

(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
27. Dezember 2002 (27.12.2002)

PCT

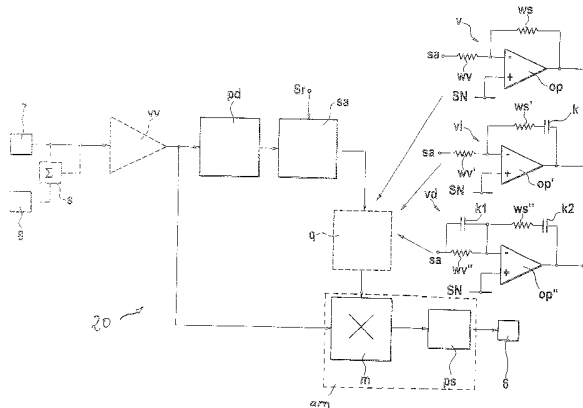
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/103302 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01F 1/84 (72) Erfinder: DRAHM, Wolfgang; Am Hochrainacker 82, 85435 Erding (DE). MATT, Christian; St.-Jakob-Strasse 64, CH-4147 Aesch (CH). RIEDER, Alfred; Buchenstrasse 9, 84034 Landshut (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/06631
- (22) Internationales Anmeldedatum: 17. Juni 2002 (17.06.2002) (74) Anwalt: ANDRES, Angelika; c/o Endress + Hauser Deutschland Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576 Weil am Rhein (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 01114644.6 19. Juni 2001 (19.06.2001) EP (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,
- (71) Anmelder: ENDRESS + HAUSER FLOWTEC AG [CH/CH]; Kägenstrasse 7, CH-4153 Reinach (CH).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: EXCITATION CIRCUITS FOR CORIOLIS MASS FLOWMETERS

(54) Bezeichnung: ERREGER-SCHALTUNGEN FÜR CORIOLIS-MASSDURCHFLUSSMESSER



(57) Abstract: The invention relates to an excitation circuit for a coriolis mass flowmeter (10), which is connected to a dual-conductor process control loop, is exclusively supplied with energy by the loop and emits a measuring signal exclusively via said loop. Said flowmeter comprises a vibrating measuring tube (1, 2) and an excitation assembly (6) for causing the tube to vibrate at an oscillation frequency, which is equal to the current mechanical resonant frequency of the measuring tube or is adjacent to said frequency. The flowmeter also has sensor assemblies (7, 8) which generate corresponding sensor signals, said assemblies being arranged along the measuring tube at a distance from one another. The excitation circuit comprises a peak value detector (pd), which is supplied with one of the sensor signals as an input signal, a comparison stage (sa), which determines a deviation of an output signal of the peak value detector from an adjustable reference signal (Sr) that predefines an amplitude of the vibration of the measuring tube, a multiplier (m) for the input signal of the peak value detector (pd) and an output signal of the comparison stage (sa), in addition to a final stage (ps) that supplies the excitation assembly, one input of said final stage being connected to the output of the multiplier. A pulse-duration modulator (pm) or a direct current converter (dc) and a comparator (kk) can be used in place of the multiplier.

(57) Zusammenfassung: Eine derartige Erregerschaltung ist für einen mit einer Zwei-Leiter-Prozesskontroll-Schleife verbundenen, allein davon mit Energie versorgten und allein darüber ein Messsignal abgebenden Coriolis-Massedurchflußmesser (10) vorgesehen. Dieser hat ein vibrierendes Meßrohr (1, 2) und eine Erregeranordnung (6) zu dessen Vibrierenlassen bei einer Schwingfrequenz, die gleich der momentanen mechanischen Resonanzfrequenz des Meßrohrs

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/103302 A2



SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

Veröffentlicht:

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

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

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.

oder dieser benachbart ist. Ferner hat er entsprechende Sensorsignale erzeugende Sensoranordnungen (7, 8), die entlang des Meßrohrs voneinander beabstandet angeordnet sind. Die Erreger-Schaltung umfasst einen Spitzenwertdetektor (pd), dem als Eingangssignal eines der Sensorsignale zugeführt ist; sie hat ferner eine Vergleichsstufe (sa), die eine Abweichung eines Ausgangssignal des Spitzenwertdetektors von einem einstellbaren Referenzsignal (Sr) ermittelt, das eine Amplitude der Vibration des Meßrohrs vorgibt; auch hat sie einen Multiplizierer (m) für das Eingangssignal des Spitzenwertdetektors (pd) und ein Ausgangssignal der Vergleichsstufe (sa) sowie eine die Erregeranordnung speisende Endstufe (ps), von der ein Eingang mit einem Ausgang des Multiplizierers verbunden ist. Anstatt letzterem können ein Pulsdauermodulator (pm) oder ein Gleichspannungswandler (dc) und ein Komparator (kk) vorgesehen werden.

Erreger-Schaltungen für Coriolis-Massedurchflußmesser

Die Erfindung betrifft Erreger-Schaltungen für mit einer Zwei-Leiter-Prozesskontroll-Schleife verbundene, allein davon mit Energie versorgte und allein darüber ein Messsignal abgebende Coriolis-Massedurchflußmesser. Im Folgenden wird ein derartiger Massedurchflußmesser als Zwei-Leiter-Massedurchflußmesser bezeichnet.

Coriolis-Massedurchflußmesser sind schon seit langem theoretisch beschrieben und auch in der heute marktgängigen Form seit ca. 25 Jahren bekannt. Diese noch heute übliche Form enthält einen mechanischen Aufnehmer, der mindestens ein gerades oder mindestens ein - in einer Ebene oder räumlich - gebogenes Meßrohr und eine zugeordnete Elektronik umfasst, das einlass- und auslass-seitig fixiert ist und das zwischen diesen Fixierungen im Betrieb zu Vibrationen erregt wird.

Die üblichen Massedurchflußmesser sind netzgespeiste Messgeräte und müssen hierfür mindestens zwei elektrische Zuleitungen, also Leiter haben. Das den Massedurchfluß repräsentierende, insb. das dazu proportionale, Messsignal wird entsprechend einem hierfür üblichen Standard, z.B. entsprechend dem zwischen 4 mA und 20 mA liegenden Strom-Standard, einem üblichen Frequenz-Standard oder einem digitalen Standard, erzeugt und abgegeben; hierfür sind zwei weitere Leiter erforderlich.

In der EP-A 10 94 307 ist die Möglichkeit, Coriolis-Massedurchflußmesser nur mit zwei Leitern auszurüsten, diese also als sogenannte Zwei-Leiter-Massedurchflußmesser auszubilden, eher am Rande und nur kurz erwähnt; auf dem Markt gibt es noch keine derartigen Zwei-Leiter-Massedurchflußmesser.

Wie der genannten EP-A ferner zu entnehmen ist, erzeugen Zwei-Leiter-Messgeräte als Messsignal einen Ausgangsstrom, dessen Momentanwerte ein mittels eines physikalisch-elektrischen Wandlers erzeugtes Wandlersignal möglichst proportional abbilden. Die beiden Leiter dienen sowohl für die Energiespeisung, wozu an die zwei Leiter von außen eine Gleichspannungsquelle anzulegen ist, als auch für die Übertragung des Messsignals.

2

Bei Zwei-Leiter-Messgeräten entsprechend dem erwähnten, zwischen 4 mA und 20 mA liegenden Strom-Standard, entspricht ein bestimmter Stromwert innerhalb dieses Strombereichs genau einem Messsignalwert. Lediglich der Strombereich unterhalb von 4 mA ist für die Energieversorgung der Elektronik des Zwei-Leiter-Messgeräts nutzbar. Dies bedingt, dass die Energieversorgung nur mit einer Leistung in der Größenordnung von 50 mW zur Verfügung steht, die im Folgenden als Klein-Leistung bezeichnet wird.

Zwei-Leiter-Messgeräte mit dem erwähnten, zwischen 4 mA und 20 mA liegenden Strom-Standard sind aufgrund dieser Sachverhalte besonders gut geeignet für den Einsatz in explosionsgefährdeter Umgebung.

Ferner sind Zwei-Leiter-Messgeräte häufig so ausgebildet, dass sie mit einem der üblichen Feldbusse zusammenarbeiten können. Dies kann einerseits durch direkten Anschluss an den Feldbus, z.B. entsprechend dem FIELDBUS-Protokoll, erfolgen (FIELDBUS ist eine eingetragene Marke der FIELDBUS FOUNDATION). Andererseits kann das Zusammenarbeiten unter Zwischenschaltung eines Buskopplers, z.B. entsprechend dem sogenannten HART-Protokoll, indirekt erfolgen (HART ist eine eingetragene Marke der HART User Group).

Die erwähnte Elektronik von Coriolis-Massedurchflußmessern umfasst eine Erreger-Schaltung und eine Auswerte-Schaltung. Die Erreger-Schaltung dient dem Vibrierenlassen des mindestens einen Meßrohrs, das vom zu messenden Fluid durchströmt wird.

Die Vibration erfolgt bei einer Schwingfrequenz, die gleich der momentanen mechanischen Resonanzfrequenz des Meßrohrs oder dieser benachbart ist; diese wird von der Dichte des Fluids mitbestimmt; die Dichte ihrerseits ist bekanntlich von der Temperatur des Fluids abhängig. Daher enthalten übliche Massedurchflußmesser auch mindestens einen Temperatur-Sensor.

Da mittels des vibrierenden Meßrohrs der Massedurchfluß - das ist bekanntlich die pro Zeiteinheit strömende Masse des Fluids - gemessen wird, erzeugt die Auswerte-Schaltung ein entsprechendes Messsignal.

Die erwähnte zur Verfügung stehende Kleinleistung muss ausreichen, die Erreger- und die Auswerte-Schaltung mit Energie zu versorgen. Als letztere eignet sich hierfür besonders die Auswerte-Schaltung der EP-A 10 59 515, die der US-Patent-Anmeldung 09/579,384 vom 20.Mai 2000 entspricht. Eine mit derart wenig Versorgungsenergie auskommende Erreger-Schaltung ist jedoch vom Stand der Technik noch nicht beschrieben worden.

Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, für Coriolis-Massedurchflußmesser von geringer Leistungsaufnahme und daher insb. auch für Zwei-Leiter-Coriolis-Massedurchflußmesser geeignete Erreger-Schaltungen anzugeben.

Zur Lösung der Aufgabe besteht die Erfindung in einer Erreger-Schaltung für einen mit einer Zwei-Leiter-Prozesskontroll-Schleife verbundenen, allein davon mit Energie versorgten und allein darüber ein Messsignal abgebenden Coriolis-Massedurchflußmesser mit

- wenigstens einem im Betrieb vibrierenden Meßrohr,
 - einer elektromechanischen Erregeranordnung zum Vibrierenlassen des wenigstens einen Meßrohrs bei einer Schwingfrequenz, die gleich einer momentanen mechanischen Resonanzfrequenz desselben oder dieser benachbart ist,
 - eine auf Vibrationen des wenigstens einen Meßrohrs reagierenden Sensoranordnung zum Erzeugen eines einlaßseitige Vibrationen des Meßrohrs repräsentierenden ersten Sensorsignals und eines auslaßseitige Vibrationen des Meßrohrs repräsentierenden zweiten Sensorsignals,
- welche Erreger-Schaltung umfasst:
- eine Amplitudendemodulationsstufe zum Erzeugen eines Ausgangssignal, das eine Schwingungsamplitude des vibrierenden Meßrohrs momentan repräsentiert, wobei der Amplitudendemodulationsstufe eines der von der Sensoranordnung gelieferten Sensorsignale bzw. deren Summe als Eingangssignal zugeführt ist,
 - eine Vergleichsstufe zum Ermitteln einer Abweichung der erfaßten Schwingungsamplitude des vibrierenden Meßrohrs von einer vorgegebenen Soll-Schwingungsamplitude, wobei der Vergleichsstufe eingangseits neben dem Ausgangssignal der Amplitudendemodulationsstufe ein Referenzsignal zugeführt ist, das die Soll-Schwingungsamplitude repräsentiert,

In einer ersten Variante umfaßt die erfindungsgemäße Erregerschaltung außerdem eine eingangsseits mit einem Ausgang der Vergleichsstufe gekoppelte Amplitudenmodulationsstufe zum Erzeugen eines Treibersignals für die Erregeranordnung, das eine von der ermittelten Abweichung abhängige Signalamplitude aufweist, wobei der Amplitudenmodulationsstufe eingangsseits neben einem die Abweichung der erfaßten Schwingungsamplitude von der vorgegebenen Soll-Schwingungsamplitude repräsentierenden Fehlersignal das Eingangssignal der Amplitudendemodulationsstufe zugeführt ist.

In einer zweiten Variante wiederum umfaßt die erfindungsgemäße Erregerschaltung eine eingangsseits mit einem Ausgang der Vergleichsstufe gekoppelte Pulsweitenmodulationsstufe zum Erzeugen eines getakteten Treibersignals für die Erregeranordnung, das eine von der ermittelten Abweichung abhängige Pulsweite aufweist, wobei der Pulsweitenmodulationsstufe eingangsseits neben einem die Abweichung der erfaßten Schwingungsamplitude von der vorgegebenen Soll-Schwingungsamplitude repräsentierenden Fehlersignal das Eingangssignal der Amplitudendemodulationsstufe zugeführt ist.

Nach einer bevorzugten ersten Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Amplitudendemodulationsstufe einen Spitzenwertdetektor zum Erfassen einer Signalamplitude des Eingangssignals der Amplitudendemodulationsstufe umfaßt.

Nach einer bevorzugten zweiten Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Amplitudendemodulationsstufe einen Vorverstärker für das Eingangssignal der Amplitudendemodulationsstufe.

Nach einer bevorzugten dritten Ausgestaltung der Erfindung ist in der Vergleichsstufe zum Erzeugen des Fehlersignals ein proportional, integrierend und/oder differenzierend übertragender Verstärker vorgesehen.

Nach einer bevorzugten vierten Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Amplitudenmodulationsstufe eine Endstufe mit einem Operationsverstärker, der wie folgt beschaltet ist:

-- ein invertierender Eingang liegt über einen ersten Widerstand an einem Schaltungsnullpunkt,

- ein nicht-invertierender Eingang liegt über einen zweiten Widerstand, der den gleichen Widerstandswert wie der erste Widerstand hat, am Ausgang des Multiplizierers,
- ein Ausgang ist unter Zwischenschaltung eines dritten Widerstands mit einem ersten Pol einer Primärwicklung eines Transformators verbunden, von der ein zweiter Pol am Schaltungsnullpunkt liegt, welcher Transformator
- eine mit der elektromechanischen Erregeranordnung verbundene Sekundärwicklung aufweist und
- ein Strom-Aufwärts-Transformator ist,
- der invertierende Eingang ist über einen vierten Widerstand mit dem Ausgang verbunden, und
- der nicht-invertierende Eingang ist über einen fünften Widerstand, der den gleichen Widerstandswert wie der vierte Widerstand hat, am ersten Pol der Primärwicklung angeschlossen.

Nach einer bevorzugten fünften Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Amplitudenmodulationsstufe eine komplementäre Gegentakt-Endstufe, die mit einer von der ermittelten Abweichung abhängigen Versorgungsspannung gespeist ist.

Des weiteren besteht die Erfindung in einem Coriolis-Massedurchflußmesser mit einer der vorgenannten Erreger-Schaltung, wobei die Zweidraht-Prozesskontroll-Schleife einen der Energieversorgung dienenden Gleichstrom führt.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung des Coriolis-Massedurchflußmesser der Erfindung ist das Messsignal ein, insb. innerhalb eines Bereichs von 4 mA bis 20 mA veränderlicher, Gleichstrom.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Coriolis-Massedurchflußmesser der Erfindung das Messsignal ein Digitalsignal.

Vorteile der Erfindung und sie selbst werden nun anhand der Figuren der Zeichnung näher erläutert, in der bevorzugte Ausführungsbeispiele dargestellt sind. Funktionsgleiche Teile sind in den einzelnen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen, jedoch sind diese Bezugszeichen in nachfolgenden Figuren nur dann wiederholt, wenn es sinnvoll erscheint.

Fig. 1 zeigt perspektivisch mechanische Einzelheiten eines zur Verwendung zusammen mit der Erfindung bevorzugten Massedurchflußaufnehmers ohne vervollständigtes Gehäuse,

Fig. 2 zeigt eine Vorderansicht des Massedurchflußaufnehmers entsprechend Fig. 1, wieder ohne vervollständigtes Gehäuse, jedoch mit zusätzlichen elektrischen Einzelheiten,

Fig. 3 zeigt im Schnitt entlang der Linie A-A von Fig. 2 eine Draufsicht von Fig. 2, nun jedoch mit vervollständigtem Gehäuse,

Fig. 4 zeigt im Schnitt entlang der Linie B-B von Fig. 2 eine Seitenansicht von Fig. 2, wieder mit vervollständigtem Gehäuse,

Fig. 5 zeigt teilweise nach Art eines Blockschaltbilds das Schaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Erreger-Schaltung entsprechend der ersten Variante der Erfindung,

Fig. 6 zeigt teilweise nach Art eines Blockschaltbilds das Schaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Erreger-Schaltung entsprechend der zweiten Variante der Erfindung,

Fig. 7 zeigt teilweise nach Art eines Blockschaltbilds das Schaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Erreger-Schaltung entsprechend der ersten Variante der Erfindung,

Fig. 8 zeigt ein Schaltbild eines Ausführungsbeispiels einer bevorzugten Endstufe der Erregerschaltung nach Fig. 5,

Fig. 9 zeigt ein Schaltbild eines Ausführungsbeispiels einer bevorzugten Endstufe der Erregerschaltung nach Fig. 6 und

Fig. 10 zeigt ein Schaltbild eines Ausführungsbeispiels einer bevorzugten Endstufe der Erregerschaltung nach Fig. 7.

In Fig. 1 sind perspektivisch mechanische Einzelheiten eines für die Erfindung bevorzugt geeigneten Coriolis-Massedurchflußaufnehmers, der im Folgenden kurz als Aufnehmer 10 bezeichnet ist, dargestellt. Dieser Aufnehmer ist in der älteren EP-Anmeldung 00 11 0091.6 vom 12.05.2000 bereits beschrieben, die der US-Patent-Anmeldung 60/205,983 entspricht.

Aus Gründen der besseren Sichtbarkeit seines inneren Aufbaus ist in Fig. 1 das Gehäuse allerdings nicht vollständig zu sehen. Die Fig. 2 zeigt eine entsprechende Vorderansicht mit zusätzlichen elektrischen Einzelheiten.

Demgegenüber zeigen die Fig. 3 und 4 zu der Fig. 2 gehörende Schnittansichten mit jeweils vervollständigtem Gehäuse. Wegen der gewählten Darstellung in Form einer perspektivischen Fig. 1 zusammen mit Auf-, Grund- und Seitenriss handelt die folgende Erläuterung nicht Figur für Figur hintereinander ab, sondern es werden die Figuren gemeinsam erörtert.

Der Aufnehmer 10 ist vom Benutzer in den Verlauf einer von einem zu messenden flüssigen, gasförmigen oder dampfförmigen Fluid durchströmten - aus Gründen der Übersichtlichkeit jedoch nicht dargestellten - Rohrleitung eines gegebenen Durchmessers, z.B. über Flansche, einzusetzen ist. Anstatt mittels Flanschen kann der Aufnehmer 10 an die erwähnte Rohrleitung auch durch anderer bekannte Mittel angeschlossen werden, wie z.B. mittels Triclamp-Anschlüssen oder Schraubverbindungen.

Der Aufnehmer 10 weist ein in einer ersten Ebene V-förmig gebogenes erstes Meßrohr 1 auf, das bezüglich einer ersten Symmetrielinie symmetrisch gebogen ist. Ein V-förmig gebogenes zweites Meßrohr 2 ist in einer zweiten Ebene bezüglich einer zweiten Symmetrielinie symmetrisch gebogen. Die Meßrohre 1, 2 sind parallel zu einander angeordnet und jeweils einstückig ausgebildet.

Das Meßrohr 1 hat ein gerades Einlaßstück 11 mit einer in der ersten Ebene liegenden Einlaßachse, ein gerades Auslaßstück 12 mit einer in der ersten Ebene liegenden und mit der Einlaßachse fluchtenden Auslaßachse; somit ergibt sich eine gemeinsame Achse, die im Folgenden als Einlaß/ Auslaßachse bezeichnet ist.

Das Meßrohr 2 hat ein gerades Einlaßstück 21 mit einer in der zweiten Ebene liegenden Einlaßachse, ein gerades Auslaßstück 22 (nur in Fig. 3 zu sehen) mit einer in der zweiten Ebene liegenden und mit der Einlaßachse fluchtenden Auslaßachse; auch diese gemeinsame Achse ist im Folgenden als Einlaß/Auslaßachse bezeichnet.

Das Meßrohr 1 hat ferner einen mit dem Einlaßstück 11 verbundenen Einlaßbogen 13, einen mit dem Auslaßstück 12 verbundenen Auslaßbogen 14, ein mit dem Einlaßbogen 13 verbundenes erstes gerades Rohrstück 15, ein mit dem Auslaßbogen 14 verbundenes zweites gerades Rohrstück 16 und einen mit den Rohrstücken 15, 16 verbundenen Scheitelpbogen 17.

Das Meßrohr 2 hat ferner einen mit dem Einlaßstück 21 verbundenen Einlaßbogen 23, einen mit dem Auslaßstück 22 verbundenen Auslaßbogen 24 (nur in Fig. 3 zu sehen), ein mit dem Einlaßbogen 23 verbundenes erstes gerades Rohrstück 25, ein mit dem Auslaßbogen 24 verbundenes zweites gerades Rohrstück 26 und einen mit den Rohrstücken 25, 26 verbundenen Scheitelpbogen 27. Die Biegung der Achse des Scheitelpbogens 17 und die des Scheitelpbogens 27 entsprechen praktisch einem Kreisbogen.

Die Einlaßstücke 11, 21 sind in einem Einlaß-Verteilerstück 18 und die Auslaßstücke 12, 22 sind in einem Auslaß-Verteilerstück 19 fixiert. Diese Verteilerstücke 18, 19 sind von einem Tragrahmen 30 gehalten, der Teil eines Gehäuses 3 (nur in den Fig. 3 und 4 zu sehen) ist.

Die Meßrohre 1, 2 sowie die Verteilerstücke 18, 19 bestehen aus rostfreiem Stahl, wobei für die Meßrohre 1, 2 der rostfreie Stahl mit der europäischen Werkstoffnummer 1.4539, die der amerikanischen Bezeichnung 904 L entspricht, und für die Verteilerstücke 18, 19 der rostfreie Stahl mit der europäischen Werkstoffnummer 1.4404, die der amerikanischen Bezeichnung 316 L entspricht, verwendet ist.

Der Aufnehmer 10 ist in eine von einem zu messenden Fluid mindestens temporär durchströmte Rohrleitung einzusetzen. Hierzu werden entsprechend den Wünschen des Käufers des Aufnehmers 10 hersteller-seitig an das Einlaß- und

das Auslaß-Verteilerstück 18, 19 Verbindungsvorrichtungen angebracht, wie z.B. Stutzen mit einem Außen- oder mit einem Innengewinde, Flansche oder Klemmvorrichtungen, wie sie z.B. unter der eingetragenen Marke Triclamp handelsüblich sind.

Ebenso wie die Meßrohre 1, 2 ist der Tragrahmen 30 einstückig ausgebildet und aus einem eine Vorderfläche 31 und eine Hinterfläche 32 (nur in den Fig. 3 und 4 zu sehen) aufweisenden Flach-Edelstahl von konstanter Breite und Dicke durch entsprechendes Biegen und Verschweißen der Enden, vgl. die Naht 33, hergestellt worden.

Der Tragrahmen 30 umfasst ein ebenes Einlaß-Rahmenstück 34, in dem das Einlaß-Verteilerstück 18 verschweißt ist, und ein ebenes Auslaß-Rahmenstück 35, in dem das Auslaß-Verteilerstück 19 verschweißt ist, vgl. in Fig. 2 die über den Tragrahmen 30 vorstehenden Teile der Verteilerstücke 18, 19 mit jeweils zugehöriger Schweißnaht 18', 19'.

Der Tragrahmen 30 umfasst ferner ein das Einlaß- und das Auslaß-Rahmenstück 34, 35 verbindendes, ebenes Durchführungs-Rahmenstück 36, in dem eine elektrische Durchführung 37 (nur in Fig. 4 zu sehen) druckdicht fixiert ist. Das Durchführungs-Rahmenstück 36 bildet mit dem Einlaß- und dem Auslaß-Rahmenstück 34, 35 jeweils einen rechten Winkel.

Der Tragrahmen 30 umfasst ferner ein an das Einlaß-Rahmenstück 34 unter einem Winkel angesetztes, ebenes erstes Ansatz-Rahmenstück 38, der etwa 120° beträgt. Der Tragrahmen 30 umfasst schließlich ein in das Ansatz-Rahmenstück 38 übergehendes, gebogenes Scheitel-Rahmenstück 39 und ein an das Auslaß-Rahmenstück 35 unter dem genannten Winkel angesetztes, in das Scheitel-Rahmenstück 39 übergehendes, ebenes zweites Ansatzstück 40.

Der Tragrahmen 30 ist durch ein auf die Vorderfläche 31 geschweißtes ebenes Vorderblech 41 aus rostfreiem Stahl und ein auf die Hinterfläche 32 geschweißtes ebenes Hinterblech 42 aus demselben Stahl zum Gehäuse 3 ergänzt, so dass es druckdicht ist. Vorder- und Hinterblech 41, 42 sind nur in den Fig. 3 und 4 zu sehen. Als Stahl für das Gehäuse 3 ist der rostfreie Stahl mit der europäischen

Werkstoffnummer 1.4301 verwendet, die der amerikanischen Bezeichnung 304 entspricht.

Die ebenen Vorder- und Hinterbleche 41, 42 ergeben eine höhere Steifheit des Gehäuses 3 gegenüber einer Druckbeanspruchung in Richtung der Einlaß/Auslaßachse, als wenn diese Bleche mit Längssicken versehen würden.

Die Meßrohre 1, 2 sind mittels einer ersten Knotenplatte 51 in der Nähe einer Stelle starr miteinander verbunden, an der das jeweilige Einlaßstück 11, 21 in den jeweiligen Einlaßbogen 13, 23 übergeht, und mittels einer zweiten Knotenplatte 52 in der Nähe einer Stelle starr miteinander verbunden, an der der jeweilige Einlaßbogen 13, 23 in das jeweilige erste Rohrstück 15, 25 übergeht.

Die Meßrohre 1, 2 sind ferner mittels einer dritten Knotenplatte 53 in der Nähe einer Stelle starr miteinander verbunden, an der das jeweilige Auslaßstück 12, 22 in den jeweiligen Auslaßbogen 14, 24 übergeht, und mittels einer vierten Knotenplatte 54 in der Nähe einer Stelle starr miteinander verbunden, an der der jeweilige Auslaßbogen 14, 24 in das jeweilige zweite Rohrstück 16, 26 übergeht.

Die vier Knotenplatten 51, 52, 53, 54 sind dünne Scheiben aus rostfreien Stahl, wie er für das Gehäuse 3 verwendet wird. Diese Scheiben sind mit Bohrungen, deren Außen-Durchmesser dem der Meßrohre 1, 2 entspricht, und mit Schlitten versehen, so dass die Scheiben zunächst auf die Meßrohre 1, 2 aufgeklemmt und danach mit ihnen hartverlötet werden können; dabei werden auch die Schlitten miteinander hartverlötet, so dass die Scheiben ungeschlitten als Knotenplatten auf den Meßrohren 1, 2 sitzen.

Eine Erregeranordnung 6 versetzt die Meßrohre 1, 2 im Betrieb in stimmungsgelartige Schwingungen, die wie üblich eine Schwingfrequenz haben, die gleich der mechanischen Resonanzfrequenz des von den Meßrohren 1, 2 gebildeten Schwingensystems ist oder die in der Nähe dieser Resonanzfrequenz liegt. Diese Schwingfrequenz ist im Betrieb bekanntlich von der Dichte des die Meßrohre 1, 2 durchströmenden Fluids abhängig. Daher kann aufgrund der Schwingfrequenz die Dichte des Fluids ermittelt werden. Da die Dichte bekanntlich von der Temperatur abhängt, wird auch diese gemessen, siehe unten.

Ein erster Teil 61 der Erregeranordnung 6 ist am Scheitelpogen 17 des Meßrohrs 1 im Bereich von dessen oben erwähnter Symmetrielinie und ein zweiter Teil 62 der Erregeranordnung 6 am Scheitelpogen 27 des Meßrohrs 2 im Bereich von dessen oben erwähnter Symmetrielinie fixiert, vgl. Fig. 4.

Die Erregeranordnung 6 ist eine elektrodynamische Erregeranordnung, und somit ist der Teil 61 eine Spulen-Anordnung und der Teil 62 eine Dauermagnet-Anordnung, die mit der Spulen-Anordnung durch Eintauchen zusammenwirkt. Die Erregeranordnung 6 wird von einer noch zu erläuternden Erreger-Schaltung 20 mit der zum Aufrechterhalten der Schwingungen der Meßrohre 1, 2, insb. auf einer ihrer momentanen Resonanzfrequenzen, erforderlichen Antriebsenergie beliefert. Die Erreger-Schaltung 20 kann z.B. mit der bereits erwähnten Auswerte-Schaltung gemeinsam in einem mit dem Flansch 90 verbundenen, nicht dargestellten Elektronik-Gehäuse untergebracht sein.

Ein erster Geschwindigkeits- oder Wegsensor 7 und ein zweiter Geschwindigkeits- oder Wegsensor 8, die symmetrisch bezüglich der genannten Symmetrielinien der Meßrohre 1, 2 daran fixiert sind, erzeugen Sensorsignale, mittels denen der Massedurchfluß oder z.B. auch die Dichte des Fluids auf übliche Art und Weise ermittelt werden können.

Ein erster Teil 71 des Geschwindigkeits- oder Wegsensors 7 ist am Rohrstück 15 des Meßrohrs 1 und ein zweiter Teil 72 am Rohrstück 25 des Meßrohrs 2 fixiert, vgl. Fig. 3. Ein erster Teil 81 des Geschwindigkeits- oder Wegsensors 8 ist am Rohrstück 16 des Meßrohrs 1 und ein zweiter Teil 82 am Rohrstück 26 des Meßrohrs 2 fixiert, vgl. Fig. 3.

Die Geschwindigkeits- oder Wegsensoren 7, 8, die im Folgenden kurz als Sensoren 7, 8 bezeichnet werden, sind hier elektrodynamische Geschwindigkeitssensoren; somit sind die Teile 71, 81 jeweils eine Spulen-Anordnung und die Teile 72, 82 jeweils eine Dauermagnet-Anordnung, die in die zugehörige Spulen-Anordnung eintauchen kann.

Wie oben bereits kurz erwähnt wurde, ist in den Tragrahmen 30 gegenüber den Scheitelpögen 17, 27 und somit auch gegenüber dem Scheitel-Rahmenstück 39 die mehrere elektrische Leiter aufweisende Durchföhrung 37 befestigt, insb.

druckdicht eingesetzt. Hierzu ist am Tragrahmen 30 ein Flansch 90 befestigt, z.B. verschweißt. Der Flansch 90 hat eine Bohrung 91, so dass die Durchführung 37 von außerhalb des Gehäuses 3 zugänglich ist.

Die Durchführung 37 umfasst eine am Tragrahmen 30 mittels einer abgewinkelten Tragplatte 95 befestigte und zwischen diesem sowie den Scheitelbögen auf diese zulaufenden Leiterplatte 96. Darauf sind Leitbahnen angeordnet, vgl. die Leitbahn 97, die nur in Fig. 2 zu sehen sind.

An jeweils eine dieser Leitbahnen sind Anschluß-Leitungen 63, 64 der Erregeranordnung 6, Anschluß-Leitungen 73, 74 des Geschwindigkeitssensors 7, Anschluß-Leitungen 83, 84 des Geschwindigkeitssensors 8 und Anschluß-Leitungen 93, 94 eines Temperatursensors 9 und somit auch an die einzelnen Leiter der Durchführung 37 angeschlossen. Die Anschluß-Leitungen 63, 64, 73, 74, 83, 84, 93, 94 sind nur in Fig. 2 zu sehen. Zusätzlich ist auch eine Leitbahn für einen Schaltungsnullpunkt SN auf der Leiterplatte 96 vorgesehen, die über metallische, mit ihr mechanisch und daher auch elektrisch verbundene Befestigungsmittel an der metallischen Tragplatte 95 fixiert ist.

Der Temperatursensor 9 (nur in Fig. 2 und 3 zu sehen) ist auf dem Auslaßbogen 14 des Meßrohrs 1, z.B. durch Kleben, befestigt und ist z.B. ein Platin-Widerstand. Er dient, wie eingangs erwähnt, zum Messen der momentanen Temperatur des Fluids. Der Temperatursensor 9 kann auch an jeder geeigneten anderen Stelle der Meßrohre 1, 2 angeordnet werden.

Die Durchführung 37 umfasst ferner einen im Durchführungs-Rahmenstück 36 angebrachten Schlitz 361, durch den die Leiterplatte 96 gesteckt ist und der sich in den Flansch 90 hineinerstreckt, wobei zwischen Leiterplatte 96 und Schlitz 361 ein zu deren elektrischer Isolierung ausreichender Abstand eingehalten ist.

Ferner ist die Leiterplatte 96 durch eine auf dem Durchführung-Rahmenstück 36 bohrungsseitig aufliegende Scheibe 362 aus einem Isoliermaterial hindurchgesteckt. Eine isolierende Vergussmasse 363 füllt einen oberhalb der Scheibe 362 liegenden Teil der Bohrung 91 vollständig aus, wobei die Vergussmasse 363 auch mehr oder weniger in den Raum zwischen der Leiterplatte 96 und der Innenwand des Schlitzes 361 eingedrungen sein kann.

Die Dicke der Vergussmasse 363 in Richtung auf das offene Ende der Bohrung 91 ist mindestens gleich der Länge der für die Zündschutzart Ex-d nach den europäischen Standards EN 50 014 und EN 50 018 in Abhängigkeit von der Spaltbreite vorgeschriebenen Spaltlänge. Diesen Standards entsprechen vergleichbare Standards anderer Länder.

Anstatt des bevorzugten Aufnehmers der Fig. 1 bis 4 können andere, schon im Stand der Technik beschriebene Aufnehmer mit mindestens einem gebogenen Meßrohr zusammen mit der Erfindung verwendet werden, z.B. die in der US-A 53 94 758, der US-A 55 57 973, der US-A 56 75 093, der US-A 57 05 754, der US-A 57 96 011 oder der US-A 62 23 605 beschriebenen Aufnehmer. Es können auch Aufnehmer mit mindestens einem geraden Meßrohr zusammen mit der Erfindung verwendet werden, z.B. die Aufnehmer beschrieben in der US-A 47 93 191, der US-A 53 51 561, der US-A 55 31 126, der US-A 56 02 345, der US-A 56 16 868, der US-A 57 36 653 oder der US-A 60 06 609.

In Fig. 5 ist teilweise nach Art eines Blockschaltbilds das Schaltbild eines Ausführungsbeispiels der Erreger-Schaltung 20 entsprechend der ersten Variante der Erfindung dargestellt. Einer Amplitudendemodulationsstufe pd ist als Eingangssignal eines der von den Sensoren 7, 8 gelieferten Sensorsignale oder z.B. auch deren Summe zugeführt. Somit ist die Amplitudendemodulationsstufe pd eingangsseitig mit einem der Sensoren 7, 8 verbunden - in Fig. 5 ist das der Sensor 7. Die Amplitudendemodulationsstufe pd dient dazu, fortwährend eine Schwingungsamplitude der Meßrohrvibrationen zu bestimmen. Des weiteren dient die Amplitudendemodulationsstufe pd dazu, ein Ausgangssignal, z.B. ein einfaches Gleichsignal, zu liefern, das diese erfaßte Schwingungsamplitude repräsentiert. Dafür ist nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung in der Amplitudendemodulationsstufe pd ein Spitzenwertdetektor für das Eingangssignal vorgesehen. Anstelle dieses Spitzenwertdetektors kann aber z.B. auch ein Synchrongleichrichter zum Erfassen der Schwingungsamplitude verwendet werden, der von einem zum Eingangssignal phasengleichen Referenzsignal getaktet ist.

Ein erster Eingang einer Vergleichsstufe sa ist mit einem Ausgang der Amplitudendemodulationsstufe pd verbunden; einem zweiten Eingang der

Vergleichsstufe sa ist ein einstellbares Referenzsignal S_r zugeführt, das eine Amplitude der Vibration der Meßrohre 1, 2 vorgibt. Die Vergleichsstufe sa ermittelt eine Abweichung des Ausgangssignals der Amplitudendemodulationsstufe pd vom Referenzsignal S_r und gibt diese als ein entsprechende Ausgangssignal aus. Diese Abweichung kann z.B. unter Verwendung einer einfachen Differenz zwischen der erfaßten und der durch das Referenzsignal S_r vorgegebenen Schwingungsamplitude in Form eines absoluten Amplitudenfehlers oder z.B. auch unter Verwendung eines Quotienten aus erfaßter und vorgegebener Schwingungsamplitude in Form eines relativen Amplitudenfehlers bestimmt und weitergegeben werden.

Einem ersten Eingang einer Amplitudenmodulationsstufe am ist das Eingangssignal der Amplitudendemodulationsstufe pd und einem zweiten Eingang das Ausgangssignal der Vergleichsstufe sa zugeführt. Die Amplitudenmodulationsstufe am dient dazu, das Eingangssignal der Amplitudendemodulationsstufe pd mit dem dem Ausgangssignal der Vergleichsstufe sa Amplituden zu modulieren. Dabei ist ein Sensorsignal bzw. die Summe der beiden Sensorsignale - bzw. ein dazu jeweils proportionales Signal, s.u. - das Trägersignal und ein mittels der Vergleichsstufe sa erzeugtes Fehlersignal das Modulationssignal, das - immerhin langsam - veränderlich ist. Das Fehlersignal stellt die Abweichung der momentanen Vibrationsamplitude des Meßrohrs bzw. der Meßrohre 1, 2 von dessen bzw. deren durch das Referenzsignal S_r repräsentierten Soll-Schwingungsamplitude dar. Des Weiteren dient die Amplitudenmodulationsstufe am dazu, ein die Antriebsenergie tragendes Treibersignal für die Erregeranordnung 6 zu liefern. Dafür weist die Amplitudenmodulationsstufe am eine entsprechende Enstufe ps zum Verstärken des mit dem Modulationssignal modulierten Trägersignals.

Zum Zwecke der Amplitudenmodulation des Träger- mit dem Modulationssignal ist nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung in der Amplitudenmodulationsstufe am ein Multiplizierer m vorgesehen, vgl. Fig. 6

In Fig. 6 ist teilweise nach Art eines Blockschaltbilds das Schaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Erreger-Schaltung 20 entsprechend der zweiten Variante der Erfindung dargestellt. Das Ausführungsbeispiel der Fig. 6 unterscheidet sich von dem der Fig. 5 dadurch, dass anstatt von deren

Amplitudenmodulationsstufe am eine Pulsweitenmodulationsstufe pwm mit einem von einem externe Wechselsignal getakteten Pulsdauermodulator pm vorgesehen ist. Der Pulsdauermodulator pm ist, wie in Fig. 6 gezeigt, an einer konstanten positiven ersten Gleichspannung $+U_1$ betrieben und liegt am Schaltungsnullpunkt SN.

Einem ersten Eingang des Pulsdauermodulators pm - das ist der Trägersignal-Eingang - ist das Eingangssignal der Amplitudendemodulationsstufe pd zugeführt. Somit ist dieser erste Eingang mit einem der Sensoren verbunden - in Fig. 6 ist das wieder der Sensor 7. Einem zweiten Eingang des Pulsdauermodulators pm - das ist der Modulationssignal-Eingang - ist das zum ermittelten Amplitudenfehler proportionale Fehlersignal zugeführt. Der Ausgang des Pulsdauermodulators pm wiederum ist mit dem Eingang einer Endstufe ps' verbunden, die ausgangsseitig die Erregeranordnung 6 mit einem entsprechenden Treibersignal speist. Das von der Endstufe ps' gelieferte Treibersignal ist hierbei ein Rechtecksignal, das mit einer Signalfrequenz des Eingangssignals der Amplitudendemodulationsstufe pd getaktet ist und das eine mit dem Ausgangssignal der Vergleichsstufe sa modulierte Pulsweite aufweist.

In Fig. 7 ist teilweise nach Art eines Blockschaltbilds das Schaltbild eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Erreger-Schaltung 20 entsprechend der ersten Variante der Erfindung dargestellt. Das Ausführungsbeispiel der Fig. 7 unterscheidet sich von dem der Fig. 5 dadurch, dass anstatt von deren Multiplizierer m ein Komparator kk und ein Gleichspannungswandler dc vorgesehen sind, der wenigstens eine einen in der Erregeranordnung 6 fließenden, geschalteten Erregerstrom treibende Versorgungsspannung liefert. Die Amplitude dieser Versorgungsspannung wiederum ist abhängig von dem Ausgangssignal der Vergleichsstufe sa und daher als nicht-konstant zu betrachten. Je nach Auslegung der Versorgungsspannung kann der Erregerstrom bi-polar oder aber auch uni-polar sein.

Daher liefert der Gleichspannungswandler dc nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung gemäß Fig. 7 eine Versorgungsspannung mit einem positiven ersten Potential $+u$ und einem negativen zweiten Potential $-u$, wobei ein dem Einstellen der Potentiale dienender Steuer-Eingang des Gleichspannungswandler dc das Ausgangssignal der Vergleichsstufe sa

empfängt. Die vom Gleichspannungswandler dc gelieferte, in ihrer Amplitude angepaßte Versorgungsspannung ist einer entsprechenden, dem Speisen der Erregeranordnung 6 dienenden Endstufe ps" der Pulsweitenmodulationsstufe pwm als Betriebsspannung angelegt. Außerdem ist die Endstufe ps" eingangsseitig mit dem einen Ausgang des Komparators kk verbunden. Der Komparator kk ist an der konstanten positiven ersten Gleichspannung +U1 betrieben und liegt am Schaltungsnullpunkt SN. Einem Eingang des Komparators kk ist das Eingangssignal des Spitzenwertdetektors pd zugeführt. Somit ist der Komparator kk eingangsseitig mit einem der Sensoren verbunden - in Fig. 7 ist das wieder der Sensor 7.

In den Fig. 5 bis 7 ist jeweils gestrichelt angedeutet, dass anstatt eines der Sensorsignale der Sensoren 7, 8 auch deren Summe dem Spitzenwertdetektor pd und dem Multiplizierer m bzw. dem Pulsdauermodulator pm bzw. dem Komparator kk zugeführt werden kann; dann sind diese Sensorsignale über einen Summierer s zu führen.

In den Fig. 5 bis 7 sind weitere gestrichelt gezeichnete Teilschaltungen zu sehen, die bevorzugte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Erreger-Schaltung darstellen.

In einer Weiterbildung der Erregerschaltung 20 ist ein Vorverstärker vv vorgesehen, der dem Spitzenwertdetektor pd oder ggf. dem Synchrongleichrichter vorgeschaltet ist.

In einer anderen Weiterbildung der Erregerschaltung 20 ist ein Verstärker v vorgesehen, der das Ausgangssignal der Vergleichsstufe sa verstärkt, bevor es als Fehlersignal zur Amplitudenmodulationsstufe am gelangt. Ein solcher Verstärker kann ein Operationsverstärker op sein, dessen nicht-invertierender Eingang am Schaltungsnullpunkt SN liegt, dessen invertierender Eingang über einen Vorwiderstand vv mit dem Ausgang der Vergleichsstufe sa und über einen Shuntwiderstand ws mit dem Verstärker-Ausgang verbunden ist. Der derart beschaltete Operationsverstärker op ist jeweils rechts oben in den Fig. 5 bis 7 zu sehen.

In einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der Erregreschaltung 20 ist ein integrierender Verstärker v_i vorgesehen, der das Ausgangssignal der Vergleichsstufe s_a verstärkt und integriert, bevor es als Fehlersignal zum Multiplizierer m gelangt. Ein solcher Verstärker kann ein Operationsverstärker op' sein, dessen nicht-invertierender Eingang am Schaltungsnullpunkt SN liegt, dessen invertierender Eingang über einen Vorwiderstand wv' mit dem Ausgang der Vergleichsstufe s_a und über eine Serienschaltung aus einem Shuntwiderstand ws' und einem Kondensator k mit dem Verstärker-Ausgang verbunden ist. Der derart beschaltete Operationsverstärker op' ist jeweils rechts in der Mitte der Fig. 5 bis 7 zu sehen.

Eine andere Weiterbildung der Erregreschaltung 20 besteht in einem differenzierenden und integrierenden Verstärker vd , der das Ausgangssignal der Vergleichsstufe s_a verstärkt, differenziert und integriert, bevor es als Fehlersignal zum Multiplizierer m gelangt. Ein solcher Verstärker kann ein Operationsverstärker op'' sein, dessen nicht-invertierender Eingang am Schaltungsnullpunkt SN liegt, dessen invertierender Eingang über eine Parallelschaltung eines Vorwiderstands wv'' und eines ersten Kondensators k_1 mit dem Ausgang der Vergleichsstufe s_a und über eine Serienschaltung aus einem Shuntwiderstand ws'' und einem zweiten Kondensator k_2 mit dem Verstärker-Ausgang verbunden ist. Der derart beschaltete Operationsverstärker op'' ist jeweils rechts unten in den Fig. 5 bis 7 zu sehen.

Mittels der Pfeile ist in den Fig. 5 bis 7 angedeutet, dass der jeweilige Verstärker v , v_i , vd an die Stelle des gestrichelt gezeichneten Quadrats q zu setzen ist, das entweder zwischen dem Ausgang der Vergleichsstufe s_a und dem zweiten Eingang des Amplitudenmodulationsstufe am oder aber zwischen dem Ausgang der Vergleichsstufe s_a und dem Modulationssignal-Eingang der Pulsweitenmodulationsstufe pwm liegt.

Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass die Funktionen der einzelnen Teilschaltungen der Fig. 5 bis 7 durch entsprechende analoge oder digitale Teilschaltungen realisiert werden, in letzterem Fall also z.B. mittels eines geeignet programmierten Mikroprozessors, wobei die diesem zuzuführenden Signale zuvor einer Analog/Digital-Wandlung und dessen Ausgangssignale gegebenenfalls einer Digital/Analog-Wandlung zu unterziehen sind.

In Fig. 8 ist ein Schaltbild eines bevorzugten ersten Ausführungsbeispiels einer Endstufe ps dargestellt, die beispielsweise in der Amplitudenmodulationsstufe am gemäß Fig. 5 eingesetzt werden kann. Ein Operationsverstärker ov ist an einer positiven und an einer negativen, jeweils konstanten Gleichspannung +U, -U betrieben und wie folgt beschaltet. Ein invertierender Eingang liegt über einen ersten Widerstand w1 am Schaltungsnullpunkt SN und ein nicht-invertierender Eingang über einen zweiten Widerstand w2 am Ausgang des Multiplizierers m.

Ein Ausgang des Operationsverstärkers ov ist unter Zwischenschaltung eines dritten Widerstands w3 mit einem ersten Pol pp1 einer Primärwicklung eines Transformators tf verbunden; ein zweiter Pol pp2 der Primärwicklung liegt am Schaltungsnullpunkt SN. Der Transformator tf hat auch eine Sekundärwicklung, die mittels ihrer beiden Pole sp1, sp2 an der Erregeranordnung 6 angeschlossen ist.

Die Primärwicklung hat eine Primärwindungszahl N1 und die Sekundärwicklung eine Sekundärwindungszahl N2. Der Transformator tf ist ein Strom-Aufwärts-Transformator und hat ein Übersetzungsverhältnis N1/N2 von z.B. 20:1.

Der invertierende Eingang des Operationsverstärkers ov ist über einen vierten Widerstand w4 am ersten Pol pp1 der Primärwicklung angeschlossen. Der nicht-invertierende Eingang ist über einen fünften Widerstand w5 mit dem Ausgang verbunden.

Die fünf Widerstände w1, w2, w3, w4, w5 haben entsprechende Widerstandswerte R1, R2, R3, R4, R5. Der Widerstandswert R1 ist gleich dem Widerstandswert R2 und der Widerstandswert R4 ist gleich dem Widerstandswert R5 zu wählen. Der in der Erregeranordnung 6 fließende Wechselstrom i ergibt sich wie folgt, wenn die Ausgangsspannung des Multiplizierers m mit um bezeichnet ist:

$$i = u_m \cdot \frac{R5}{R1 \cdot R3} \cdot \frac{N1}{N2}$$

In Fig. 9 ist ein Schaltbild eines bevorzugten zweiten Ausführungsbeispiels einer Endstufe ps' dargestellt, die beispielsweise in der Pulsweitenmodulationsstufe pwm gemäß Fig. 6 eingesetzt werden kann. Der "Kern" dieser Ausgestaltung der

Endstufe, die eine komplementäre Gegentakt-Endstufe ist, ist eine Serienschaltung des gesteuerten Strompfads eines P-Kanal-Enhancement-Isolierschicht-Feldeffekt-Transistors P mit einem N-Kanal-Enhancement-Isolierschicht-Feldeffekt-Transistor N, die im Folgenden kurz als Transistoren bezeichnet sind.

Am Verbindungspunkt der gesteuerten Strompfade ist die Erregeranordnung 6 angeschlossen. Jedem gesteuerten Strompfad ist eine Schutzdiode d_n , d_p parallelgeschaltet, wobei die jeweilige Katode am positiveren Punkt des jeweiligen Transistors liegt.

Das P-transistor-seitige Ende der Serienschaltung liegt an einer konstanten positiven zweiten Gleichspannung $+U_2$ und deren N-transistor-seitiges Ende an einer entsprechenden negativen Gleichspannung $-U_2$. Die Gates der Transistoren N, P sind miteinander und mit einem Ausgang eines Komparators kk' verbunden. Der nicht-invertierende Eingang des Komparators kk' liegt am Ausgang des Pulsdauermodulators pm , vgl. Fig. 6.

Der invertierende Eingang des Komparators kk' ist mit einem Abgriff eines Spannungsteilers verbunden, der aus einem Widerstand r_1 und einem Widerstand r_2 besteht. Die Widerstände r_1 , r_2 haben die gleichen Widerstandswerte und liegen zwischen der positiven Gleichspannung $+U_1$ und dem Schaltungsnullpunkt SN . Die Widerstände r_1 , r_2 und der Komparator kk' dienen der Symmetrierung des Ausgangssignals des Pulsdauermodulators pm bezüglich des halben Wertes der Gleichspannung $+U_1$.

Die Erregeranordnung 6 erhält somit bei jedem positiv gerichteten Nulldurchgang des Ausgangssignals des Sensors 7 bzw. der Summe der Ausgangssignale der Sensoren 7, 8 einen positiven Stromimpuls und bei jedem negativ gerichteten Nulldurchgang des Ausgangssignals des Sensors 7 bzw. der Summe der Ausgangssignale der Sensoren 7, 8 einen negativen Stromimpuls zugeführt. Die jeweilige Dauer dieser Stromimpulse stellt sich automatisch so ein, dass die durch das Referenzsignal S_r vorgegebene Schwingungsamplitude des Meßrohrs bzw. der Meßrohre 1, 2 erreicht wird.

In Fig. 10 ist ein Schaltbild eines bevorzugten dritten Ausführungsbeispiels einer Endstufe ps'' dargestellt, die beispielsweise in der Amplitudenmodulationsstufe am gemäß Fig. 7 eingesetzt werden kann. Der "Kern" diese Ausgestaltung der Endstufe, die wieder eine komplementäre Gegentakt-Endstufe ist, ist auch hier wie in Fig. 9 eine Serienschaltung des gesteuerten Strompfads eines P-Kanal-Enhancement-Isolierschicht-Feldeffekt-Transistors P' mit einem N-Kanal-Enhancement-Isolierschicht-Feldeffekt-Transistor N' , die im Folgenden wieder kurz als Transistoren bezeichnet sind.

Am Verbindungspunkt der gesteuerten Strompfade ist die Erregeranordnung 6 angeschlossen. Jedem gesteuerten Strompfad ist eine Schutzdiode dn' , dp' parallelgeschaltet, wobei die jeweilige Katode am positiveren Punkt des jeweiligen Transistors liegt.

Das P-transistor-seitige Ende der Serienschaltung liegt an der vom Ausgangssignal der Vergleichsstufe sa abhängigen positiven Gleichspannung $+u$ und deren N-transistor-seitiges Ende an der vom Ausgangssignal der Vergleichsstufe sa abhängigen negativen Gleichspannung $-u$. Die Gates der Transistoren N' , P' sind miteinander und mit einem Ausgang eines Komparators kk'' verbunden. Der nicht-invertierende Eingang des Komparators kk'' liegt am Ausgang des Komparators kk , vgl. Fig. 7.

Der invertierende Eingang des Komparators kk'' ist mit einem Abgriff eines Spannungsteilers verbunden, der aus einem Widerstand $r3$ und einem Widerstand $r4$ besteht. Die Widerstände $r3$, $r4$ haben die gleichen Widerstandswerte und liegen zwischen der konstanten positiven ersten Gleichspannung $+U1$ und dem Schaltungsnullpunkt SN . Die Widerstände $r3$, $r4$ und der Komparator kk'' dienen der Symmetrierung des Ausgangssignals des Komparators kk bezüglich des halben Wertes der Gleichspannung $+U1$.

Die Erregeranordnung 6 erhält somit während jeder positiven Halbwelle des Ausgangssignals des Sensors 7 bzw. der Summe der Ausgangssignale der Sensoren 7, 8 einen positiven Stromimpuls und während jeder negativen Halbwelle des Ausgangssignals des Sensors 7 bzw. der Summe der Ausgangssignale der Sensoren 7, 8 einen negativen Stromimpuls zugeführt. Die jeweilige Amplitude dieser Stromimpulse ist von den vom Ausgangssignal der

Vergleichsstufe sa abhängigen Gleichspannungen $+u$, $-u$ ihrerseits abhängig, sodass sich die durch das Referenzsignal S_r vorgegebene Schwingungsamplitude des Meßrohrs bzw. der Meßrohre 1, 2 automatisch einstellt.

Die erwähnten Gleichspannungen $+U_1$, $+U_2$, $-U_2$ werden auf der Basis der von der Zwei-Leiter-Prozesskontroll-Schleife zur Verfügung gestellten Energie in üblicher Weise erzeugt. Es ist auch möglich, anstatt der beiden positiven Gleichspannungen $+U_1$, $+U_2$ nur eine einzige positive Gleichspannung vorzusehen.

Die erwähnte Zweidraht-Prozesskontroll-Schleife führt bei der Erfindung einerseits bevorzugt einen der Energieversorgung dienenden Gleichstrom, wobei insb. das Messsignal ebenfalls ein Gleichstrom ist, der z.B. standard-gemäß einen Bereich von 4 mA bis 20 mA umfasst. Andererseits kann das Messsignal auch bevorzugt ein Digitalsignal sein, sodass die Zweidraht-Prozesskontroll-Schleife an einen Feldbus angeschlossen werden kann.

Die Erregerschaltung der Erfindung stellt zusammen mit dem bzw. den Meßrohren 1, 2 einen Regelkreis dar, der sich elektrisch sowohl auf die mechanische Resonanzfrequenz der erregten Vibrationen des bzw. der Meßrohre 1, 2 als auch auf die mittels des Referenzsignals S_r vorgegebene Amplitude dieser Vibrationen einstellt.

Es sind daher die bisher üblichen Erregerschaltungen, die eine Amplitudenregelstufe und eine phasenverriegelte Schleife, eine sogenannte PLL, zur elektrischen Regelung der Resonanzfrequenz und der Vibrationsamplitude aufweisen, nicht erforderlich. Die bisherigen Erregerschaltungen sind nicht nur, was die Anzahl der erforderlichen Komponenten betrifft, sehr aufwendig, sondern sie benötigen auch weit mehr Versorgungsenergie, als bei Zwei-Draht-Meßgeräten zur Verfügung steht.

Die Erregerschaltung 20 der Erfindung benötigt nur wenige Komponenten, die somit insgesamt auch nur eine praktisch vernachlässigbare Verlustleistung aufweisen, so dass die zur Verfügung stehende geringe Versorgungsenergie fast vollständig für die Erregung nutzbar ist.

PATENTANSPRÜCHE

1. Erreger-Schaltung für einen mit einer Zwei-Leiter-Prozesskontroll-Schleife verbundenen, allein davon mit Energie versorgten und allein darüber ein Messsignal abgebenden Coriolis-Massedurchflußmesser (10) mit

- wenigstens einem im Betrieb vibrierenden Meßrohr (1, 2),
- einer elektromechanischen Erregeranordnung (6) zum Vibrierenlassen des wenigstens einen Meßrohrs bei einer Schwingfrequenz, die gleich einer momentanen mechanischen Resonanzfrequenz desselben oder dieser benachbart ist,
- eine auf Vibrationen des wenigstens einen Meßrohrs (1, 2) reagierenden Sensoranordnung (7, 8) zum Erzeugen eines einlaßseitige Vibrationen des Meßrohrs (1, 2) repräsentierenden ersten Sensorsignals und eines auslaßseitige Vibrationen des Meßrohrs (1, 2) repräsentierenden zweiten Sensorsignals, welche Erreger-Schaltung umfasst:
 - eine Amplitudendemodulationsstufe (pd) zum Erzeugen eines Ausgangssignal, das eine Schwingungsamplitude des vibrierenden Meßrohrs (1, 2) momentan repräsentiert, wobei der Amplitudendemodulationsstufe (pd) eines der von der Sensoranordnung (7, 8) gelieferten Sensorsignale bzw. deren Summe als Eingangssignal zugeführt ist,
 - eine Vergleichsstufe (sa) zum Ermitteln einer Abweichung der erfaßten Schwingungsamplitude des vibrierenden Meßrohrs (1, 2) von einer vorgegebenen Soll-Schwingungsamplitude, wobei der Vergleichsstufe (sa) eingangsseits neben dem Ausgangssignal der Amplitudendemodulationsstufe (pd) ein Referenzsignal (Sr) zugeführt ist, das die Soll-Schwingungsamplitude repräsentiert sowie
 - eine eingangsseits mit einem Ausgang der Vergleichsstufe (sa) gekoppelte Amplitudenmodulationsstufe (am) zum Erzeugen eines Treibersignals für die Erregeranordnung (6), das eine von der ermittelten Abweichung abhängige Signalamplitude aufweist, wobei der Amplitudenmodulationsstufe (am) eingangsseits neben einem die Abweichung der erfaßten Schwingungsamplitude von der vorgegebenen Soll-Schwingungsamplitude repräsentierenden Fehlersignal das Eingangssignal der Amplitudendemodulationsstufe (pd) zugeführt ist.

2. Erreger-Schaltung für einen mit einer Zwei-Leiter-Prozesskontroll-Schleife verbundenen, allein davon mit Energie versorgten und allein darüber ein Messsignal abgebenden Coriolis-Massedurchflußmesser (10) mit

- wenigstens einem im Betrieb vibrierenden Meßrohr (1, 2),
- einer elektromechanischen Erregeranordnung (6) zum Vibrierenlassen des wenigstens einen Meßrohrs bei einer Schwingfrequenz, die gleich einer momentanen mechanischen Resonanzfrequenz desselben oder dieser benachbart ist,
- eine auf Vibrationen des wenigstens einen Meßrohrs (1, 2) reagierenden Sensoranordnung (7, 8) zum Erzeugen eines einlaßseitige Vibrationen des Meßrohrs (1, 2) repräsentierenden ersten Sensorsignals und eines auslaßseitige Vibrationen des Meßrohrs (1, 2) repräsentierenden zweiten Sensorsignals, welche Erreger-Schaltung umfasst:
 - eine Amplitudendemodulationsstufe (pd) zum Erzeugen eines Ausgangssignal, das eine Schwingungsamplitude des vibrierenden Meßrohrs (1, 2) momentan repräsentiert, wobei der Amplitudendemodulationsstufe (pd) eines der von der Sensoranordnung (7, 8) gelieferten Sensorsignale bzw. deren Summe als Eingangssignal zugeführt ist,
 - eine Vergleichsstufe (sa) zum Ermitteln einer Abweichung der erfaßten Schwingungsamplitude des vibrierenden Meßrohrs (1, 2) von einer vorgegebenen Soll-Schwingungsamplitude, wobei der Vergleichsstufe (sa) eingangsseits neben dem Ausgangssignal der Amplitudendemodulationsstufe (pd) ein Referenzsignal (Sr) zugeführt ist, das die Soll-Schwingungsamplitude repräsentiert sowie
 - eine eingangsseits mit einem Ausgang der Vergleichsstufe (sa) gekoppelte Pulsweitenmodulationsstufe (pwm) zum Erzeugen eines getakteten Treibersignals für die Erregeranordnung (6), das eine von der ermittelten Abweichung abhängige Pulsweite aufweist, wobei der Pulsweitenmodulationsstufe (pwm) eingangsseits neben einem die Abweichung der erfaßten Schwingungsamplitude von der vorgegebenen Soll-Schwingungsamplitude repräsentierenden Fehlersignal das Eingangssignal der Amplitudendemodulationsstufe (pd) zugeführt ist.

3. Erreger-Schaltung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die Amplitudendemodulationsstufe (pd) einen Spitzenwertdetektor zum Erfassen einer Signalamplitude des Eingangssignals der Amplitudendemodulationsstufe (pd) umfaßt.

4. Erreger-Schaltung nach einem der vorherigen Ansprüche, bei der die Amplitudendemodulationsstufe (pd) einen Vorverstärker (vv) für das Eingangssignal der Amplitudendemodulationsstufe (pd) umfaßt.
5. Erreger-Schaltung nach einem der vorherigen Ansprüche, bei der in der Vergleichsstufe (sa) zum Erzeugen des Fehlersignals einen proportional, integrierend und/oder differenzierend übertragenden Verstärker (v, vi, vd) vorgesehen ist.
6. Erreger-Schaltung nach Anspruch 1, bei der die Amplitudenmodulationsstufe (am) eine Endstufe (ps) mit einem Operationsverstärker (ov) umfaßt, der wie folgt beschaltet ist:
- ein invertierender Eingang liegt über einen ersten Widerstand (w1) an einem Schaltungsnullpunkt (SN),
 - ein nicht-invertierender Eingang liegt über einen zweiten Widerstand (w2), der den gleichen Widerstandswert wie der erste Widerstand hat, am Ausgang des Multiplizierers (m),
 - ein Ausgang ist unter Zwischenschaltung eines dritten Widerstands (w3) mit einem ersten Pol (pp1) einer Primärwicklung eines Transformators (tf) verbunden, von der ein zweiter Pol (pp2) am Schaltungsnullpunkt (SN) liegt, welcher Transformator
 - eine mit der elektromechanischen Erregeranordnung (6) verbundene Sekundärwicklung aufweist und
 - ein Strom-Aufwärts-Transformator ist,
 - der invertierende Eingang ist über einen vierten Widerstand (w4) mit dem Ausgang verbunden, und
 - der nicht-invertierende Eingang ist über einen fünften Widerstand (w5), der den gleichen Widerstandswert wie der vierte Widerstand hat, am ersten Pol (pp1) der Primärwicklung angeschlossen.
7. Erreger-Schaltung nach Anspruch 1, bei der die Amplitudenmodulationsstufe (am) eine komplementäre Gegentakt-Endstufe (ps") umfaßt, die mit einer von der ermittelten Abweichung abhängigen Versorgungsgleichspannung (+u, -u) gespeist ist.

8. Coriolis-Massedurchflußmesser mit einer Erreger-Schaltung nach einem der vorherigen Ansprüche bei dem die Zweidraht-Prozesskontroll-Schleife einen der Energieversorgung dienenden Gleichstrom führt.

9. Coriolis-Massedurchflußmesser nach Anspruch 8 bei dem das Messsignal ein, insb. innerhalb eines Bereichs von 4 mA bis 20 mA veränderlicher, Gleichstrom ist.

10. Coriolis-Massedurchflußmesser nach Anspruch 8 bei dem das Messsignal ein Digitalsignal ist.

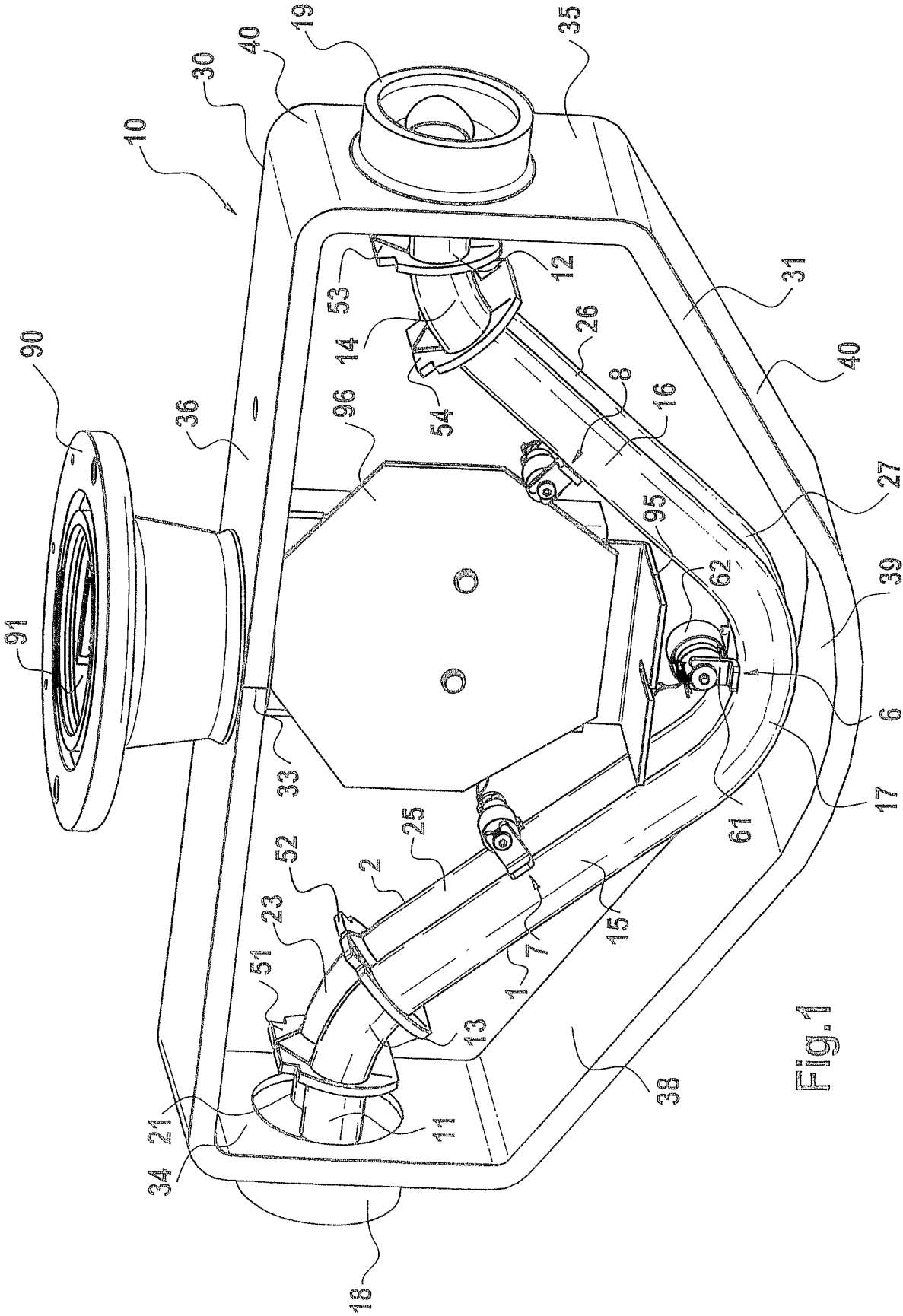
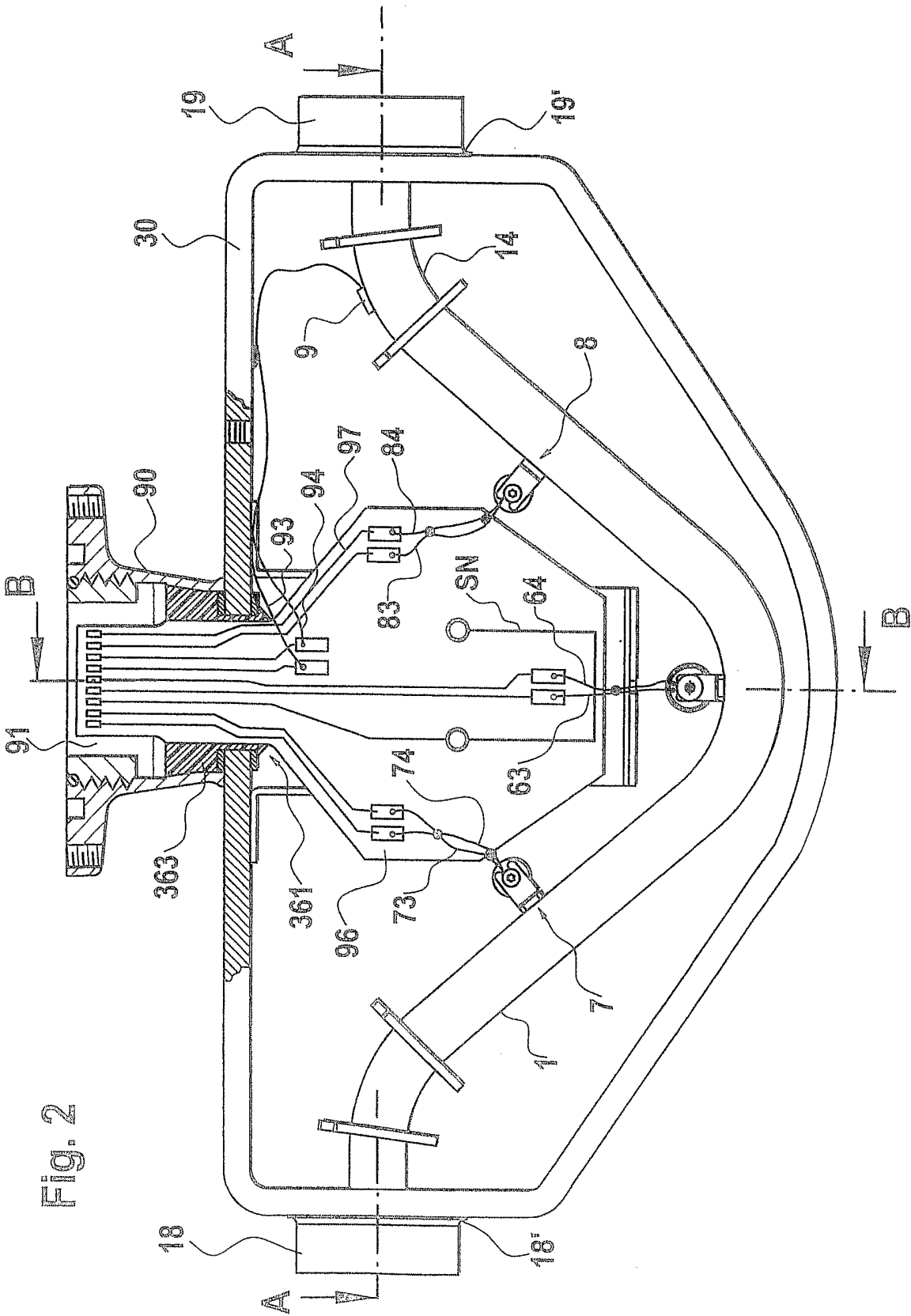


Fig.1



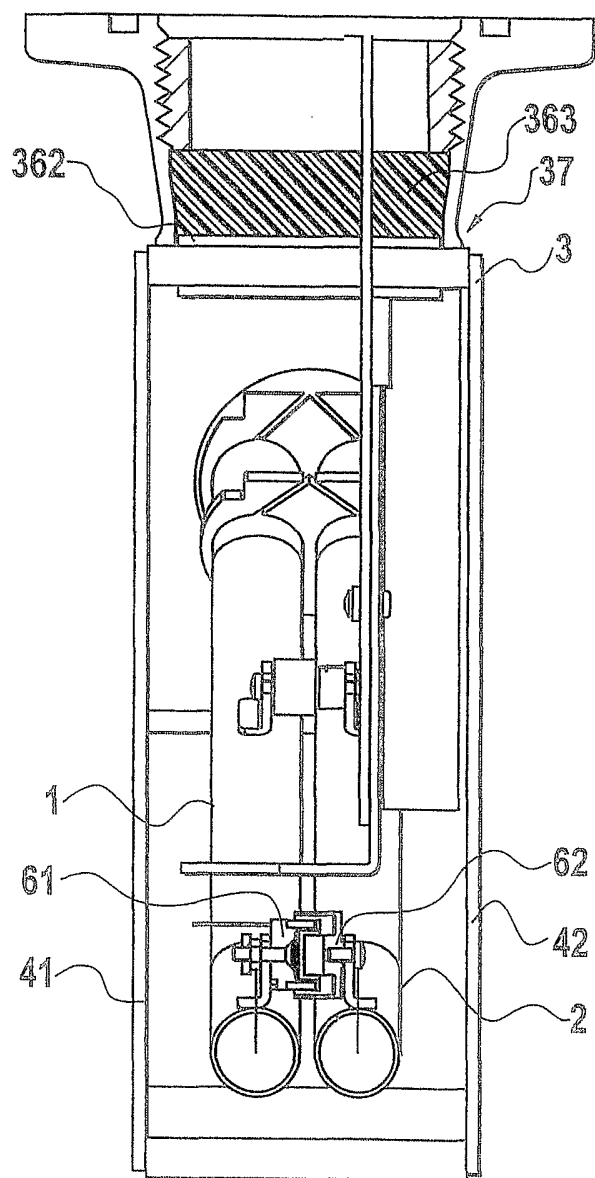


Fig. 4

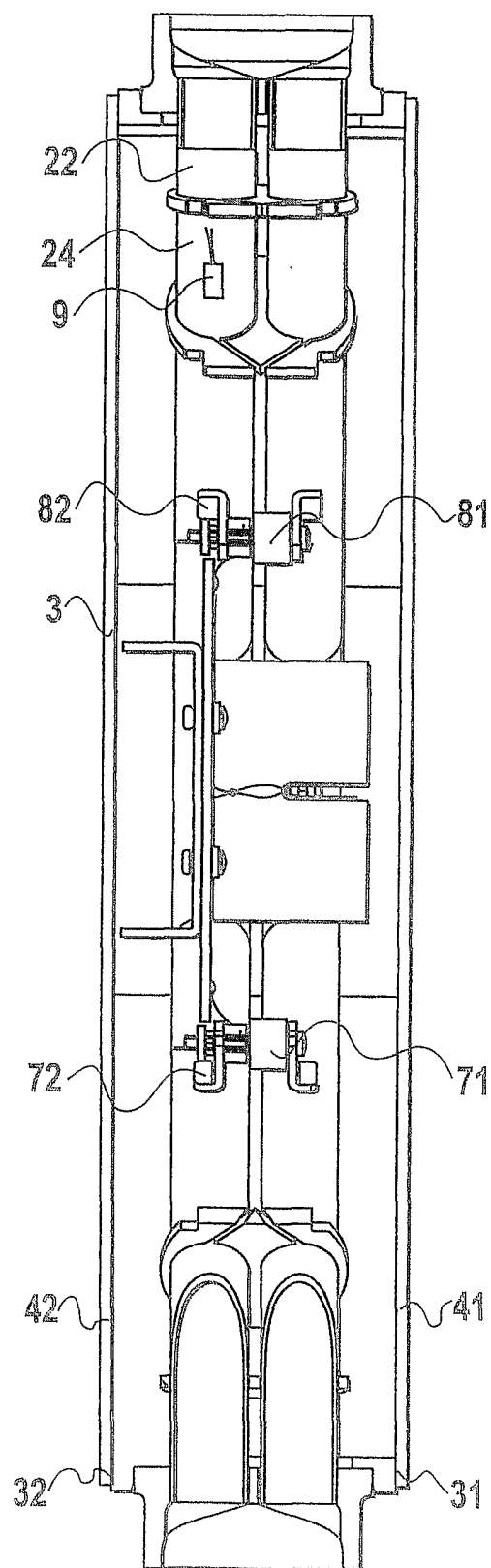


Fig.3

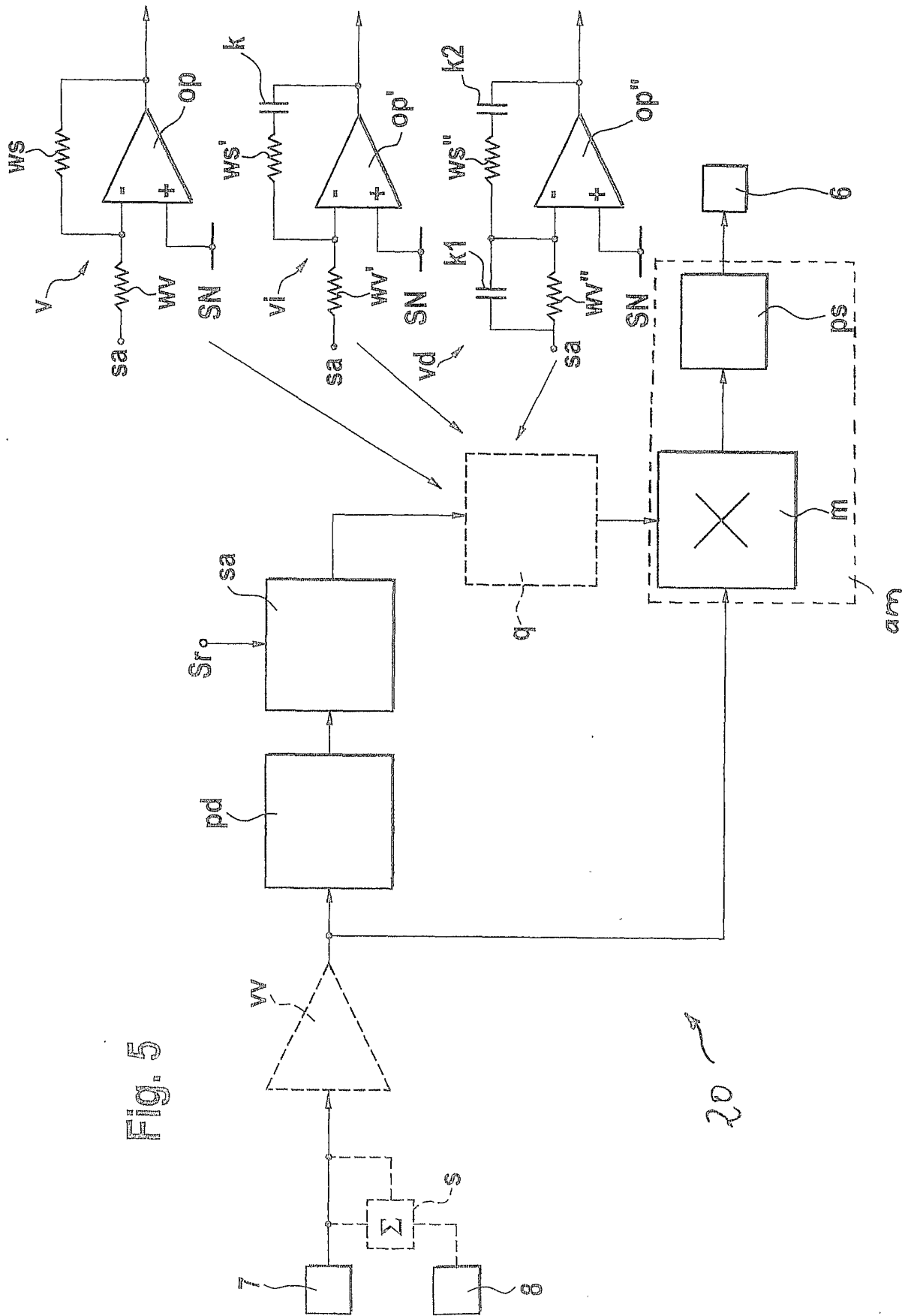
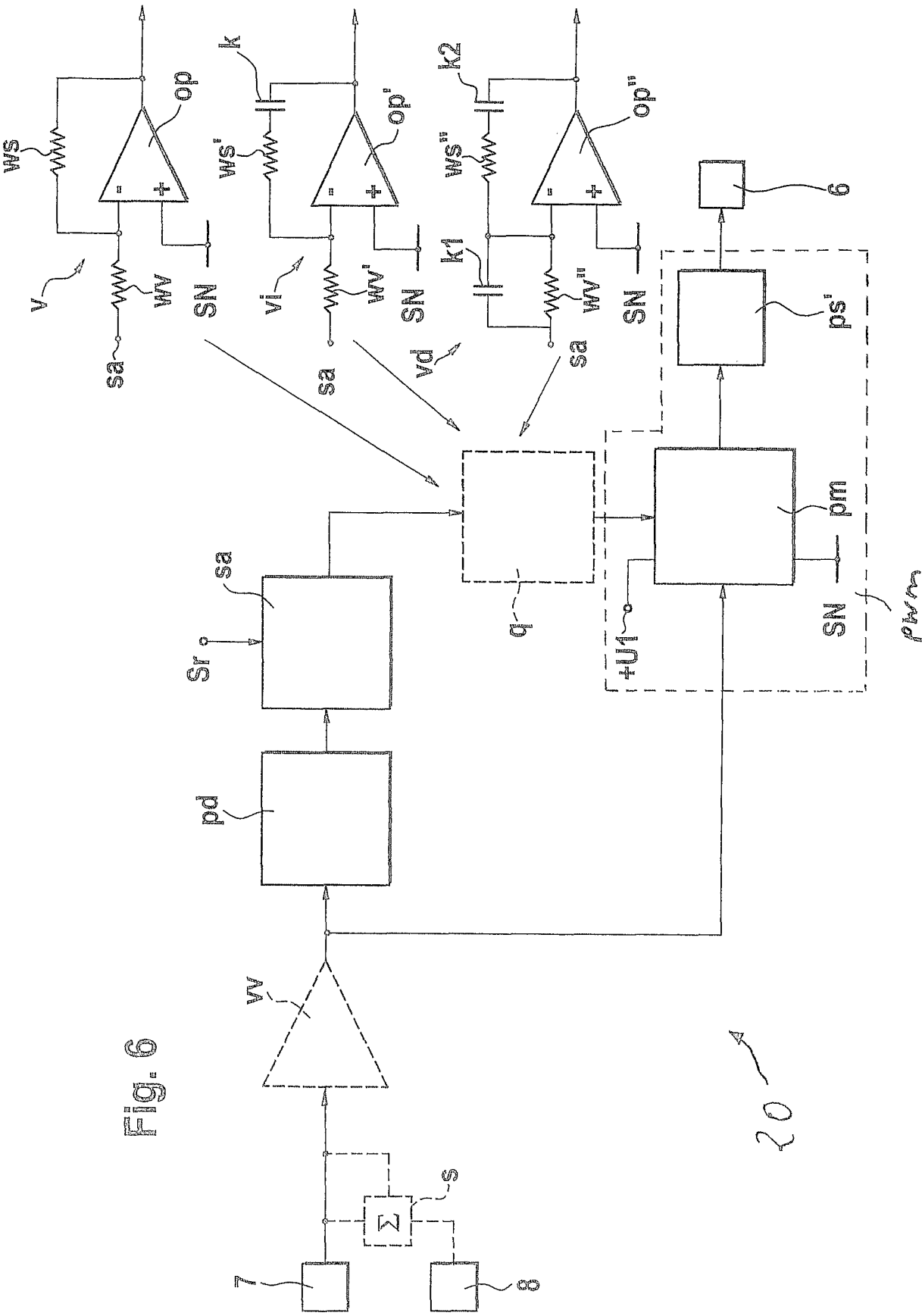


Fig. 5



7
8
9
10
11
12

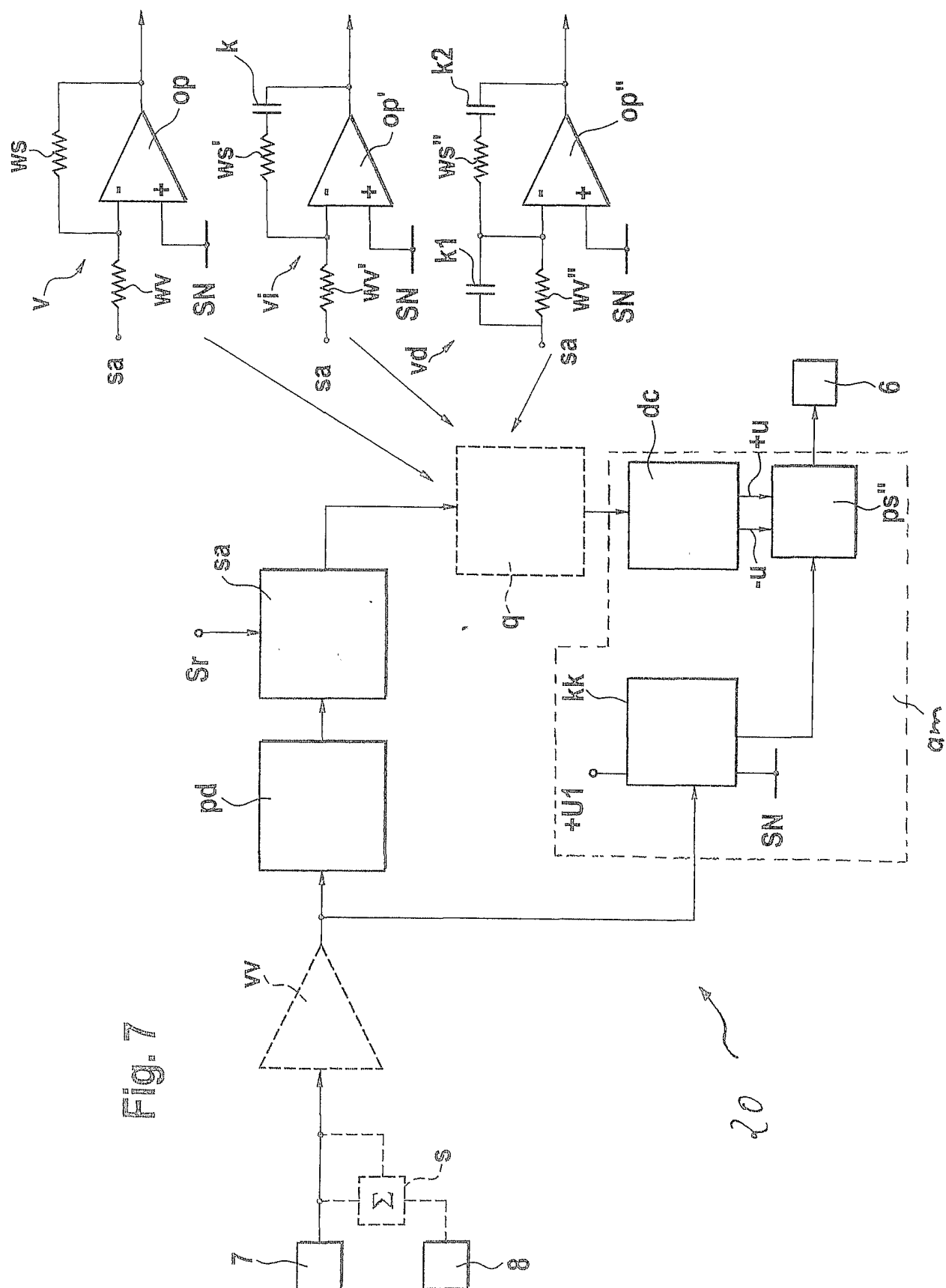


Fig. 8

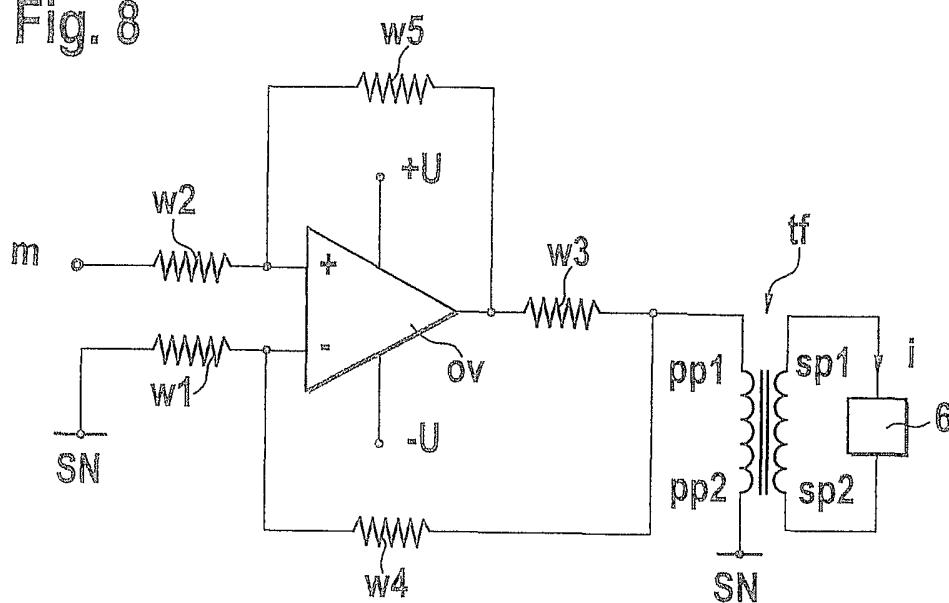


Fig. 9

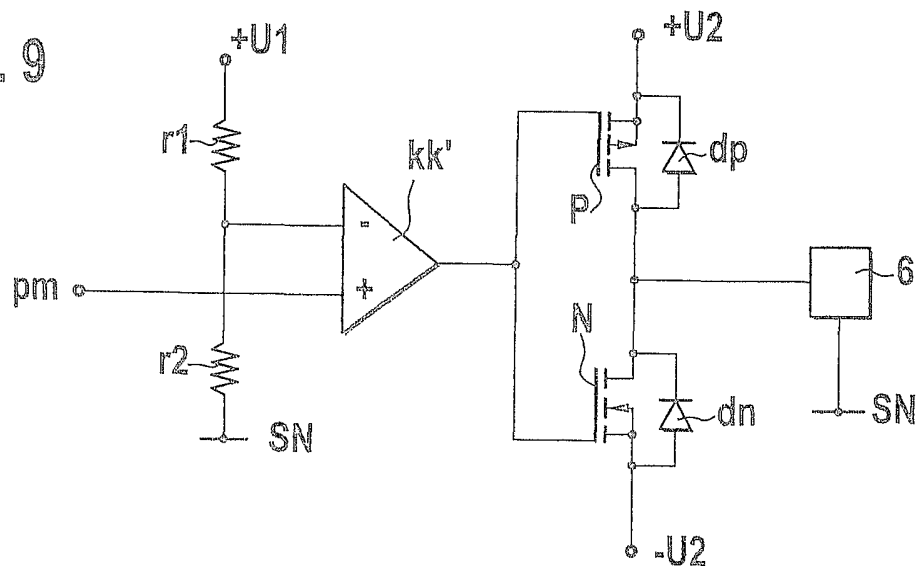


Fig. 10

