



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 07 913 T2 2004.05.13**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 097 354 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 07 913.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/FR99/01627**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 929 412.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/03205**

(86) PCT-Anmeldetag: **06.07.1999**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **20.01.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.05.2001**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **14.05.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **13.05.2004**

(51) Int Cl.7: **G01F 1/66**  
**G01P 5/00**

(30) Unionspriorität:  
**9808894 10.07.1998 FR**

(73) Patentinhaber:  
**Faure Herman, Courtaboeuf, FR**

(74) Vertreter:  
**Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80797 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:  
**CERTON, Dominique, F-37200 Tours, FR; MONOD,  
Cedric, F-75012 Paris, FR; PABOIS, Didier, F-91530  
Saint-Cheron, FR; PATAT, Frederic, 37540 Saint  
Cyr-sur-Loire, FR; REMENIERAS, Jean-Pierre,  
F-37270 Montlouis, FR**

(54) Bezeichnung: **KREUZMESSEN VON AKUSTISCHEN SIGNALEN EINES DURCHFLUSSMESSERS**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Messen der Bewegung eines Fluids in einer Leitung mittels Ultraschall, umfassend mindestens zwei Wandler; sie betrifft außerdem eine Treiberschaltung für eine solche Vorrichtung sowie ein Verfahren zum Messen der Laufzeit zwischen den Wandlern einer solchen Vorrichtung.

[0002] Durchsatzmessungen werden eingesetzt bei Anwendungen für die sofortige Zählung und Messung von Fluidströmungen in flüssiger oder gasförmiger Phase, und beispielsweise für die Umsatzmessung von Fluiden. Die von dem Messsystem gelieferte Information kann der Momentanwert oder der Momentandurchsatz, der zeitliche Durchschnittswert oder der mittlere Durchsatz oder ein zwischen zwei versetzten Zeiträumen gezähltes Volumen sein. Die momentanen oder mittleren Durchsatzmesswerte sind insbesondere bei Produktionsprozessen von Nutzen, bei denen die Notwendigkeit besteht, den Durchsatz von einem oder mehreren in den Prozess eingehenden Fluiden zu kennen, zu steuern oder zu regulieren. Die Volumenmessungen, welche sich aus der Integration der Durchsatzmessungen über ein definiertes Zeitintervall ergeben, ermöglichen die Realisierung von Zählungen, wie sie insbesondere für die Füllung oder die Entleerung von Behältern verwendet werden, ebenso wie für Transaktionen von Fluidvolumina zwischen Kunden und Lieferanten. Der auf diese Weise umgesetzte Volumenwert soll vorzugsweise ausreichend präzise sein, um insbesondere bei der Berechnung von Steuern bezüglich einer solchen Transaktion verwendet werden zu können. Im übrigen stellt sich das Durchsatzmesssystem in vorteilhafter Weise als eine autonome Anlage dar, die keine anderen Hilfsmittel benötigt, als eine elektrische Energiequelle vom Typ eines Akkumulators oder eines Standard-Wechselstromnetzes mit 50 oder 60 Hz.

[0003] Auf dem Gebiet der Durchsatzmessung allgemein und der Messtechnik von Fluiden insbesondere wurden bislang zahlreiche Methoden vorgeschlagen, die Ultraschallvorrichtungen verwenden. Der Großteil dieser Systeme machen von dem sogenannten Laufzeitverfahren Gebrauch. **Fig. 1** zeigt ein Prinzipschema eines zum Stand der Technik gehörigen Durchflussmessgeräts vom Einzelsehrentyp. An der Wand einer Leitung **3**, durch die ein Fluid in Pfeilrichtung **4** strömt, sind ein erster und ein zweiter Ultraschallwandler **1** beziehungsweise **2** angeordnet. Bei dem in **Fig. 1** gezeigten Beispiel ist die Leitung zylindrisch mit kreisförmigen Querschnitt, und die beiden Wandler sind einander diametral gegenüberliegend an den Mantellinien angebracht. Außerdem sind die beiden Wandler in Längsrichtung der Leitung **1** versetzt. Die die Zentren der Wandler **1** und **2** verbindende Linie wird als Sehne bezeichnet. Sie bildet einen Winkel  $\theta$  bezüglich der Hauptachse der Strömung, wobei es sich um die Drehachse der Leitung in dem in **Fig. 1** gezeigten Beispiel handelt. Die Länge der Sehne ist mit  $L$  bezeichnet, der Innendurchmesser der Leitung mit  $D$ . Wenn der erste Wandler **1** eine Ultraschallwelle emittiert, wird diese nach Ausbreitung von dem zweiten Wandler **2** mit einem zeitlichen Versatz  $T_{12}$ , bezeichnet als Laufzeit, erfasst. Wenn  $c$  die Schallgeschwindigkeit in dem Fluid und  $V$  die mittlere Geschwindigkeit des Fluids entlang der Sehne ist, ergibt sich für  $T_{12}$  folgende Relation:

$$(1) T_{12} = U(c + V\cos\theta)$$

[0004] Kehrt man die Rolle jedes der beiden Wandler um, so wird der zweite Wandler **2** zum Schallabstrahler und der Wandler **1** zum Empfänger und man misst die Laufzeit  $T_{21}$ , wodurch verifiziert wird:

$$(2) T_{21} = U(c - V\cos\theta)$$

[0005] Die Kombination aus den Beziehungen (1) und (2) ermöglicht das Erhalten eines Ausdrucks bezüglich der mittleren Geschwindigkeit  $V$  entlang der Längsachse der Leitung, wobei die Variable  $c$  herausfällt. Soweit man nicht unbedingt die Schallgeschwindigkeit in dem Fluid mit großer Genauigkeit kennt, und der Wert abhängt von der Beschaffenheit, der Temperatur und dem Druck der Bewegungsumgebung, kann man auf diese Weise eine Fehlerquelle ausschalten. Die durchschnittliche Geschwindigkeit  $V$  ergibt sich folglich zu:

$$(3) V = L \cdot (T_{21} - T_{12}) / (2\cos\theta \cdot T_{12} T_{21})$$

[0006] Der Ausdruck für den Durchsatz,  $Q$ , erhält man, indem man die durchschnittliche Geschwindigkeit  $V$ , errechnet, gemäß Gleichung (3), mit dem Durchsatz-Querschnitt  $\pi D^2/4$  bei kreisförmigen Querschnitt dividiert und dabei je nach Gegebenheit gewisse Korrekturfaktoren berücksichtigt, so dass man folgendes erhält:

$$(4) Q = \frac{T_{21} - T_{12}}{(T_{12} - T_1)(T_{21} - T_2)} \times \frac{\pi \cdot L \cdot D^2}{8 \cdot \cos\phi} \times K_h$$

[0007] In dieser Formel sind  $T_1$  und  $T_2$  die Ausbreitungszeiten für die Ultraschallwelle in einem durchsatzfreien Teil der Strömung außerhalb des Durchmessers  $D$  für die Strecken von dem ersten Wandler zu dem zweiten

Wandler beziehungsweise von dem zweiten Wandler zu dem ersten Wandler.  $T_1$  und  $T_2$  sind gleich, ausgenommen der spezielle Fall, dass es eine Bewegung in diesen durchsatzfreien Zonen gibt. Diese Zeiten entsprechen insbesondere der Zeit, welche die Ultraschallwelle benötigt, um die verschiedenen Materialschichten des Wandlers und der Anbringungszone zwischen dem Wandler und der Fluidmasse zu durchqueren.  $K_h$  ist der hydraulische Koeffizient des Ultraschall-Durchflussmessers. Er wird bestimmt, um die Probenentnahme außerhalb der Messung zu korrigieren. Tatsächlich liefert das Prinzip der Laufzeitdifferenz einen Messwert für die mittlere Geschwindigkeit der Strömung entlang der die Wandler verbindenden Messsehne. Diese Sehne ist nicht besonders repräsentativ für die gesamte Durchsatzfläche. Folglich ergibt sich ein Fehler des berechneten Durchsatzes, der abhängt von dem realen Geschwindigkeitsprofil im Inneren des Durchsatz-Querschnitts. Der Koeffizient  $K_h$  dient zum Korrigieren dieses Fehlers. Im allgemeinen wird dieser Koeffizient nach einer Versuchsmessung festgelegt, er gilt für einen gewissen Durchsatz-Wertebereich.

[0008] Diese Art von Durchsatzmesser wirft folgende Probleme auf:

Ein Hauptfaktor, der die Genauigkeit eines Ultraschall-Durchsatzmessers beeinflusst, der von dem Laufzeitprinzip Gebrauch macht, ist die Genauigkeit, mit der man die unterschiedlichen Messzeiten  $T_{12} - T_{11}$ ,  $T_{21} - T_{22}$  und  $T_{21} - T_{12}$  in der Formel (4) gewinnt. Die Zeit  $T_{12}$  oder  $T_{21}$  liegt in der Größenordnung von 1/100 Mikrosekunde, die Messung dieser Laufzeit mit einer Präzision in der Größenordnung von 1/1000 stellt keine besonderen Probleme dar. Hingegen ist das exakte Maß für die Differenz  $T_{12} - T_{21}$  viel diffiziler, da bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten diese Größe unterhalb einer Nanosekunde liegen kann. Die Genauigkeit der Strömungsmessung ist begrenzt durch die Genauigkeit dieser Laufzeitdifferenz.

[0009] Außerdem ist es in gewissen Anwendungsfällen der Durchflussmessung wichtig, Durchflussmessungen im Echtzeitbetrieb durchzuführen. Derartige Anwendungen gibt es zum Beispiel in Fertigungsprozessen, bei denen der Durchsatz direkt anschließend als Funktion des Messergebnisses reguliert wird, oder wo ein zeitlicher Gewinn bei der Messung von Bedeutung sein kann, um eine mögliche Verschlechterung der Qualität oder einem Produktionsausfall zu vermeiden. Der in **Fig. 1** dargestellte Durchflussmesser ermöglicht in nur schwieriger Weise, Messungen im Echtzeitbetrieb bereitzustellen, soweit aufeinander folgende Laufzeitmessungen in zwei Richtungen erforderlich sind.

[0010] Die US-A-3 738 169 beschreibt ein Verfahren zum Messen der Verlagerung eines Fluids in einer Leitung durch Berechnung der Laufzeitdifferenz von Ultraschall zwischen zwei Wandlern in der einen und der anderen Richtung.

[0011] Aufgabe der Erfindung ist es, das neue Problem der Messgenauigkeit bei Durchflussmessgeräten zu lösen. Außerdem ist es Aufgabe der Erfindung, das neue Problem der Realzeit-Durchflussmessung zu lösen. Ein weiteres Ziel der Erfindung betrifft die Qualitätsverbesserung und die Verbesserung der Geschwindigkeit bei der Ermittlung von abgeschätzter Durchflussmenge anhand von Laufzeitmessungen und der damit einhergehenden Erzielung von Echtzeitmessungen. Insbesondere schlägt die Erfindung ein Verfahren zum Messen der Bewegung eines Fluids in einer Leitung durch Berechnen der Differenz zwischen Ultraschall-Laufzeiten zwischen zwei Wandlern in der einen und der anderen Richtung vor, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Gleichzeitiges Anregen von zwei Wandlern, anschließend
- gleichzeitiges Messen der an jedem der Wandler empfangenen Signale, die von dem anderen Wandler stammen,
- und durch den Schritt der synchronen Digitalisierung der an jedem der Wandler empfangenen Signale.

[0012] In einer Ausführungsform wird der Schritt der gleichzeitigen Anregung mit Hilfe einer einzigen Schaltung durchgeführt.

[0013] Man kann einen Schritt der synchronen Digitalisierung der an jedem Wandler empfangenen Signale vorsehen.

[0014] Bei einer Ausführungsform umfasst die Berechnung der Laufzeitdifferenz das gegenseitige Korrelieren der empfangenen Signale, die Berechnung der Hilbert-Transformierten der gegenseitigen Korrelation und das Suchen der Nullstellen der Hilbert-Transformierten.

[0015] In diesem Fall erfolgt die Suche der Nullstellen durch Polynom-Interpolation der Hilbert-Transformierten, vorzugsweise durch Interpolation mit Hilfe eines Polynoms dritten Grades.

[0016] Man kann außerdem einen Schritt des Eichens nach Maßgabe der Ausbreitungszeit von Ultraschall außerhalb des Fluidstroms vorsehen.

[0017] Dieser Eichschritt beinhaltet in vorteilhafter Weise die Messung der Laufzeit zwischen den Wandlern für zwei Fluide mit unterschiedlicher und bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit.

[0018] In einer Ausführungsform enthält das Verfahren einen Schritt des Korrigierens der Werte der Ultraschall-Ausbreitungszeit außerhalb des Fluidstroms in Abhängigkeit der Temperatur.

[0019] Die Erfindung betrifft außerdem eine Treiberschaltung für eine Vorrichtung zum Messen der Bewegung eines Fluids in einer Leitung, umfassend mindestens zwei Wandler, die eine Messsehne oder Messstrecke definieren, umfassend:

eine Anregungseinrichtung zum gleichzeitigen Anregen der beiden Wandler;

eine Einrichtung zum gleichzeitigen Messen der an jedem der Wandler empfangenen Signale, die von dem anderen Wandler stammen, und  
 eine Umschalteinrichtung zum sukzessiven Verbinden der Anregungseinrichtung und der Messeinrichtung mit Anschlüssen der Wandler, und  
 eine Einrichtung zum synchronen Digitalisieren der an jedem der Wandler empfangenen Signale.

[0020] Bei einer Ausführungsform enthält die Umschalteinrichtung eine Multiplexerschaltung.

[0021] Die Messeinrichtung enthält in vorteilhafter Weise einen Verstärker und einen Analog-Digital-Wandler.

[0022] Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung zum Messen der Bewegung eines Fluids in einer Leitung umfassend mindestens zwei Wandler und eine solche Treiberschaltung.

[0023] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Lektüre der folgenden detaillierten Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die beispielhaft unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen präsentiert wird. Es zeigen:

[0024] **Fig. 1** ein Prinzipschema eines zum Stand der Technik gehörigen Durchsatzmessers vom Einzelsehnen-Typ;

[0025] **Fig. 2** ein Prinzipschema einer Treiberschaltung gemäß der Erfindung für eine Vorrichtung zum Messen der Bewegung eines Fluids mittels Ultraschall;

[0026] **Fig. 3** und **4** eine Längsschnittansicht beziehungsweise eine Querschnittansicht einer Messvorrichtung eines Ultraschall-Durchflussmessers, bei dem die erfindungsgemäße Treiberschaltung anwendbar ist.

[0027] Die Erfindung schlägt eine Lösung vor, die eine beträchtliche Steigerung der Genauigkeit der Messung in Fluid-Durchflussmessgeräten ermöglicht, die von der Laufzeitdifferenzmessung zwischen zwei Wandlern Gebrauch machen. Die Erfindung findet Anwendung bei bekannten Messgeräten, seien sie vom Einzelsehnen- oder vom Mehrsehnen-Typ, vom Typ gemäß **Fig. 1** aber auch Messvorrichtungen vom Typ gemäß **Fig. 3** oder sogar vom Typ, wie er beschrieben ist in dem Patent "Débitmètre à ultrasons multicorde" der Anmelderin dieser Patentanmeldung.

[0028] Die Erfindung betrifft insbesondere Messgeräte, die von der Ähnlichkeit von Signalen Gebrauch machen, die für die Laufzeit zwischen den Wandlern repräsentativ sind.

[0029] Von der bereits oben verwendeten Notation Gebrauch machend, beruht ein erstes Berechnungsverfahren für die Differenz  $T_{21} - T_{12}$  auf der Suche nach dem Maximum der Korrelationsfunktion zwischen den beiden Signalen, die empfangen werden, nachdem die Strecke von dem Wandler **1** hin zum Wandler **2** und von dem Wandler **2** hin zu dem Wandler **1** durchlaufen ist. Das Maximum dieser Korrelationsfunktion der beiden Signale wird erhalten für einen Wert, welcher der Laufzeitdifferenz entspricht. Eine derartige Berechnung der Laufzeitdifferenz erfolgt vorteilhaft anhand digitalisierter Signale, wie weiter unten erläutert wird. Da die Erfindung gewährleistet, dass die Signale einen ähnlichen Verlauf haben, ermöglicht die Berechnung der Korrelation der Signale die Erzielung einer Genauigkeit einer Messung der Laufzeit, die deutlich unterhalb der Abtastperiodendauer liegt.

[0030] Eine weitere Methode zum Berechnen der Differenz  $DT = T_{21} - T_{12}$  basiert auf der Suche eines Nulldurchgangs der Hilbert-Transformierten, bezeichnet mit  $Cs\emptyset(r)$  der Interkorrelationsfunktion zwischen den Signalen, die nach dem Durchlauf von dem Wandler **1** in Richtung des Wandlers **2** und von dem Wandler **2** in Richtung des Wandlers **1** empfangen werden. Dieses andere Verfahren hat gegenüber dem vorgenannten Verfahren den Vorteil, dass bei einem gegebenen Rauschabstand die Messverzerrung, das heißt die Differenz zwischen dem wahren Wert der Zeitdifferenz und dem abgeschätzten Wert, um den Faktor **10** verringert wird. Auch hier erfolgt die Berechnung in vorteilhafter Weise anhand digitalisierter Signale.

[0031] Mit  $s(n)$  und  $r(n)$  werden Folgen von  $N$  Punkten bezeichnet, die gleichzeitig von den Wandlern des elektronischen Erfassungssystems digitalisiert werden, welche den empfangenen Signalen entsprechen. Die Suche nach der Differenz  $DT$  kann also in zwei Stufen erfolgen: Man beginnt mit einer ersten Grobabschätzung und anschließend verfeinert man je nach Fall diese Abschätzung durch Interpolation von  $Cs\emptyset(r)$  um ihren Nullpunkt herum. In dieser ersten Phase wird die Hilbert-Transformierte der Interkorrelation ausgehend von den beiden Signalen  $r(n)$  und  $s(n)$  berechnet. Die schnelle Suche der Nullstelle dieser Funktion, die sich zwischen dem kleinsten und größten Wert der Funktion befindet, erfolgt durch Berechnung, beispielsweise Trennung in zwei Klassen. Das Berechnen der Hilbert-Transformierten  $Cs\emptyset(r)$  kann durch schnelle Fourier-Transformation (FFT) erfolgen, wie es gleich erläutert werden wird. Man beginnt damit,  $R(f)$  und  $S(f)$  zu berechnen, die Fourier-Transformierten von  $r(n)$  und  $s(n)$ . Dann bildet man von  $S(f)$  die Komplex-Konjugierte  $S^*(f)$  und man multipliziert diesen Wert mit  $R(f)$ . Das Produkt  $R(f) \cdot S^*(f)$  wird anschließend im Frequenzbereich multipliziert mit  $j \cdot \text{sign}(-f)$  mit  $j^2 = -1$  und  $\text{sign}(-f)$  als Funktion des Werts  $+1$  für negative Frequenzen zwischen  $-f_g/2$  und  $0$  und einem Wert  $-1$  für positive Frequenzen zwischen  $0$  und  $f_g/2$ , wobei  $f_g$  die Abtastfrequenz ist. Man wendet dann die inverse Fourier-Transformation auf die Funktion  $j \cdot \text{sign}(-f) \cdot R(f) \cdot S^*(f)$  an, um die Hilbert-Transformierte  $Cs\emptyset(r)$  zu erhalten.

[0032] Die Rohabschätzung der Nullstelle der Hilbert-Transformierten lässt sich gewinnen durch das zeitliche Intervall, welches begrenzt wird durch den Maximal- und den Minimalwert von  $Cs\emptyset(r)$ , durch Vergleich der Vorzeichen der aufeinander folgenden Punkte, wobei man mit dem Maximumwert und dem Minimumwert beginnt.

In der zweiten Stufe kann man auch mit einer verfeinerten Suche der Nullstelle der Hilbert-Transformierten weitermachen, indem man eine Interpolation vornimmt, beispielsweise in Form einer Interpolation von vier Punkten um die zuvor bestimmte Nullstelle herum, bezeichnet als Folge  $A_i(x_i, y_i)$ , wobei  $i$  Werte von 1 bis 4 annimmt. In vorteilhafter Weise wählt man zwei Punkte unterhalb von Null und zwei Punkte oberhalb von Null. Eine Interpolation mittels Polynom dritter Ordnung, welche durch die vier Punkte verläuft, liefert gute Resultate und stellt einen akzeptierbaren Kompromiss dar zwischen der Komplexität und der Geschwindigkeit der Berechnung der Interpolationsfunktion. Für die polynomische Interpolation lautet das Interpolations-Polynom von Lagrange:

$$g_3(t) = \sum_{i=1}^4 \left[ y_i \prod_{j \neq i} \frac{(t - x_j)}{(x_i - x_j)} \right]$$

oder man nimmt eine normierte Version dieses Polynoms oder ein anderes Interpolations-Polynom. Die gesuchte Verzögerung  $DT$  ist die Wurzel dieses Polynoms, das heißt der reelle Wert  $t_0$ , bei dem  $g(t_0) = t$ . Das Polynom dritten Grades kann drei reelle Wurzeln aufweisen, die man analytisch mit Hilfe der normierten Polynom-Koeffizienten ermitteln kann, und in diesem Fall gewinnt man aus diesen drei Lösungen diejenige, die zwischen dem Minimum und dem Maximum der zuvor berechneten Hilbert-Transformierten  $Cs\phi(r)$  liegt.

[0033] Diese Methode ermöglicht die Erzielung einer Genauigkeit der Messung der Laufzeit  $DT$  deutlich unterhalb des Abtastintervalls. Für Größenordnungen des Rauschabstands der empfangenen Signale von 50 dB kann eine Standardabweichung der Messung der Zeitverzögerung von 0,2 ns typischerweise für ein Signal-Abtastintervall von 50 ms erzielt werden.

[0034] Um einen guten Korrelationswert zwischen den Signalen zu erhalten, schlägt die Erfindung vor, dass die an jedem Wandler empfangenen Signale einander möglichst ähneln. Zu diesem Zweck schlägt die Erfindung vor, die beiden Wandler einer Messsehne gleichzeitig anzuregen und anschließend gleichzeitig die Signale zu messen, die an jedem der Wandler von dem jeweils anderen Wandler ankommen. Dies hat außerdem den Vorteil, dass man eine Messung in kürzest möglicher Zeit vornehmen kann, da die Messungen der Laufzeiten zwischen den beiden Wandlern eine Messstrecke gleichzeitig stattfinden.

[0035] Die Erfindung ermöglicht außerdem, den Einfluss von Schwankungen, die durch die Bewegung des Fluids hervorgerufen werden, beträchtlich einzuschränken. Bei Systemen im Stand der Technik kann die Strömung des Fluids zwischen den sukzessiven Messungen der Laufzeiten in der einen oder der anderen Richtung schwanken. Im Gegensatz dazu erfolgen erfindungsgemäß die Messungen absolut gleichzeitig derart, dass die Strömung als quasi-stationär während der Messzeit angesehen werden kann. Anders ausgedrückt: die von dem Wandler **1** zu dem Wandler **2** und umgekehrt laufenden Wellen durchsetzen das Fluid in den gleichen Turbulenz-Zuständen.

[0036] Anschließend kann man die empfangenen Signale verarbeiten. Die Erfindung schlägt hierzu vor, die empfangenen Signale zu digitalisieren, um eine exaktere Bearbeitung zu ermöglichen. Dieser Vorgang ist weniger kostspielig und ermöglicht die Vermeidung von Problemen aufgrund von Drifterscheinungen und den der analogen Elektronik eigenen Steuerungen, um die benötigten Berechnungen mit Hilfe eines Mikroprozessors durchführen zu können, der in dem Durchflussmesssystem eingebaut ist. Der Ultraschall-Frequenzbereich, der für die Durchflussmesser verwendet wird, liegt zwischen einigen Hundert kHz und einigen MHz, einer Abtastzeit von 50 ns bis 500 ns, eignet sich zur Bereitstellung einer vollständigen Darstellung der empfangenen Signale.

[0037] **Fig. 2** zeigt ein Prinzipschema einer Treiberschaltung gemäß der Erfindung für eine Ultraschall-Fluid-Durchflussmessvorrichtung. Die Schaltung nach **Fig. 2** entspricht im einfachsten Fall einer Messvorrichtung, die nur eine Messsehne oder Messstrecke, das heißt zwei Wandler enthält. Die Schaltung enthält Anschlüsse **10** und **11** für den Anschluss an die Wandler **12** und **13**. Diese Anschlüsse sind mit Umschaltmitteln **15** verbunden, im dargestellten Beispiel der **Fig. 2** einer Multiplexerschaltung.

[0038] Weiterhin ist die Multiplexerschaltung **15** mit einer Einrichtung zur gleichzeitigen Anregung der beiden Wandler verbunden. Diese Einrichtung enthält eine einzige Emitterschaltung **16**, die in der Lage ist, die beiden Wandler gleichzeitig anzuregen, soweit die Schalteinrichtung die Emitterschaltung mit den Anschlüssen der Wandler verbindet. Die Schalteinrichtung ermöglicht der Emitterschaltung, die beiden Wandler parallel zu treiben, um auf diese Weise zu garantieren, dass die Anregungs-Wellenformen aus der Sicht dieses Wandlers gleichzeitig und identisch sind. Außerdem ist die Schaltung mit einer Einrichtung zur gleichzeitigen Messung der empfangenen Signale an jedem der Wandler ausgestattet. Bei dieser Ausführungsform enthält die Messeinrichtung zwei Messpfade **17** und **18**, von denen jeder Messpfad für einen der Wandler vorgesehen ist. Jeder Messpfad enthält einen Verstärker **19** beziehungsweise **20**, dessen Ausgang mit einem Analog-Digital-Wandler **21** beziehungsweise **22** verbunden ist. Die Vorverstärker **19** und **20** sind ebenfalls bei ihrer Planung und in der Paarung ihrer Bestandteile möglichst identisch, was auch für den Einbau auf die gedruckte Schaltung und die elektronischen Regler gilt, so dass keine Verzögerung oder Verformung der empfangenen Signale erfolgt. Der Ausgang jedes Analog-Digital-Wandlers ist mit einer Rechenschaltung **23** verbunden, die beispielsweise

durch einen Mikroprozessor realisiert ist.

[0039] Die Schaltung nach **Fig. 2** ermöglicht also das gleichzeitige und identische Erregen der Wandler, da die Umschalteneinrichtung die Anregungseinrichtung und die Wandler gleichzeitig verbindet. Nachdem die Wandler angeregt sind, verbindet die Umschalteneinrichtung die Wandler mit den Messeinrichtungen, um gleichzeitig die an jedem Wandler von dem jeweils anderen Wandler empfangenen Signale zu messen. Das Prinzip der Reziprozität, welches auf Wandler vom piezoelektrischen-Typ anwendbar ist, garantiert, dass die an jedem Wandler aufgenommenen Signale derart ähnlich sind, dass die Empfangssignale sich ausschließlich in ihrer Laufzeit unterscheiden.

[0040] Die Erfindung findet Anwendung nicht nur bei Vorrichtungen der in **Fig. 1** gezeigten Art, sondern allgemein bei sämtlichen Arten von Messgeräten, die Wandler aufweisen, in denen eine Messung der Laufzeitdifferenz zwischen den paarweisen Wandlern in der einen Laufrichtung oder der anderen Laufrichtung erfolgt. Die möglichen Konfigurationen von Wandlern sind insbesondere in der oben erwähnten Patentanmeldung der Anmelderin beschrieben. Die **Fig. 3** und **4** zeigen im Längsschnitt beziehungsweise im Querschnitt eine Messvorrichtung, wie sie in der genannten Patentanmeldung beschrieben wird, und bei der die vorliegende Endung anwendbar ist. Die Vorrichtung dieser Figuren umfasst sechs Wandler **31** bis **36**, welche zwei Gruppen von jeweils drei Wandlern bilden, die entlang der Leitung **30** beabstandet angeordnet sind. Die Wandler jeder Wandlergruppe sind regelmäßig über den Umfang der Leitung verteilt. Die Wandler einer der Gruppen bilden ein Strahlendiagramm, welches zumindest zwei der Wandler der anderen Gruppe abdeckt. Auf diese Weise deckt das Strahlendiagramm des Wandlers **31** der ersten Gruppe die Wandler **35** und **36** der zweiten Gruppe ab, das heißt die Anordnung der Wandler der zweiten Gruppe mit Ausnahme des Wandlers **34**, der sich auf dem gleichen Mantel befindet. Die Vorrichtungen nach den **Fig. 3** und **4** ermöglichen die Bildung von sechs Messstrecken oder -sehnen mit sechs Wandlern.

[0041] Für die Vorrichtung nach den **Fig. 3** und **4** sieht man eine Schaltung vor, die eine Einrichtung zum gleichzeitigen und identischen Anregen von zwei Wandlern aufweist, und die eine Messeinrichtung zum gleichzeitigen Messen der an zwei Wandlern empfangenen Signale aufweist. Die Schaltung enthält außerdem eine Schalteinrichtung zum sukzessiven Verbinden der Anregungseinrichtung und der Messeinrichtung mit den Anschlüssen zweier Wandler, die unter den sechs Wandlern der Vorrichtung ausgewählt sind.

[0042] Die Messung kann beispielsweise folgenden Ablauf haben:

- Gleichzeitige Messung von  $T_{16}$  und  $T_{61}$ , durch Verbinden der Wandler **31** und **36** mit der Anregungs-, und dann mit der Messeinrichtung;
- gleichzeitiges Messen von  $T_{15}$  und  $T_{51}$  durch Verbinden der Wandler **31** und **35** mit der Anregungs-, anschließend mit der Messeinrichtung;
- gleichzeitiges Messen von  $T_{24}$  und  $T_{42}$  durch Verbinden der Wandler **32** und **34** mit der Anregungs-, und dann mit der Messeinrichtung;
- gleichzeitiges Messen von  $T_{26}$  und  $T_{62}$  durch Verbinden der Wandler **32** und **36** mit der Anregungs-, und dann mit der Messeinrichtung;
- gleichzeitiges Messen von  $T_{34}$  und  $T_{43}$  durch Verbinden der Wandler **33** und **34** mit der Anregungs-, anschließend der Messeinrichtung;
- gleichzeitiges Messen von  $T_{35}$  und  $T_{53}$  durch Verbinden der Wandler **33** und **35** mit der Anregungs-, und dann der Messeinrichtung;

wobei  $T_{ij}$  die Messung der Laufzeit zwischen den Wandlern **3i** und **3j** mit  $1 \leq i, j \leq 6$  ist. Auf diese Weise kann man in kürzester Zeit die Werte der Geschwindigkeit oder des Durchsatzes an den sechs Messsehnen berechnen; der Durchschnitt dieser Werte ergibt rascher ein Maß für die Geschwindigkeit oder den Durchsatz, außerdem ist der Wert exakter und zuverlässiger als bei bekannten Vorrichtungen.

[0043] Die Erfindung findet also Anwendung bei jeder Ultraschall-Durchflussmessvorrichtung mit mehreren Wandlern, die an gewählten Stellen an der Wand einer Leitung fixiert sind, durch die das Fluid strömt, von dem der Durchsatz gemessen werden soll. Die Leitung kann eine Leitung jeden Typs, jeder Größe und jedes Materials sein, die in der Praxis verwendet werden. Die Wandler können an den Wänden mit klassischen Mitteln befestigt werden, die an sich bekannt sind. Die Erfindung schlägt dazu noch vor, die Ausbreitungszeit von Ultraschall außerhalb der Fluidmasse zu eichen, wie es im folgenden beschrieben wird. Im Bereich klassischer Laufzeit-Durchflussmessanlagen sind die Zeiten  $T_1$  und  $T_2$  gleich groß, da die beiden Wellen die gleichen Wege in umgekehrten Richtungen zurücklegen. Die Messung von  $(T_1 + T_2)/2$  kann dadurch vorgenommen werden, dass man sukzessive die mit den Wandlern bestückte Messmanschette mit zwei reinen Flüssigkeiten gesteuerter Temperatur mit unterschiedlichen und bekannten Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten sehr präzise auffüllt. Beispielsweise macht man von Wasser und Ethylalkohol Gebrauch. Man nimmt Messungen der Laufzeit für jedes Wandlerpaar in jedem der verschiedenen Milieus vor. Auf diese Weise erhält man ein System von zwei linearen Gleichungen mit zwei Unbekannten  $T_1 + T_2$  und  $L$ . Die Lösung des Systems ermöglicht das Einspeichern passender exakter Werte für  $T$ , und  $L$  in einen Speicher zwecks Verwendung in der Formel (4)

während des Betriebs.

[0044] Für den Fall, dass diese Werte derart temperaturabhängig sein sollten, dass es das Messergebnis signifikant beeinflussen sollte, schlägt die Erfindung außerdem vor, diese Werte als Funktion der Temperatur zu korrigieren. Zu diesem Zweck kann man in die Messvorrichtung eine Temperatursonde einbauen und die Werte für die Laufzeiten in Abhängigkeit der Temperatur korrigieren. Es versteht sich, dass in diesem Fall der Temperaturnaehmer an verschiedenen Stellen in dem Messgerät angeordnet werden kann, oder aber auch in der Nähe des Messgeräts, um die Temperatur des Fluids zu messen.

[0045] Die erfindungsgemäÙe Vorrichtung ist derart konzipiert, dass den vorgegebenen Anforderungen nach den jeweils möglichen Einsatzbedingungen der Anlage Rechnung getragen ist, welche die Umgebung darstellen, wobei auf den Messendwert (Durchflussmessung, Zählung) geachtet ist. Insbesondere ermöglicht sie eine stabile Wiederholbarkeit von Durchflussmessungen und eine Messgenauigkeit gemäß internationalen Normen. Gleichzeitig weist sie eine nur sehr schwache Empfindlichkeit für dynamische Bedingungen der Strömung auf (Hydraulische Bedingungen stromaufwärts des Messsystems, Entwicklung der Reynolds-Zahl...), auch gegenüber thermodynamischen Parametern des Fluids und der Außenumgebung der Anlage (Drücke, Temperaturen, Feuchtigkeit,...).

[0046] Dass im Rahmen der vorliegenden Erfindung beschriebene Ultraschallsystem ermöglicht folglich gegenüber bekannten Vorrichtungen eine Fluid-Durchflussmessung mit gesteigerter Genauigkeit, einer geringen Empfindlichkeit gegenüber zufälligen Geschwindigkeitsschwankungen in Verbindung mit der Turbulenz, und eine erhöhte Geschwindigkeit. Die erfindungsgemäÙe Vorrichtung ermöglicht durch Reduzierung der Anzahl von Wandlern und die Einbeziehung digitaler Elektronik eine Begrenzung der Kosten des Systems, aber auch der Wartung- und Eichkosten.

[0047] Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf die dargestellten Ausführungsbeispiele beschränkt ist; man kann auch von analogen Schaltungen oder anderen Mitteln zum Umschalten als der Multiplex-Schaltung Gebrauch machen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen der Bewegung eines Fluids in einer Leitung (**3**) durch Berechnen der Differenz zwischen Ultraschall-Laufzeiten zwischen zwei Wandlern (**1, 2; 12, 13**) in der einen und der anderen Richtung, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

– gleichzeitiges Anregen von zwei Wandlern (**1, 2; 12, 13**), anschließend  
– gleichzeitiges Messen der an jedem der Wandler empfangenen Signale, die von dem anderen Wandler stammen,

und durch den Schritt der synchronen Digitalisierung der an jedem der Wandler empfangenen Signale.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schritt des gleichzeitigen Anregens mit Hilfe einer einzigen Schaltung (**16**) durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Berechnung der Differenz der Laufzeiten das gegenseitige Korrelieren der an jedem der Wandler empfangenen Signale und das Aufsuchen des Korrelations-Maximums beinhaltet.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Berechnung der Differenz der Laufzeiten das gegenseitige Korrelieren der empfangenen Signale, die Berechnung der Hilbert-Transformierten der gegenseitigen Korrelation und das Suchen der Nullstellen der Hilbert-Transformierten beinhaltet.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Suche der Nullstellen durch Polynom-Interpolation der Hilbert-Transformierten erfolgt, vorzugsweise durch Interpolation mit Hilfe eines Polynoms dritten Grades.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass es einen Schritt des Eichens nach Maßgabe der Ausbreitungszeit von Ultraschall außerhalb des Fluidstroms beinhaltet.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Eichschritt das Messen der Laufzeit zwischen den Wandlern für zwei Fluide mit unterschiedlicher und bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit beinhaltet.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass es einen Korrekturschritt zum Korrigieren der Werte der Ultraschall-Ausbreitungszeit außerhalb des Fluidstroms in Abhängigkeit der Temperatur beinhaltet.

9. Treiberschaltung für eine Vorrichtung zum Messen der Bewegung eines Fluids in einer Leitung (**3**), mit mindestens zwei Wandlern (**1, 2; 12, 13**), die eine Messsehne definieren, umfassend:

- eine Anregungseinrichtung zum gleichzeitigen Anregen (**16**) der beiden Wandler;
- eine Einrichtung (**17, 18**) zum gleichzeitigen Messen der an jedem der Wandler empfangenen Signale, die von dem anderen Wandler stammen; und
- eine Umschalteneinrichtung (**15**) zum sukzessiven Verbinden der Anregungseinrichtung und der Messeinrichtung mit Anschlüssen (**10, 11**) der Wandler,

außerdem eine Einrichtung zum synchronen Digitalisieren der an jedem der Wandler empfangenen Signale.

10. Schaltung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Umschalteneinrichtung eine Multiplexerschaltung enthält.

11. Schaltung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Messeinrichtung mindestens einen Verstärker (**19, 20**) und mindestens einen Analog-Digital-Wandler (**21, 22**) aufweist.

12. Vorrichtung zum Messen der Bewegung eines Fluids in einer Leitung, umfassend mindestens zwei Wandler und eine Treiberschaltung nach Anspruch 9, 10 oder 11.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

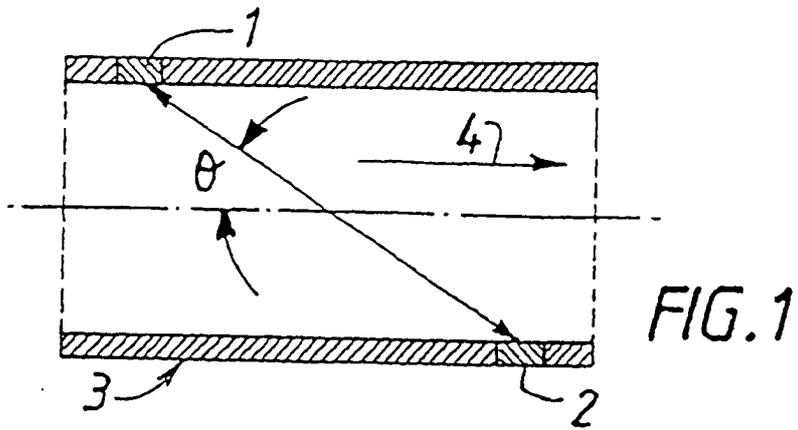


FIG. 1

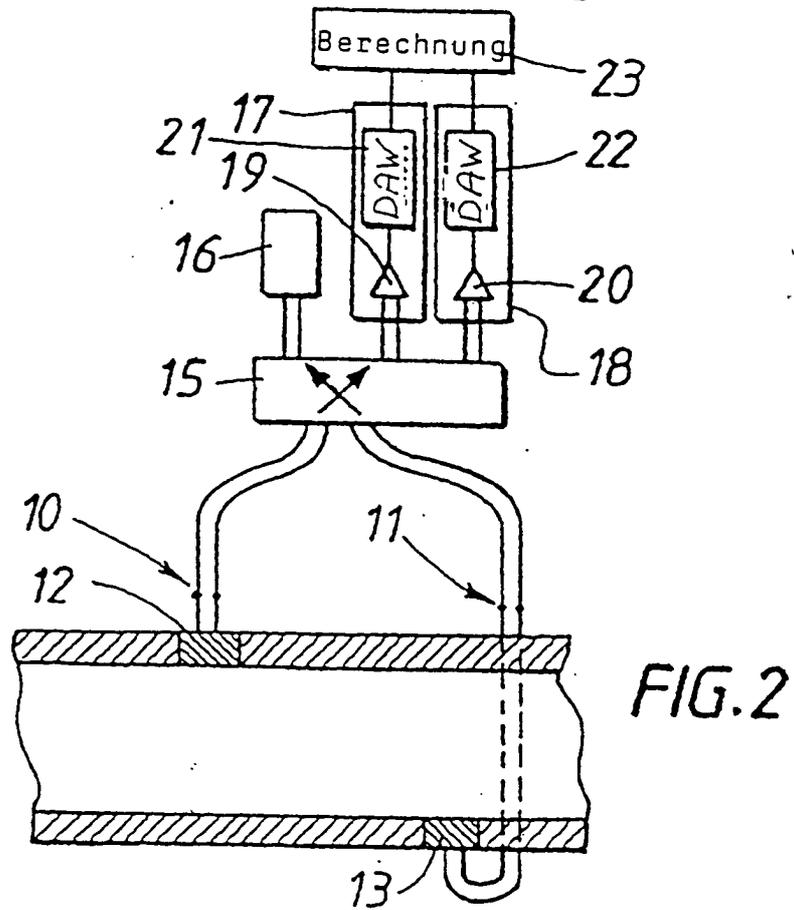


FIG. 2

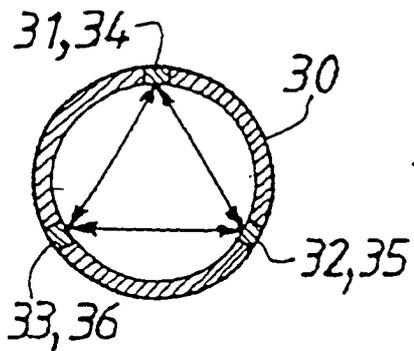


FIG. 4

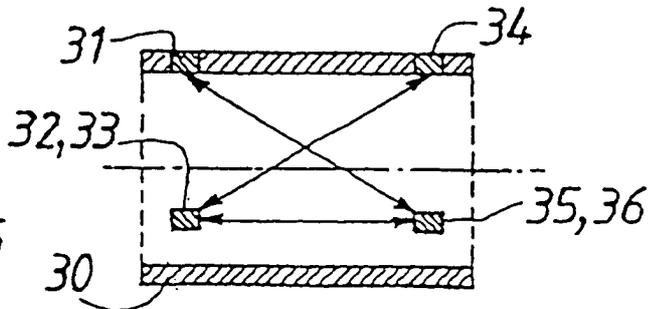


FIG. 3