

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
12. April 2007 (12.04.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/039394 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
G01F 1/66 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2006/066122
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
7. September 2006 (07.09.2006)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2005 047 790.9 5. Oktober 2005 (05.10.2005) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** **ENDRESS+HAUSER FLOWTEC AG [CWCH];**
Kägenstrasse 7, CH-4153 Reinach (CH).
- (72) **Erfinder; und**
(75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** **BERGER, Andreas** [CH/CH]; Parkstrasse 53, CH-4106 Therwil (CH).
BRUMBERG, Oliver [DE/DE]; Grendelmattweg 15, 79618 Rheinfelden (DE). **WIEST, Achim** [DE/DE]; Kirchstrasse 8/1, 79576 Weil Am Rhein (DE).
- (74) **Anwalt:** **ANDRES, Angelika;** c/o Endress+Hauser (Deutschland) Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576 Weil Am Rhein (DE).

- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, **AZ**, BA, BB, BG, BR, **BW, BY, BZ**, CA, CH, CN, *QQ*, CR, *QV*, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, *KE, KQ, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.*
- (84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (**BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW**), eurasisches (**AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM**), europäisches (**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR**), OAPI (**BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG**).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) **Title:** DEVICE FOR DETERMINING OR MONITORING A MEDIUM VOLUME OR MASS FLOW RATE IN A CONDUIT

(54) **Bezeichnung:** VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG ODER ÜBERWACHUNG DES VOLUMEN- ODER MASSE-DURCHFLUSSES EINES MEDIUMS DURCH EINE ROHRLEITUNG

(57) **Abstract:** The invention relates to a multi-channel flow meter comprising at least one ultrasonic sensor (1up, 2up, 3up; 8) positioned in the first area of a measuring conduit or tube (5), at least two ultrasonic sensors (1dn, 2dn, 3dn) positioned in the second area of the measuring conduit or tube (5) in such a way that ultrasonic measuring signals cross said measuring conduit or tube (5) in the medium (4) discharge direction (S) or oppositely on sonic path (SP) having different lengths (L). A transmission stage (10) simultaneously activates the ultrasonic sensor (8) or the ultrasonic sensors (1up, 2up, 3up; 1dn, 2dn, 3dn) of the first and second areas for transmitting the ultrasonic measuring signals. On the basis of the different sonic path (SP) lengths (L), a receiving stage (11) detects the ultrasonic measuring signals incoming at temporal intervals from the ultrasonic sensors (1dn, 2dn, 3dn; 1up, 2up, 3up) of the first and second areas. An evaluating stage (12) determines the medium (4) volume or mass flow rate in the measuring conduit or tube (5) by means of the propagation time difference of the ultrasonic measuring signals in the discharge direction (S) and in the direction opposite thereto on the individual sonic paths (SP).

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Ultraschall-Durchflussmessgerät mit mehreren Messkanälen. Zumindest ein Ultraschallsensor (1up, 2up, 3up; 8) ist in einem ersten Bereich der Rohrleitung (5) bzw. des Messrohres (5) angeordnet; zumindest zwei Ultraschallsensoren (1dn, 2dn, 3dn) sind in einem zweiten Bereich der Rohrleitung (5) bzw. des Messrohres (5) derart angeordnet, so dass die Ultraschall-Messsignale die Rohrleitung (5) oder das Messrohr (5) in bzw. entgegengesetzt zur Strömungsrichtung (S) des Mediums (4) auf Schallpfaden (SP) mit unterschiedlicher Länge (L) durchlaufen. Eine Sendestufe (10) regt den Ultraschallsensor (8) bzw. die Ultraschallsensoren (1up, 2up, 3up; 1dn, 2dn, 3dn) des ersten oder des zweiten Bereichs zeitgleich zur Aussendung der Ultraschall-Messsignale an. Aufgrund der unterschiedlichen Länge (L) der Schallpfade (SP) detektiert die Empfangsstufe (11) die an den Ultraschallsensoren (1dn, 2dn, 3dn; 1up, 2up, 3up) des zweiten oder des ersten Bereichs zeitlich versetzt ankommenden Ultraschall-Messsignale. Die Auswertestufe (12) ermittelt anhand der Laufzeitdifferenz der Ultraschall-Messsignale in Strömungsrichtung (S) und entgegen der Strömungsrichtung (S) auf den einzelnen Schallpfaden (SP) den Volumen- und/oder den Massedurchfluss des Mediums (4) in der Rohrleitung (5) bzw. in dem Messrohr (5).

WO 2007/039394 A2

Beschreibung

Vorrichtung zur Bestimmung oder Überwachung des Volumen- oder Massedurchflusses eines Mediums durch eine Rohrleitung

- [0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung des Volumen- und/ oder Massedurchflusses eines Mediums, das eine Rohrleitung bzw. ein Messrohr mit einem Innendurchmesser D_i in einer Strömungsrichtung S durchfließt, mit mehreren Ultraschallsensoren, die die Ultraschall-Messsignale entlang definierter Schallpfade in Strömungsrichtung des Mediums und entgegengesetzt zur Strömungsrichtung des Mediums aussenden und/oder empfangen, und mit einer Regel- / Auswerteeinheit mit einer Sendestufe, einer Empfangsstufe und einer Auswertestufe.
- [0002] Ultraschall-Durchflussmessgeräte werden vielfach in der Prozess- und Automatisierungstechnik zur Detektion des Volumen- und/oder Masse-durchflusses eines Mediums durch eine Rohrleitung eingesetzt. Bei dem Medium kann es sich um ein gasförmiges, dampfförmiges oder um ein flüssiges Medium handeln.
- [0003] Im Hinblick auf die Montagemöglichkeiten gibt es zwei Typen von Ultraschall-Durchflussmessgeräten: Inline-Ultraschall-Durchflussmessgeräte, die üblicherweise über Flansche in die Rohrleitung montiert werden, und Clamp-On-Durchflussmessgeräte, die von außen auf der Rohrleitung aufgebracht werden und den Volumen- bzw. Massedurchfluss durch die Rohrwand hindurch - also nicht-invasiv - messen. Clamp-On-Durchflussmessgeräte sind beispielsweise in der EP 0 686 255 B1, der US-PS 4,484,478, DE 43 35 369 C1, DE 298 03 911 U1, DE 4336370 C1 oder der US-PS 4,598,593 beschrieben.
- [0004] Hinsichtlich der Messmethoden lassen sich zwei Prinzipien unterscheiden: Durchflussmessgeräte, die den Durchfluss über die Laufzeitdifferenz von Ultraschall-Messsignalen in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung bestimmen, und Durchflussmessgeräte, die die Durchfluss-Information aus der Dopplerverschiebung der Ultraschall-Messsignale gewinnen. Im Falle von Ultraschall-Messgeräten, die nach der Laufzeit-differenzmethode arbeiten, werden die Ultraschall-Messsignale unter einem vorgegebenen Winkel über ein Koppellement in die Rohrleitung, in der das Medium strömt, eingestrahlt bzw. aus der Rohrleitung ausgestrahlt. Hierbei sind die Ultraschallsensoren üblicherweise so angeordnet, dass die durchlaufenen Schallpfade durch den Zentralbereich der Rohrleitung bzw. des Messrohres geführt sind. Der ermittelte Durchflussmesswert spiegelt somit den mittleren Durchfluss des Mediums in der Rohrleitung.
- [0005] Bei vielen Anwendungen, insbesondere bei Durchflussmessungen in Rohrleitungen mit großen Nennweiten, ist diese einfache Mittelung jedoch zu ungenau.

Alternativ ist es daher bekannt geworden, mehrere Paare von Ultraschallsensoren über den Umfang verteilt an dem Messrohr bzw. an der Rohrleitung vorzusehen, wodurch Durchflussinformation aus verschiedenen segmentierten Winkelbereichen des Messrohres bzw. der Rohrleitung zur Verfügung steht.

- [0006] Die wesentliche Komponente eines Ultraschallsensors ist ein piezoelektrisches Element. Die wesentliche Komponente eines piezoelektrischen Elements ist eine piezokeramische, in zumindest einem Teilbereich metallisierte Schicht. Insbesondere handelt es sich bei der piezokeramischen Schicht um eine Folie oder um eine Membran. Durch Anlegen eines elektrischen Anregungssignals wird die piezokeramische Schicht in Schwingung versetzt und strahlt über ein Einkoppelement ein Ultraschall-Messsignal mit einer definierten Signalform unter einem Einstrahlwinkel in die Rohrleitung. Das Empfangen des Ultraschall-Messsignals nach Durchlaufen der Rohrleitung erfolgt in umgekehrter Art und Weise.
- [0007] Es versteht sich von selbst, dass die Fertigungskosten für ein mehrkanaliges Durchflussmessgerät erheblich über den Kosten für ein einkanaliges Durchflussmessgerät liegen.
- [0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein kostengünstiges mehrkanaliges Ultraschall-Durchflussmessgerät vorzuschlagen.
- [0009] Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass zumindest ein Ultraschallsensor in einem ersten Bereich der Rohrleitung bzw. des Messrohres angeordnet ist, dass zumindest zwei Ultraschallsensoren in einem zweiten Bereich der Rohrleitung bzw. des Messrohres derart angeordnet sind, dass die Ultraschall-Messsignale die Rohrleitung oder das Messrohr in bzw. entgegengesetzt zur Strömungsrichtung des Messmediums auf Schallpfaden mit unterschiedlicher Länge durchlaufen, dass die Sendestufe den Ultraschallsensor bzw. die Ultraschallsensoren des ersten oder des zweiten Bereichs zeitgleich zur Aussendung der Ultraschall-Messsignale anregt, dass die Empfangsstufe die aufgrund der unterschiedlichen Länge der Schallpfade an den Ultraschallsensoren des zweiten oder des ersten Bereichs zeitlich versetzt ankommenden Ultraschall-Messsignale detektiert und dass die Auswertestufe anhand der Laufzeitdifferenz der Ultraschall-Messsignale in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung auf den einzelnen Schallpfaden den Volumen- und/oder den Massedurchfluss des Mediums in der Rohrleitung bzw. in dem Messrohr ermittelt. Erfindungsgemäß wird also ein mehrkanaliges Ultraschall-Durchflussmessgerät mit paralleler Anregung von Ultraschall-Messsignalen vorgeschlagen, die das Messrohr bzw. die Rohrleitung auf unterschiedlichen Schallpfaden durchlaufen.
- [0010] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist vorgesehen, dass es sich im Fall der Verwendung eines Ultraschallsensors im ersten Bereich um einen Ultraschallsensor mit einer Abstrahlcharakteristik handelt, die so

- aufgefächert ist, dass die von dem Ultraschallsensor ausgesendeten Ultraschall-Messsignale von den Ultraschallsensoren im zweiten Bereich empfangen werden.
- [0011] Alternativ ist vorgesehen, dass es sich im Fall der Verwendung eines Ultraschallsensors im ersten Bereich um einen Ultraschallsensor handelt, bei dem eine Vielzahl von Sende-/Empfangeinheiten in einem Array angeordnet sind, die so ansteuerbar sind, dass sie gleichzeitig Ultraschall-Messsignale unter unterschiedlichen Einstrahlwinkeln in die Rohrleitung bzw. in das Messrohr aussenden, die nachfolgend von den Ultraschallsensoren im zweiten Bereich empfangen werden. Nachfolgend wird dann zwecks Laufzeitdifferenzmessung der Prozess umgekehrt.
- [0012] Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass zumindest zwei Ultraschallsensoren in einer Einheit angeordnet sind, wobei die Einheit in einer Öffnung im ersten Bereich des Messrohres und/oder im zweiten Bereich des Messrohres montiert ist. Eine entsprechende Vorrichtung ist in der nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung DE 102005003398.7 beschrieben. Der Inhalt dieser Patentanmeldung ist dem Offenbarungsgehalt der vorliegenden Patentanmeldung zuzurechnen.
- [0013] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung schlägt für den Fall, dass mehrere Ultraschallsensoren im ersten Bereich der Rohrleitung bzw. des Messrohres vorhanden sind, vor, diese auf einer zur Längsachse der Rohrleitung bzw. des Messrohres parallelen Geraden anzuordnen.
- [0014] Bevorzugt ist der Ultraschallsensor bzw. sind die Ultraschallsensoren im ersten Bereich der Rohrleitung bzw. des Messrohres derart positioniert, dass er bzw. dass sie die Ultraschall-Messsignale unter verschiedenen Abstrahlwinkeln in die Rohrleitung bzw. in das Messrohr abstrahlen.
- [0015] Als besonders vorteilhaft wird die Ausgestaltung angesehen, dass zwei Ultraschallsensoren derart angeordnet oder ausgerichtet/angesteuert sind, dass sie die Ultraschall-Messsignale in radialer Richtung in die Rohrleitung einstrahlen und/oder aus der Rohrleitung empfangen, und dass die Regel-/Auswerteeinheit anhand der Laufzeit der Ultraschall-Messsignale auf dem diametralen Schallpfad die Schallgeschwindigkeit des Messmediums ermittelt.
- [0016] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung liegen die Ultraschallsensoren in einer Ebene; die Ultraschall-Messsignale werden simultan unter unterschiedlichen Einstrahlwinkeln in die Rohrleitung eingestrahlt und/oder aus der Rohrleitung empfangen.
- [0017] Bevorzugt liegen die Ultraschallsensoren in einer Ebene, wodurch eine Messung des Strömungsprofils des Mediums in der Rohrleitung näherungsweise zeitgleich möglich ist. Außerdem wird von dem erfindungsgemäßen Durchflussmessgerät eine präzisere Information als bei herkömmlich sequenziell arbeitenden Durchflussmessgeräten bereitgestellt. Dies gilt selbst im Falle von sehr unterschiedlichen Strö-

mungsverhältnissen in der Rohrleitung.

[0018] Eine vorteilhafte Weiterbildung, insbesondere im Falle von Ultraschall-Durchflussmessgeräten mit kleinen Nennweiten, ist darin zu sehen, dass jedem Ultraschallsensor ein eigener Empfangsverstärker zugeordnet. Insbesondere bei Ultraschall-Durchflussmessgeräten mit kleinen Nennweiten ist die Laufzeit der Messsignale klein im Vergleich zur Nachschwingzeit des Ultraschallsensors, so dass die Messperformance erheblich verbessert wird, wenn die Ultraschall-Messsignale erst nach der Verstärkung zusammengefasst werden.

[0019] Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

[0020] Fig. 1: eine schematische Darstellung einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Ultraschall-Aufnehmers,

[0021] Fig. 2: eine schematische Darstellung einer zweiten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Ultraschall-Aufnehmers,

[0022]

[0023] Fig. 3: ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Vorrichtung unter Verwendung des in Fig. 2 gezeigten Ultraschall-Aufnehmers,

[0024] Fig. 4: eine schematische Darstellung einer dritten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Ultraschall-Aufnehmers und

[0025] Fig. 5: ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Vorrichtung unter Verwendung des in Fig. 4 gezeigten Ultraschall-Aufnehmers.

[0026] Bevor die Figuren näher erläutert werden, folgen einige allgemeine Anmerkungen: Mehrkanalige Ultraschall-Durchflussmessgeräte, die nach dem Laufzeitdifferenz-Verfahren arbeiten, basieren auf einem Vergleich der Laufzeit t_{up} in Strömungsrichtung S und der Laufzeit t_{dn} entgegen der Strömungsrichtung S. Weiter spielt der Innendurchmesser D_i über die Fläche A der Rohrleitung 5 bzw. des Messrohres 5 eine Rolle. Ebenso ist der Winkel α - in den Figuren Fig. 1 und Fig. 3 beträgt der Einstrahl- bzw. Ausstrahlwinkel $\alpha = 30^\circ$ bzw. $\alpha = 60^\circ$ - des Schallstrahles zum Durchfluss Q und die Länge L_{30} bzw. L_{60} des Schallpfades SP in dem mit der Geschwindigkeit v strömenden Medium 4 zu berücksichtigen. Der Korrekturfaktor k ist vom relativen radialen Abstand rA des Schallstrahls zur Mitte der Rohrleitung 5 bzw. des Messrohres 5 abhängig.

[0027] Mathematisch beschreiben lässt sich der Durchfluss Q durch die folgende Gleichung:

[0028]

$$Q = k * A * v = k * \frac{\pi}{4} * D r^2 * L * \frac{t_{up} - t_{dn}}{(t_{up} * t_{dn}) * 2 * \cos \alpha}$$

(1)

[0029]

$$L = \frac{1}{\cos \alpha} D_I * \sqrt{1 - rA^2}$$

(2)

[0030]

Für die Berechnung des Durchflusses Q ist es bei bekanntem Winkel α in erster Näherung egal, ob mit einem Winkel α von 30° oder 60° zur Strömungsrichtung S des Mediums 4 eingestrahlt bzw. ausgestrahlt wird. Der Korrekturfaktor k des Verhältnisses von gemessener Geschwindigkeit v auf dem Schallpfad SP zur mittleren Geschwindigkeit über den Querschnitt A der Rohrleitung 5 ändert sich dabei nicht. Um z.B. mit zwei Schallstrahlen, wie beim PROline Prosonic Flow 93 C - Inline - ein Gerät das von der Anmelderin angeboten und vertrieben wird - zu messen, ist es möglich, ein Sensorpaar (1up, 1dn) mit 30° und das andere Sensorpaar (2up, 2dn) mit 60° zur Strömungsrichtung S zu montieren. Der Korrekturfaktor k ist bei einem turbulenten Strömungsprofil und einem radialen Abstand der Ultraschallsensoren von 52 % näherungsweise 1. Für den Schallpfad mit $\alpha = 30^\circ$ bzw. $\alpha = 60^\circ$ benötigen die Ultraschall-Messsignale bei einem Innendurchmesser D_I der Rohrleitung 5 von z.B. 1000 mm somit:

[0031]

$$L_{30} = \frac{1}{\cos(30^\circ)} * 1000 \text{ mm} * \sqrt{1 - 0.52^2} = 986 \text{ mm}$$

(3)

[0032]

bzw.

[0033]

$$L_{60} = \frac{1}{\cos(60^\circ)} * 1000 \text{ mm} * \sqrt{1 - 0.52^2} = 1708 \text{ mm}$$

(4)

[0034]

Bei einer Schallgeschwindigkeit

 $c_{1/4}$

von z.B. 1500 m/s bei dem Medium 4 'Wasser' beträgt die Laufzeit T der Ultraschall-Messsignale in der Rohrleitung 5:

[0035]

$$T_{30} = \frac{L_{30}}{c} = \frac{0.986 \text{ m}}{1500 \text{ m/s}} = 651 \mu \text{ sec}$$

(5)

[0036]

bzw.

[0037]

$$\Gamma_{\Pi} = \frac{l}{c} = \frac{110Sm}{1500w/s} = 1139^{\wedge}sec$$

(6)

- [0038] Ein Ultraschall-Messsignal erreicht bei einer Erregerfrequenz von 1 MHz eine typische Abklingzeit von ca. 100µsec bzw. ca. 10% des Maximums. Bei spezieller Anpassung bzw. Erregung der Ultraschallsensoren 1up, 2up, 3up; 1dn, 2dn, 3dn sind auch noch wesentlich kürzere Abklingzeiten erreichbar. Der Hauptgedanke der erfindungsgemäßen Lösung besteht darin, ein Array oder zumindest zwei sendende Ultraschallsensoren 8; 1up, 2up über eine Parallelschaltung mit einem Sendepuls U(t) anzuregen. In den in den Figuren Fig. 3 und Fig. 5 dargestellten Ausgestaltungen handelt es sich bei dem Sendepuls U(t) um einen Rechteckpuls.
- [0039] Diese sendenden Ultraschallsensoren 8; 1up, 2up befinden sich z.B. an der Rohrleitung 5 in Richtung des Einlasses, während die empfangenden Ultraschallsensoren 1dn, 2dn; 8 in Richtung des Auslasses der Rohrleitung 5 angeordnet sind. Die Empfangssignale der beiden Ultraschallsensoren 1dn, 2dn; 8 werden parallel auf einen Summenverstärker 11 geleitet.
- [0040] Da die Dauer des Empfangssignals klein ist im Vergleich zu dem zeitlichen Abstand der beiden Laufzeiten
- [0041] $T_{30} - T_{60} = 482 \mu sec$, (7)
- [0042] lassen sich die unterschiedlichen Schallpfade SP bei 30° und 60° sehr gut über Ihre Laufzeiten T30, T60 unterscheiden. Somit ist es möglich, mit einer Sendestufe 10, die parallel auf alle sendenden Ultraschallsensoren 1up, 2up, 3up, 8 wirkt, und mit einer Empfangsstufe 11, die die Summe aller Ultraschall-Messsignale der empfangenden Ultraschallsensoren 1dn, 2dn, 3dn; 8 bildet, zu arbeiten. Über eine entsprechende Auswertung können die Zeiten t_{up30} bzw. t_{up60} für die entsprechenden Schallpfade SP in einfacher Weise dadurch ermittelt werden, dass mit Zeitfenstern gearbeitet wird, die für einen bestimmten, winkelabhängigen Schallpfad SP und für eine bestimmte Schallgeschwindigkeit errechnet sind. Beispielsweise liegen die Zeitfenster zwischen 600...700 µsec und zwischen 1100...1200 µsec.
- [0043] Das vorgenannte Beispiel bezieht sich auf zwei Paare von Ultraschallsensoren 1up, 2up; 1dn, 2dn. Selbstverständlich ist es auch möglich, die Anzahl der Paare von Ultraschallsensoren 1up, 2up; 1dn, 2dn zu erhöhen. Dabei ist zu beachten, dass die Abklingzeit stets kleiner ist als zeitliche Abstand der Laufzeiten ist, die in Gleichung 7 beispielhaft aufgeführt sind.
- [0044] Weiterhin ist vorgesehen, dass ein Schallpfad SP das Medium 4 senkrecht zur Strömungsrichtung S quert. Über die Laufzeit der Ultraschall-Messsignale auf diesem senkrechten Schallpfad SP lässt sich die aktuelle Schallgeschwindigkeit

 $c_{1/}$

des Mediums 4 exakt bestimmen und bei der genauen Berechnung des Volumen- bzw. Massedurchflusses des Mediums 4 durch die Rohrleitung 5 berücksichtigen.

[0045] Nachfolgend werden die Figuren Fig. 1 bis Fig. 5 im Detail beschrieben. Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Ultraschall- Aufnehmers 6, wobei sich ein Ultraschall-Durchflussmessgerät aus einem Aufnehmer 6 bzw. Sensor und einem sog. Transmitter 7, der den Elektronikteil umfasst, zusammensetzt. Der Aufnehmer 6 hat zwei Ultraschallsensoren 1_{up} , 2_{up} , die in Richtung des Einlasses der Rohrleitung 5 angeordnet sind, und zwei Ultraschallsensoren 1_{dn} , 2_{dn} , die in Richtung des Auslasses der Rohrleitung 5 positioniert sind. Die beiden Ultraschallsensoren 1_{up} , 2_{up} werden parallel mit einem Sendeimpuls $U(t)$ beaufschlagt. Aufgrund der unterschiedlichen Laufzeiten T_{30} , T_{60} auf den beiden die Rohrleitung 5 querenden Schallpfaden $SP1$, $SP2$ mit den Längen L_{30} , L_{60} werden die entsprechenden Ultraschall-Messsignale von den beiden Ultraschallsensoren 1_{dn} , 2_{dn} zeitlich versetzt detektiert. Analog erfolgt die Aussenden und das Empfangen der Ultraschall-Messsignale in der umgekehrten Richtung, also entgegen der Strömungsrichtung S .

[0046] Die in Fig. 2 gezeigte schematische Darstellung einer zweiten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Ultraschall- Aufnehmers 6 unterscheidet sich von der in Fig. 1 gezeigten in der speziellen Ausführung des in Richtung des Einlasses der Rohrleitung 5 angeordneten Sensorarrays 8. Dieses Sensorarray 8 wird so angesteuert, dass es die Ultraschall-Messsignale gleichfalls parallel unter unterschiedlichen Winkeln α in die vom Medium 4 durchströmte Rohrleitung 5 einstrahlt bzw. aus der Rohrleitung 4 zeitversetzt unter den unterschiedlichen Winkeln α empfängt.

[0047]

[0048] In Fig. 3 ist ein Blockschaltbild des Transmitters 7 der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Verbindung mit dem in Fig. 2 gezeigten Ultraschall- Aufnehmer 6 zu sehen. Durch Schließen des Schalters 13 wird der Sendeimpuls $U(t)$ an den Ultraschallsensor 8 gelegt. Bei dem Ultraschallsensor 8 handelt es sich beispielsweise um ein elektronisch ansteuerbares Sensorarray, das die Ultraschall-Messsignale unter zwei verschiedenen Winkeln α_{30} , α_{60} in die Rohrleitung 5 einstrahlt. Die Schalter 13, 14 stellen eine einfache Ansteuer-schaltung für die piezoelektrischen Elemente der Ultraschallsensoren 1, 2, 3 dar. Die jeweilige Schalterstellung wird in der Zähler und Ansteuerlogik 9 generiert. Auf diese Art kann mit wenigen Bauteilen ein beliebiges Rechteck- signal erzeugt werden. Simultan mit dem Schließen des Schalters 13 wird auch der Zähler 9 aktiviert. Über den Zähler 9, der im gezeigten Fall in die Auswertestufe 12 integriert ist, wird die Empfangsstufe 11 über entsprechendes Schließen des Schalters 16 in gewissen Zeitfenstern aktiviert und die beiden auf den unterschiedlichen Schallpfaden $SP1$, $SP2$ laufenden Ultraschall- Messsignale werden von

den beiden Ultraschallsensoren 1dn, 2dn detektiert. Die Laufzeiten T30, T60 werden von der Auswertestufe 12 über das Auslesen des Zählers 9 in Strömungsrichtung S ermittelt. Zur Ermittlung der Laufzeitdifferenz, die ein Maß für den Volumendurchfluss des Mediums 4 durch die Rohrleitung 5 darstellt, wird der Prozess nachfolgend umgekehrt. Da im in Fig. 3 gezeigten Fall die Laufzeiten T30, T60 der Ultraschall-Messsignale auf den beiden Schallpfaden SP1, SP2 einen ausreichend großen Abstand voneinander aufweisen, ist ein Empfangsverstärker 11a in der Auswertestufe 11 zur Detektion der beiden empfangenen Ultraschall-Messsignale ausreichend.

[0049] Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung einer dritten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Ultraschall-Aufnehmers 6; in Fig. 5 ist ein Blockschaltbild eines Transmitters 7 bzw. Umformers zusehen, der in Verbindung mit dem in Fig. 4 gezeigten Ultraschall-Aufnehmer 7 bevorzugt zur Anwendung kommt.

[0050] Das in den Figuren Fig. 4 und Fig. 5 beschriebene Ultraschall-Durchfluss-messgerät weist drei Ultraschallsensoren 1up, 2up, 3up auf, die in Richtung des Einlasses der Rohrleitung 5 angeordnet sind, und drei Ultraschall-sensoren 1dn, 2dn, 3dn, die in Richtung des Auslasses der Rohrleitung 5 positioniert sind. Die Anordnung der Ultraschallsensoren 1up, 2up, 3up; 1dn, 2dn, 3dn ist so gewählt, dass diese in einer Ebene liegen. Der Verlauf der entsprechenden Schallpfade SP1, SP2, SP3 ist in der Fig. 4 gleichfalls zeichnerisch dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Laufzeiten auf den einzelnen Schallpfaden SP1, SP2, SP3 werden die Ultraschall-Messsignale von den Ultraschallsensoren 1dn, 2dn, 3dn zeitversetzt detektiert. Im gezeigten Fall ist jedem der Ultraschallsensoren 1dn, 2dn, 3dn bzw. im umgekehrten Fall 1up, 2up, 3up ein Empfangsverstärker 11a, 11b, 11c zugeordnet. Infolge der parallelen Abfrage anstelle der sequentiellen Abfrage der Ultraschallsensoren 1up, 2up, 3up; 1dn, 2dn, 3dn, lassen sich selbst schnell aufeinanderfolgende Ultraschall-Messsignale an den als Empfängern agierenden Ultraschallsensoren 1dn, 2dn, 3dn bzw. im umgekehrten Fall 1up, 2up, 3up mit der hinreichenden Genauigkeit detektieren.

[0051]

[0052]

[0053]

[0054] **Bezugszeichenliste**

[0055] 1 Ultraschallsensor (up, down)

[0056] 2 Ultraschallsensor (up, down)

[0057] 3 Ultraschallsensor (up, down)

[0058] 4 Medium

[0059] 5 Rohrleitung bzw. Messrohr

[0060] 6 Messaufnehmer

- [0061] 7 Transmitter
- [0062] 8 Sensorarray
- [0063] 9 Zähler und Ansteuerlogik
- [0064] 10 Sendestufe
- [0065] 11 Empfangsstufe bzw. Empfangsverstärker
- [0066] IIa Empfangsverstärker
- [0067] 11b Empfangs Verstärker
- [0068] 11c Empfangs Verstärker
- [0069] 12 Auswertestufe
- [0070] 13 Schalter
- [0071] 14 Schalter
- [0072] 15 Schalter
- [0073] 16 Schalter
- [0074] 17 Schalter
- [0075] 18 Schalter
- [0076] 19 Schalter
- [0077] 20 Schalter
- [0078] 21 Schalter
- [0079] 22 Schalter
- [0080] 23 Längsachse

Ansprüche

- [0001] 1. Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung des Volumen- und/ oder Massedurchflusses eines Mediums (4), das eine Rohrleitung (5) bzw. ein Messrohr (5) mit einem Innendurchmesser (D_i) in einer Strömungsrichtung (S) durchfließt, mit mehreren Ultraschallsensoren (1up, 2up, 3up; 1dn, 2dn, 3dn), die die Ultraschall-Messsignale entlang definierter Schallpfade (SP) in Strömungsrichtung (S) des Mediums (4) und entgegengesetzt zur Strömungsrichtung (S) des Mediums (4) aussenden und/oder empfangen, und mit einer Regel-/Auswerteeinheit (7) mit einer Sendestufe (10), einer Empfangsstufe (11) und einer Auswertestufe (12), **dadurch gekennzeichnet**, wobei zumindest ein Ultraschallsensor (1up, 2up, 3up; 8) in einem ersten Bereich der Rohrleitung (5) bzw. des Messrohres (5) angeordnet ist, wobei zumindest zwei Ultraschallsensoren (1dn, 2dn, 3dn) in einem zweiten Bereich der Rohrleitung (5) bzw. des Messrohres (5) derart angeordnet sind, dass die Ultraschall-Messsignale die Rohrleitung (5) oder das Messrohr (5) in bzw. entgegengesetzt zur Strömungsrichtung (S) des Mediums (4) auf Schallpfaden (SP) mit unterschiedlicher Länge (L) durchlaufen, wobei die Sendestufe (10) den Ultraschallsensor (8) bzw. die Ultraschallsensoren (1up, 2up, 3up; 1dn, 2dn, 3dn) des ersten oder des zweiten Bereichs zeitgleich zur Aussendung der Ultraschall-Messsignale anregt, wobei die Empfangsstufe (11) die aufgrund der unterschiedlichen Länge (L) der Schallpfade (SP) an den Ultraschallsensoren (1dn, 2dn, 3dn; 1up, 2up, 3up) des zweiten oder des ersten Bereichs zeitlich versetzt ankommenden Ultraschall-Messsignale detektiert und wobei die Auswertestufe (12) anhand der Laufzeitdifferenz der Ultraschall-Messsignale in Strömungsrichtung (S) und entgegen der Strömungsrichtung (S) auf den einzelnen Schallpfaden (SP) den Volumen- und/ oder den Massedurchfluss des Mediums (4) in der Rohrleitung (5) bzw. in dem Messrohr (5) ermittelt.
- [0002] 2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, wobei es sich im Fall der Verwendung eines Ultraschallsensors (8) im ersten Bereich um einen Ultraschallsensor (8) mit einer Abstrahlcharakteristik handelt, die so aufgefächert ist, dass die von dem Ultraschallsensor (8) ausgesendeten Ultraschallsignale von den Ultraschallsensoren (1dn, 2dn, 3dn) im zweiten Bereich empfangen werden.
- [0003] 3. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, wobei es sich im Fall der Verwendung eines Ultraschallsensors (8) im ersten Bereich um einen Ultraschallsensor (8) handelt, bei dem eine Vielzahl von Sendeein-/Empfangseinheiten in einem Array angeordnet sind, die so ansteuerbar sind, dass sie gleichzeitig Ultraschall-Messsignale unter unterschiedlichen Ein-

strahlwinkeln (α) in die Rohrleitung (5) bzw. in das Messrohr (5) aussenden, die von den Ultraschallsensoren im zweiten Bereich (1dn, 2dn, 3dn) empfangen werden.

[0004] 4. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest zwei Ultraschallsensoren (1up, 2up, 3up; 1dn, 2dn, 3dn) in einer Einheit angeordnet sind, wobei die Einheit in einer Öffnung im ersten Bereich des Messrohres (5) und/oder im zweiten Bereich des Messrohres (5) montiert ist.

[0005] 5. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2, oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, wobei für den Fall, dass mehrere Ultraschallsensoren (1up, 2up, 3up) im ersten Bereich der Rohrleitung (5) bzw. des Messrohres (5) vorgesehen sind, diese auf einer zur Längsachse (23) der Rohrleitung (5) bzw. des Messrohres (5) parallelen Geraden angeordnet sind.

[0006] 6. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ultraschallsensor (8) bzw. die Ultraschallsensoren (1up, 2up, 3up) im ersten Bereich der Rohrleitung (5) bzw. des Messrohres (5) derart positioniert sind, dass sie die Ultraschall-Messsignale unter verschiedenen Einstrahlwinkeln (α) in die Rohrleitung (5) bzw. in das Messrohr (5) einstrahlen.

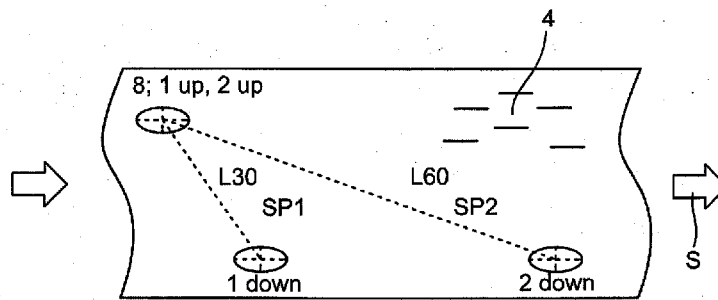
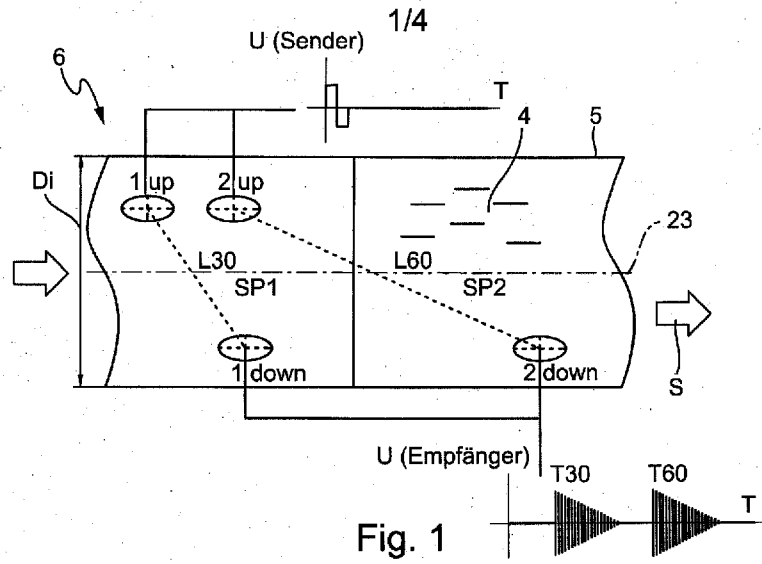
[0007] 7. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, wobei zwei Ultraschallsensoren (1up, 1dn) derart angeordnet oder ausgerichtet/angesteuert sind, dass sie die Ultraschall-Messsignale in radialer Richtung in die Rohrleitung (5) bzw. in das Messrohr (5) einstrahlen und/oder aus der Rohrleitung (5) bzw. aus der Rohrleitung (5) empfangen, und wobei die Regel-/Auswerteeinheit (7) anhand der Laufzeit (T_d) der Ultraschall-Messsignale auf dem diametralen Schallpfad (SPd) die Schallgeschwindigkeit (c_{L}) des Mediums (4) ermittelt.

[0008] 8. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ultraschallsensoren in einer Ebene liegen und simultan unter unterschiedlichen Einstrahlwinkeln die Ultraschall-Messsignale in die Rohrleitung einstrahlen und/oder aus der Rohrleitung empfangen.

[0009] 9. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ultraschallsensoren (1up, 2up, 3up; 1dn, 2dn, 3dn) in einer Ebene liegen, wodurch eine Messung des Strömungsprofils des Mediums (4) in der Rohrleitung (5) bzw. in dem Messrohr (5) näherungsweise zeitgleich erfolgt.

[0010] 10. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedem Ultraschallsensor (1up, 2up, 3up; 1dn, 2dn, 3dn) ein Empfangsverstärker (IIa, 1Ib, 1Ic) zugeordnet ist.

[Fig.]



[Fig.]

2/4

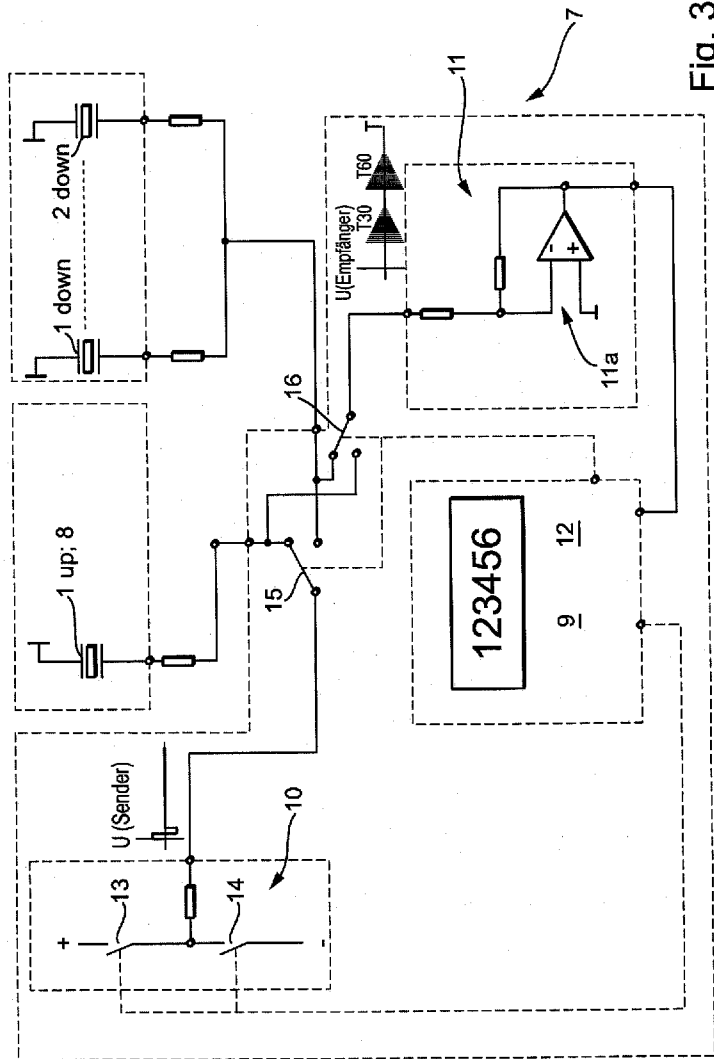


Fig. 3

[Fig.]

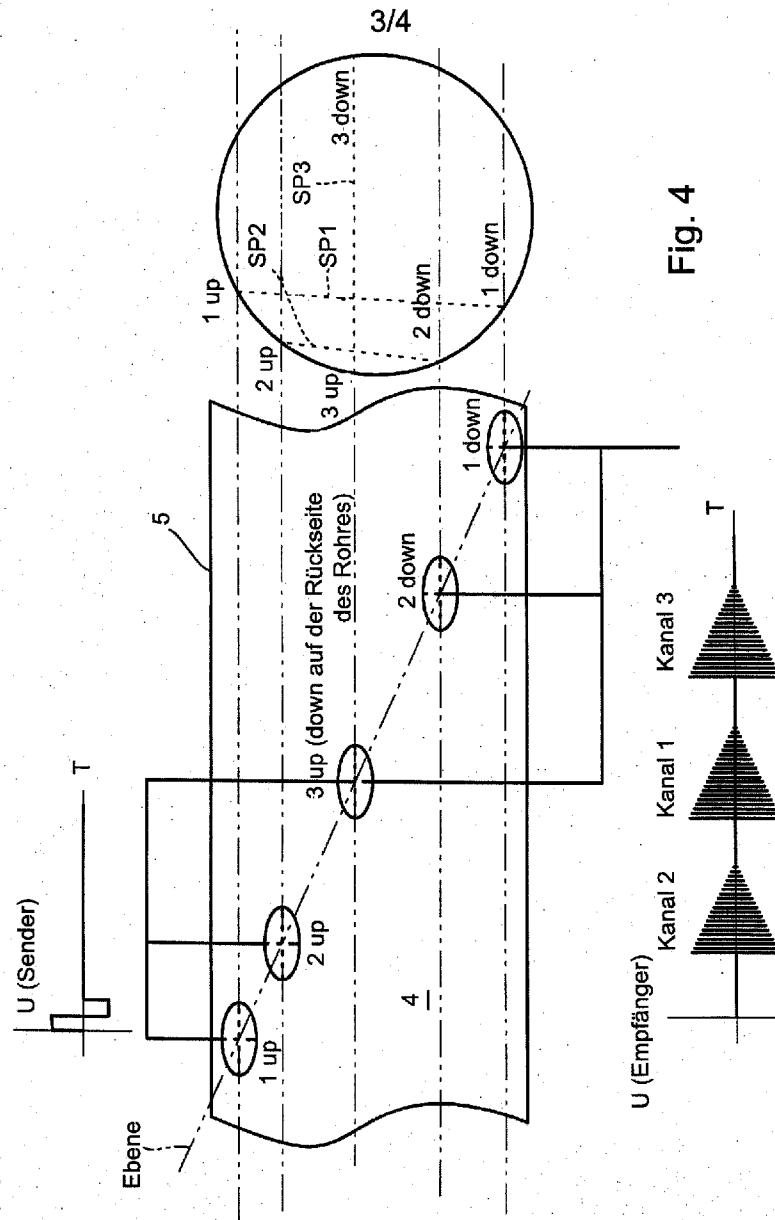


Fig. 4

[Fig.]

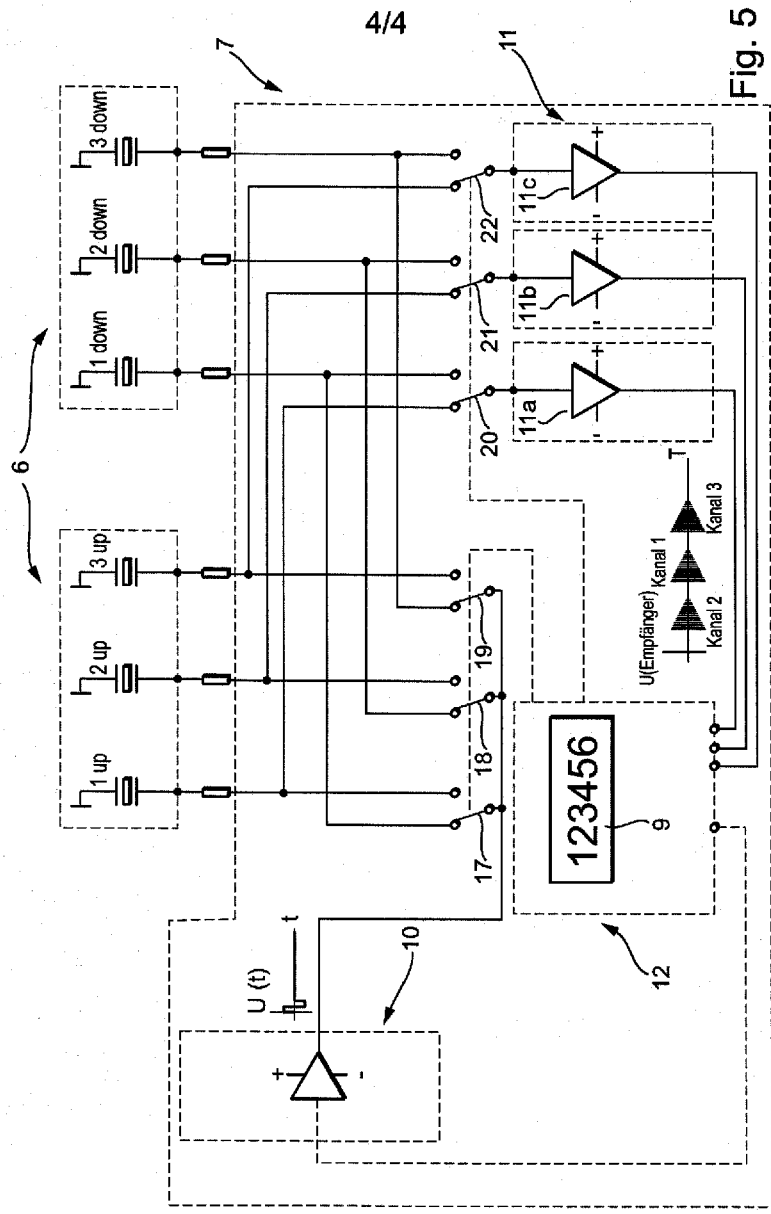


Fig. 5