Piezokeramik optimal ausnutzen. Es handelt sich um einen funktionsorientierten Lösungsansatz auf Basis einer reduzierten Modellgeometrie, dessen Ergebnisse in geschlossenen Gleichungen darstellbar sind, so dass sich relevante Abhängigkeiten abbilden lassen (Beispiele s. Bild 3 und 4).

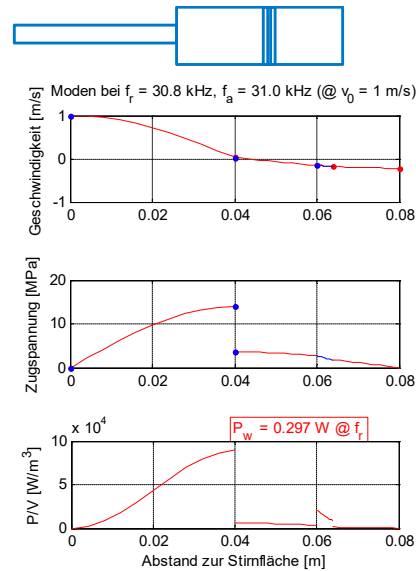


Bild 3 Verteilung der Amplituden von Geschwindigkeit und Zugspannung sowie der Leistungsdichte entlang der Achse eines Ultraschallkonverters in Serienresonanz

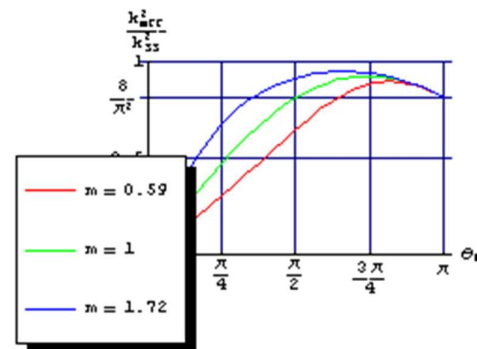


Bild 4 Piezoelektrischer Kopplungsfaktor in Abhängigkeit von der normierten Länge des Piezostapels für einen Ultraschallkonverter mit zentral angeordnetem Piezo (drei Kurven für unterschiedliche Metalle der Endabschnitte: rot = Alu, grün = Titan, blau = Stahl)

Modell und Messung

Jedem erfahrenen Ultraschalltechniker ist bekannt, dass Modellrechnungen – und damit auch unser Entwurfsmodell – von idealisierenden Annahmen ausgehen, die in der Praxis nicht immer erfüllt sind. Der modellbasierte Entwurf sollte daher stets von experimentellen Untersuchungen an Prototypen begleitet werden (Bild 5).



Bild 5 Prototyp eines Ultraschallkonverters mit Werkzeug zum rotationsfreien Ultraschallbohren

Bereits in frühen Entwicklungsphasen empfiehlt es sich daher erste Prototypen bei Nennleistung in Resonanz zu betreiben und ihre charakteristischen Eigenschaften zu vermessen. Dadurch lassen sich die Verlustmechanismen quantifizieren, die maßgeblich den elektrischen Leistungsbedarf bestimmen (Bild 6). Dazu verwenden wir den ATHENA Ultraschallgenerator, mit dem wir jedes beliebige Ultraschallsystem direkt in Resonanz betreiben können (Bild 7).

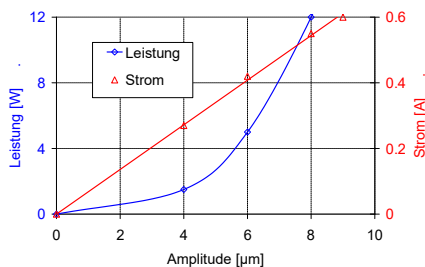


Bild 6 Messergebnis zum Leistungsbedarf eines Ultraschallkonverters bei Betrieb in Resonanz



Bild 7 ATHENA Ultraschallgenerator zum Resonanzbetrieb von Ultraschallwerkzeugen

Unser Angebot

Haben Sie Fragestellungen, die einen Neuentwurf oder die Überarbeitung Ihres Ultraschallkonverters erfordern? Sprechen Sie uns gern an, denn wir unterstützen Sie gern bei Ihren Entwicklungsaufgaben.

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>