

AUSLEGUNGSGÜTE LONGITUDINALER SCHNELLETRANSFORMATOREN

J. Herbertz, K.-W. Hirsch

Ultraschalltechnik, Universität -GH- Duisburg

In der Ultraschall-Energietechnik werden Hochleistungs-Schnelletransformatoren bis an die Grenzen ihrer Dauerwechselfestigkeit belastet. Die Belastung des Werkstoffes ist deshalb in Abhängigkeit von geometrischen Randbedingungen und Anforderungen an das Transformationsverhalten bei der Auswahl der Kontur des Schnelletransformators von entscheidender Bedeutung.

Figure of Merit

Im Falle des unbelasteten Schnelletransformators aus einem Werkstoff mit der Schallgeschwindigkeit c wird die maximal erreichbare Schnelle V_m bei Resonanz in Abhängigkeit von der größten zulässigen Wechseldehnung S_m über $V_m = \phi \cdot c \cdot S_m$ bestimmt. Der Proportionalitätsfaktor ϕ , die 'Figure of Merit' (FOM), hängt nur von der Kontur des Wellenleiters und von der POISSON-Zahl des Werkstoffes ab. EISNER und SEAGER /1/ benutzen die FOM als Kriterium, um im Hinblick auf die Wechseldehnung optimale Konturen für Schnelletransformatoraufzufinden.

Auslegungsgüte

Im Falle des belasteten Schnelletransformators überlagern sich laufende Wellen, die Wirkleistung zur Last transportieren, einem stehenden Wellenfeld. Die Superposition beider Felder bestimmt die Wechseldehnung. Da das resultierende Feld entscheidend von der Impedanz der Last abhängt, hängen Ort und Betrag des Maximums der Wechseldehnung auch von der Last ab.

Ein betriebsgerechtes Kriterium zur Bewertung von Schnelletransformatoren muß diesen Einfluß der Last berücksichtigen. Für den beliebig belasteten Schnelletransformator tritt die Auslegungsgüte a an die Stelle der FOM. Bei gegebener Last ist sie die Kenngröße, die das Verhältnis zwischen Schnelle V_1 und maximaler Wechseldehnung im Vergleich zu einem zylindrischen Stab beschreibt, $V_1 = a \cdot c \cdot S_m$. In dieser Sicht ist die FOM die Auslegungsgüte des unbelasteten Schnelletransformators.

Bei der Berechnung der Auslegungsgüte wird im folgendem das in /2/ und /3/ beschriebene Berechnungsverfahren für longitudinale Wellenleiter auf der Basis finiter Elemente benutzt. Neben den akustischen Übertragungseigenschaften eines Wellenleiters liefert dieses Rechenverfahren unter Berücksichtigung der Spannungsüberhöhung durch Kerbwirkung Aussagen über die lokale Wechseldehnung in Abhängigkeit von der Lastimpedanz. Alle Rechnungen wurden für eine POISSON-Zahl für Aluminium auf der Basis von 500 Elementen auf einem Tischrechner durchgeführt.

Die bei der Segmentierung anfallenden Spannungslinien bilden eine konforme Gruppe von Unterkonturen, die bei zunehmender Glätte ähnliche Übertragungseigenschaften von technischem Interesse aufweisen. Die folgenden grundsätzlichen Betrachtungen beschränken sich auf die erzeugenden Konturen.

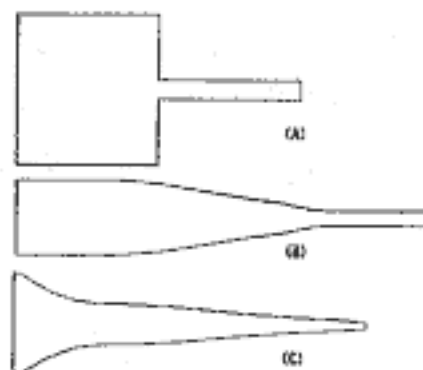


Abb. 1 Beispiele für Konturen von Ultraschall-Schnelletransformatoren

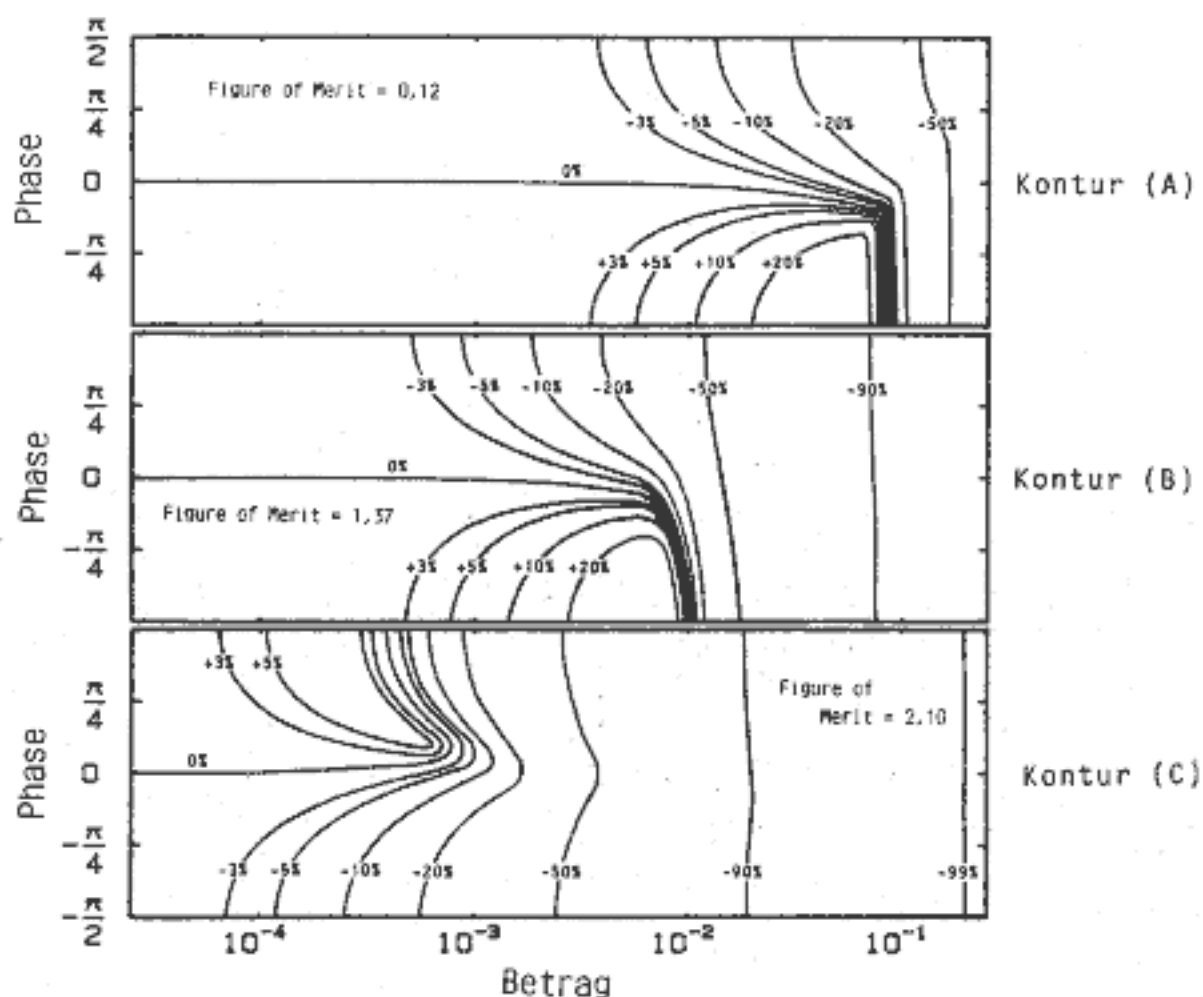


Abb. 2 Linien gleicher Auslegungsgüte relativ zur Figure of Merit in Abhängigkeit von der Lastimpedanz

Diskussion der Ergebnisse

Die Aussagefähigkeit des Kriteriums Auslegungsgüte wird nun anhand von drei Konturen diskutiert. Der Transformator (A) ist ein scharfkantig gestufter Zylinder. Seine FOM entzieht sich einer einfachen Berechnung, wird aber in /1/ mit etwas weniger als 1 beziffert. Der Transformator (B) hat eine willkürlich definierte Form. Der Transformator (C) folgt einer in /1/ vorgestellten Kontur, die nach dem Kriterium FOM optimiert ist. Sie ist im wesentlichen aus einer Gaußkurve abgeleitet. Abb. 1 zeigt die Größenverhältnisse dieser Konturen für gleiche Resonanzfrequenz im unbelasteten Fall.

In der Darstellung der Ergebnisse werden alle Impedanzen auf die Impedanz des Werkstoffes bei einer Querschnittsfläche bezogen, die einem Kreis mit dem Radius der reziproken Dehnwellenzahl entspricht. Dieser Bezug ermöglicht eine werkstoff- und frequenzunabhängige Darstellung der Abhängigkeit interessierender Parameter von der komplexen Lastimpedanz. Wegen des großen Wertebereiches, in dem die Lastimpedanzen liegen können, wird in den Abb. 2 bis 5 der Logarithmus der bezogenen Lastimpedanz in isometrischer Darstellung benutzt.

In Abb. 2 wird die Auslegungsgüte der Transformatoren einander gegenübergestellt. Dargestellt sind Linien gleicher relativer Abweichung von

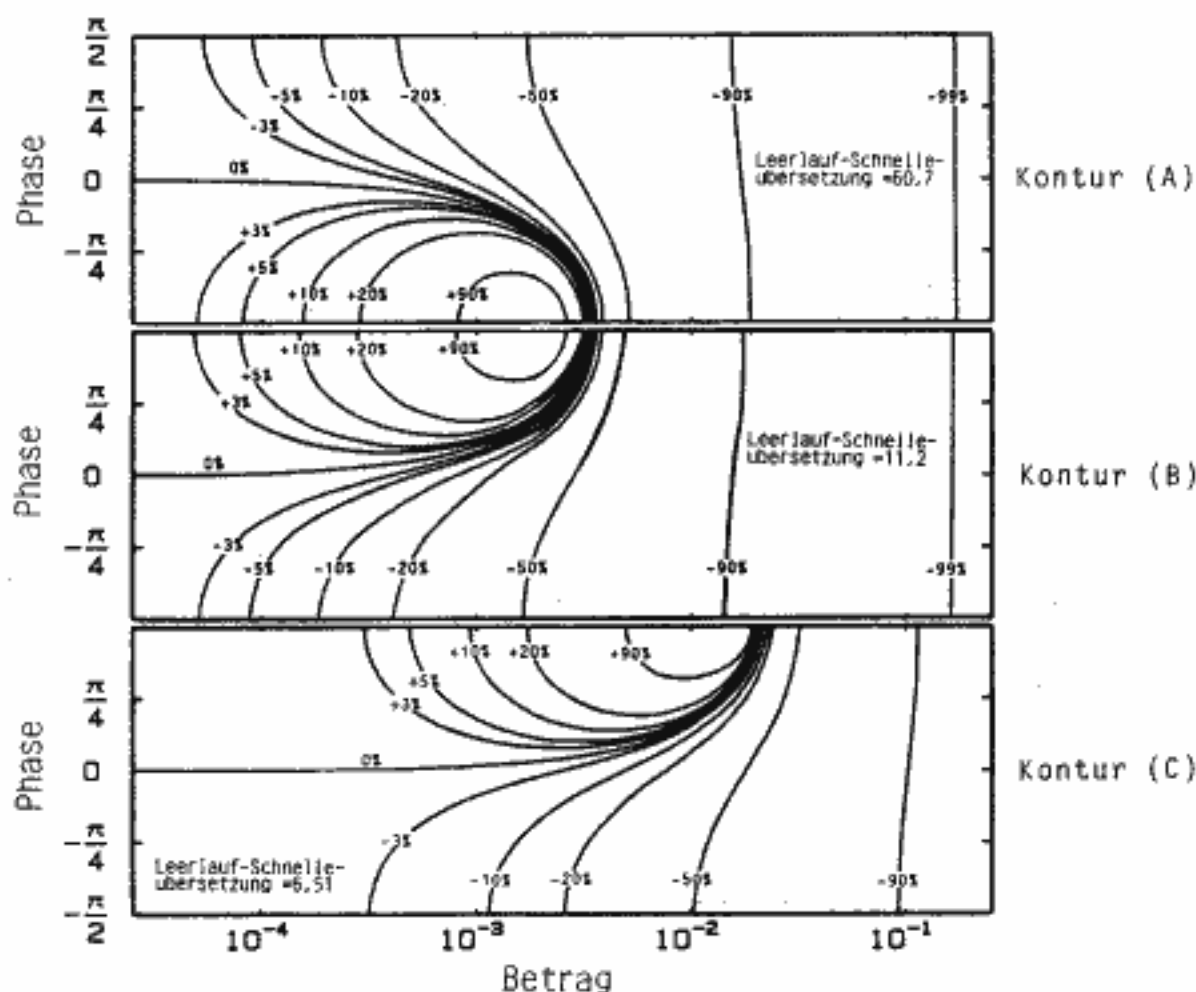


Abb. 3 Linien gleicher Schnelleübersetzung relativ zur Leerlauf-Schnelleübersetzung in Abhängigkeit von der Lastimpedanz

der jeweiligen FOM. Der Vergleich zeigt, daß sich eine hohe FOM nur im Bereich kleiner Lastimpedanzen auswirkt; bei großer Last kann ein nicht nach der FOM optimierter Schnelltransformator hinsichtlich der Auslegungsgüte deutlich überlegen sein.

Die Erkenntnis, daß die Lastabhängigkeit der Auslegungsgüte von entscheidender Bedeutung ist, ermöglicht nunmehr die Aussage, daß Schnelleübersetzung und Wirkleistung bei konstanter Materialbeanspruchung jeweils in Abhängigkeit von der Last die betriebsgerechten Auswahlkriterien für Schnelltransformatoren darstellen.

In Abb. 3 wird die Schnelleübersetzung der Transformatoren einander gegenübergestellt. Dargestellt sind Linien gleicher relativer Abweichung von der jeweiligen Leerlauf-Schnelleübersetzung. Der Vergleich zeigt, daß im Bereich großer Lastimpedanzen auch im Falle großer Leerlauf-Schnelleübersetzung tatsächlich nur kleine Schnelleübersetzungen erreicht werden.

In Abb. 4 wird die Leistungsübertragung der Transformatoren einander gegenübergestellt. Dargestellt sind Linien gleicher Wirkleistung bezogen auf die Leistung, die ein zylindrischer Wellenleiter aus dem gleichen Werkstoff und bei gleicher Dehnamplitude überträgt, wenn er an die Bezugsimpedanz angepaßt ist. Die maximale Leistung an der Bezugsimpedanz

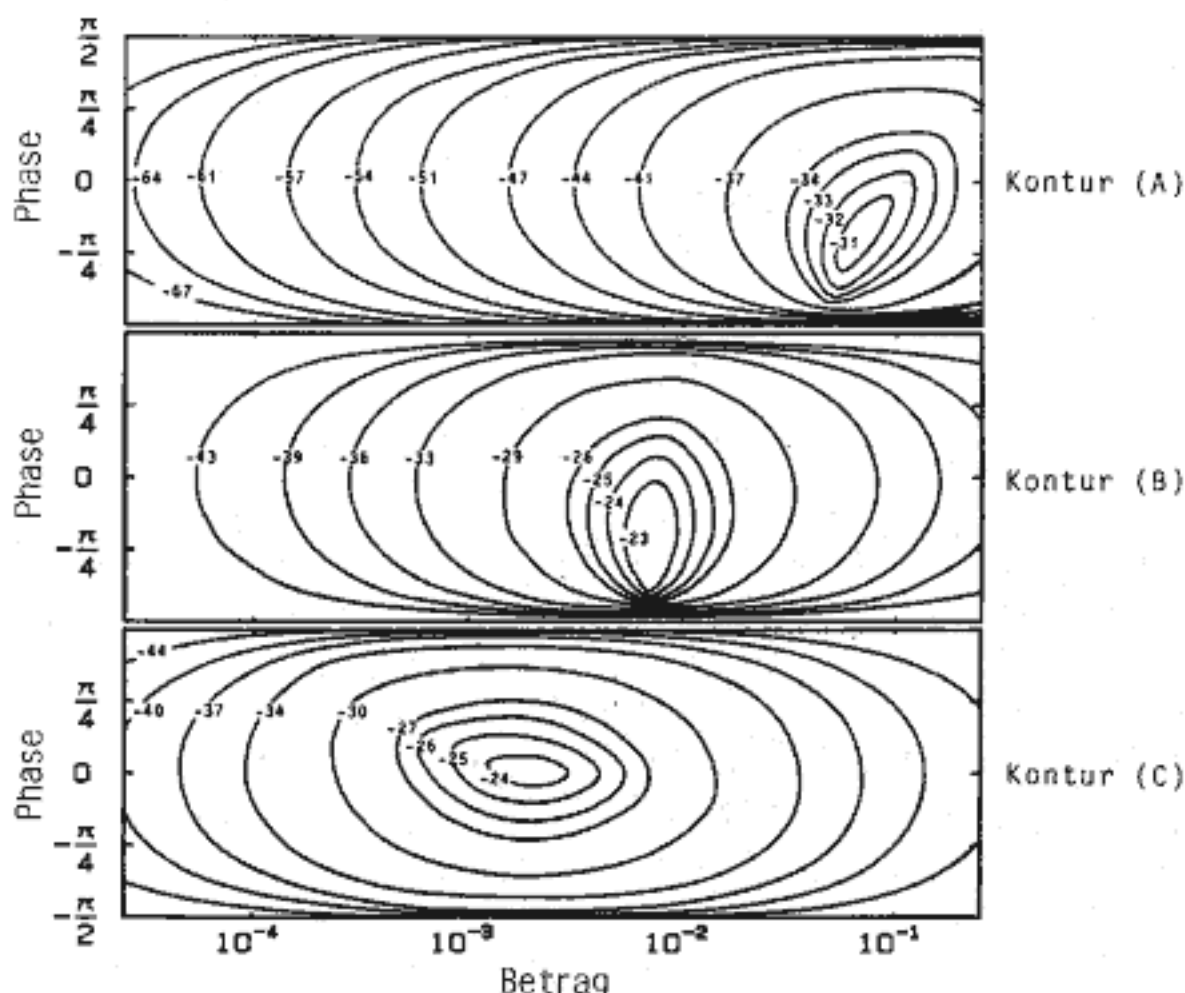


Abb. 4 Linien gleicher Wirkleistung bei konstanter Materialbelastung in Abhängigkeit von der Lastimpedanz (Parameter in dB)

beträgt bei 20 kHz zum Beispiel für Titan ca. 50 MW und für Aluminium ca. 100 kW. Der Vergleich zeigt, daß die Konturen in jeweils spezifischen Bereichen den anderen Konturen überlegen sind.

Für das Auffinden optimaler Konturen ist in jedem Einzelfall in Abhängigkeit von der Größe und der Schwankungsbreite der komplexen Lastimpedanz eine Bewertung von Konturen unter den oben dargestellten Kriterien erforderlich.

Literatur

/1/ Eisner, E.; Seager, J. S.: A Longitudinally Resonant Stub for Vibrations of Large Amplitude, *Ultrasonics* 3(1965)2, S.88-98

/2/ Herbertz, J.; Hirsch, K.-W.: Gesichtspunkte für die Optimierung von Ultraschall-Transformatoren, Fortschritte der Akustik, DAGA'81, VDE-Verlag, Berlin 1981, S.505-508

/3/ Herbertz, J.; Hirsch, K.-W.: Zur Berechnung von Ultraschall-Schwingern mit Longitudinal-Biegekopplung, Fortschritte der Akustik, FASE/DAGA'82, Göttingen 1982, S.795-798

Diese Untersuchungen wurden vom Minister für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert.