



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 289 338 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 01 N 9/24

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) DD G 01 N / 334 799 1

(22) 23. 11. 89

(44) 25. 04. 91

(71) siehe (73)

(72) Gätke, Johann, Dr. sc. techn., DE

(73) Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Universitätsplatz 1, O - 2500 Rostock, DE

(74) Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Direktorat für Forschung, BfSN, Schwaansche Straße 2, O - 2500 Rostock, DE

(54) Verfahren und Anordnung zur Bestimmung der Dichte bzw. der Schallkennimpedanz

(55) Ultraschallmeßtechnik; Empfangsamplitude; Schallempfänger; Schallgeschwindigkeit; Schallkennimpedanz; Fluid; Festkörper; Welle, akustisch

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Bestimmung der Dichte bzw. der Schallkennimpedanz. Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Ultraschall-Meßtechnik. Ziel der Erfindung ist es, über eine Null- bzw. Minimumsanzeige eines Indikators, in diesem Fall der Empfangsamplitude an einem Schallempfänger, die Dichte, Schallgeschwindigkeit oder Schallkennimpedanz eines Fluids oder eines Festkörpers mit technisch einfachen Mitteln zu bestimmen. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Reflexion einer akustischen Welle an der Grenzfläche flüssig/fest allein oder auch in Verbindung mit der durchgehenden Longitudinalwelle genutzt wird, wobei die Amplituden der Empfangswellen als Indikator dienen.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Bestimmung der Dichte bzw. der Schallkennimpedanz unter Ausnutzung der Reflexion des Schalls, **dadurch gekennzeichnet**, daß an einer Grenzfläche zwischen Fluid und Festkörper die Amplitude der reflektierten Schallwelle bzw. des reflektierten Schallimpulses in Abhängigkeit des Einstrahlwinkels aus dem Fluid kontrolliert wird und speziell der Nullwert bzw. Minimumwert oder die Nullwerte bzw. Minimumwerte der reflektierten Schallamplitude als Indikator für den betreffenden Einstrahlwinkel dient bzw. dienen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß gleichzeitig der Einstrahlwinkel mit ausgemessen wird, bei dem die Amplitude der die Grenzfläche flüssig/fest durchdringenden Longitudinalwelle Null ist oder ein absolutes Minimum annimmt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei oder mehrere unterschiedliche Festkörper in gleicher Flüssigkeit gleichzeitig oder zeitlich nacheinander genutzt werden.
4. Anordnung zur Bestimmung der Dichte bzw. der Schallkennimpedanz, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Meßanordnung aus einem Schallsender (1), der unter definierten Winkeln zwischen 0° und 90° gegen das Lot auf die plane Oberfläche eines Festkörpers (7) strahlt und einem dazu jeweils in Reflexionsanordnung angebrachten Schallempfänger (2) besteht, sich in Flüssigkeit befindet, wobei der Schallsender (1) mit einem Signalgenerator und der Schallempfänger (2) mit einem Amplitudenanzeiger verbunden sind.
5. Anordnung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß gleichzeitig ein Schallempfänger (2) an der Einstrahlgrenzfläche parallel gegenüberliegenden Fläche des Festkörpers (7) angebracht ist.
6. Anordnung nach Anspruch 4 und 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Wandung des Gefäßes, in der sich die Flüssigkeit befindet, als Festkörper (7) fungiert.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Anwendungsgebiet

Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Ultraschallmeßtechnik. Sie ist dort von Interesse, wo auf akustischem Wege, die Dichte bzw. die Schallkennimpedanz beteiligter Medien, die für weitere Meßinformationen oder Anwendungen von Bedeutung sind, ermittelt werden sollen.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Bisher bekannte Verfahren zur Dichtebestimmung sind fast ausschließlich nichtakustischer Natur. Die Literatur hat auch Beispiele zur Dichtebestimmung auf akustischem Wege, z. B. November, M. H.: Electronic Density Measuring Device, ITT Barton Technical paper, Monterey Park CA, USA, 1971, wo die Schwingungen einer Platte in Beziehung zur Dichte einer Flüssigkeit gesetzt werden. Kritz, J.: Continuously Indicating Electroacoustic Densitometer US-Pat. 2869357, 1959 beschreibt ein Reflexionsverfahren bei senkrechter Schalleinstrahlung auf die Grenzschicht zwischen Festkörper und Flüssigkeit und Messung der Amplitude der reflektierten Schallwelle. Zur Ausschaltung vor allem von temperaturbedingten Fehlereinflüssen entwickelte J. Delsing 1988 diese Methode weiter: On Ultrasonic Flow Meters, Report 1/88 Department of Electrical Measurements, Lund Institute of Technology, Schweden.

Für die Bestimmung des Massedurchflusses durch Rohre auf akustischem Wege interessiert die Dichte bzw. die Schallkennimpedanz des Fluids. Bekannte Verfahren zur Bestimmung der Schallkennimpedanz gestatten nur die indirekte Messung über Eigenschaften des akustischen Feldes mit stark einschränkenden Bedingungen.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist, auf direktem Wege die Dichte bzw. die Schallkennimpedanz mit geringem technischem Aufwand unter Nutzung einer Null- bzw. Minimumanzeigeelementierung zu bestimmen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, mit technisch einfachen Mitteln die Dichte bzw. die Schallkennimpedanz direkt zu bestimmen.

Erfindungsgemäß werden die Verhältnisse des Überganges einer akustischen Welle oder eines Impulses an der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Festkörper genutzt, indem in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel der Welle bzw. des Impulses aus der Flüssigkeit das an der Grenzfläche reflektierte Signal der Longitudinalwelle kontrolliert wird. Hat dieses Signal den Wert Null

(oder nimmt es in der praktischen Ausführung ein absolutes Amplitudenminimum an), so besteht bei Kenntnis der Parameter dichte und Schallgeschwindigkeit eines der beiden am Grenzübergang beteiligten Medien ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Einstrahlwinkel und Parametern des anderen Mediums.

Der theoretische Hintergrund ist durch folgenden Sachverhalt gegeben:

Nach A. Schoch: Schallreflexion, Schallbrechung und Schallbeugung

in „Ergebnisse der Exakten Naturwissenschaften“, Bd. XXIII, S. 127–234 (1950)

stellt sich der Reflexionskoeffizient der Longitudinalwelle an der Grenzfläche flüssig/fest dar als

$$r_{11} = \frac{(C_l/C_f)^2 \sin 2\beta_l \sin 2\beta_f + \cos^2 2\beta_l - \frac{Z_{fl}}{Z_l} \frac{\cos \beta_l}{\cos \alpha}}{(C_l/C_f)^2 \sin 2\beta_l \sin 2\beta_f + \cos^2 2\beta_l + \frac{Z_{fl}}{Z_l} \frac{\cos \beta_l}{\cos \alpha}} \quad (1)$$

mit

$Z_{fl} = \rho_f C_{fl}$	Schallkennimpedanz der Flüssigkeit
$Z_l = \rho_l C_l$	Schallkennimpedanz der Longitudinalwelle im Festkörper
ρ_{fl}	Dichte der Flüssigkeit
ρ_l	Dichte des Festkörpers
C_{fl}	Schallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit
C_l	Schallgeschwindigkeit der Longitudinalwelle im Festkörper
C_t	Schallgeschwindigkeit der Transversalwelle im Festkörper
α	Einstrahlwinkel
β_l	Brechungswinkel der Longitudinalwelle im Festkörper
β_t	Brechungswinkel der Transversalwelle im Festkörper

r_{11} ist das Amplitudenverhältnis der an der Grenzfläche flüssig/fest reflektierten zur eingestrahlten Welle. Dieses ist vom Einfallswinkel α abhängig, ebenso von den Brechungswinkeln β_l und β_t , die nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz mit α im Zusammenhang stehen.

r_{11} und damit die Amplitude der reflektierten Welle sind Null, wenn

$$(C_l/C_f)^2 \sin 2\beta_l \sin 2\beta_t + \cos^2 2\beta_l = \frac{Z_{fl}}{Z_l} \frac{\cos \beta_l}{\cos \alpha_r} \quad (2)$$

ist. Abhängig von der Komposition der beiden Medien tritt dies einmal oder dreimal im Winkelbereich $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ auf. Damit ist

$$\alpha_r = f(\rho_{fl}, C_{fl}, \rho_l, C_l, C_t \text{ bzw. } \sigma) \quad (3)$$

$$\text{mit } C_l/C_f = \begin{cases} \sqrt{\frac{1-2\sigma}{2-2\sigma}} & \sigma \text{ Poisson-Konstante} \\ & 0 \leq \sigma \leq 0,5 \\ & 0 \leq C_l/C_f \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{und } \beta_l = \arcsin \left(\frac{C_l}{C_{fl}} \sin \alpha_r \right) \quad (5)$$

$$\beta_t = \arcsin \left(\frac{C_t}{C_{fl}} \sin \alpha_r \right).$$

- A) Sind alle Parameter bis auf einen bekannt, läßt sich aus dem Meßwert für α_r der unbekannte Parameter quantitativ ermitteln. Treten drei Nullstellen für den Reflexionskoeffizienten auf, so sind sie hinsichtlich ihrer Auflösung unterschiedlich.
- B) Eine erweiterte Handhabung ergibt sich, wenn man gleichzeitig die durchgehende Longitudinalwelle kontrolliert und den Einstrahlwinkel α_d feststellt, bei welchem die Amplitude der durchgehenden Welle Null ist (oder ein absolutes Minimum annimmt). Dann nämlich gilt

$$C_{fl} = \sqrt{2} C_l \sin \alpha_d \quad (6)$$

$$\text{bzw. } C_t = \frac{C_{fl}}{\sqrt{2} \sin \alpha_d} \quad (7)$$

$$\text{oder } C_l = \sqrt{\frac{2-2\sigma}{1-2\sigma}} \frac{C_{fl}}{\sqrt{2} \sin \alpha_d} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{1-2\sigma}} \frac{C_{fl}}{\sin \alpha_d} \quad (8)$$

Im Falle, daß die Parameter des Festkörpers (ρ_l , C_l , C_t bzw. σ) bekannt sind, lassen sich die Parameter der Flüssigkeit (Z_{fl} , ρ_{fl} , C_{fl}) bestimmen.

Mit

$$\beta_1 = \arcsin \left[\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sin \alpha_r}{\sin \alpha_d} \right] \quad (9)$$

und

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \arcsin \left[\frac{C_1}{\sqrt{2} C_1} \frac{\sin \alpha_r}{\sin \alpha_d} \right] \\ &= \arcsin \left[\frac{C_1}{C_1} \sin \beta_1 \right] \\ &= \arcsin \left[\sqrt{\frac{2-2\sigma}{1-2\sigma}} \sin \beta_1 \right] \end{aligned} \quad (10)$$

ist die Schallkennimpedanz der Flüssigkeit

$$Z_{11} = g_n C_{11} = g_1 C_1 \frac{\cos \alpha_r}{\cos \beta_1} \left[\left(\frac{C_1}{C_1} \right)^2 \sin 2\beta_1 \sin 2\beta_1 + \cos^2 2\beta_1 \right] \quad (11)$$

bzw. die Dichte der Flüssigkeit

$$g_n = \frac{g_1 C_1}{\sqrt{2} C_1 \sin \alpha_d} \frac{\cos \alpha_r}{\cos \beta_1} \left[\left(\frac{C_1}{C_1} \right)^2 \sin 2\beta_1 \sin 2\beta_1 + \cos^2 2\beta_1 \right]. \quad (12)$$

C) Sind die Eigenschaften der Flüssigkeit (g_n , C_{11} bzw. Z_{11}) und die Poisson-Konst. σ des Festkörpers bekannt, dann ergibt sich aus den Messungen von α_r und α_d und in Verbindungen mit (9) und (10) die Schallkennimpedanz des Festkörpers zu

$$Z_1 = g_1 C_1 = \frac{Z_{11} \cos \beta_1}{\cos \alpha_r \left[\frac{1-2\sigma}{2-2\sigma} \sin 2\beta_1 \sin 2\beta_1 + \cos^2 2\beta_1 \right]}. \quad (13)$$

D) Führt man die Messungen nach B) und C) mit zwei verschiedenen Festkörpern in derselben Flüssigkeit aus, lassen sich die Schallkennimpedanzen vergleichen.

Die technische Anordnung besteht daher für die Messung nach A) prinzipiell aus einem Sende- und einem Empfangsschwinger, die beide unter im Bereich von 0° bis 90° veränderlichem, meßbarem, aber gleichem Winkel entgegengesetzten Vorzeichens gegen das Lot auf die Grenzfläche flüssig/fest (Reflexionsanordnung) auf denselben Punkt einer planen Festkörperoberfläche nach ihrer Strahlungscharakteristik ausgerichtet sind. Die gesamte Anordnung befindet sich in der Flüssigkeit.

Für Messungen nach B) bis D) wird die Anordnung durch einen weiteren Empfangsschwinger, der gegenüber der Einstrahlfläche am Festkörper angebracht wird, komplettiert. An den Sendeschwinger wird ein Signalgenerator, an den beiden Empfangsschwingern ein Amplitudenanzeigegerät angeschlossen.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

Eine Anordnung nach Fig. 1 wird in die Flüssigkeit, deren Schallkennimpedanz bestimmt werden soll, eingetaucht. Der im cw- oder Pulsbetrieb angeregte Sendeschwinger, der einen möglichst gebündelten Schallstrahl auf die Grenzfläche flüssig/fest strahlt, wird im Einstrahlwinkel zur Grenzfläche beim Winkel 0° beginnend so lange verändert, bis am Empfangsschwinger in Reflexionsanordnung, d.h. gleicher Winkel gegenüber dem Lot, der Empfang Null oder ein absolutes Minimum ist. Diese Stellung entspricht dem Winkel α_r , der nach der Beziehung (2) mit den anderen Größen in eindeutigen Zusammenhang steht, wie unter A) beschrieben, kann verfahren werden.

Ist gleichzeitig ein Empfangsschwinger unter dem Festkörper angebracht, so signalisiert dieser den Empfang der Longitudinalwelle Null (oder ein Minimum) beim Einstrahlwinkel α_d . Seine Beziehung zu anderen Größen zeigt (6). Mit beiden Meßwerten α_r und α_d sind entsprechend B) bis D) Schallkennimpedanzen und Dichten zu bestimmen.

