



(10) **DE 10 2013 100 670 A1** 2014.07.24

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 100 670.1**

(22) Anmeldetag: **23.01.2013**

(43) Offenlegungstag: **24.07.2014**

(51) Int Cl.: **G01F 1/66** (2006.01)
G01P 5/24 (2006.01)

(71) Anmelder:

Endress + Hauser Flowtec AG, Reinach, CH

(74) Vertreter:

**Hahn, Christian, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 79585,
Steinen, DE**

(72) Erfinder:

Wiest, Achim, 79576, Weil am Rhein, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

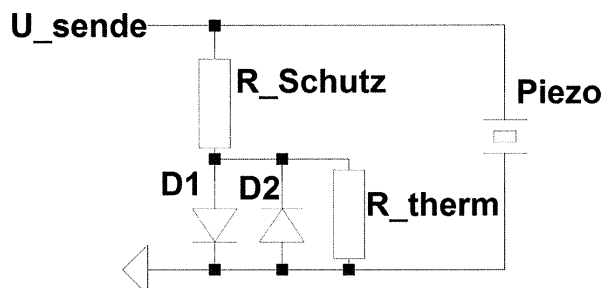
DE	33 06 529	A1
DE	100 57 188	A1
DE	198 20 208	A1
DE	10 2004 018 507	A1
DE	10 2004 023 469	A1
DE	10 2004 045 354	A1
DE	10 2005 037 458	A1
DE	10 2007 020 491	A1
DD	3 00 585	A7

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Ultraschall-Durchflußmeßgerät mit Temperaturkompensation**

(57) Zusammenfassung: Ultraschall-Durchflußmeßgerät mit mindestens einem Ultraschallwandler (2, 3), der an einem Meßrohr (1) angeordnet ist und der einen Ultraschallschwinger aufweist, eine Meßschaltung (100), die über je eine Anschlußleitung (23, 33) mit dem Ultraschallwandler (2, 3) verbunden ist und die mindestens einen zu einem Ultraschallschwinger parallel-geschalteten Temperatursensor T1 aufweist, dessen Temperatur während der Ultraschall-Sendepausen in der Meßschaltung (100) und/oder während des Sendens eines Ultraschallwandlers bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet dass der Temperatursensor T1 aus einem temperaturabhängigen Messelement und einem Vorwiderstand zur Begrenzung der dem temperaturabhängigen Messelement zugeführten Leistung und/oder einer Begrenzungsschaltung mit zumindest zwei elektrischen Bauteilen zur Begrenzung der dem temperaturabhängigen Messelement zugeführten Leistung besteht.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Ultraschall-Durchflußmeßgerät mit Temperaturkompensation.

[0002] Ultraschall-Durchflußmeßgeräte werden vielfach in der Prozeß- und Automatisierungstechnik eingesetzt. Sie erlauben in einfacher Weise den Volumendurchfluß in einem Rohrleitungsabschnitt berührungslos zu bestimmen.

[0003] Die bekannten Ultraschall-Durchflußmeßgeräte arbeiten entweder nach dem Doppler- oder nach dem Laufzeitdifferenz-Prinzip.

[0004] Beim Laufzeitdifferenz-Prinzip wird die unterschiedliche Laufzeit von Ultraschallimpulsen relativ zur Stömungsrichtung der Flüssigkeit ausgewertet.

[0005] Hierzu werden Ultraschallimpulse sowohl in wie auch entgegen der Strömung gesendet. Aus der Laufzeitdifferenz läßt sich die Fließgeschwindigkeit und damit bei bekanntem Durchmesser des Rohrleitungsabschnitts der Volumendurchfluß bestimmen.

[0006] Beim Doppler-Prinzip wird Ultraschall mit einer beliebigen Frequenz in die Flüssigkeit eingekoppelt und der von der Flüssigkeit reflektierte Ultraschall ausgewertet. Aus der Frequenzverschiebung zwischen dem eingekoppelten und reflektierten Signal läßt sich ebenfalls die Fließgeschwindigkeit der Flüssigkeit bestimmen. Hierzu ist im Puls-/Echo-Betrieb nur ein Ultraschallsensor notwendig.

[0007] Reflexionen in der Flüssigkeit treten jedoch nur auf, wenn Luftbläschen oder Verunreinigungen in dieser vorhanden sind, so daß dieses Prinzip hauptsächlich bei verunreinigten Flüssigkeiten Verwendung findet. Der Ultraschall wird mit Hilfe sogenannter Ultraschallwandler erzeugt bzw. empfangen. Hierfür sind Ultraschallwandler an der Rohrwandung des betreffenden Rohrleitungsabschnitt fest angebracht, z.B. verschweißt. Seit neuerem sind auch Clamp-on-Ultraschall-Meßsysteme erhältlich. Bei diesen Systemen werden die Ultraschallwandler nur noch mit einer Spannverschluß an die Rohrwandung gepreßt.

[0008] Ultraschall Durchfluß- und Ultraschallprüfsensoren für akustische Inspektion sind grundsätzlich bereits bekannt. Eine Vielzahl von Sensoren, so u.a. der Sensor „Prosonic Flow Clamp-On“-Sensor der Anmelderin arbeiten mit Kunststoff als Material für die Brechung eines Schallsignals bei dessen Übergang in eine Rohrwand. In einem Kunststoffkoppellement, wie er beispielsweise in Form von keilförmigen Koppelementen zwischen dem signalerzeugenden Piezokristall und der Rohrwandung genutzt werden, breitet sich die Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur des Kunststoffs mit unterschiedlicher Geschwindigkeit aus.

[0009] Die DE 198 200 208 A1 beschreibt einen piezoelektrischen Schwinger, welcher zusätzlich ein temperaturabhängiges Bauteil in Form eines parallelgeschalteten temperaturabhängigen Widerstandes aufweist. Eine Temperaturkompensation eines Kunststoffkoppelkörpers wird in dieser Druckschrift nicht offenbart. Vielmehr geht es im Kontext dieser Anmeldung um die Ermittlung der Mediumstemperatur. Nachteilig bei dieser Schaltungsanordnung ist, dass die Sendespannung des Ultraschallsignals die Temperaturmessung durch zusätzliche Erwärmung des temperaturabhängigen Widerstandselements negativ beeinflusst. Folglich wird die Ermittlung eines exakten Temperaturwertes durch die Eigenerwärmung des Widerstandselements negativ beeinflusst. Wird an Stelle dessen allerdings ein hoher Widerstand für den temperaturabhängigen Widerstand gewählt so leidet die Messperformance aufgrund des hohen Innenwiderstandes des Widerstandes.

[0010] Ein gattungsgemäßes Ultraschalldurchflussmessgerät wird in der DE 100 57 188 B4 beschrieben. Hier wird eine Spule zur energetischen Entkopplung des Temperaturfühlers vom Ultraschallsignalgeber ermöglicht. Grundsätzlich hat sich der Einsatz einer Spule bewährt. Allerdings können bei einer Spule beispielsweise durch Eigenerwärmung schwankende Widerstandswerte auftreten und Induktivitäten auftreten, welche die Temperaturmessung nicht zwingend negativ beeinflussen, welche sich allerdings im gewissen Umfang auf die Messung des Ultraschallsignals auswirken.

[0011] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es ein Ultraschall-Durchflußmessgerät mit Temperaturkompensation unter Verringerung der vorgenannten Nachteile bereitzustellen, das zudem keine zusätzliche Verkabelung benötigt und die einfach und kostengünstig aufgebaut ist.

[0012] Diese Aufgabe durch ein Ultraschall-Durchflußmeßgerät mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0013] Ein erfindungsgemäßes Ultraschall-Durchflußmeßgerät umfasst mindestens einen Ultraschallwandler (2, 3), der an einem Meßrohr (1) angeordnet ist und der einen Ultraschallschwinger aufweist, eine Meßschaltung (100), die über je eine Anschlußleitung (23, 33) mit dem Ultraschallwandler (2, 3) verbunden ist und die einem Ultraschallschwinger mindestens einen parallel-geschalteten Temperatursensor T1 aufweist, dessen Temperatur während der Ultraschall-Sendepausen in der Meßschaltung (100) und/oder während des Sendens eines Ultraschallwandlers bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet dass der Temperatursensor T1 aus einem temperaturabhängigen Messelement und einem Vorwiderstand zur Begrenzung der

dem temperaturabhängigen Messelement zugeführten Leistung und/oder einer Begrenzungsschaltung mit zumindest zwei elektrischen Bauteilen zur Begrenzung der dem temperaturabhängigen Messelement zugeführten Leistung besteht.

[0014] Vorteilhafte Weiterentwicklungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0015] Insbesondere soll die Temperaturänderung des Kunststoffkoppellements zur Anbindung des Ultraschallsensors an eine Oberfläche – insbesondere eine Rohrwand – durch Ermittlung der Rohrwandungstemperatur und/oder der Mediumstemperatur kompensiert werden.

[0016] Es ist von Vorteil, wenn die elektrischen Bauteile der Begrenzungsschaltung des Temperatursensors T1 zumindest ein Bauteil umfassen, welches ausgewählt ist aus einer Gruppe bestehend aus einer Diode, einem Kondensator, einem Varistor oder einem ohmschen Widerstand.

[0017] Es ist von Vorteil, wenn alle elektrischen Bauteile der Begrenzungsschaltung des Temperatursensors T1 ausgewählt sind aus einer Gruppe bestehend aus einer oder mehreren Dioden, Kondensatoren, Varistoren und/oder ohmschen Widerständen.

[0018] Es ist zudem von Vorteil, wenn das Ultraschalldurchflussmessgerät eine Verarbeitungsschaltung aufweist zur Temperaturkompensation gemessener oder errechneter durchflussbezogener Werte.

[0019] Parallel zum Temperatursensor kann vorteilhaft ein Referenzwiderstand gemessen werden und die Temperatur T des temperaturabhängigen Widerstands aus dem Vergleich der vorgenannten Widerstandswerte gewonnen werden.

[0020] Es ist insbesondere von Vorteil, wenn der Ultraschallwandler einen Kunststoffkörper zur Kopplung der durch den Ultraschallschwinger erzeugten Ultraschallsignale in eine Rohrwandung des Messrohres oder das Medium aufweist, wobei die Temperaturkompensation eine Kompensation der Durchflussmessung hinsichtlich der unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Ultraschallsignals im Kunststoffkörper bei unterschiedlichen Temperaturen umfasst.

[0021] Es ist weiterhin von Vorteil, wenn der Temperatursensor T1 und/oder mehrere temperaturabhängige Widerstände zur räumlich getrennten Detektion der Temperatur eines im Messrohr befindlichen Messmediums oder zur räumlich getrennten Detektion der Temperatur des Messrohres vorhanden sind, die eine feste und/oder lösbare elektrische Verbindung mit dem Ultraschallwandler besitzen.

[0022] Der Temperatursensor weist bewirkt besonders vorteilhaft keine messbare Verfälschung des Ultraschallsignals des Ultraschallschwingers bezüglich der Durchflussmessung bewirkt. Alternativ oder zusätzlich ist es von Vorteil, wenn der Einfluss der Temperaturmess-Schaltung auf die Durchflussmessung nicht messbar ist und/oder der Einfluss durch Kenntnis der Art und Grösse des Effektes kompensiert werden kann

[0023] Die Ultraschallsensoren können vorteilhaft als Clamp-On Sensoren ausgebildet sein.

[0024] Es ist von Vorteil, wenn die Bestimmung der temperaturabhängigen Kennwerte während des Sendepulses über eine zeitgleiche Messung von Impedanz und Phase erfolgt

[0025] Es ist zudem von Vorteil, wenn die Bestimmung der temperaturabhängigen Kennwerte ständig durch einen dem Signal überlagerten Gleichspannungsanteil erfolgt

[0026] Es ist von Vorteil, wenn bei mehreren Sensoren die Bestimmung der Temperatur an unterschiedlichen Positionen in den Sensoren erfolgt.

[0027] Bei der Messung der Temperatur kann vorteilhaft ein Gradient ermittelt werden, der zur Verbesserung der Kompensation und/oder Mediumstemperatur berücksichtigt wird.

[0028] Erfindungsgemäß kann ein vorgenanntes Ultraschalldurchflussmessgerätes zur Ermittlung eines temperaturkompensierten Durchflusses genutzt werden.

[0029] Nachfolgend ist die Erfindung anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

[0030] Fig. 1 schematische Darstellung einer ersten Schaltungsanordnung eines Temperatursensors mit einem Ultraschallschwinger in einem erfindungsgemäßen Ultraschall-Durchflussmessgerät;

[0031] Fig. 2 schematische Darstellung einer zweiten Schaltungsanordnung eines Temperatursensors mit einem Ultraschallschwinger in einem erfindungsgemäßen Ultraschall-Durchflussmessgerät;

[0032] Fig. 3 schematische Darstellung einer dritten Schaltungsanordnung eines Temperatursensors mit einem Ultraschallschwinger in einem erfindungsgemäßen Ultraschall-Durchflussmessgerät;

[0033] Fig. 4 schematische Darstellung einer vierten Schaltungsanordnung eines Temperatursensors mit einem Ultraschallschwinger in einem erfindungsgemäßen Ultraschall-Durchflussmessgerät;

[0034] Fig. 5 schematische Darstellung einer fünften Schaltungsanordnung eines Temperatursensors mit einem Ultraschallschwinger in einem erfindungsgemäßen Ultraschall-Durchflussmessgerät;

[0035] Fig. 6 schematische Darstellung eines an sich bekannten Ultraschall-Durchflussmessgeräts und

[0036] Fig. 7 schematische Darstellung einer Meßschaltung der gattungsgemäßen DE 100 57 188 B4 für ein Ultraschall-Durchflussmessgerät.

[0037] Fig. 8 schematische Darstellung einer sechsten Schaltungsanordnung eines Temperatursensors mit einem Ultraschallschwinger in einem erfindungsgemäßen Ultraschall-Durchflussmessgerät;

[0038] Fig. 9 schematische Darstellung eines Ultraschall-Durchflussmessgeräts mit zwei unterschiedlich angeordneten Temperatursensoren

[0039] Fig. 10 schematische Darstellung einer siebten Schaltungsanordnung eines Temperatursensors mit einem Ultraschallschwinger in einem erfindungsgemäßen Ultraschall-Durchflussmessgerät;

[0040] Fig. 11 zeigt eine Ergänzung des Frequenz-Generators aus Fig. 7

[0041] Fig. 6 zeigt in stark vereinfachter Darstellung ein Ultraschall-Durchflussmessgerät mit zwei Ultraschallwandler **2**, **3**, die auf der Außenwandung einer Rohrleitung **1** achsparallel versetzt angeordnet sind. Die Flüssigkeit **F** in der Rohrleitung **1** fließt in Pfeilrichtung.

[0042] Dieses Wandlerpaar, Ultraschallwandler **2**, **3**, kann auf zwei unterschiedliche Weisen betrieben werden. Entweder wirkt der Ultraschallwandler **2** als Sendewandler und der Ultraschallwandler als **3** als Empfängerwandler oder der Ultraschallwandler **2** als Empfängerwandler und der Ultraschallwandler **3** als Sendewandler, wodurch abwechselnd in Strömungsrichtung bzw. entgegen der Strömungsrichtung gemessen wird.

[0043] Jeder Ultraschallwandler **2**, **3** weist ein keilförmiges Koppelement **21** bzw. **31** das die Ultraschallsignale unter einem von 90° verschiedenen Winkel α entweder in die Wandung der Rohrleitung ein- bzw. auskoppelt werden. Der Winkel α ist so gewählt, daß das an der gegenüberliegenden Wandung der Rohrleitung **1** reflektierte Signal auf den jeweils anderen Ultraschallwandler trifft.

[0044] Die Ultraschallwandler **2**, **3** weisen jeweils Ultraschallschwinger **P2** bzw. **P3** auf, die elektrischen Impulse in mechanische Schwingungen, die eigentlichen Ultraschallsignale, umwandeln oder mechani-

sche Schwingungen in elektrische Impulse umwandeln.

[0045] Beide Ultraschallwandler **2**, **3** sind jeweils über Anschlußleitungen **23** bzw. **33** mit einer Meßschaltung **100** verbunden. Über diese Anschlußleitungen **23**, **33** werden die elektrischen Impulse geführt.

[0046] Fig. 7 zeigt eine gattungsgemäße Meßschaltung **100** als Blockschaltbild.

[0047] Die Meßschaltung **100** besteht aus einem Mikrocontroller **M**, einer Sendeeinheit **S**, einer Empfangereinheit **E**, einem Frequenz-Generator **F** sowie zwei Analog-Digitalwandler **A/D1** bzw. **A/D2** einer Anzeigeeinheit **D** und einem I/O-Modul **I/O**. Der Mikrocontroller **M** ist mit dem Frequenzgenerator **F** verbunden. Vom Frequenzgenerator **F** führt eine Verbindungsleitung **L3** zu der Sendeeinheit **S**. Die Sendeeinheit **S** ist über zwei Verbindungsleitungen **L4** bzw. **L5** mit der Empfangereinheit **E** verbunden. Von den Verbindungsleitungen **L4** bzw. **L5** führen zwei Anschlußleitungen **23** bzw. **33** jeweils zu den beiden Ultraschallwandler **2** bzw. **3**. Zwei Ausgänge **A1** bzw. **A2** der Empfangereinheit **E** sind jeweils mit den **A/D**-Wandlern **A/D1** bzw. **A/D2** verbunden. Zur Anzeige des Meßwertes dient die Anzeigeeinheit **D**, die ebenfalls mit dem Mikrocontroller **M** verbunden ist. Über ein I/O-Modul **I/O** ist die Meßschaltung **100** mit einer zentralen Steuereinheit, die nicht näher dargestellt ist verbunden. Der Mikrocontroller steuert über fünf Steuerleitungen **SL1**, **SL2**, **SL3**, **SL4**, **SL5** jeweils 5 Schalter **S1**, **S2**, **S3**, **S4**, **S5** an.

[0048] Die Schalter **S1**, **S2**, **S3** und **S4** werden kreuzweise geschaltet, so daß entweder der eine Ultraschallwandler **2** als Sendewandler und der Ultraschallwandler **3** als Empfängerwandler bzw. umgekehrt dient. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf die Darstellung der Spannungsversorgung der einzelnen Blöcke verzichtet.

[0049] Im folgenden ist der Ultraschallwandler **2** näher beschrieben.

[0050] Parallel zum Ultraschallschwinger **P2** ist ein Temperaturmessschaltung **T1** geschaltet. Die Temperaturmessschaltung bzw. der Temperatursensor **T1** besteht aus einem temperaturabhängigen Mess-element in Form eines Widerstandes R_T und einer Spule **L**, die in Reihe geschaltet sind. Der ohmsche Widerstand der Spule **L** ist als separater Widerstand R_L dargestellt.

[0051] Über den Schalter **S5** kann auf einen Referenzwiderstand R_{ref} umgeschaltet werden.

[0052] Der Schalter **S5** ist über einen zweiten Verstärker **V2** mit dem **A/D**-Wandler **A/D1** verbunden

bzw. über einen Widerstand R_A mit einer Referenzspannung U_{ref} .

[0053] In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann eine Konstantstromquelle mit dem Verstärker V2 verbindbar sein. Über den Schalter kann die Konstantstromquelle zugeschaltet werden.

[0054] Alternativ oder zusätzlich zur Konstantstromquelle kann der Frequenzgenerator F zusätzlich einen Gleichspannungsgenerator umfassen.

[0055] Alternativ zu einem oder mehreren der vorgenannten temperaturabhängigen Widerstand R_T kann das temperaturabhängige Messelement als ein Thermoelement ausgebildet sein.

[0056] Der Ultraschallwandler 3 besteht bei allen nachfolgenden Ausführungsbeispielen nur aus dem Ultraschallschwinger P3.

[0057] Aus Redundanzgründen kann der Ultraschallwandler 3 identisch zum Ultraschallwandler 2 ausgebildet sein. In diesem Fall stünden zwei unabhängige Temperatursignale für die Auswertung zur Verfügung.

[0058] Durch Mittelwertbildung könnte dadurch ein genauerer Temperaturmeßwert gewonnen werden. Oder jeder Sensor einzeln entsprechend seiner Temperatur z.B. in der Laufzeit im Koppellement und/oder Rohrwand kompensiert werden.

[0059] Bei unterschiedlicher geometrischer Anordnung der Temperaturfühler könnte auch ein Temperaturgradient bestimmt werden, über den genauer auf die Mediumtemperatur – bei gleichzeitiger Kompensation von thermisch bedingten Einflüssen – geschlossen werden kann.

[0060] Außerdem hätte der Ausfall eines der beiden Temperaturmessschaltungen auf die Temperaturmessung keinen wesentlichen Einfluß.

[0061] Nachfolgend ist die Funktionsweise gattungsgemäßen Messschaltung näher erläutert.

[0062] Mit Hilfe des Frequenzgenerators F und der Sendestufe S werden Bursts von elektrischen Spannungsimpulsen erzeugt. Die Frequenz der Impulse liegt zwischen 50 kHz und 10 MHz. Ein Burst dauert etwa 0.2 μ s bis 200 μ s, so daß ein Burst aus etwa 2 bis 10 Wellenzügen besteht. Diese Bursts werden z.B. an den Ultraschallwandler 2 weitergeleitet, der dann als Sendewandler dient.

[0063] Arbeitet der Ultraschallwandler 3 als Empfängerwandler so besteht keine Verbindung mit der Sendeeinheit S. Die vom Ultraschallschwinger P3 empfangenen Ultraschallsignale werden in elektri-

sche Impulse umgewandelt und über einen Verstärker V1 in der Empfängerstufe E und dem A/D-Wandler A/D2 dem Mikrocontroller M zu Auswertung zugeführt.

[0064] Im Sendebetrieb, d.h. wenn Burst (Ultraschallspannungssignale) erzeugt werden, ist der Schalter S1 geschlossen und der Schalter S3 geöffnet. Es erfolgt keine Temperaturmessung mit dem Ultraschallwandler 2. Aufgrund der Impedanz der Spule L (470 μ H, $\sim$ 3000 Ω Frequenz 1 MHz), die viel größer als die des Ultraschallschwingers P2 (10 – 80 Ω) ist, fließt über den Temperatursensor T1 kein das Ultraschall-Signal störender Strom.

[0065] Zur Temperaturmessung wird der Sendebetrieb unterbrochen (Ultraschall-Meßpausen) und der Schalter S1 geöffnet und der Schalter S3 geschlossen. Aus der bekannten Temperaturabhängigkeit des Widerstandes R_T und dem bekannten Widerstandswert des Widerstandes R_L sowie dem Referenzwiderstand R_{ref} und dem Widerstand R_A kann die Temperatur T der Flüssigkeit F bestimmt werden. Das Ultraschallschwinger P2 beeinflusst die Messung nicht, da es nur als Kondensator wirkt und keinen Einfluß auf den Gleichstrom hat.

[0066] Dadurch kann die Temperatur T der Flüssigkeit F sehr genau und einfach bestimmt werden und die Temperaturabhängigkeit des Durchflusses ausgeglichen werden. Die hierfür notwendigen Berechnungen werden im Mikrocontroller M durchgeführt.

[0067] Der Meßwert für den Massedurchfluß hängt somit nicht mehr von der Temperatur der Flüssigkeit F ab.

[0068] Im Prinzip wird die Temperatur der Rohrleitung 1 bestimmt, die aber im Wesentlichen der Temperatur der Flüssigkeit F entspricht.

[0069] Mit dem in Fig. 7 beschriebenen Ultraschall-Durchflußmeßgerät kann in einfacher Weise die Temperatur der Flüssigkeit F bestimmt werden und damit ihren Einfluß bei der Bestimmung des Durchflusses berücksichtigt werden.

[0070] Problematisch ist allerdings die Eigeninduktivität der mit R_L und L dargestellten Spule. Es wurde allerdings beobachtet, dass sich der Einsatz der Spule insgesamt negativ auf die Durchfluss- und ggf. bei geringen Abstand der elektrischen Bauteile auch auf die Temperaturmessung auswirkt.

[0071] Ebenfalls wurde bei einer asymmetrischen Messung der Temperatur in nur einem Durchflusssensor ein größerer Einfluss der Induktivität auf das Ultraschall-Messsignal beobachtet, als bei elektrisch symmetrischer Ausführung.

[0072] Im Unterschied zu der in **Fig. 7** dargestellten Schaltungsanordnung erreicht die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung dass diese negativen Einflüsse vermieden werden, indem anstelle der Spule im Temperatursensor eine Begrenzungsschaltung zur Begrenzung der dem temperaturabhängigen Messelement – insbesondere dem temperaturabhängigen Widerstand – zugeführten Leistung vorgesehen ist.

[0073] Eine derartige Begrenzungsschaltung umfasst zumindest zwei über eine oder mehrere Leitungen miteinander verbundene elektrische Bauelemente mit einem Innenwiderstand.

[0074] Zumindest eines der elektrischen Bauteile, vorzugsweise jedoch alle elektrischen Bauteile der Begrenzungsschaltung, umfassen insbesondere Dioden, ohmsche Widerstände (unabhängig von der Leitung) und/oder Kondensatoren.

[0075] Alternativ oder zusätzlich zu einer Begrenzungsschaltung kann im Temperatursensor ein Vorwiderstand vor dem eigentlichen temperaturabhängigen Messelement angeordnet sein.

[0076] Parallel zur Anordnung aus Begrenzungsschaltung und/oder Vorwiderstand und dem temperaturabhängigen Messelement ist – wie auch im Stand der Technik – ein ultraschallerzeugendes Ultraschallschwinger angeordnet.

[0077] In den **Fig. 1–Fig. 5** dargestellten vorteilhaften Ausführungsvarianten sind jeweils Ausschnitte der in **Fig. 7** dargestellten Schaltung zu verstehen, bei welcher jeweils die Anordnung aus Spule, thermischen Widerstand und Ultraschallschwinger ersetzt wurde. Zur besseren Übersichtlichkeit wurde auf eine Darstellung der gesamten Schaltung verzichtet.

[0078] Die in **Fig. 1–Fig. 5** dargestellten bevorzugten Ausführungsvarianten der erfindungsgemäßen Lösung ermöglichen gegenüber der Schaltungsanordnung der **Fig. 7** insgesamt eine bessere Messperformance der Ultraschalldurchflussmessung und eine exaktere Temperaturkompensation.

[0079] **Fig. 1** zeigt ausschnittsweise eine erste erfindungsgemäße Schaltungsanordnung eines erfindungsgemäßen Ultraschalldurchflussmessgerätes. Im hierbei dargestellten Ausschnitt ist ein Ultraschallschwinger „Piezo“ und ein temperaturabhängiges Messelement R_{therm} , hier ein thermischer Widerstand zur Ermittlung der Messrohr- und/oder Mediumtemperatur, zueinander parallel geschaltet. Weiterhin parallel zu dem thermischen Widerstand R_{therm} sind zwei Dioden D1 und D2 angeordnet. Der Parallelanordnung R_{therm} , D1 und D2 ist – ebenfalls parallel zum Ultraschallschwinger – ein Vorwiderstand R_{Schutz} geschaltet.

[0080] Die Spannung über den Dioden D1 und D2 zum Messen des Widerstandes R_{therm} sollte vorzugsweise unter der Durchbruchspannung der Dioden liegen. Der temperaturabhängige Widerstand R_{therm} ist so vor der Sendespannung U_{Sende} , die mehr als 100 V betragen kann, ausreichend geschützt. Die Leistung P in einem Widerstand beträgt

$$P = \frac{U^2}{R}$$

[0081] Ausgehend von einem PT 1000 Widerstand bzw. Widerstandselement beträgt die Leistung in diesem bei 100 V Sendespannung

$$P = \frac{(100V)^2}{1000\Omega} = 10W$$

[0082] Da bei der Ultraschalldurchflussmessung mit Puls Paketen gearbeitet wird und das Puls-/Pausen Verhältnis typischerweise < 1:100 ist beträgt das zeitliche Mittel der Leistung über dem PT1000 weniger also $10W / 100 = 0.1W$. Diese Leistung würde ohne elektrische Entkopplung des PT1000 Widerstandselements vom ultraschallerzeugenden Ultraschallschwinger zu einer messbaren Eigenerwärmung des temperaturabhängigen Widerstandselements führen und die Temperaturmessung verfälschen.

[0083] Eine Eigenerwärmung des Widerstandselements wird allerdings durch die in **Fig. 1** dargestellte Begrenzungsschaltung aus dem Vorwiderstand des Widerstandselements bzw. vorgeschalteten ohmschen Widerstand und den zum Widerstandselement parallelgeschalteten Dioden vermieden.

[0084] Der Vorteil dieser Anordnung liegt insbesondere darin, dass die Dioden einen nichtlinearen Widerstand haben und ab einem charakteristischen Strom einen nahezu festen Spannungsabfall aufweisen und der Strom dazu überproportional steigt. Daher kann unabhängig davon, ob eine Sende-Spannung nur 10 Volt oder mehrere Kilovolt beträgt ist die Spannung der Dioden je nach Verschaltungsrichtung auf einen festen Wert, beispielsweise +0,7V oder –0,7V begrenzt. Schwankende Spannungswerte im Bereich einer hohen Versorgungsspannung – wie dies bei einer Spule auftritt – treten bei dieser Schaltung nicht auf.

[0085] **Fig. 2** zeigt eine Variante bei der zur Messung des temperaturabhängigen Messelements – hier dem Widerstandes R_{therm} – mit einem parallel zum thermischen Widerstandselement angeordneten Kondensator C_{Schutz} und einem in Reihe zu der Parallelanordnung angeordneten Vorwiderstand R_{Schutz} . Eine AC-Spannung kann zur Ultraschallmessung angelegt

werden. Ein weiterer Vorteil ist ein größerer Temperaturbereich als nach **Fig. 1**, da keine Halbleiter verwendet werden. Und passive Bauelemente wie Ultraschallschwinger, Widerstände und Kondensatoren in größeren Temperaturbereichen eingesetzt werden können. Durch die Bereitstellung des Kondensators können Schwankungen der Leistung vermieden werden, die Temperaturmessung erfolgt mit höherer Genauigkeit und die Ultraschallmessung wird – im Vergleich zur Einbeziehung einer Spule – geringer beeinflusst.

[0086] Mit der Elektronik kann insbesondere eine mit der Ausgangsspannung überlagerte DC Spannung erzeugt werden, die in den Pulspausen gemessen werden kann.

[0087] In Erweiterung der Schaltung aus **Fig. 7** könnte direkt eine digitale, temperaturabhängige Ausgangsspannung zur Verfügung gestellt werden, die einen Teil der Aufgaben der Messschaltung in den Sensor verschoben hat, vorzugsweise durch Umschaltung, Verstärkung, AD-Wandlung und Umwandlung zu einer weiter verarbeitbaren Temperaturinformation.

[0088] **Fig. 3** zeigt eine Schaltung mit einem Vorwiderstand R_{Schutz2} einem in Reihe dazu angeordneten temperaturabhängigen Messelement – hier dem temperaturabhängigen Widerstand R_{therm3} . Durch Kenntnis der des Gesamtwiderstandes ($R_{\text{Schutz2}} + R_{\text{therm3}}$) bei bestimmten Temperaturen lässt sich diese über Interpolation aus den aktuellen gemessenen Widerständen die Temperatur ermitteln.

[0089] Die Leistung in R_{therm3} wird durch den Schutzwiderstand R_{Schutz2} auf einen geringeren Wert reduziert. Das Widerstandsverhältnis R_{therm3} zu R_{Schutz2} ist bevorzugt für z.B. 20°C 1:1 bis 1:100. Somit wird die Eigenerwärmung auf ein ausreichendes Maß reduziert. Der Schutzwiderstand weist bevorzugt eine geringe thermische Änderung, wie z.B. auf und ist so im Sensor angeordnet, dass dessen Erwärmung den Temperaturfühler nur gering beeinflusst (z.B. < 0.5 K) und **Fig. 10**. Der Messwiderstand ist im Sensor so angeordnet, dass die Information über das zu messende Bauteil (hier der Vorlaufkörper) repräsentativ dargestellt werden kann, z.B. nahe am Schallstrahl oder in einem Punkt nahe der Oberfläche des akustisch zu messenden Rohres.

[0090] Der Vorteil dieser Anordnung liegt insbesondere darin, dass der Vorwiderstand einen stets gleichbleibenden Widerstandswert aufweist. Dieser Widerstandswert bleibt konstant bei veränderlichen Frequenzwerten oder veränderlicher Temperatur dieses Vorwiderstandes. Der Vorwiderstand beträgt dabei vorzugsweise mehr als 100 Ohm, insbesondere mehr als 1 kOhm, insbesondere mehr als 50 kOhm.

[0091] Die in **Fig. 4** und **Fig. 5** dargestellten Schaltungsanordnungen erlauben es durch mehrere miteinander verschaltete Widerstandselemente eine Mehrpunktmessung durchzuführen, was insbesondere eine Temperaturprofilbestimmung ermöglicht. Dies ist Ultraschallsensoren mit großflächigen Koppellementen von Vorteil, um lokale Temperaturdifferenzen des Mediums zu kompensieren oder um eine durch Vergleichsmessung den Ausfall eines Messelements zu detektieren.

[0092] **Fig. 4** zeigt eine definitionsgemäße Begrenzungsschaltung welche einen Vorwiderstand R_{Schutz2} und einen temperaturabhängigen Widerstand R_{therm5} umfasst. Zu diesem temperaturabhängigen Widerstand R_{therm5} ist ein temperaturabhängiges Messelement in Form eines weiteren Widerstands R_{therm4} parallelgeschaltet.

[0093] **Fig. 5** zeigt drei in Reihe geschaltete temperaturabhängigen Widerständen $R_{\text{therm6-8}}$, die parallel zu dem Ultraschallschwinger „Piezo5“ geschaltet sind. Dabei sind die eingangsspannungsseitig ersten beiden temperaturabhängigen Widerstände als Begrenzungsschaltung für den thermischen Widerstand R_{therm8} zu verstehen. Die mit den ersten beiden Widerständen ermittelten Temperaturmesswerte sind weit weniger zuverlässig als der T-messwert des dritten Widerstandes – sie ermöglichen allerdings eine Abschätzung bezüglich der Temperaturverteilung im Medium und gewährleisten eine weniger Aufrechterhaltung der Temperaturkompensationsfunktion des Ultraschalldurchflussmessgerätes, für den Fall eines Ausfalls des dritten Widerstandselements R_{therm8} .

[0094] Die in **Fig. 4** und **Fig. 5** dargestellten Schaltungsanordnungen erlauben daher die Mittelung oder ggf. auch eine gewichtete Mittelung der Temperaturmesswerte, eine Temperaturgradientenmessung bei Messung großer Volumina oder eine Mehrpunktmessung im Fall eines im oder vor dem Messrohr des Ultraschalldurchflussmessgerätes angeordneten Vorlaufkörpers.

[0095] Die in **Fig. 5** gezeigte Schaltungsvariante mit mehreren temperaturempfindlichen Widerständen, kann durch ihre Anzahl an Widerständen die eingebrachte Leistung pro Messpunkt soweit reduzieren, dass die mittlere Temperatur in der gewünschten Genauigkeit bestimmt werden kann.

[0096] **Fig. 10** stellt eine thermisch kompensierte Schutzschaltung dar, die aus einer Schutzschaltung mit 2 Schutzwiderständen mit unterschiedlichen Temperaturkoeffizienten (z.B. R_{Schutz5} Kohleschicht (-200ppm/K) und R_{Schutz6} Metallfilm-Widerstand (+50 ppm/K)) besteht. Die beiden Schutzwiderstände sind thermisch gekoppelt. Sie weisen ein Widerstandsverhältnis auf, so das bei einer Temperaturänderung die Summe beider Widerstände konstant bleibt. Z.B.

$R_{\text{Schutz5}} = R_{\text{Schutz6}} \cdot 50/200$. Somit hat die Eigenerwärmung der Schutzwiderstände selbst bei einem hohen Widerstandsverhältnis von $(R_{\text{Schutz5}} + R_{\text{Schutz6}})/R_{\text{therm10}}$ keinen Einfluss auf die Temperaturmessung und die Temperatur am gewünschten Ort im Sensor kann präzise bestimmt werden.

[0097] In **Fig. 8** ist zum Schutz der Temperatursensors R_{therm9} zusätzlich zum Schutzwiderstand R_{Schutz4} ein sogenannter Varistor U4 mit spannungsabhängigem Widerstand eingesetzt. Ab einer gewünschten Spannung steigt der Strom durch den Varistor überproportional und schützt so den Temperatursensor. Die Ansprechzeit des Varistors beträgt typisch unter 25 nsec, so dass dadurch kein zusätzlicher negativer Effekt auftritt. Die Eigenkapazität des Varistors stellt einen zusätzlichen Schutz bei den Frequenzen der Ultraschalldurchfluss-Messung dar.

[0098] Der Varistor besteht vorzugsweise aus einer Metalloxidschicht – heutzutage häufig ZnO – und ist in verschiedensten kostengünstigen Ausführungen erhältlich. Er hat eine sehr kurze Ansprechzeit und hat einen spannungsabhängigen Widerstand und eine dazu parallele Kapazität. Die Beeinflussung der Durchflussmessung kann bei symmetrischem elektrischem Aufbau in jedem Sensor geringer gehalten werden

[0099] Ebenfalls ist es möglich wie in **Fig. 4** eine räumliche Verteilung der Widerstände so zu wählen, dass die Information über die Temperatur möglichst optimal den Effekt im Sensor erfasst, z.B. symmetrisch um den Schallstrahl oder im Sensorkörper verteilt. Eine Ermittlung der Temperatur an unterschiedlichen Positionen eines Ultraschallwandlers ist beispielsweise in **Fig. 9** dargestellt.

[0100] Hier kann auch eine Gewichtung verschiedener Bereiche durch unterschiedliche Arten erreicht werden:

- A) Geometrisch durch die Erhöhung der „Dichte“ der Fühler-Widerstände in einer bestimmten Zone im Kunststoff oder
- B) Elektrisch durch das Verhältnis der Widerstände bei gleicher Temperatur untereinander. Also z.B.
 $R_{\text{therm6}}:R_{\text{therm7}}:R_{\text{therm8}} = 1000\text{Ohm}:1500\text{Ohm}:100\text{ Ohm}$

[0101] In **Fig. 10** ein Temperatursensor mit einer Begrenzungsschaltung aus zwei parallel-geschalteten Schutzwiderständen abgebildet. Diese Schutzwiderstände weisen unterschiedliche Temperaturkoeffizienten auf. Beispielsweise kann es sich bei den Schutzwiderständen um einen Kohleschicht-(-200 ppm/K) und Metallfilm-Widerstand (+50ppm/K)) handeln. Die beiden Schutzwiderstände sind vorzugsweise thermisch gekoppelt. Sie weisen ein Widerstandsverhältnis auf, so das bei einer Temperatur-

änderung die Summe beider Widerstände konstant bleibt.

[0102] Die in **Fig. 11** gezeigte Ergänzung des Frequenzgenerators ermöglicht die Bestimmung der Impedanz und Phase des Wandlers während und/oder unabhängig von dem Sendepuls. Der Frequenzgenerator kann dabei verschiedene Ausgangsspannungen auch unter 0.7V mit variabler Frequenz erzeugen. Ebenfalls ist die Erzeugung eines permanenten, der Ultraschallsendespannung überlagerten, Gleichspannungsanteils möglich. Diese Schaltung kann alternativ und / oder ergänzend zur Messung der Temperatur über den Pfad mit S5, V2 und A/D1 in **Fig. 7** benutzt werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 198200208 A1 [0009]
- DE 10057188 B4 [0010, 0036]

Patentansprüche

1. Ultraschall-Durchflußmeßgerät mit mindestens einem Ultraschallwandler (2, 3), der an einem Meßrohr (1) angeordnet ist und der einen Ultraschallschwinger aufweist, eine Meßschaltung (100), die über je eine Anschlußleitung (23, 33) mit dem Ultraschallwandler (2, 3) verbunden ist und die mindestens einen zu einem Ultraschallschwinger parallelgeschalteten Temperatursensor T1 aufweist, dessen Temperatur während der Ultraschall-Sendepausen in der Meßschaltung (100) und/oder während des Sendens eines Ultraschallwandlers bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet dass der Temperatursensor T1 aus einem temperaturabhängigen Messelement und einem Vorwiderstand zur Begrenzung der dem temperaturabhängigen Messelement zugeführten Leistung und/oder einer Begrenzungsschaltung mit zumindest zwei elektrischen Bauteilen zur Begrenzung der dem temperaturabhängigen Messelement zugeführten Leistung besteht.

2. Ultraschall-Durchflußmeßgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die elektrischen Bauteile der Begrenzungsschaltung des Temperatursensors T1 zumindest ein Bauteil umfassen, welches ausgewählt ist aus einer Gruppe bestehend aus einer Diode, einem Kondensator, einem Varistor oder einem ohmschen Widerstand.

3. Ultraschall-Durchflussmessgerät nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß alle elektrischen Bauteile der Begrenzungsschaltung des Temperatursensors T1 ausgewählt sind aus einer Gruppe bestehend aus einer oder mehreren Dioden, Kondensatoren, Varistoren und/oder ohmschen Widerständen.

4. Ultraschall-Durchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ultraschalldurchflussmessgerät eine Verarbeitungsschaltung aufweist zur Temperaturkompensation gemessener oder errechneter durchflussbezogener Werte.

5. Ultraschall-Durchflußmeßgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß parallel zum Temperatursensor ein Referenzwiderstand gemessen wird und die Temperatur T des temperaturabhängigen Widerstands aus dem Vergleich der vorgenannten Widerstandswerte gewonnen wird.

6. Ultraschall-Durchflußmeßgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Ultraschallwandler einen Kunststoffkörper zur Kopplung der durch den Ultraschallschwinger erzeugten Ultraschallsignale in eine Rohrwandung des Messrohres oder das Medium aufweist, wobei die Temperaturkompensation eine Kompen-

sation der Durchflussmessung hinsichtlich der unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Ultraschallsignals im Kunststoffkörper bei unterschiedlichen Temperaturen umfasst.

7. Ultraschall-Durchflußmeßgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Temperatursensor T1 und/oder mehrere temperaturabhängige Widerstände zur räumlich getrennten Detektion der Temperatur eines im Messrohr befindlichen Messmediums oder zur räumlich getrennten Detektion der Temperatur des Messrohres vorhanden sind, die eine feste und/oder lösbare elektrische Verbindung mit dem Ultraschallwandler besitzen.

8. Ultraschall-Durchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Temperatursensor keine messbare Verfälschung des Ultraschallsignals des Ultraschallschwingers bezüglich der Durchflussmessung bewirkt und / oder dass der Einfluss der Temperaturmess-Schaltung auf die Durchflussmessung nicht messbar ist und/oder der Einfluss durch Kenntnis der Art und Größe des Effektes kompensiert werden kann

9. Ultraschall-Durchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das die Ultraschallsensoren in Clamp-On Ausführung ausgestaltet sind

10. Ultraschall-Durchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestimmung der temperaturabhängigen Kennwerte während des Sendepulses über eine zeitgleiche Messung von Impedanz und Phase erfolgt

11. Ultraschall-Durchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestimmung der temperaturabhängigen Kennwerte ständig durch einen dem Signal überlagerten Gleichspannungsanteil erfolgt

12. Ultraschall-Durchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei mehreren Sensoren die Bestimmung der Temperatur an unterschiedlichen Positionen in den Sensoren erfolgt.

13. Ultraschall-Durchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Messung der Temperatur ein Gradient ermittelt wird, der zur Verbesserung der Kompensation und/oder Mediumstemperatur berücksichtigt wird.

14. Verwendung eines Ultraschalldurchflussmessgerätes nach einem der vorhergehenden Ansprüche

che zur Ermittlung eines temperaturkompensierten
Durchflusses.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

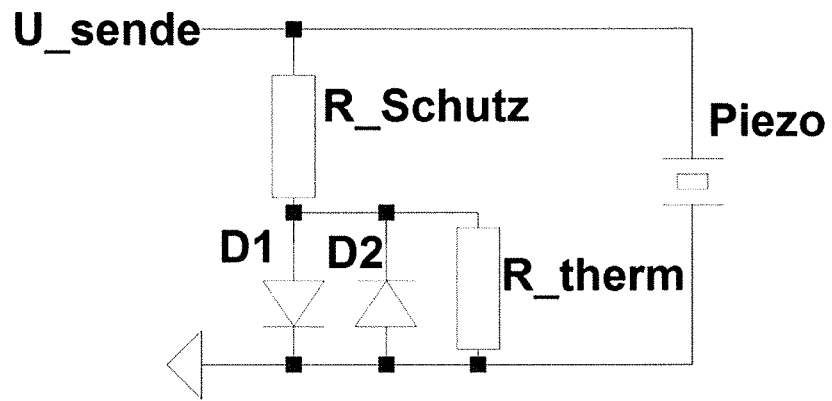


Fig. 1

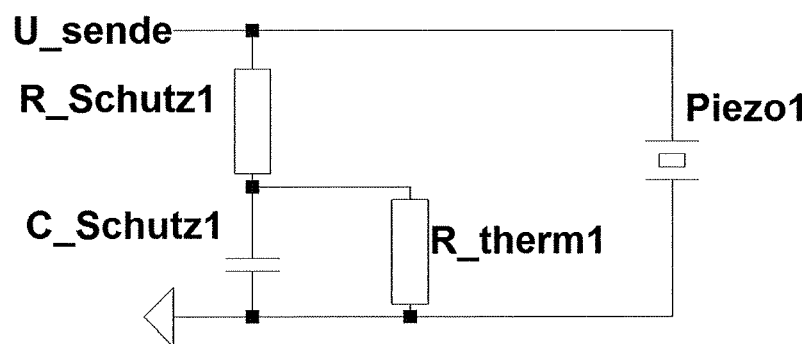


Fig. 2

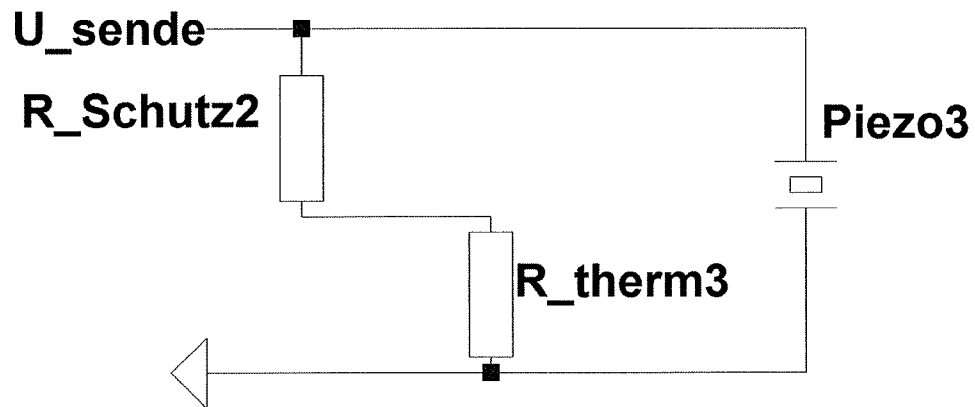


Fig. 3

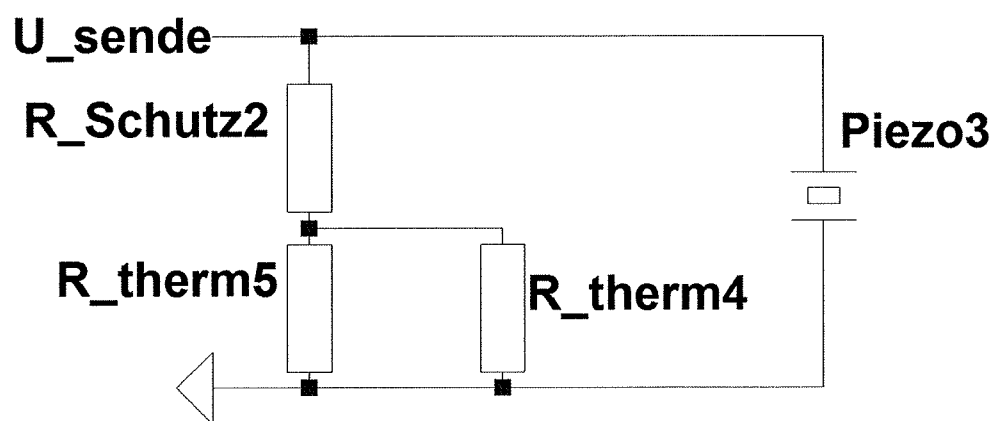


Fig. 4

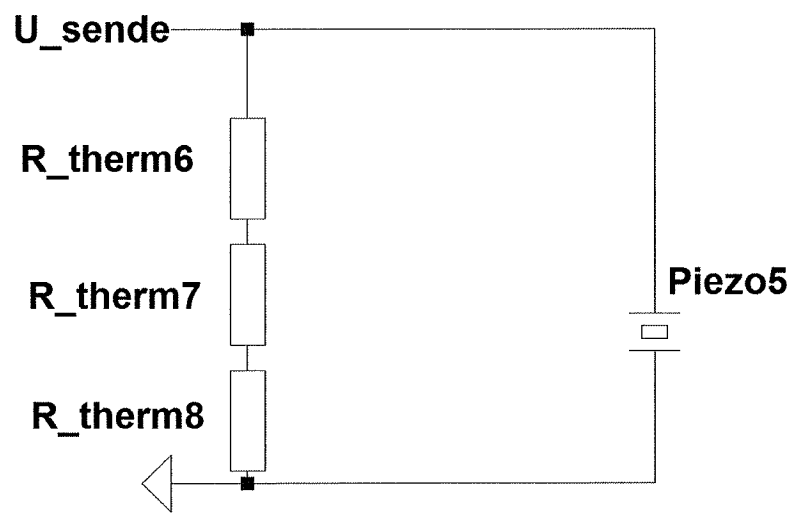
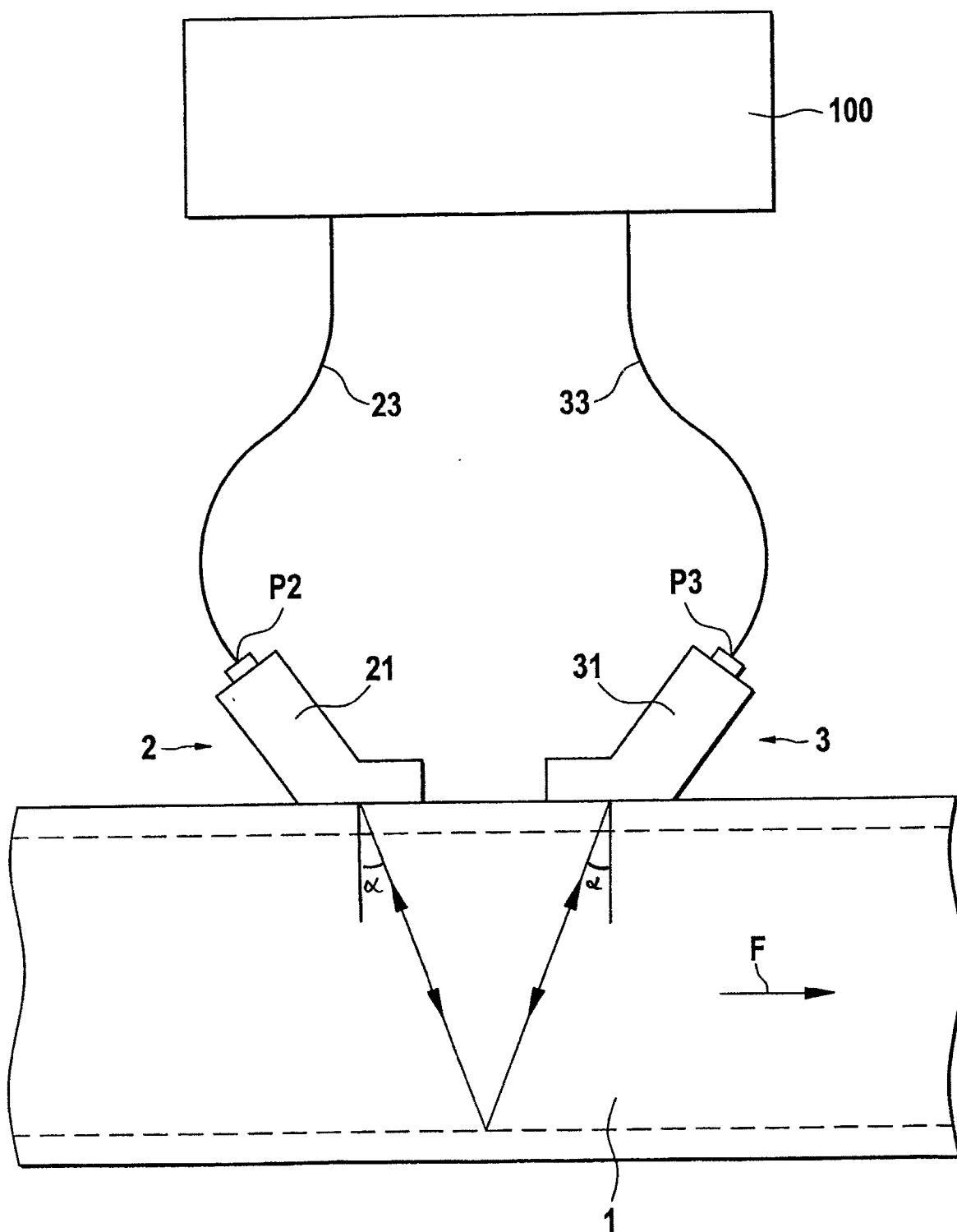
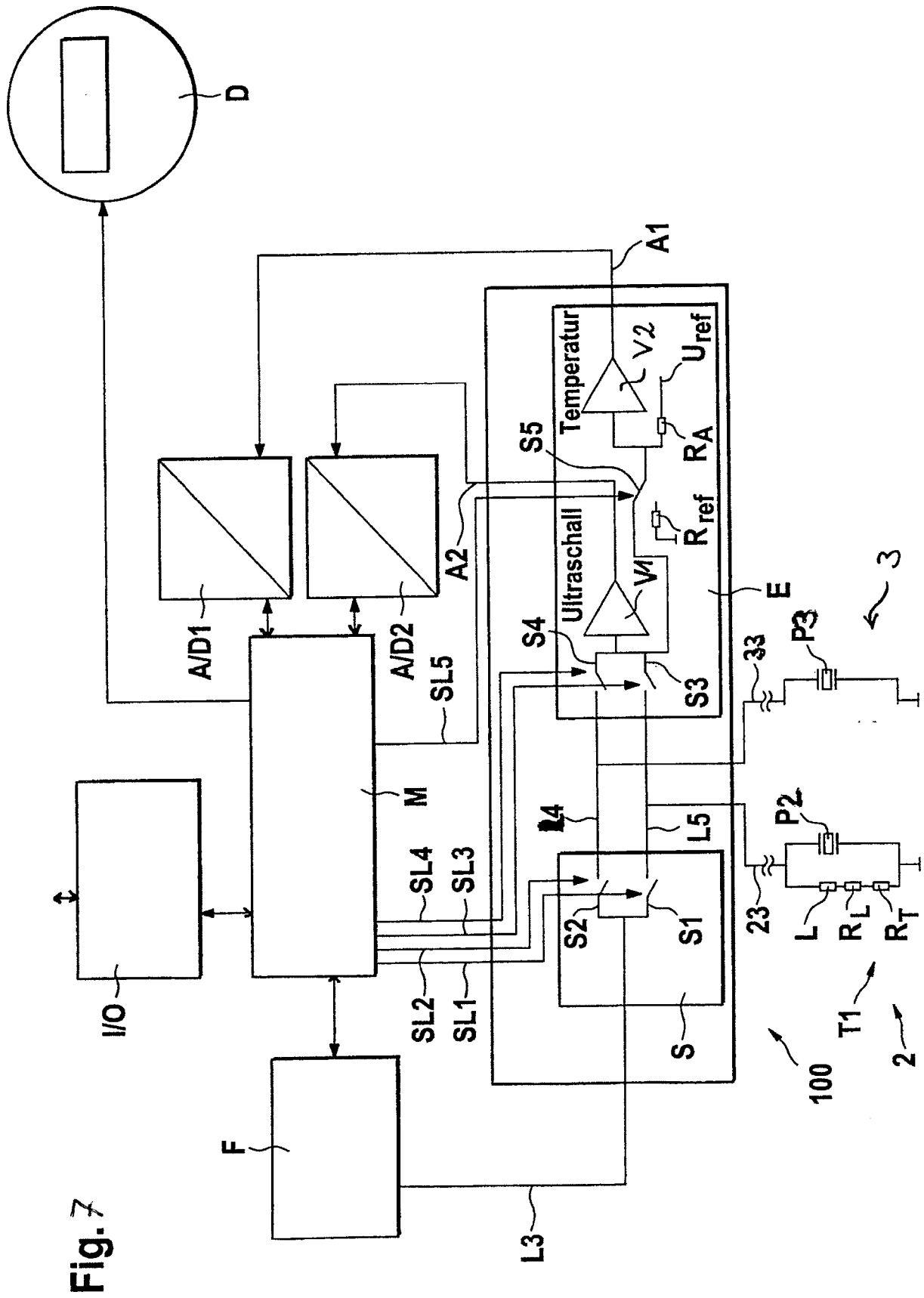


Fig.5

Fig. 6





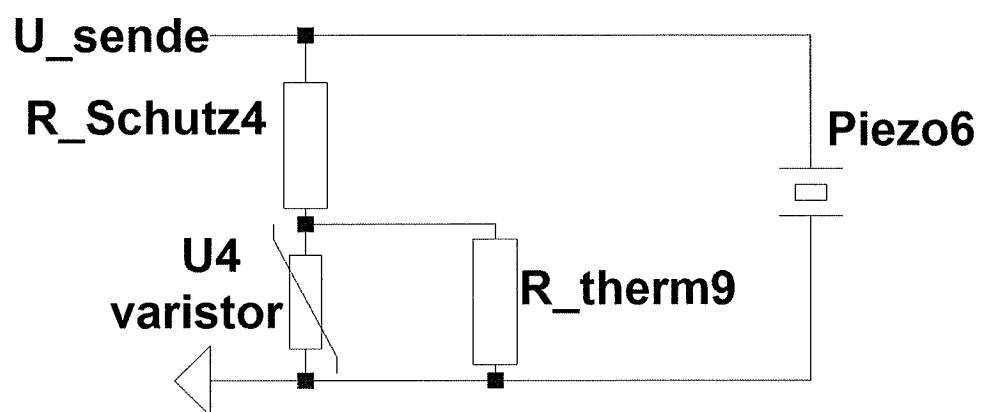


Fig. 8

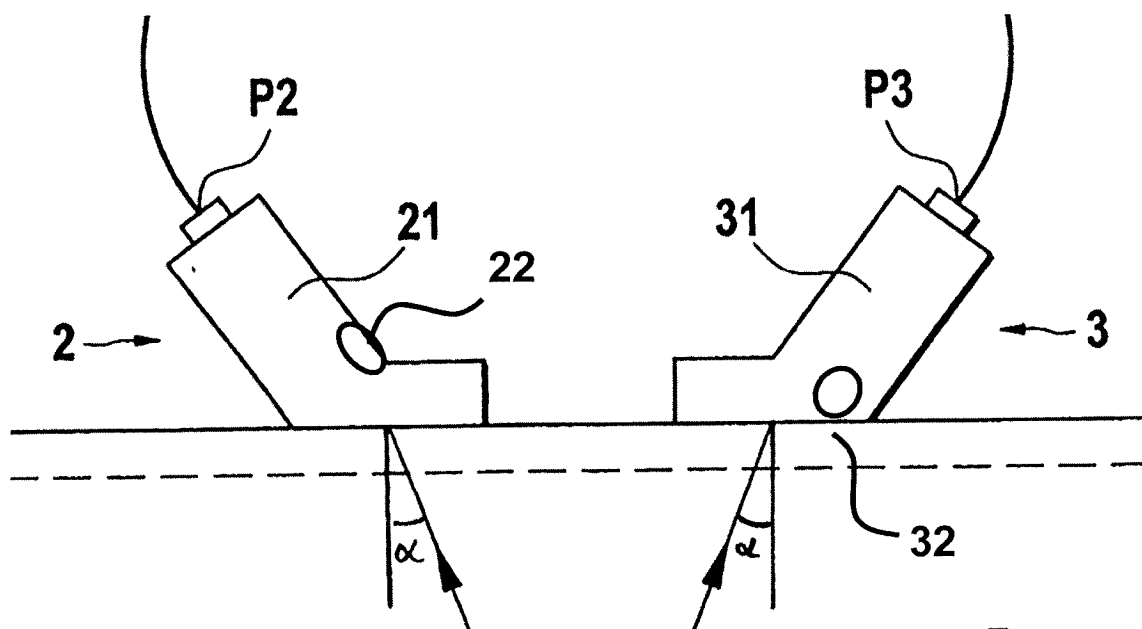


Fig. 9

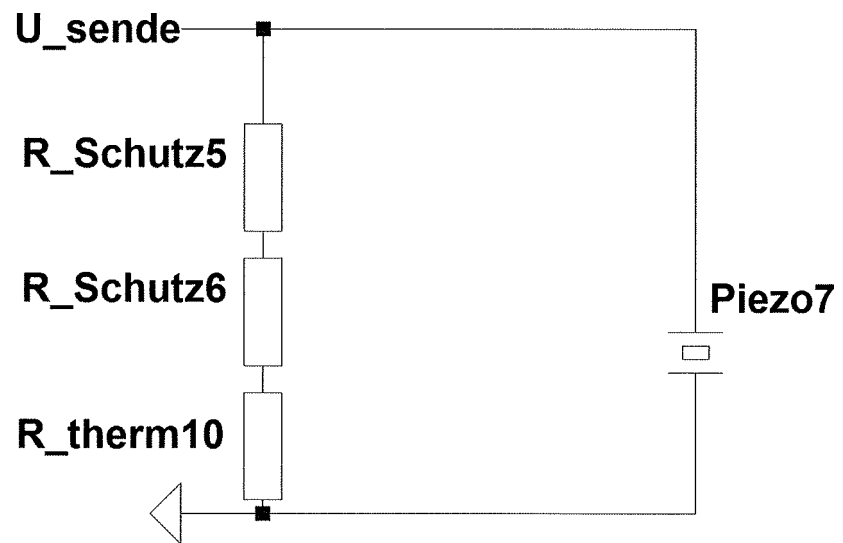


Fig. 10

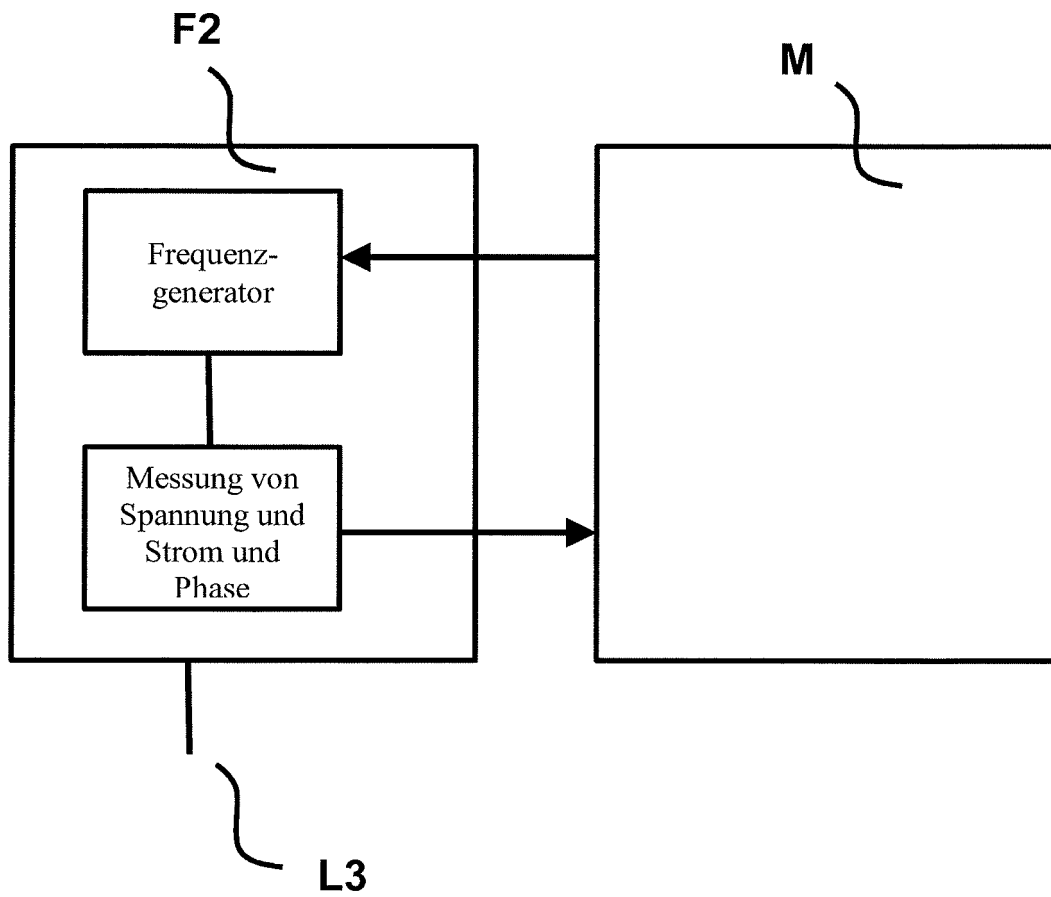


Fig. 11