

(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  
7. Dezember 2006 (07.12.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2006/128774 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:  
G01F 1/84 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/062132

(22) Internationales Anmeldedatum:  
8. Mai 2006 (08.05.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102005025395.4 31. Mai 2005 (31.05.2005) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ENDRESS+HAUSER FLOWTEC AG [CH/CH]; Kägenstrasse 7, CH-4153 Reinach (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KUTTLER, Daniel [DE/DE]; Raiffeisenstrasse 19, 79539 Lörrach (DE). MATT, Christian [DE/CH]; St.-Jakob-Strasse 64, CH-4147 Aesch (CH).

(74) Anwalt: ANDRES, Angelika; c/o Endress+Hauser (Deutschland) Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576 Weil am Rhein (DE).

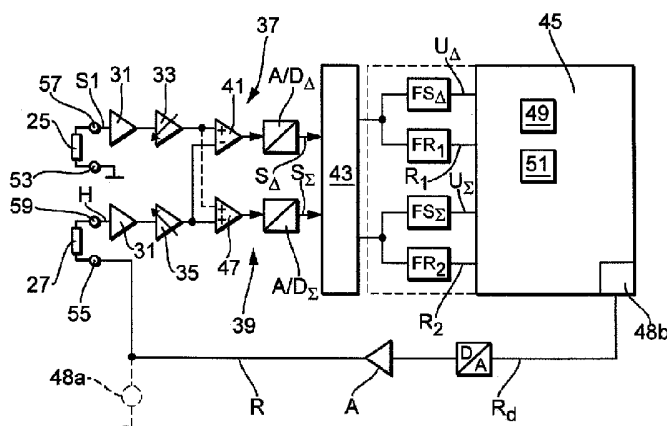
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CORIOLIS FLOWMETER AND METHOD FOR FLOW MEASUREMENT

(54) Bezeichnung: CORIOLIS DURCHFLUSSMESSER UND VERFAHREN ZUR DURCHFLUSSMESSUNG



(57) Abstract: The invention relates to a Coriolis flowmeter which has at least one measuring tube (3), which is caused to oscillate during measurement operation and has a medium flowing through it whose flow is measured, a first and a second sensor (21, 23) for detecting an oscillation of the measuring tube (3) which is dependent on the flow and for generating a first and a second sensor signal (S1, S2) and two separate signal processing branches (37, 39), and to a method for flow measurement, which flowmeter and which method make a high degree of measurement accuracy possible by a reference signal (R) being superimposed on the first or the second sensor signal (S1, S2), an auxiliary signal (H) formed by the superimposition passing through both signal processing branches (37, 39), and a first conditioned reference signal (R1) being filtered out of a first signal (S<sub>Δ</sub>) arising at the output of the first signal processing branch (37), and a second conditioned reference signal (R2) being filtered out of a second signal (S<sub>Σ</sub>) arising at the output of the second signal processing branch (39), and a ratio of the gains (V) of the signal processing branches (37, 39) being determined using the conditioned reference signals (R1, R2).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2006/128774 A1



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:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*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.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft einen Coriolis Durchflussmesser, der mindestens einem Messrohr (3), das im Messbetrieb zu Schwingungen angeregt wird und von einem Medium durchströmt wird, dessen Durchfluss zu messen ist, einem ersten und einem zweiten Sensor (21, 23) zur Erfassung einer vom Durchfluss abhängigen Schwingung des Messrohrs (3) und zur Erzeugung eines ersten und eines zweiten Sensorsignals (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>) und zwei getrennte Signalverarbeitungszweige (37, 39) aufweist, und ein Verfahren zur Durchflussmessung, der bzw. das eine hohe Messgenauigkeit ermöglicht, indem dem ersten oder dem zweiten Sensorsignal (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>) ein Referenzsignal (R) überlagert wird, ein durch die Überlagerung gebildetes Hilfssignal (H) beide Signalverarbeitungszweige (37, 39) durchläuft, und aus einem am Ausgang des ersten Signalverarbeitungszweig (37) anstehenden ersten Signal (S<sub>Δ</sub>) ein erstes aufbereitetes Referenzsignal (R<sub>1</sub>) und aus einem am Ausgang des zweiten Signalverarbeitungszweig (39) anstehenden zweiten Signal (S<sub>Σ</sub>) ein zweites aufbereitetes Referenzsignal (R<sub>2</sub>) heraus gefiltert wird, und anhand der aufbereiteten Referenzsignale (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>) ein Verhältnis der Verstärkungen (V) der Signalverarbeitungszweige (37, 39) bestimmt wird.

## Beschreibung

### Coriolis Durchflussmesser und Verfahren zur Durchflussmessung

- [0001] Die Erfindung betrifft einen Coriolis Durchflussmesser und ein Verfahren zur Durchflussmessung.
- [0002]
- [0003] Coriolis Durchflussmesser werden in der industriellen Messtechnik zur Messung eines Durchflusses eines Mediums, z.B. einer Flüssigkeit oder eines Gases, in einem Rohrleitungsabschnitt eingesetzt.
- [0004] Coriolis Durchflussmesser weisen ein Messrohr auf, das sich im Messbetrieb in dem Rohrleitungsabschnitt befindet und von dem Medium durchströmt wird. Das Messrohr wird in Schwingungen versetzt. Die Schwingung des Messrohres wird durch die hindurchströmende Flüssigkeit beeinflusst. Messrohr und Flüssigkeit bilden zusammen ein schwingungsfähiges System, das in der Regel auf seiner Resonanzfrequenz angeregt wird. Die resultierende Schwingungsbewegung des Messrohres wird üblicherweise durch zwei am Messrohr angeordnete Schwingungssensoren erfasst, deren Sensorsignale von einer Signalverarbeitung aufgenommen und aufbereitet werden. Anhand der aufbereiteten Sensorsignale wird der Durchfluss bestimmt. Die Sensorsignale weisen eine Frequenz auf, die gleich einer Frequenz der Schwingung des Messrohres ist. Sie sind jedoch gegeneinander phasenverschoben. Die Phasenverschiebung ist ein Maß für den Durchfluss des Mediums im Messrohr.
- [0005] Fig. 1 zeigt einen Messaufnehmer eines Coriolis Durchflussmessers, wie er beispielsweise in der EP A1 1 298 421 beschrieben ist.
- [0006] Der Messaufnehmer 1 ist im Messbetrieb in einer in Fig. 1 nicht dargestellten Rohrleitung angeordnet, durch die das Medium fließt, dessen Durchfluss gemessen werden soll. Der Messaufnehmer 1 weist ein einziges gerades Messrohr 3 auf, das einlassseitig über eine Endplatte 5 an einem Flansch 7 und auslassseitig über eine Endplatte 9 an einem Flansch 11 fixiert ist. Die Flansche 7, 11 und die Endplatten 5, 9 sind an oder in einem Trägerrohr 13 befestigt.
- [0007] Die nachfolgend beschriebene Erfindung ist nicht auf diesen speziellen Messaufnehmer 1 mit einem einzigen geraden Messrohr 3 beschränkt. Sie kann auch in Verbindung mit weiteren bekannten Messaufnehmern eingesetzt werden. Zu erwähnen sind z.B. Messaufnehmer mit einem Messrohr mit Auslegermasse, wie z.B. in der EP-A 97810559 beschrieben, Messaufnehmer mit einem gebogenen Messrohr, wie z.B. in der EP-A 96 10 942 beschrieben, sowie Messaufnehmer mit zwei parallelen, geraden oder gebogenen Messrohren, wie sie z.B. in der US-A 4,793,191 oder der US-A 4,127,028, beschrieben sind.
- [0008] Das Messrohr 3 wird im Messbetrieb zu Schwingungen angeregt. Zur Erzeugung

der Messrohrschwingung ist in der Mitte zwischen den beiden Endplatten 5, 9 am Messrohr 3 ein Schwingungserreger 15 angeordnet.

[0009] Als Schwingungserreger 15 eignet sich z.B. ein elektromagnetischer Antrieb bestehend aus einem Permanentmagnet 17 und einer Spule 19. Die Spule 19 ist am Trägerrohr 13 und der Permanentmagnet 17 ist am Messrohr 3 befestigt. Über einen in der Spule 19 fließenden Strom lassen sich Amplitude und Frequenz einer in der Zeichenebene verlaufenden Biegeschwingung des Messrohrs 3 steuern. Das Schwingungsgebilde wird dabei vorzugsweise in Resonanz betrieben.

[0010] Wenn da Medium durch das Messrohr 3 fließt, treten in der Zeichenebene Coriolis Kräfte auf, die bewirken, dass nicht alle Punkte entlang des Messrohrs 3 in Phase schwingen. Die Schwingung des Messrohrs 3 wird mit Hilfe von einem ersten und einem zweiten Sensor 21, 23 erfasst. Die Sensoren 21, 23 sind vorzugsweise symmetrisch zum Schwingungserreger 15 angeordnet. Als Sensoren 21, 23 eignen sich z.B. elektromagnetische Wandler, die jeweils eine am Trägerrohr 13 befestigte Spule 25, 27 und einen am Messrohr 3 angeordneten Permanentmagneten 29 aufweisen. Eine Bewegung des Messrohrs 3 bewirkt eine Bewegung der Permanentmagnete 29 in den Spulen 25, 27 und damit eine Induktionsspannung in der jeweiligen Spule 25, 27. Die Induktionsspannungen können über die Spulen 25, 27 abgegriffen werden und stehen hierüber als von den Sensoren 21, 23 erzeugte erste und ein zweite analoge Sensorsignale S1, S2 zur Verfügung. Die beiden Sensorsignale S1, S2 weisen die gleiche Frequenz  $f_s$  auf und sind gegeneinander phasenverschoben. Die zwischen den Sensorsignalen S1, S2 bestehende Phasendifferenz ist ein Maß für den Durchfluss. Die Frequenz  $f_s$  liegt typischer Weise in der Größenordnung von einigen Hundert Hertz.

[0011]

[0012] Fig. 2 zeigt als Beispiel eine mögliche Form der Signalverarbeitung, wie sie heute bereits in Coriolis Durchflussmessern zum Einsatz kommt.

[0013] Dabei werden die Sensorsignale S1, S2 analog vorverarbeitet, anschließend digitalisiert und digital der Durchfluss ermittelt.

[0014] Jedes der Sensorsignale S1, S2 ist über einem Impedanzwandler 31 mit einer Verstärkung  $g$ , z.B. von  $g = 1$ , einem Vorverstärker 33, 35 zugeführt. Der Vorverstärker 35 verstärkt das eingehende zweite Sensorsignal S1 mit einer wählbaren aber festen Verstärkung  $g_{v2}$ , die typischer Weise zwischen 3 und 10 liegt. Der Vorverstärker 33 weist eine Verstärkung  $g_{v1}$  auf. Die Verstärkung  $g_{v1}$ , die das erste Sensorsignale S1 hierdurch erfährt, wird durch den Vorverstärker 33 derart nachgeregelt, dass ein durch einen Amplitudenunterschied auf der Arbeitsfrequenz der Sensorsignale S1, S2 bedingter Anteil einer Differenz der beiden Sensorsignale S1, S2 verschwindet. Die vorverstärkten Sensorsignale S1, S2 weisen damit die gleiche Amplitude auf und unterscheiden sich durch deren vom Durchfluss abhängige Phase.

- [0015] An die beschriebene Vorverarbeitungsschaltung schließen sich ein erster und ein zweiter Signalverarbeitungszweig 37, 39 an. Der erste Signalverarbeitungszweig 37 umfasst einen Differenzverstärker 41 an dessen Eingängen die impedanzgewandelten vorverstärkten Sensorsignale S1, S2 anliegen. Der Differenzverstärker 41 weist eine in der Regel zweistellige Verstärkung  $g_{\Delta}$  auf, z.B.  $g_{\Delta} = 27$ . Am Ausgang steht damit ein erstes Messsignal  $U_{\Delta}$  zur Verfügung, das einer verstärkten Differenz der Sensorsignale S1, S2 entspricht. Dieses erste Messsignal  $U_{\Delta}$  wird mittels eines im ersten Signalverarbeitungszweig 37 anschließenden Analog-Digital Wandler  $A/D_{\Delta}$
- [0016] digitalisiert und z.B. über ein Interface 43 einer digitalen Signalverarbeitung 45 zugeführt. Dabei kann der Analog-Digital Wandler  $A/D_{\Delta}$  eine von 1 verschiedene Verstärkung  $g_{A/DA}$  aufweisen.
- [0017] Der zweite Signalverarbeitungszweig 39 umfasst einen Addierer 47 an dessen Eingängen die impedanzgewandelten vorverstärkten Sensorsignale S1, S2 anliegen. Der Addierer 47 weist typischer Weise eine Verstärkung  $g_{\Sigma}$  von  $g_{\Sigma} = 1$  auf. Am Ausgang steht damit ein zweites Messsignal  $U_{\Sigma}$  zur Verfügung, das der Summe der Sensorsignale S1, S2 entspricht. Das zweite Messsignal  $U_{\Sigma}$  wird mittels eines im zweiten Signalverarbeitungszweig 39 anschließenden Analog-Digital Wandler  $A/D_{\Sigma}$  digitalisiert und z.B. über das Interface 43 der digitalen Signalverarbeitung 45 zugeführt. Auch hier kann der Analog-Digital Wandler  $A/D_{\Sigma}$  eine von 1 verschiedene Verstärkung  $g_{A/D\Sigma}$  aufweisen.
- [0018] Sofern ein zu messender Phasenwinkel zwischen den Sensorsignalen S1, S2 einen Bereich von einigen zehn Millirad nicht überschreitet, kann auf die Addition verzichtet werden, ohne dass es zu signifikanten Fehlern kommt. In dem Fall wäre im zweiten Signalverarbeitungszweig 39 anstelle des Addierers 47 einen Verstärker mit einer Verstärkung von  $g_{\Sigma}$ , z.B.  $g_{\Sigma} = 2$ , vorzusehen und das zweite Messsignal  $U_{\Sigma}$  entspräche dem verstärkten zweiten Sensorsignal S2. Die in Fig. 2 gestrichelt eingezeichnete Linie, die die Addition der Sensorsignale S1, S2 veranschaulicht würde dann entfallen.
- [0019] In der digitalen Signalverarbeitung 45 wird nachfolgend der Betrag des zweiten Messsignals  $U_{\Sigma}$  und ein Realteil  $\text{Re}(U_{\Delta})$  und ein Imaginärteil  $\text{Im}(U_{\Delta})$  des ersten Messsignals  $U_{\Delta}$  bestimmt. Der Realteil  $\text{Re}(U_{\Delta})$  des ersten Messsignals  $U_{\Delta}$  wird über die regelbare Verstärkung  $g_{v1}$  auf Null geregelt. Schlussendlich wird mittels der digitalen Signalverarbeitung 45 der Durchfluss M bestimmt. Dieser kann beispielsweise wie folgt berechnet werden:
- [0020]  $M = k \text{Im}(U_{\Delta}) g_{\Sigma} g_{AD\Sigma}$
- [0021]  $|U_{\Sigma}| f_s g_{\Delta} g_{ADA}$
- [0022] wobei k eine Proportionalitätskonstante
- [0023]  $f_s$  die Frequenz der Sensorsignale bedeuten.
- [0024] Dabei haben die Verstärkungen  $g_{\Sigma}$ ,  $g_{AD\Sigma}$ ,  $g_{\Delta}$ ,  $g_{ADA}$ ,

- [0025] der einzelnen Komponenten des ersten und des zweiten Signalverarbeitungszweiges 37, 39 einen unmittelbaren Einfluss auf den berechneten Durchfluss M. Geht man davon aus, dass diese Verstärkungen konstant sind, so genügt es diese Konstanten, z.B. im Rahmen einer Kalibration des Durchflussmessers, implizit abzugleichen und zu speichern, so dass bei der Berechnung des Durchflusses M die Gesamtverstärkung, wie in der oben angegebenen Formel, zu 1 normiert wird.
- [0026] Untersuchungen haben gezeigt, dass dies ausreichend ist, wenn sich das Verhältnis der Verstärkungen des ersten und des zweiten Signalverarbeitungszweiges 37, 39 nicht verändert. Verändert sich das Verhältnis, z.B. weil die Verstärkung einzelner oder mehrerer Komponenten z.B. über die Zeit und die Temperatur driften, so führt dies zu einer Messungenauigkeit für die Bestimmung des Durchflusses M, die in der Regel nur durch aufwendige Kalibrationen reduziert werden kann.
- [0027] Es ist eine Aufgabe der Erfindung einen Coriolis Durchflussmesser anzugeben, der eine hohe Messgenauigkeit ermöglicht.
- [0028] Hierzu besteht die Erfindung in einem Coriolis Durchflussmesser mit
- [0029] - mindestens einem Messrohr, das im Messbetrieb zu Schwingungen angeregt
- [0030] wird und von einem Medium durchströmt wird, deren Durchfluss zu
- [0031] messen ist,
- [0032] - einem ersten und einem zweiten Sensor zur Erfassung einer vom
- [0033] Durchfluss abhängigen Schwingung des Messrohrs und zur
- [0034] Erzeugung eines ersten und eines zweiten Sensorsignals,
- [0035] - einem Referenzsignal-Generator, der dem zweiten Sensorsignal ein
- [0036] Referenzsignal überlagert,
- [0037] - einem ersten Signalverarbeitungszweig,
- [0038] -- der anhand des ersten Sensorsignals und eines durch die
- [0039] Überlagerung des zweiten Sensorsignals mit dem Referenzsignal
- [0040] gebildeten Hilfssignals ein erstes Signal ableitet und aufbereitet,
- [0041] das einer Differenz des ersten Sensorsignals und des Hilfssignals
- [0042] entspricht,
- [0043] - einem zweiten Signalverarbeitungszweig, der anhand des Hilfssignals oder
- [0044] anhand des ersten Sensorsignals und des Hilfssignals ein zweites Signal
- [0045] ableitet und aufbereitet,
- [0046] - zwei Sätze von jeweils zwei Filtern, von denen ein
- [0047] erster dazu dient, aus dem aufbereiteten ersten Signal ein aufbereitetes erstes
- [0048] Referenzsignal und ein einer Differenz der Sensorsignale entsprechendes
- [0049] erstes Messsignal heraus zu filtern, und von denen ein zweiter dazu dient, aus
- [0050] dem aufbereiteten zweiten Signal ein aufbereitetes zweites Referenzsignal
- [0051] und ein zweites Messsignal heraus zu filtern,

- [0052] - Mittel, die anhand des ersten und des zweiten aufbereiteten  
[0053] Referenzsignals ein Verhältnis der Verstärkungen des  
[0054] ersten und des zweiten Signalverarbeitungszweiges ermitteln, und  
[0055] - Mittel zur Bestimmung des Durchflusses anhand des ersten und  
[0056] des zweiten Messsignals, die das Verhältnis der Verstärkungen  
[0057] berücksichtigen.  
[0058] Gemäß einer Ausgestaltung ist das zweite Signal gleich einer Summe des ersten  
Sensorsignals und des Hilfssignals, oder ein Phasenwinkel zwischen dem ersten und  
dem zweiten Sensorsignal beträgt weniger als einige zehn Millirad und das zweite  
Signal ist gleich dem Hilfssignal.
- [0059] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung weist der erste Signalverarbeitungszweig  
einen Differenzverstärker und einen Analog-Digitalwandler auf, und der zweite Signal-  
verarbeitungszweig weist einen Addierer oder einen Verstärker und einen Analog-  
Digitalwandler auf.
- [0060] Gemäß einer Weiterbildung weisen die Sensoren jeweils eine Spule auf, der Refe-  
renzsignal-Generator ist mit einem ersten Anschluss der Spule des zweiten Sensors  
verbunden, und ein zweiter Anschluss dieser Spule ist mit einem Eingang des zweiten  
Signalverarbeitungszweig verbunden.
- [0061] Gemäß einer Ausgestaltung sind zwischen dem zweiten Anschluss der Spule des  
ersten Sensors und dem Eingang des ersten Signalverarbeitungszweiges ein Impe-  
danzwandler und ein Vorverstärker angeordnet, eine Vorverstärkung des ersten Sen-  
sorsignals ist derart geregelt, dass ein Realteil des ersten Messsignals verschwindet,  
und zwischen dem zweiten Anschluss der Spule des zweiten Sensors und dem Eingang  
des zweiten Signalverarbeitungszweiges ist ein Impedanzwandler und ein Vorverstärker  
mit einer vorgegebenen Verstärkung angeordnet.
- [0062] Gemäß einer Weiterbildung ist dem zweiten Signalverarbeitungszweig ein  
Summen- oder ein Differenzverstärker vorgeschaltet, an dessen Eingängen das zweite  
Sensorsignal und das Referenzsignal anliegen, und an dessen Ausgang das Hilfssignal  
zur Verfügung steht.
- [0063] Weiter besteht die Erfindung in einem Coriolis-Durchflussmesser mit  
[0064] - mindestens einem Messrohr, das im Messbetrieb zu Schwingungen angeregt  
[0065] wird und von einem Medium durchströmt wird, dessen Durchfluss zu  
[0066] messen ist,  
[0067] - einem ersten und einem zweiten Sensor zur Erfassung einer  
[0068] vom Durchfluss abhängigen Schwingung des Messrohrs und zur  
[0069] Erzeugung eines ersten und eines zweiten Sensorsignals,  
[0070] - einem Referenzsignal-Generator, der dem ersten Sensorsignal  
[0071] ein Referenzsignal überlagert,

- [0072] - einem ersten Signalverarbeitungszweig,  
[0073] -- der anhand eines durch die Überlagerung des ersten Sensorsignals mit  
[0074] dem Referenzsignal gebildeten Hilfssignals und des zweiten Sensorsignals  
[0075] ein erstes Signal ableitet und aufbereitet, das einer Differenz des  
[0076] Hilfssignals und des zweiten Sensorsignals entspricht,  
[0077] - einem zweiten Signalverarbeitungszweig,  
[0078] -- der anhand des Hilfssignals oder anhand des Hilfssignals und des zweiten  
[0079] Sensorsignals ein zweites Signal ableitet und aufbereitet,  
[0080] - zwei Sätze von jeweils zwei Filtern,  
[0081] von denen ein erster dazu dient, aus dem aufbereiteten ersten  
[0082] Signal ein aufbereitetes erstes Referenzsignal und ein einer Differenz  
[0083] der Sensorsignale entsprechendes erstes Messsignal heraus zu filtern,  
[0084] und von denen ein zweiter dazu dient, aus dem aufbereiteten zweiten  
[0085] Signal ein aufbereitetes zweites Referenzsignal und ein zweites  
[0086] Messsignal heraus zu filtern,  
[0087] - Mittel, die anhand des ersten und des zweiten aufbereiteten  
[0088] Referenzsignals ein Verhältnis der Verstärkungen des  
[0089] ersten und des zweiten Signalverarbeitungszweiges ermitteln, und  
[0090] - Mittel zur Bestimmung des Durchflusses anhand des ersten und  
[0091] des zweiten Messsignals, die das Verhältnis der Verstärkungen  
[0092] berücksichtigen.  
[0093] Weiter besteht die Erfindung in einem Verfahren zur Bestimmung eines Ver-  
hältnisses von Verstärkungen von zwei getrennten Signalverarbeitungszweigen eines  
Coriolis Durchflussmessers,  
[0094] - der einen ersten und einen zweiten Sensor zur Erfassung einer  
[0095] vom Durchfluss abhängigen Schwingung eines Messrohrs und  
[0096] zur Erzeugung eines ersten und eines zweiten Sensorsignals  
[0097] aufweist, bei dem entweder  
[0098] - dem zweiten Sensorsignal ein Referenzsignal überlagert wird,  
[0099] - in dem ersten Signalverarbeitungszweig ein erstes Signal abgeleitet und  
[0100] aufbereitet wird, dass einer Differenz des ersten Sensorsignals und eines  
[0101] durch die Überlagerung des zweiten Sensorsignals mit dem Referenzsignal  
[0102] gebildeten Hilfssignals entspricht,  
[0103] - in dem zweiten Signalverarbeitungszweig ein zweites Signal abgeleitet und  
[0104] aufbereitet wird, dass einer Summe des ersten Sensorsignals und des  
[0105] Hilfssignals oder dem Hilfssignal entspricht, oder  
[0106] - dem ersten Sensorsignal ein Referenzsignal überlagert wird,  
[0107] - in dem ersten Signalverarbeitungszweig ein erstes Signal abgeleitet und

- [0108] aufbereitet wird, dass einer Differenz eines durch die Überlagerung des ersten  
[0109] Sensorsignals mit dem Referenzsignal gebildeten Hilfssignals und des zweiten  
[0110] Sensorsignals entspricht,  
[0111] - in dem zweiten Signalverarbeitungszweig ein zweites Signal abgeleitet und  
[0112] aufbereitet wird, dass einer Summe des Hilfssignals und des zweiten  
[0113] Sensorsignals oder dem Hilfssignal entspricht, und bei dem  
[0114] - aus dem ersten und dem zweiten Signal ein erstes und ein zweites  
[0115] aufbereitetes Referenzsignal heraus gefiltert wird, und  
[0116] - anhand der aufbereiteten Referenzsignale ein Verhältnis der Verstärkungen  
[0117] der Signalverarbeitungszweige bestimmt wird.  
[0118] Weiter besteht die Erfindung in einem Verfahren zur Bestimmung eines  
Durchflusses mit einem erfindungsgemäßen Coriolis Durchflussmesser, bei dem der  
Durchfluss proportional zu einem Verhältnis eines Imaginärteiles des ersten  
Messsignals und einem Betrag des zweiten Messsignals und umgekehrt proportional zu  
dem Verhältnis der Verstärkungen ist.
- [0119] Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens wird das Verhältnis der Verstärkungen  
mehrfach bestimmt, und der Durchfluss anhand eines Mittelwertes der Verhältnisse  
bestimmt.
- [0120] Gemäß einer weiteren Weiterbildung wird das Verhältnis der Verstärkungen  
mehrfach bestimmt. Es wird eine Verteilung der Verhältnisse bestimmt, und der  
Durchfluss nur dann anhand eines Mittelwertes der Verhältnisse bestimmt wird, wenn  
die Verhältnisse normal verteilt sind und eine Standardabweichung der Verhältnisse  
unterhalb eines vorgegebenen Wertes liegt.
- [0121] Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens ist im Durchflussmessgerät ein Re-  
ferenzwert für das Verhältnis der Verstärkungen abgespeichert. Es wird das gemessene  
Verhältnis der Verstärkungen mit dem Referenzwert verglichen, und bei Bestehen  
einer Abweichung eine Kompensation vorgenommen.
- [0122] Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass das Verhältnis der Verstärkungen der  
beiden Signalverarbeitungszweige permanent überwacht wird. Eine aufwendige Ka-  
libration der Signalverarbeitungszweige und deren Implementierung und Umsetzung  
im Gerät wird hierdurch überflüssig.
- [0123]
- [0124] Die Erfindung und weitere Vorteile werden nun anhand der Figuren der Zeichnung,  
in denen vier Ausführungsbeispiele dargestellt sind, näher erläutert; gleiche Teile sind  
in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen.
- [0125] Fig. 1 zeigt einen Messaufnehmer eines Coriolis Durchflussmessers;  
[0126] Fig. 2 zeigt eine herkömmliche Signalverarbeitung eines Coriolis  
[0127] Durchflussmessers;

- [0128] Fig. 3 zeigt eine erfindungsgemäße Signalverarbeitung eines Coriolis  
[0129] Durchflussmessers, bei der ein Referenzsignal-Generator  
[0130] an die Spule des zweiten Sensors angeschlossen ist.;
- [0131] Fig. 4 zeigt eine weitere erfindungsgemäße Signalverarbeitung eines Coriolis  
[0132] Durchflussmessers, bei der das Referenzsignal dem zweiten  
[0133] Sensorsignal über einen Differenzverstärker überlagert wird;
- [0134] Fig. 5 zeigt eine erfindungsgemäße Signalverarbeitung eines Coriolis  
[0135] Durchflussmessers, bei der ein Referenzsignal-Generator  
[0136] an die Spule des ersten Sensors angeschlossen ist; und
- [0137] Fig. 6 zeigt eine weitere erfindungsgemäße Signalverarbeitung eines Coriolis  
[0138] Durchflussmessers, bei der das Referenzsignal dem ersten  
[0139] Sensorsignal über einen Differenzverstärker überlagert wird.
- [0140] Die Erfindung betrifft einen Coriolis Durchflussmesser mit einem Messaufnehmer und einer Signalverarbeitung und ist nachfolgend aufbauend auf den in Fig. 1 dargestellten Messaufnehmer und die in Fig. 2 dargestellte Signalverarbeitung näher beschrieben. Fig. 3 und Fig. 4 zeigen jeweils ein Beispiel einer Signalverarbeitung eines erfindungsgemäßen Coriolis Durchflussmessers. Da beide Signalverarbeitungen große Übereinstimmungen zu der in Fig. 2 dargestellten Signalverarbeitung aufweisen, sind nachfolgend lediglich die bestehenden Unterschiede näher erläutert. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die dargestellte Form des Messaufnehmers und der Signalverarbeitung lediglich ein Beispiel darstellen und die Erfindung genauso in Verbindung mit anderen Messaufnehmern und anderen Signalverarbeitungen einsetzbar ist.
- [0141] Ein erfindungsgemäßer Coriolis Durchflussmesser umfasst, wie in Fig. 1 dargestellt, mindestens ein Messrohr 3, das im Messbetrieb zu Schwingungen angeregt wird und von einem Medium durchströmt wird, deren Durchfluss  $M$  zu messen ist. Die Erfindung ist aber nicht auf ein einziges Messrohr beschränkt. Sie kann völlig analog auch bei Coriolis Durchflussmessern mit zwei oder mehr Messrohren angewendet werden. Der dargestellte Messaufnehmer weist einen ersten und einem zweiten Sensor 21, 23 zur Erfassung einer vom Durchfluss  $M$  abhängigen Schwingung des Messrohrs 3 und zur Erzeugung eines ersten und eines zweiten, die Schwingung repräsentierenden Sensorsignals  $S1$ ,  $S2$  auf. Hier gilt natürlich analog, dass sehr viel mehr als nur zwei Sensoren eingesetzt werden können. Die Erfindung kann dann für jedes mögliche Paar von zwei Sensoren, die aus der Gesamtheit der vorhandenen Sensoren ausgewählt werden, angewendet werden.
- [0142] Gemäß einer ersten Variante der Erfindung weist der Coriolis Durchflussmesser einen Referenzsignal-Generator auf, der dem zweiten Sensorsignal  $S2$  ein Referenzsignal  $R$  überlagert.
- [0143] Der Referenzsignal-Generator ist vorzugsweise ein Spannungs-Generator, der dem

Sensorsignal S2 eine Spannung überlagert. Dies bietet bei dem beschriebenen Durchflussmesser den Vorteil, dass ein Stromfluss, der sich unter Umständen über die Spule 27 auf die Messrohrschwingung auswirken könnte, vermieden wird. Das Referenzsignal R ist vorzugsweise eine oszillierende Spannung mit einer vorgegebenen Frequenz  $f_R$ , die von der Frequenz  $f_s$  der Sensorsignale S1, S2 unterscheidbar ist. Bei einer Frequenz  $f_s$  der Sensorsignale von z.B. 800 Hz, kann die Frequenz  $f_R$  des Referenzsignals R z.B. 300 Hz betragen. Als Referenzsignal-Generatoren eignet sich sowohl ein analoger als auch ein digitaler Referenzsignal-Generator 48a, 48b. Beide Varianten sind in Fig. 3 zur Veranschaulichung dargestellt. Als analoger Referenzsignal-Generator 48a eignet sich z.B. ein spannungsgesteuerter Oszillator (VCO). Diese Option ist in Fig. 3 durch eine gestrichelte Linienführung dargestellt. Alternativ kann das Referenzsignal R durch einen digitalen Referenzsignal-Generator 48b in digitaler Form, z.B. in Form eines Kosinus oder eines Sinus, generiert werden. Der digitale Referenzsignal-Generator 48b ist vorzugsweise Bestandteil einer ohnehin vorhandenen digitalen Signalverarbeitung, hier der Signalverarbeitung 45. Das digitale Referenzsignal  $R_d$  wird, wie in Fig. 3 dargestellt, mittels eines Digital-Analog Wandlers D/A und gegebenenfalls eines Verstärker A in ein analoges Referenzsignal R umgewandelt und dem Sensorsignal S2 überlagert.

[0144] Bei der in Fig. 3 dargestellten Signalverarbeitung erfolgt die Überlagerung des Referenzsignals R unmittelbar über die Spule 27 des Sensors 23. Der Referenzsignal-Generator 48a, bzw. 48b ist unmittelbar mit einem ersten Anschluss 55 der Spule 27 verbunden. Ein erster Anschluss 53 der Spule 25 liegt an Masse oder an einem Bezugspotential. Ein zweiter Anschluss 57 der Spule 25 ist über den Impedanzwandler 31 und den Vorverstärker 33 mit einem Eingang des ersten Signalverarbeitungs Zweigs 37 verbunden. Ein zweiter Anschluss 59 der Spule 27 ist über den Impedanzwandler 31 und den Vorverstärker 35 mit einem Eingang des zweiten Signalverarbeitungs Zweigs 37 verbunden.

[0145] Die Überlagerung kann aber auch auf andere Weise vorgenommen werden. Fig. 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel bei dem die Überlagerung über einen dem zweiten Signalverarbeitungs Zweig 39 vorgeschalteten Summen- oder Differenzverstärker bewirkt wird. Der Summen- oder Differenzverstärker kann dabei ein zusätzliches Element sein, das in die Schaltung eingefügt wird. Vorzugsweise wird jedoch ein regelbarer Summen- oder Differenzverstärker 61 eingesetzt, der an die Stelle des Vorverstärkers 35 tritt. Das Referenzsignal R liegt an einem ersten Eingang 63 des dem zweiten Signalverarbeitungs Zweig 39 vorgeschalteten Summen- oder Differenzverstärker 61 an. Die Spulen 25, 27 liegen über deren ersten Anschluss 53, 55 an Masse oder an einem Bezugspotential. Der zweite Anschluss 59 der Spule 27 ist über den Impedanzwandler 31 mit einem zweiten Eingang 65 des dem zweiten Signalverarbei-

tungszweig 39 vorgeschalteten Summen- oder Differenzverstärkers 61 verbunden.

- [0146] In den dargestellten Ausführungsbeispielen sind die Sensoren 21, 23 jeweils nur mit einer Spule 25, 27 ausgestattet. Analog können natürlich auch Sensoren eingesetzt werden, die zwei oder mehr Spulen aufweisen. Die Überlagerung des Referenzsignals R erfolgt dann entsprechend dem Aufbau der Sensoren analog.
- [0147] Durch die Überlagerung des zweiten Sensorsignals S2 mit dem Referenzsignal R entsteht ein Hilfssignal H. Das Hilfssignal H und das Sensorsignal S1 werden einer analogen Vorverarbeitung unterzogen. Dies geschieht beispielsweise identisch zu der anhand von Fig. 2 beschriebenen Vorverarbeitung der Sensorsignale S1, S2, wobei das Hilfssignal H an die Stelle des Sensorsignals S2 von Fig. 2 tritt.
- [0148] An die Vorverarbeitung schließt sich eine weitere Verarbeitung des ersten Sensorsignals S1 und des Hilfssignals H in einem ersten und einem zweiten Signalverarbeitungszweig 37, 39 an.
- [0149] Zwischen dem zweiten Anschluss 57 der Spule 25 und dem Eingang des ersten Signalverarbeitungszweigs 37 ist der Impedanzwandler 31 und der Vorverstärker 33 angeordnet. Die Vorverstärkung  $g_{v1}$  des ersten Sensorsignals S1 ist derart geregelt, dass ein Realteil des ersten Messsignals  $U_{\Delta}$  verschwindet. Zwischen einem zweiten Anschluss 59 der Spule 27 und dem Eingang des zweiten Signalverarbeitungszweigs 39 ist ein Impedanzwandler 31 mit einer Verstärkung  $g$ , z.B. mit  $g=1$ , und der Vorverstärker 35 mit einer vorgegebenen Verstärkung  $g_{v2}$  angeordnet.
- [0150] Die in Fig. 3 dargestellten Signalverarbeitungszweige 37, 39 sind der Einfachheit halber identisch zu den in Fig. 2 dargestellten Signalverarbeitungszweigen 37, 39 aufgebaut. Im Unterschied zu der in Fig. 2 dargestellten Signalverarbeitung wird den Signalverarbeitungszweigen 37, 39 hier das impedanzgewandelte vorverstärkte erste Sensorsignal S1 und das impedanzgewandelte vorverstärkte Hilfssignale H zugeführt. Das impedanzgewandelte vorverstärkte Hilfssignal H tritt an die Stelle des impedanzgewandelten vorverstärkten zweiten Sensorsignals S2 von Fig. 2.
- [0151] Der erste Signalverarbeitungszweig 37 leitet anhand des ersten Sensorsignals S1 und des durch die Überlagerung des zweiten Sensorsignals S2 mit dem Referenzsignal R gebildeten Hilfssignals H ein erstes Signal  $S_{\Delta}$  ab, das einer Differenz des ersten Sensorsignals S1 und des Hilfssignals H entspricht, und bereitet dieses auf.
- [0152] Entsprechend leitet der zweite Signalverarbeitungszweig 39 anhand des Hilfssignals H oder anhand des ersten Sensorsignals S1 und des Hilfssignals H ein zweites Signal  $S_{\Sigma}$  ab und bereitet dieses auf. Das zweite Signal  $S_{\Sigma}$  entspricht dabei, analog zu den Ausführungen zu Fig. 2, der Summe des ersten Sensorsignals S1 und des Hilfssignals H oder dem, beispielsweise um einen Faktor 2 verstärkten, Hilfssignal H. Letztere Variante ist jedoch nur unter der Bedingung einsetzbar, dass ein Phasenwinkel zwischen dem ersten und dem zweiten Sensorsignal S1, S2 weniger als einige zehn Millirad

beträgt. Die Ableitung und die Aufbereitung erfolgt bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel durch den Differenzverstärker 41, den Analog-Digital Wandler  $A/D_{\Delta}$ , den Addierer 47 oder einen in Fig. 3 nicht dargestellten Verstärker, und den Analog-Digital Wandler  $A/D_{\Sigma}$ . Selbstverständlich können die beiden Signalverarbeitungszweige 37, 39 weitere Elemente zur Ableitung und Aufbereitung enthalten, die hier jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt sind. Die aufbereiteten ersten und zweiten Signale  $S_{\Sigma}$  und  $S_{\Delta}$  stehen über das Interface 43 zur Verfügung.

[0153] Erfindungsgemäß sind zwei, vorzugsweise identische, Sätze von jeweils zwei Filtern  $FS_{\Delta}$ ,  $FR1$ ;  $FS_{\Sigma}$ ,  $FR2$ , vorgesehen. Der erste Satz umfasst die Filter  $FS_{\Delta}$ ,  $FR1$  und dient dazu aus dem aufbereiteten ersten Signal  $S_{\Delta}$  ein aufbereitetes erstes Referenzsignal  $R1$  und ein einer Differenz der Sensorsignale  $S1$ ,  $S2$  entsprechendes erstes Messsignal  $U_{\Delta}$  heraus zu filtern.

[0154] Der zweite Satz umfasst die Filter  $FS_{\Sigma}$ ,  $FR2$  und dient dazu aus dem aufbereiteten zweiten Signal  $S_{\Sigma}$  ein aufbereitetes zweites Referenzsignal  $R2$  und, ein zweites Messsignal  $U_{\Sigma}$  heraus zu filtern. In Abhängigkeit davon, ob in dem zweiten Signalverarbeitungszweig 39 ein Addierer 47 oder ein Verstärker eingesetzt wurde, entspricht das zweite Messsignal  $U_{\Sigma}$  entweder der Summe der Sensorsignale  $S1$ ,  $S2$  oder dem verstärkten zweiten Sensorsignal  $S2$ .

[0155] Die Filter  $FS_{\Delta}$ ,  $FR1$ ;  $FS_{\Sigma}$ ,  $FR2$  sind hier zum besseren Verständnis als eigenständige Bauteile dargestellt. Moderne Signalverarbeitungen 45, z.B. digitale Signalprozessoren, weisen eine hohe Funktionalität auf und sind sehr vielseitig einsetzbar. Insbesondere sind sie sehr gut geeignet die Funktion der Filter  $FS_{\Delta}$ ,  $FR1$ ;  $FS_{\Sigma}$ ,  $FR2$ , zu übernehmen. Entsprechend können die Filter  $FS_{\Delta}$ ,  $FR1$ ;  $FS_{\Sigma}$ ,  $FR2$  in der digitalen Signalverarbeitung 45 integriert sein. Dies ist in Fig. 3 durch eine gestrichelt eingezeichnete Linie dargestellt.

[0156] Die in den beiden Signalverarbeitungszweigen 37, 39 enthaltenen Bauteile weisen jeweils Verstärkungen auf, die zwar vorab anhand deren Spezifikation und Einstellung oder durch eine Kalibration bestimmbar sind, die sich jedoch z.B. mit der Zeit oder aufgrund von Änderungen der Temperatur verändern können. Mit der Verstärkung der Signalzweige 37, 39 ist hier die Gesamtverstärkung gemeint, die durch das Zusammenspiel aller in dem jeweiligen Signalverarbeitungszweig 37, 39 enthaltenen Bauteile bewirkt wird. Diese entspricht dem Produkt der einzelnen Verstärkungen der einzelnen Bauteile eines Signalverarbeitungszweigs 37, 39. Wie bereits in der Beschreibungseinleitung erläutert gehen diese Verstärkungen bzw. das Verhältnis der Verstärkungen des ersten und des zweiten Signalverarbeitungszweiges 37, 39 in die Bestimmung des Durchflusses ein. Jede Veränderung wirkt sich somit nachteilig auf die Messgenauigkeit aus.

[0157] Erfindungsgemäß wird dieses Problem gelöst, indem Mittel 49 vorgesehen sind, die

anhand des ersten und des zweiten aufbereiteten Referenzsignals R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> ein Verhältnis der Verstärkungen V des ersten und des zweiten Signalverarbeitungszweiges 37, 39 ermitteln, und indem Mittel 51 zur Bestimmung des Durchflusses M vorgesehen sind, die den Durchfluss M anhand des ersten und des zweiten Messsignals U<sub>Δ</sub>, U<sub>Σ</sub> bestimmen und dabei das Verhältnis der Verstärkungen V berücksichtigen. Da es sich in beiden Fällen um digitale Signalverarbeitung handelt, sind sowohl die Mittel 49, die das Verhältnis der Verstärkungen V des ersten und des zweiten Signalverarbeitungszweiges 37, 39 ermitteln, als auch die Mittel 51 zur Bestimmung des Durchflusses M vorzugsweise in der digitalen Signalverarbeitung 45 integriert.

[0158] Das erste Signal S<sub>Δ</sub> entspricht bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel der verstärkten digitalisierten Differenz des impedanzgewandelten vorverstärkten ersten Sensorsignals S<sub>1</sub> und des impedanzgewandelten vorverstärkten Hilfssignals H mit  $H = S_2 \pm R$ , d.h.

[0159]  $S_{\Delta} = [ S_1 g_{v1} - (S_2 \pm R) g_{v2} ] g_{\Delta} g_{A/D\Delta}$

[0160] worin S<sub>1</sub> und S<sub>2</sub> das erste und das zweite Sensorsignal

[0161] R das Referenzsignal

[0162] g die Verstärkung der Impedanzwandler 31

[0163] g<sub>v1</sub> die geregelte Verstärkung des ersten Vorverstärkers 33

[0164] g<sub>v2</sub> die feste Verstärkung des zweiten Vorverstärkers 35

[0165] g<sub>Δ</sub> die Verstärkung des Differenzverstärkers 41; und

[0166] g<sub>A/DΔ</sub> die Verstärkung des Analog-Digital Wandlers A/D<sub>Δ</sub>

[0167] bedeuten. Dabei ist das Hilfssignal H eine Überlagerung des zweiten Sensorsignals S<sub>2</sub> und des Referenzsignals R, die z.B. durch Summierung, d.h.  $H = S_2 + R$  oder durch Differenzbildung, d.h.  $H = S_2 - R$ , realisiert wird. Beide Formen der Überlagerung sind gleichwertig.

[0168] Das zweite Signal S<sub>Σ</sub> entspricht bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel der digitalisierten Summe des impedanzgewandelten vorverstärkten ersten Sensorsignals S<sub>1</sub> und des impedanzgewandelten vorverstärkten Hilfssignals H mit  $H = S_2 \pm R$ , d.h.

[0169]  $S_{\Sigma} = [ S_1 g_{v1} + (S_2 \pm R) g_{v2} ] g_{\Sigma} g_{A/D\Sigma}$

[0170] worin S<sub>1</sub> und S<sub>2</sub> das erste und das zweite Sensorsignal

[0171] R das Referenzsignal

[0172] g die Verstärkung der Impedanzwandler 31

[0173] g<sub>v1</sub> die geregelte Verstärkung des ersten Vorverstärkers 33

[0174] g<sub>v2</sub> die feste Verstärkung des zweiten Vorverstärkers 35

[0175] g<sub>Σ</sub> die Verstärkung des Addierers 47 ; und

[0176] g<sub>A/DΣ</sub> die Verstärkung des Analog-Digital Wandlers A/D<sub>Σ</sub>

[0177] bedeuten.

[0178] Bei der oben beschriebenen Alternative, bei der im zweiten Signalzweig 39 keine Addition des ersten Sensorsignals S1 erfolgt, würde der entsprechende Term  $S1 \cdot g_{v1}$  in der Klammer in der obigen Formel für das zweite Signal  $S_{\Sigma}$

[0179] entfallen.

[0180] Für die in Fig. 4 dargestellte Variante gilt entsprechend:

$$[0181] \quad S_{\Delta} = [ S1 \cdot g_{v1} - (S2 \cdot g_{\pm R}) \cdot g_{v2} ] \cdot g_{\Delta} \cdot g_{\Delta/D\Delta}$$

$$[0182] \quad S_{\Sigma} = [ S1 \cdot g_{v1} + (S2 \cdot g_{\pm R}) \cdot g_{v2} ] \cdot g_{\Sigma} \cdot g_{\Delta/D\Sigma}$$

[0183] da das Referenzsignal R bei dieser Variante den dem zweiten Signalverarbeitungszweig 39 vorgeschalteten Impedanzwandler 31 nicht durchläuft. Auch hier würde bei der oben beschriebenen Alternative, bei der im zweiten Signalzweig 39 keine Addition des ersten Sensorsignals S1 erfolgt, der entsprechende Term  $S1 \cdot g_{v1}$  in der Klammer in der obigen Formel für das zweite Signal  $S_{\Sigma}$  entfallen.

[0184] Die Filter FR1 und FR2 filtern aus dem ersten und dem zweiten Signal  $S_{\Delta}$  und  $S_{\Sigma}$  ein erstes und ein zweites aufbereitetes Referenzsignal R1, R2 heraus, d.h. es werden diejenigen Komponenten heraus gefiltert, die die Referenzfrequenz  $f_R$  aufweisen. Damit ergibt sich für das erste aufbereitete Referenzsignal R1 der in Fig. 3 dargestellten Variante:

$$[0185] \quad R1 = -/+ R \cdot g_{v2} \cdot g_{\Delta} \cdot g_{\Delta/D\Delta}$$

[0186] Entsprechend gilt für die in Fig. 4 dargestellte Variante:

$$[0187] \quad R1 = -/+ R \cdot g_{v2} \cdot g_{\Delta} \cdot g_{\Delta/D\Delta}$$

[0188] Für das aufbereitete zweite Referenzsignal R2 der in Fig. 3 dargestellten Variante gilt:

$$[0189] \quad R2 = +/- R \cdot g_{v2} \cdot g_{\Sigma} \cdot g_{\Delta/D\Sigma}$$

[0190] Entsprechend gilt für die Variante von Fig. 4:

$$[0191] \quad R2 = +/- R \cdot g_{v2} \cdot g_{\Sigma} \cdot g_{\Delta/D\Sigma}$$

[0192] Die aufbereiteten Referenzsignale R1, R2 weisen auch dann diese Form auf, wenn im zweiten Signalzweig 39 keine Addition des ersten Sensorsignals S1 vorgenommen wurde.

[0193] Das Verhältnis V der Verstärkungen des ersten und des zweiten Signalverarbeitungszweiges 37, 39 ergibt sich damit unmittelbar aus dem Betrag der Quotienten des ersten und des zweiten aufbereiteten Referenzsignals R1, R2. Damit gilt:

[0194]

$$[0195] \quad V = | R1/R2 | = \frac{g_{\Delta} \cdot g_{\Delta/D\Delta}}{g_{\Sigma} \cdot g_{\Delta/D\Sigma}}$$

$$[0196] \quad g_{\Sigma} \cdot g_{\Delta/D\Sigma}$$

[0197] Dieses Verhältnis V oder, was äquivalent dazu ist, dessen Kehrwert  $1/V$ , wird in der digitalen Signalverarbeitung 45 mit den Mitteln 49 bestimmt.

[0198] Die Filter  $FS_{\Delta}$  und  $FS_{\Sigma}$  filtern aus dem ersten und dem zweiten Signal  $S_{\Delta}$  und  $S_{\Sigma}$  ein erstes und ein zweites Messsignal  $U_{\Delta}$  und  $U_{\Sigma}$  heraus, d.h. es werden diejenigen

Komponenten heraus gefiltert, die die Frequenz der Sensoren  $f_s$  aufweisen. Damit ergibt sich für das erste Messsignal  $U_\Delta$ :

[0199] 
$$U_\Delta = [ S1 \ g \ g_{v1} - S2 \ g \ g_{v2} ] \ g_\Delta \ g_{A/D\Delta}$$

[0200] Und für das zweite Messsignal  $U_\Sigma$ :

[0201] 
$$U_\Sigma = [ S1 \ g \ g_{v1} + S2 \ g \ g_{v2} ] \ g_\Sigma \ g_{A/D\Sigma}$$

[0202] Bei der oben beschriebenen Alternative, bei der im zweiten Signalzweig 39 keine Addition des ersten Sensorsignals S1 erfolgt, würde natürlich auch hier der entsprechende Term  $S1 \ g \ g_{v1}$  in der Klammer in der obigen Formel für das zweite Messsignal  $U_\Sigma$  entfallen.

[0203] Durch die Mittel 51 wird nun der Durchfluss M bestimmt, indem ein Imaginärteil  $\text{Im}(U_\Delta)$  des ersten Messsignals  $U_\Delta$  und ein Betrag  $|U_\Sigma|$  des zweiten Messsignals  $U_\Sigma$  bestimmt wird. Die Bestimmung des Durchflusses M erfolgt dann analog zu der in der Beschreibungseinleitung beschriebenen Bestimmung, wobei an die Stelle der zuvor implizit abgeglichenen und abgespeicherten Konstanten der Verstärkungen der Signalverarbeitungszweige 37, 39 das tatsächliche gemessene Verhältnis V der Verstärkungen tritt. Der Durchfluss M bestimmt sich dann anhand des ersten und des zweiten Messsignal  $U_\Delta$ ,  $U_\Sigma$  und des tatsächlichen gemessenen Verhältnisses V der Verstärkungen zu:

[0204] 
$$M = k \frac{\text{Im}(U_\Delta)}{|U_\Sigma|} \frac{1}{f_s V}$$

[0205] 
$$|U_\Sigma| \ f_s \ V$$

[0206] wobei k eine Proportionalitätskonstante

[0207]  $f_s$  die Frequenz der Sensorsignale S1, S2 bedeuten.

[0208] Bei diesem Verfahren zur Bestimmung des Durchflusses M mit dem erfindungsgemäßen Coriolis Durchflussmesser gemäß ist der Durchfluss M proportional zum Verhältnis des Imaginärteiles  $\text{Im}(U_\Delta)$  des ersten Messsignals  $U_\Delta$  und dem Betrag des zweiten Messsignals  $|U_\Sigma|$  und umgekehrt proportional zu dem Verhältnis der Verstärkungen V.

[0209] In den Figuren 5 und 6 sind zwei weitere Ausführungsbeispiele von Signalverarbeitungen von erfindungsgemäßen Coriolis Durchflussmessern dargestellt, die beispielsweise in Verbindung mit dem in Fig. 1 dargestellten Messaufnehmer einsetzbar sind. Sie unterscheiden sich von den in den Figuren 3 und 4 dargestellten Ausführungsbeispielen lediglich darin, dass das Referenzsignal R nicht dem zweiten Sensorsignal S2, sondern dem ersten Sensorsignal S1 überlagert wird. Das Referenzsignal R liegt bei dem in Fig. 5 dargestellten Ausführungsbeispiel am ersten Anschluss 53 der Spule 25 des ersten Sensors 21 an.

[0210] Bei der in Fig. 6 dargestellten Signalverarbeitung wird die Überlagerung über einen dem ersten Signalverarbeitungszweig 37 vorgeschalteten Summen- oder Differenzverstärker bewirkt wird. Der Summen- oder Differenzverstärker kann dabei ein zu-

sätzliches Element sein, das in die Schaltung eingefügt wird. Vorzugsweise wird jedoch ein regelbarer Summen- oder Differenzverstärker 67 eingesetzt, der an die Stelle des Vorverstärkers 33 tritt. Das Referenzsignal R liegt an einem ersten Eingang 69 des dem ersten Signalverarbeitungszweig 37 vorgeschalteten Differenzverstärker 67 an. Die Spulen 25, 27 liegen über deren ersten Anschluss 53, 55 an Masse oder an einem Bezugspotential. Der zweite Anschluss 57 der Spule 25 ist über den Impedanzwandler 31 mit einem zweiten Eingang 71 des dem ersten Signalverarbeitungszweig 37 vorgeschalteten Summen- oder Differenzverstärkers 67 verbunden.

[0211] Bei den in den Figuren 5 und 6 dargestellten Signalverarbeitungen wird im ersten Signalverarbeitungszweig 37 anhand des durch die Überlagerung des ersten Sensorsignals S1 mit dem Referenzsignal R gebildeten Hilfssignals H und des zweiten Sensorsignals S2 ein erstes Signal  $S_{\Delta}$  abgeleitet und aufbereitet, das der Differenz des Hilfssignals H und des zweiten Sensorsignals S2 entspricht. Im zweiten Signalverarbeitungszweig 39 wird anhand des Hilfssignals H und des zweiten Sensorsignals S2 ein zweites Signal  $S_{\Sigma}$  abgeleitet und aufbereitet, das der Summe des Hilfssignals H und des zweiten Sensorsignals S2 entspricht. Alternativ kann hier, analog zu den Ausführungen zu Fig. 3 und Fig4, auf die Summenbildung verzichtet werden, indem im zweiten Signalverarbeitungszweig 39 ein zweites Signal  $S_{\Sigma}$  abgeleitet und aufbereitet wird, das dem Hilfssignals H entspricht. An die Stelle des Addierers 47 tritt dann ein Verstärker, der das Hilfssignal H mit der Verstärkung  $g_{v2}$  verstärkt. Die in den Figuren 5 und 6 gestrichelt eingezeichnete Verbindung zwischen dem Vorverstärker 35 und dem zweiten Signalverarbeitungszweig 39 entfällt dann.

[0212] Die oben beschriebene Alternative, bei der im zweiten Signalverarbeitungszweig 39 anstelle einer Summenbildung nur das zweite Sensorsignal S2 verstärkt und aufbereitet wird, ist hier nicht zulässig, da sich dann das Verhältnis der Verstärkungen V dabei nicht auf die oben beschriebene Weise ermitteln lässt.

[0213] Bei den in den Figuren 5 und 6 dargestellten Ausführungsbeispielen sind genau wie bei den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen zwei vorzugsweise identische Sätze von jeweils zwei Filtern  $FS_{\Delta}$ ,  $FR1$ ;  $FS_{\Sigma}$ ,  $FR2$ , vorgesehen, von denen ein erster dazu dient, aus dem aufbereiteten ersten Signal  $S_{\Delta}$  ein aufbereitetes erstes Referenzsignal R1 und ein der Differenz der Sensorsignale S1, S2 entsprechendes erstes Messsignal  $U_{\Delta}$  heraus zu filtern, und von denen ein zweiter dazu dient, aus dem aufbereiteten zweiten Signal  $S_{\Sigma}$  ein aufbereitetes zweites Referenzsignal R2 und ein zweites Messsignal  $U_{\Sigma}$  heraus zu filtern. Auch hier sind wieder Mittel 49, die anhand des ersten und des zweiten aufbereiteten Referenzsignals R1, R2 ein Verhältnis der Verstärkungen V des ersten und des zweiten Signalverarbeitungszweiges 37, 39 ermitteln, und Mittel 51 zur Bestimmung des Durchflusses M anhand des ersten und des zweiten Messsignals  $U_{\Delta}$ ,  $U_{\Sigma}$  vorgesehen, die das Verhältnis der Verstärkungen V

berücksichtigen.

[0214] Das erste Signal  $S_{\Delta}$  entspricht bei der in Fig. 5 dargestellten Variante der verstärkten digitalisierten Differenz des impedanzgewandelten vorverstärkten Hilfssignals H mit  $H = S1 \pm R$  und des impedanzgewandelten vorverstärkten zweiten Sensorsignals S2, d.h.

$$[0215] \quad S_{\Delta} = [ (S1 \pm R) g_{v1} - S2 g_{v2} ] g_{\Delta} g_{\Delta/D\Delta}$$

[0216] Für die in Fig. 6 dargestellte Variante gilt entsprechend:

$$[0217] \quad S_{\Delta} = [ (S1 g \pm R) g_{v1} - S2 g_{v2} ] g_{\Delta} g_{\Delta/D\Delta}$$

[0218] Das zweite Signal  $S_{\Sigma}$  entspricht bei der in Fig. 5 dargestellten Variante der digitalisierten Summe des impedanzgewandelten vorverstärkten Hilfssignals H mit  $H = S1 \pm R$  und des impedanzgewandelten vorverstärkten zweiten Sensorsignals S2, d.h.

$$[0219] \quad S_{\Sigma} = [ (S1 \pm R) g_{v1} + S2 g_{v2} ] g_{\Sigma} g_{\Delta/D\Sigma}$$

[0220] Für die in Fig. 6 dargestellte Variante gilt entsprechend:

$$[0221] \quad S_{\Sigma} = [ (S1 g \pm R) g_{v1} + S2 g_{v2} ] g_{\Sigma} g_{\Delta/D\Sigma}$$

[0222] Bei der oben beschriebenen Alternative, bei der im zweiten Signalzweig 39 keine Addition des zweiten Sensorsignals S2 erfolgt, würde der entsprechende Term  $S2 g_{v2}$  in der Klammer in den obigen Formeln für das zweite Signal  $S_{\Sigma}$

[0223] entfallen.

[0224] Die Filter FR1 und FR2 filtern aus dem ersten und dem zweiten Signal  $S_{\Delta}$  und  $S_{\Sigma}$  ein erstes und ein zweites aufbereitetes Referenzsignal R1, R2 heraus. Damit ergibt sich für das erste aufbereitete Referenzsignal R1 der in Fig. 5 dargestellten Variante:

$$[0225] \quad R1 = \pm R g_{v1} g_{\Delta} g_{\Delta/D\Delta}$$

[0226] und für das aufbereitete zweite Referenzsignal R2 der in Fig. 5 dargestellten Variante:

$$[0227] \quad R2 = \pm R g_{v1} g_{\Sigma} g_{\Delta/D\Sigma}$$

[0228] Für die in Fig. 6 dargestellte Variante gilt entsprechend:

$$[0229] \quad R1 = \pm R g_{v1} g_{\Delta} g_{\Delta/D\Delta} \text{ und}$$

$$[0230] \quad R2 = \pm R g_{v1} g_{\Sigma} g_{\Delta/D\Sigma}$$

[0231] Das Verhältnis V der Verstärkungen des ersten und des zweiten Signalverarbeitungszweiges 37, 39 ergibt sich damit unmittelbar aus dem Quotienten des ersten und des zweiten aufbereiteten Referenzsignals R1, R2. Damit gilt:

[0232]

$$[0233] \quad V = R1/R2 = g_{\Delta} g_{\Delta/D\Delta}$$

$$[0234] \quad g_{\Sigma} g_{\Delta/D\Sigma}$$

[0235] Alles weitere, insb. die Bestimmung des Durchflusses M erfolgt auf die gleiche Weise, wie sie bereits in Verbindung mit den Figuren 3 und 4 erläutert wurde.

[0236] Neben dem eigentlichen Coriolis Durchflussmessgerät beinhaltet die Erfindung zusätzlich ein Verfahren zur Bestimmung des Verhältnisses von Verstärkungen V von

zwei getrennten Signalverarbeitungszweigen 37, 39 eines Coriolis Durchflussmessers, der einen ersten und einem zweiten Sensor 21, 23 zur Erfassung einer vom Durchfluss abhängigen Schwingung eines Messrohrs 3 und zur Erzeugung eines ersten und eines zweiten Sensorsignals S1, S2 aufweist. Gemäß diesem Verfahren wird, wie oben bereits anhand des erfindungsgemäßen Coriolis Durchflussmessers beschrieben, entweder dem zweiten Sensorsignal S2 (siehe Figuren 3 und 4) oder dem ersten Sensorsignal S1 (siehe Figuren 5 und 6) das Referenzsignal R überlagert.

[0237] Im erstgenannten Fall wird im ersten Signalverarbeitungszweig 37 ein erstes Signal  $S_{\Delta}$  abgeleitet und aufbereitet, dass einer Differenz des ersten Sensorsignals S1 und des Hilfssignals H entspricht. Im zweiten Signalverarbeitungszweig 39 wird ein zweites Signal  $S_{\Sigma}$  abgeleitet und aufbereitet, dass einer Summe des ersten Sensorsignals S1 und des Hilfssignals H oder dem Hilfssignal H entspricht.

[0238] Im zweiten Fall wird im ersten Signalverarbeitungszweig 37 ein erstes Signal  $S_{\Delta}$  abgeleitet und aufbereitet, dass einer Differenz des Hilfssignals H und des zweiten Sensorsignals S2 entspricht. Im zweiten Signalverarbeitungszweig 39 wird ein zweites Signal  $S_{\Sigma}$  abgeleitet und aufbereitet, dass einer Summe des Hilfssignals H und des zweiten Sensorsignals S2 oder dem Hilfssignal H entspricht.

[0239] Aus dem ersten und dem zweiten Signal  $S_{\Delta}$ ,  $S_{\Sigma}$  wird ein erstes und ein zweites aufbereitetes Referenzsignal R1, R2 heraus gefiltert. Nachfolgend wird anhand der aufbereiteten Referenzsignale R1, R2, wie bereits oben beschrieben, das Verhältnis der Verstärkungen V der Signalverarbeitungszweige 37, 39 bestimmt.

[0240] Die Verstärkungen der einzelnen Komponenten der Signalverarbeitungszweige 37, 39 ändern sich in der Regel sehr langsam, da Alterungserscheinungen und Temperaturänderungen im Verhältnis zum Durchfluss bzw. zu dessen Änderungen nur sehr langsam erfolgen.

[0241] Entsprechend lässt sich die Genauigkeit, mit der das Verhältnis der Verstärkungen V bestimmt wird, verbessern, indem das Verhältnis der Verstärkungen V mehrfach bestimmt wird, und dessen Mittelwert ermittelt und anstelle der Einzelmessungen herangezogen wird. Entsprechend wird dann der Durchfluss M anhand des Mittelwertes der Verhältnisse V bestimmt.

[0242] Störungen, die Frequenzen im Bereich der Frequenz  $f_r$  des Referenzsignals R, aufweisen, können die Genauigkeit mit der das Verhältnis V der Verstärkungen gemessen werden kann beeinträchtigen. Derartige Nachteile können vermieden werden, indem das Verhältnis der Verstärkungen V mehrfach bestimmt wird, und eine Verteilung der Verhältnisse V bestimmt wird. Die einzelnen Verhältnisse V bzw. deren Mittelwert, werden immer dann als zuverlässig angesehen, wenn die Verhältnisse V normalverteilt sind und eine Standardabweichung der Verhältnisse V unterhalb eines vorgegebenen Wertes liegt. Entsprechend wird der Durchfluss M vorzugsweise nur

dann anhand des gemessenen Verhältnisses  $V$  oder eines Mittelwertes der Verhältnisse bestimmt, wenn die Verhältnisse normalverteilt sind und eine Standardabweichung der Verhältnisse unterhalb des vorgegebenen Wertes liegt.

[0243] Sofern sich das gemessene Verhältnis, bzw. dessen Mittelwert, aufgrund der obigen Bedingung, z.B. in Folge einer kurzzeitigen Störung, als unzuverlässig erweist, so wird vorzugsweise für diesen Zeitraum auf zuvor implizit abgeglichen und abgespeicherte Konstanten der Verstärkungen der Signalverarbeitungszweige 37, 39, wie sie in der Einleitung erwähnt sind, zurück gegriffen, oder das zuletzt zuverlässig bestimmte Verhältnis  $V$  eingesetzt. Das tatsächliche gemessene Verhältnis  $V$  der Verstärkungen wird weiter verfolgt, und erst dann wieder eingesetzt, wenn es zuverlässig erscheint.

[0244] In den obigen Ausführungen wird das gemessene Verhältnis der Verstärkungen  $V$  oder dessen Mittelwert unmittelbar zur Bestimmung des Durchflusses  $M$  herangezogen. Bei dieser Vorgehensweise wird das aktuelle gemessene Verhältnis oder dessen Mittelwert vorzugsweise regelmäßig persistent abgespeichert. Dies bietet den Vorteil, dass bei einem Neustart des Durchflussmessers  $M$  mit dem zuletzt abgelegten Verhältnis  $V$  gestartet werden kann und nicht auf ein Einschwingen des Gesamtsystems gewartet werden muss.

[0245] Alternativ kann natürlich auch ein Referenzwert  $V_R$  für das Verhältnis der Verstärkungen im Durchflussmessgerät abgespeichert werden, der mit dem gemessenen Verhältnis  $V$  der Verstärkungen verglichen wird. Besteht eine Abweichung zwischen dem gemessenen Verhältnis  $V$  und dem Referenzwert  $V_R$ , so wird eine Kompensation vorgenommen und der abgelegte Referenzwert  $V_R$  gegebenenfalls angepasst.

[0246]

#### **Tabelle 1**

1	Messaufnehmer
3	Messrohr
5	Endplatte
7	Flansch
9	Endplatte
11	Flansch
13	Trägerrohr
15	Schwingungserreger
17	Permanentmagnet
19	Spule
21	Sensor

23	Sensor
25	Spule
27	Spule
29	Permanentmagnet
31	Impedanzwandler
33	Vorverstärker
35	Vorverstärker
37	erster Signalverarbeitungszweig
39	zweiter Signalverarbeitungszweig
41	Differenzverstärker
43	Interface
45	digitale Signalverarbeitung
47	Addierer
48a	analoger Referenzsignal Generator
48b	digitaler Referenzsignal Generator
49	Mittel zur Bestimmung des Verhältnisses
51	Mittel zur Bestimmung des Durchflusses
53	erster Anschluss
55	erster Anschluss
57	zweiter Anschluss
59	zweiter Anschluss
61	Summen- oder Differenzverstärker
63	erster Eingang
65	zweiter Eingang
67	Summen- oder Differenzverstärker
69	ersten Eingang
71	zweiten Eingang

## Ansprüche

- [0001] 1. Coriolis-Durchflussmesser mit - mindestens einem Messrohr (3), das im Messbetrieb zu Schwingungen angeregt wird und von einem Medium durchströmt wird, deren Durchfluss zu messen ist, - einem ersten und einem zweiten Sensor (21, 23) zur Erfassung einer vom Durchfluss abhängigen Schwingung des Messrohrs (3) und zur Erzeugung eines ersten und eines zweiten Sensorsignals (S1, S2), - einem Referenzsignal-Generator (48a, 48b), der dem zweiten Sensorsignal (S2) ein Referenzsignal (R) überlagert, - einem ersten Signalverarbeitungs-zweig (37), -- der anhand des ersten Sensorsignals (S1) und eines durch die Überlagerung des zweiten Sensorsignals (S2) mit dem Referenzsignal (R) gebildeten Hilfssignals (H) ein erstes Signal (S<sub>Δ</sub>) ableitet und aufbereitet, das einer Differenz des ersten Sensorsignals (S1) und des Hilfssignals (H) entspricht, - einem zweiten Signalverarbeitungs-zweig (39), der anhand des Hilfssignals (H) oder anhand des ersten Sensorsignals (S1) und des Hilfssignals (H) ein zweites Signal (S<sub>Σ</sub>) ableitet und aufbereitet, - zwei Sätze von jeweils zwei Filtern (FS<sub>Δ</sub>, FR1; FS<sub>Σ</sub>, FR2,), von denen ein erster dazu dient, aus dem aufbereiteten ersten Signal (S<sub>Δ</sub>) ein aufbereitetes erstes Referenzsignal (R1) und ein einer Differenz der Sensorsignale (S1, S2) entsprechendes erstes Messsignal (U<sub>Δ</sub>) heraus zu filtern, und von denen ein zweiter dazu dient, aus dem aufbereiteten zweiten Signal (S<sub>Σ</sub>) ein aufbereitetes zweites Referenzsignal (R2) und ein zweites Messsignal (U<sub>Σ</sub>) heraus zu filtern, - Mittel (49), die anhand des ersten und des zweiten aufbereiteten Referenzsignals (R1, R2) ein Verhältnis der Verstärkungen (V) des ersten und des zweiten Signalverarbeitungs-zweiges (37, 39) ermitteln, und - Mittel (51) zur Bestimmung des Durchflusses (M) anhand des ersten und des zweiten Messsignals (U<sub>Δ</sub>, U<sub>Σ</sub>), die das Verhältnis der Verstärkungen (V) berücksichtigen.
- [0002] 2. Coriolis-Durchflussmesser nach Anspruch 1, bei dem - das zweite Signal (S<sub>Σ</sub>) gleich einer Summe des ersten Sensorsignals (S1) und des Hilfssignals (H) ist, oder - bei dem ein Phasenwinkel zwischen dem ersten und dem zweiten Sensorsignal (S1, S2) weniger als einige zehn Millirad beträgt und das zweite Signal (S<sub>Σ</sub>) gleich dem Hilfssignal (H) ist.
- [0003] 3. Coriolis-Durchflussmesser nach Anspruch 1, bei dem - der erste Signalverarbeitungs-zweig (37) einen Differenzverstärker (41) und einen Analog-Digitalwandler (A/D<sub>Δ</sub>) aufweist, und - der zweite Signalverarbeitungs-zweig (39) einen Addierer (47) oder einen Verstärker und einen Analog-Digitalwandler (A/D<sub>Σ</sub>) aufweist.
- [0004] 4. Coriolis-Durchflussmesser nach Anspruch 1, bei dem - die Sensoren (21, 23)

jeweils eine Spule (25, 27) aufweisen, -der Referenzsignal-Generator (48a, 48b) mit einem ersten Anschluss (55) der Spule (27) des zweiten Sensors (23) verbunden ist, und -ein zweiter Anschluss (59) dieser Spule (27) mit einem Eingang des zweiten Signalverarbeitungszweig (39) verbunden ist.

[0005] 5. Coriolis-Durchflussmesser nach Anspruch 1, bei dem -zwischen dem zweiten Anschluss (57) der Spule (25) des ersten Sensors (21) und dem Eingang des ersten Signalverarbeitungszweigs (37) ein Impedanzwandler (31) und ein Vorverstärker (33) angeordnet sind und eine Vorverstärkung des ersten Sensorsignals (S1) derart geregelt ist, dass ein Realteil des ersten Messsignals ( $\text{Re}(U_{\Delta})$ ) verschwindet, und -zwischen dem zweiten Anschluss (59) der Spule (27) des zweiten Sensors (23) und dem Eingang des zweiten Signalverarbeitungszweigs (39) ein Impedanzwandler (31) und ein Vorverstärker (35) mit einer vorgegebenen Verstärkung angeordnet ist.

[0006] 6. Coriolis-Durchflussmesser nach Anspruch 1, bei dem -dem zweiten Signalverarbeitungszweig (39) ein Summen- oder Differenzverstärker (61) vorgeschaltet ist, -an dessen Eingängen (63, 65) das zweite Sensorsignal (S2) und das Referenzsignal (R) anliegen, und an dessen Ausgang das Hilfssignal (H) zur Verfügung steht.

[0007] 7. Coriolis-Durchflussmesser mit -mindestens einem Messrohr (3), das im Messbetrieb zu Schwingungen angeregt wird und von einem Medium durchströmt wird, dessen Durchfluss zu messen ist, -einem ersten und einem zweiten Sensor (21, 23) zur Erfassung einer vom Durchfluss abhängigen Schwingung des Messrohrs (3) und zur Erzeugung eines ersten und eines zweiten Sensorsignals (S1, S2), -einem Referenzsignal-Generator (48a, 48b), der dem ersten Sensorsignal (S1) ein Referenzsignal (R) überlagert, -einem ersten Signalverarbeitungszweig (37), --der anhand eines durch die Überlagerung des ersten Sensorsignals (S1) mit dem Referenzsignal (R) gebildeten Hilfssignals (H) und des zweiten Sensorsignals (S2) ein erstes Signal ( $S_{\Delta}$ ) ableitet und aufbereitet, das einer Differenz des Hilfssignals (H) und des zweiten Sensorsignals (S2) entspricht, -einem zweiten Signalverarbeitungszweig (39), --der anhand des Hilfssignals (H) oder anhand des Hilfssignals (H) und des zweiten Sensorsignals (S2) ein zweites Signal ( $S_{\Sigma}$ ) ableitet und aufbereitet, -zwei Sätze von jeweils zwei Filtern ( $FS_{\Delta}$ ,  $FR1$ ;  $FS_{\Sigma}$ ,  $FR2$ ), von denen ein erster dazu dient, aus dem aufbereiteten ersten Signal ( $S_{\Delta}$ ) ein aufbereitetes erstes Referenzsignal (R1) und ein einer Differenz der Sensorsignale (S1, S2) entsprechendes erstes Messsignal ( $U_{\Delta}$ ) heraus zu filtern, und von denen ein zweiter dazu dient, aus dem aufbereiteten zweiten Signal ( $S_{\Sigma}$ ) ein aufbereitetes zweites Referenzsignal (R2) und ein zweites Messsignal ( $U_{\Sigma}$ ) heraus zu filtern, -Mittel (49), die anhand des ersten und

des zweiten aufbereiteten Referenzsignals (R1, R2) ein Verhältnis der Verstärkungen (V) des ersten und des zweiten Signalverarbeitungszweiges (37, 39) ermitteln, und -Mittel (51) zur Bestimmung des Durchflusses (M) anhand des ersten und des zweiten Messsignals ( $U_{\Delta}$ ,  $U_{\Sigma}$ ), die das Verhältnis der Verstärkungen (V) berücksichtigen.

[0008] 8. Verfahren zur Bestimmung eines Verhältnisses von Verstärkungen (V) von zwei getrennten Signalverarbeitungszweigen (37, 39) eines Coriolis Durchflussmessers, -der einen ersten und einem zweiten Sensor (21, 23) zur Erfassung einer vom Durchfluss abhängigen Schwingung eines Messrohrs (3) und zur Erzeugung eines ersten und eines zweiten Sensorsignals (S1, S2) aufweist, bei dem entweder - dem zweiten Sensorsignal (S2) ein Referenzsignal (R) überlagert wird, -in dem ersten Signalverarbeitungszweig (37) ein erstes Signal ( $S_{\Delta}$ ) abgeleitet und aufbereitet wird, dass einer Differenz des ersten Sensorsignals (S1) und eines durch die Überlagerung des zweiten Sensorsignals (S2) mit dem Referenzsignal (R) gebildeten Hilfssignals (H) entspricht, -in dem zweiten Signalverarbeitungszweig (39) ein zweites Signal ( $S_{\Sigma}$ ) abgeleitet und aufbereitet wird, dass einer Summe des ersten Sensorsignals (S1) und des Hilfssignals (H) oder dem Hilfssignal (H) entspricht, oder -dem ersten Sensorsignal (S1) ein Referenzsignal (R) überlagert wird, -in dem ersten Signalverarbeitungszweig (37) ein erstes Signal ( $S_{\Delta}$ ) abgeleitet und aufbereitet wird, dass einer Differenz eines durch die Überlagerung des ersten Sensorsignals (S1) mit dem Referenzsignal (R) gebildeten Hilfssignals (H) und des zweiten Sensorsignals (S2) entspricht, - in dem zweiten Signalverarbeitungszweig (39) ein zweites Signal ( $S_{\Sigma}$ ) abgeleitet und aufbereitet wird, dass einer Summe des Hilfssignals (H) und des zweiten Sensorsignals (S2) oder dem Hilfssignal (H) entspricht, und bei dem -aus dem ersten und dem zweiten Signal ( $S_{\Delta}$ ,  $S_{\Sigma}$ ) ein erstes und ein zweites aufbereitetes Referenzsignal (R1, R2) heraus gefiltert wird, und -anhand der aufbereiteten Referenzsignale (R1, R2) ein Verhältnis der Verstärkungen (V) der Signalverarbeitungszweige (37, 39) bestimmt wird.

[0009] 9. Verfahren zur Bestimmung eines Durchflusses (M) mit einem Coriolis Durchflussmesser gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem der Durchfluss (M) proportional zu einem Verhältnis eines Imaginärteiles ( $\text{Im}(U_{\Delta})$ ) des ersten Messsignals ( $U_{\Delta}$ ) und einem Betrag des zweiten Messsignals ( $U_{\Sigma}$ ) und umgekehrt proportional zu dem Verhältnis der Verstärkungen (V) ist.

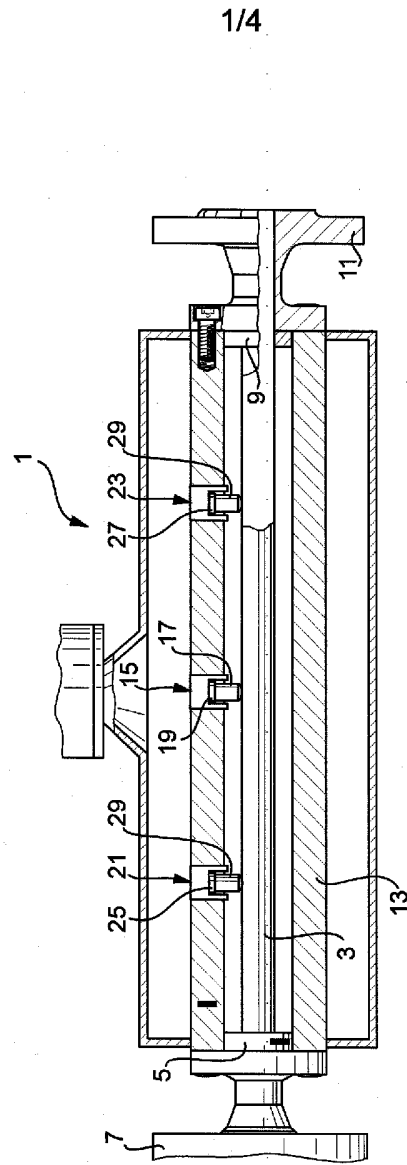
[0010] 10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem -das Verhältnis der Verstärkungen (V) mehrfach bestimmt wird, und -der Durchfluss (M) anhand eines Mittelwertes der Verhältnisse (V) bestimmt wird.

[0011] 11. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem -das Verhältnis der Verstärkungen (V)

mehrfach bestimmt wird, -eine Verteilung der Verhältnisse (V) bestimmt wird, und -der Durchfluss (M) nur dann anhand eines Mittelwertes der Verhältnisse (V) bestimmt wird, wenn die Verhältnisse (V) normalverteilt sind und eine Standardabweichung der Verhältnisse (V) unterhalb eines vorgegebenen Wertes liegt.

[0012]

12. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem -im Durchflussmessgerät ein Referenzwert ( $V_R$ ) für das Verhältnis der Verstärkungen (V) abgespeichert ist, - das gemessene Verhältnis der Verstärkungen (V) mit dem Referenzwert ( $V_R$ ) verglichen wird, und -bei Bestehen einer Abweichung eine Kompensation vorgenommen wird.



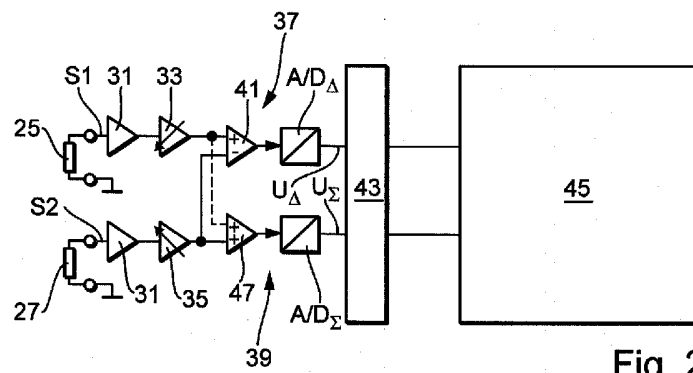


Fig. 2

3/4

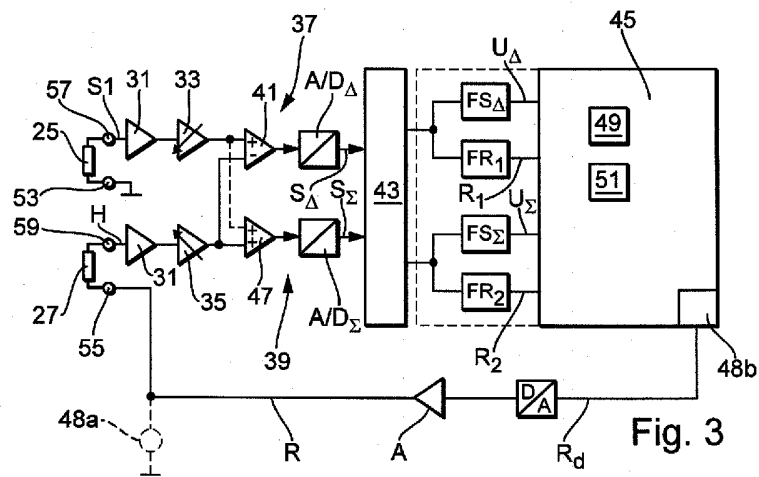


Fig. 3

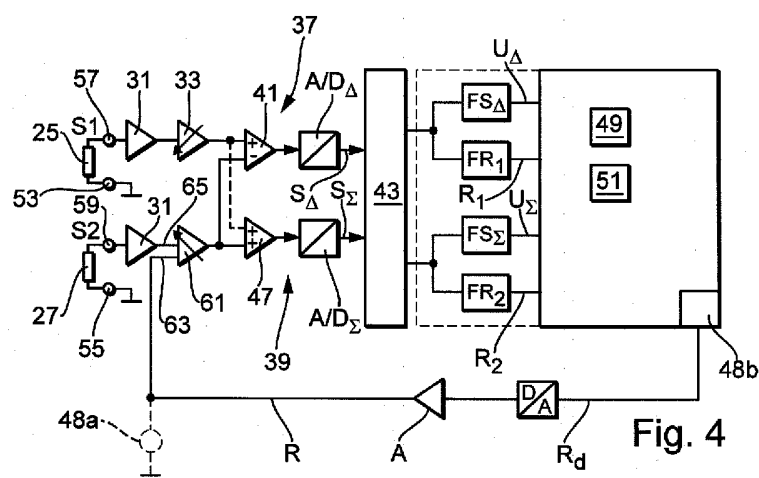


Fig. 4

4/4

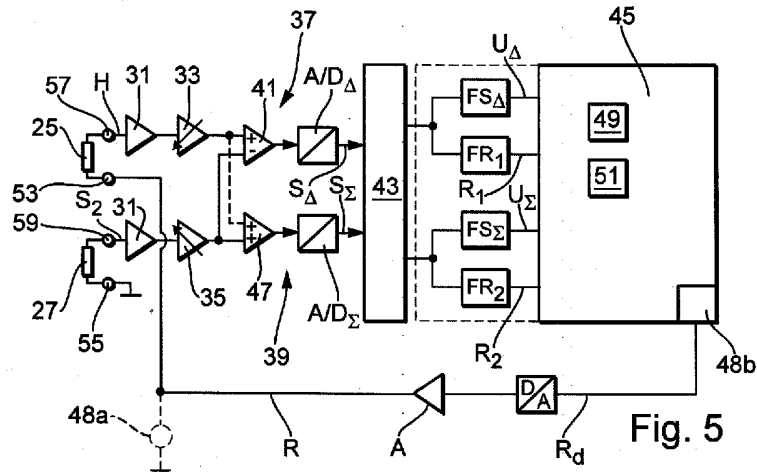


Fig. 5

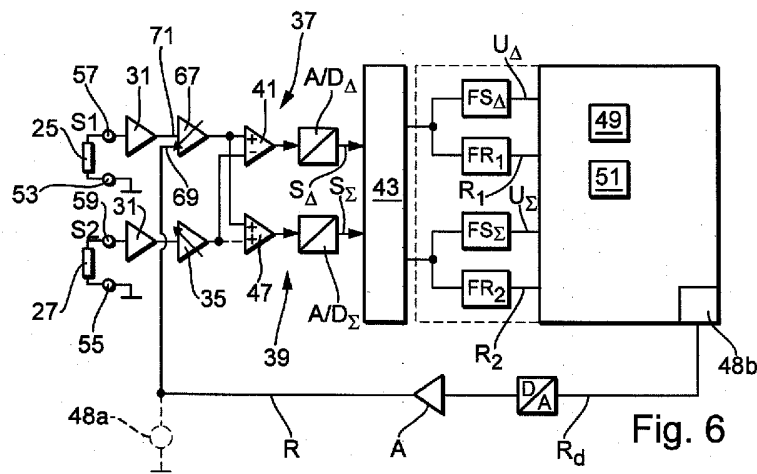


Fig. 6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2006/062132A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. G01F1/84

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01F G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2004/025599 A1 (MATT CHRISTIAN) 12 February 2004 (2004-02-12) abstract; figure 2 paragraphs [0032], [0039], [0046] -----	1,7-9
A	US 6 073 495 A (STADLER ET AL) 13 June 2000 (2000-06-13) abstract; figure 2 column 8, line 66 - column 9, line 62 -----	1,7-9

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 June 2006

Date of mailing of the international search report

19/06/2006

Name and mailing address of the ISA/  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Vorropoulos, G

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2006/062132

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 2004025599	A1	12-02-2004	AU 8592601 A	26-03-2002
			CA 2422218 A1	12-03-2003
			CN 1455859 A	12-11-2003
			EA 4091 B1	25-12-2003
			WO 0223137 A1	21-03-2002
			EP 1189037 A1	20-03-2002
			JP 3742794 B2	08-02-2006
			JP 2004509330 T	25-03-2004
<hr/>				
US 6073495	A	13-06-2000	NONE	
<hr/>				

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2006/062132

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> INV. G01F1/84		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b>		
Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01F G01N		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, PAJ, WPI Data		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2004/025599 A1 (MATT CHRISTIAN) 12. Februar 2004 (2004-02-12) Zusammenfassung; Abbildung 2 Absätze [0032], [0039], [0046] -----	1, 7-9
A	US 6 073 495 A (STADLER ET AL) 13. Juni 2000 (2000-06-13) Zusammenfassung; Abbildung 2 Spalte 8, Zeile 66 - Spalte 9, Zeile 62 -----	1, 7-9
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :		
*A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist		
*E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist		
*L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)		
*O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht		
*P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		
*T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist		
*X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden		
*Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist		
*Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
9. Juni 2006		19/06/2006
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  Vorropoulos, G

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/062132

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004025599 A1	12-02-2004	AU 8592601 A	26-03-2002
		CA 2422218 A1	12-03-2003
		CN 1455859 A	12-11-2003
		EA 4091 B1	25-12-2003
		WO 0223137 A1	21-03-2002
		EP 1189037 A1	20-03-2002
		JP 3742794 B2	08-02-2006
		JP 2004509330 T	25-03-2004
-----			
US 6073495 A	13-06-2000	KEINE	
-----			