



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 201 22 541 U1** 2006.04.06

(12)

## Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **201 22 541.7**  
(22) Anmeldetag: **30.08.2001**  
(67) aus Patentanmeldung: **PCT/EP01/10009**  
(47) Eintragungstag: **02.03.2006**  
(43) Bekanntmachung im Patentblatt: **06.04.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01N 11/10** (2006.01)

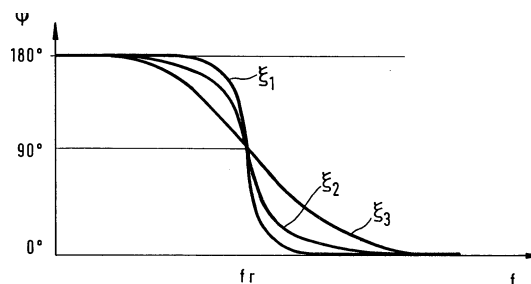
(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:  
**Endress + Hauser GmbH + Co. KG, 79689  
Maulburg, DE**

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:  
**Andres, A., Pat.-Anw., 79576 Weil am Rhein**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung der Viskosität eines Mediums in einem Behälter**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter (Grenzschalter) und zur Bestimmung und/oder Überwachung der Viskosität des Mediums mit einer schwingfähigen Einheit, einer Antriebs-/Empfangseinheit und einer Regel-/Auswerteeinheit, wobei die schwingfähige Einheit in einer definierten Meßposition innerhalb des Behälters angeordnet ist bzw. wobei eine schwingfähige Einheit so angebracht ist, daß sie bis zu einer definierten Eintauchtiefe in das Medium eintaucht, wobei die Antriebs-/Empfangseinheit die schwingfähige Einheit zu Schwingungen anregt bzw. wobei die Antriebs-/Empfangseinheit die Schwingungen der schwingfähigen Einheit empfängt, wobei die Regel-/Auswerteeinheit (8) die schwingfähige Einheit (2) in einem ersten Betriebsmodus als Grenzschalter und in einem zweiten Betriebsmodus als Viskositätssensor betreibt, wobei die Regel-/Auswerteeinheit (8) anhand der Änderung der Resonanzfrequenz ( $f_r$ ) der schwingfähigen Einheit (2) den Füllstand des Mediums bestimmt, und wobei die Regel-/Auswerteeinheit (8) anhand der Frequenz-Phase-Kurve ( $\varphi = g(f)$ ) der schwingfähigen Einheit (2) die Viskosität ( $\eta$ ) des Mediums...



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung der Viskosität eines Mediums in einem Behälter mit einer schwingfähigen Einheit, einer Antriebs-/Empfangseinheit und einer Regel-/Auswerteeinheit, wobei die schwingfähige Einheit in einer definierten Meßposition innerhalb des Behälters angeordnet ist bzw. wobei eine schwingfähige Einheit so angebracht ist, daß sie bis zu einer definierten Eintauchtiefe in das Medium eintaucht, und wobei die Antriebs-/Empfangseinheit die schwingfähige Einheit zu Schwingungen anregt bzw. wobei die Antriebs-/Empfangseinheit die Schwingungen der schwingfähigen Einheit empfängt.

**[0002]** Es sind bereits Vorrichtungen mit zumindest einem Schwingelement, sog. Vibrationsdetektoren, zur Detektion bzw. zur Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter bekannt geworden. Bei dem Schwingelement handelt es sich üblicherweise um zumindest einen Schwingstab, der an einer Membran befestigt ist. Die Membran wird über einen elektromechanischen Wandler, z. B. ein piezoelektrisches Element, zu Schwingungen angeregt. Aufgrund der Schwingungen der Membran führt auch das an der Membran befestigte Schwingelement Schwingungen aus. Als sehr bekanntes Beispiel für einen Vibrationsdetektor sei an dieser Stelle der 'Liquiphant' genannt, der von der Anmelderin hergestellt und vertrieben wird.

**[0003]** Als Füllstandsmeßgeräte ausgebildete Vibrationsdetektoren nutzen den Effekt aus, daß die Schwingungsfrequenz und die Schwingungsamplitude abhängig sind von dem jeweiligen Bedeckungsgrad des Schwingelements: Während das Schwingelement in Luft frei und ungedämpft seine (Resonanz-) Schwingungen ausführen kann, erfährt es eine Frequenz- und Amplitudenänderung, also eine Verstimmung, sobald es teilweise oder vollständig in das Medium eintaucht. Anhand einer vorbestimmten Frequenzänderung (üblicherweise wird zur Füllstandserkennung die Frequenz gemessen) läßt sich folglich ein eindeutiger Rückschluß auf das Erreichen des vorbestimmten Füllstandes des Mediums in dem Behälter ziehen. Füllstandsmeßgeräte werden übrigens vornehmlich als Überfüllsicherungen oder zum Zwecke des Pumpenleerlaufschutzes verwendet.

**[0004]** Darüber hinaus wird die Dämpfung der Schwingung des Schwingelements auch von der Dichte des Mediums beeinflusst. Daher besteht bei konstantem Bedeckungsgrad eine funktionale Beziehung zwischen der Frequenzänderung und der Dichte des Mediums, so daß Vibrationsdetektoren sowohl für die Füllstands- als auch für die Dichtebestimmung bestens geeignet sind.

**[0005]** In der Praxis werden zwecks Überwachung

und Erkennung des Füllstandes bzw. der Dichte des Mediums in dem Behälter die Schwingungen der Membran aufgenommen und mittels zumindest eines piezoelektrischen Elements in elektrische Antwortsignale umgewandelt. Die elektrischen Antwortsignale werden anschließend von einer Auswerte-Elektronik ausgewertet. Im Falle der Füllstandsbestimmung überwacht die Auswerte-Elektronik die Schwingungsfrequenz und/oder die Schwingungsamplitude des Schwingelements und signalisiert den Zustand 'Sensor bedeckt' bzw. 'Sensor unbedeckt', sobald die Meßwerte einen vorgegebenen Referenzwert unter- oder überschreiten. Eine entsprechende Meldung an das Bedienpersonal kann auf optischem und/oder auf akustischem Weg erfolgen. Alternativ oder zusätzlich wird ein Schaltvorgang ausgelöst; so wird etwa ein Zu- oder Ablaufventil an dem Behälter geöffnet oder geschlossen.

**[0006]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Vibrationsdetektor für die Bestimmung und/oder die Überwachung der Viskosität eines Mediums in einem Behälter einzusetzen.

**[0007]** Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Regel-/Auswerteeinheit anhand der Frequenz-Phase-Kurve der schwingfähigen Einheit die Viskosität des Mediums bestimmt. Die vorliegende Erfindung basiert darauf, daß die Dämpfung einer schwingfähigen Einheit abhängig ist von der Viskosität des Mediums, mit dem sie in Kontakt ist. Unter Viskosität versteht man bekanntlich die innere Reibung einer Flüssigkeit, welche durch Anziehungskräfte zwischen den Molekülen verursacht wird. Die Viskosität ist in hohem Maße abhängig von den Parametern Druck und Temperatur. Die Frequenz-Phase-Kurven einer schwingfähigen Einheit, die in Medien mit unterschiedlichen Viskositäten aufgenommen worden sind, unterscheiden sich deutlich voneinander – wie anhand der in [Fig. 1](#) dargestellten Graphen klar zu erkennen ist: Je geringer die Viskosität des Mediums ist, um so steiler fällt die Frequenz-Phase-Kurve ab. Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, die Viskosität des Mediums anhand der Frequenzänderung, die bei zwei unterschiedlichen Phasenwerten auftritt, zu bestimmen. Es wird also bevorzugt keine Absolutmessung, sondern eine Relativmessung durchgeführt. Wie nachfolgend noch näher erläutert wird, werden hierzu entweder zwei Phasenwerte eingestellt und die zugehörige Frequenzänderung bestimmt, oder es wird ein vorgegebener Frequenzband durchfahren und festgestellt, wenn zumindest zwei vorgegebene Phasenwerte erreicht werden. Anhand der zu den Phasenwerten korrespondierenden Frequenzen wird wiederum die Frequenzänderung und hieraus die Viskosität des Mediums bestimmt.

**[0008]** In [Fig. 2](#) ist die Viskosität gegen die Frequenzänderung bei unterschiedlichen Phasenverschiebungen aufgetragen. Gewählt wurde ein loga-

rithmischer Maßstab. Die Kurven fassen sich durch die folgende mathematische Formel beschreiben:  $\log \eta = a \cdot \log \Delta f + b$ , wobei  $a$  für alle Kurven nahezu gleich ist, während sich die Kurven im wesentlichen in der Konstanten  $b$  unterscheiden. Folglich spiegeln sich unterschiedliche Phasenverschiebungen in einer Parallelverschiebung der Frequenzdifferenz-Viskositätskurve entlang der Frequenzdifferenz-Achse wider. Der Vorteil der Messung der Frequenz-änderung anstelle der absoluten Frequenzmessung liegt in einer erhöhten Meßgenauigkeit und – wie nachfolgend noch im Detail beschrieben wird – im automatischen Eliminieren von Störgrößen, beispielsweise der Dichte. Die Frequenzänderung bei einer vorgegebenen Phasenverschiebung zeigt eine eindeutige Abhängigkeit von der Viskosität. Folglich ist es möglich, die Viskosität zu bestimmen, indem die Frequenzdifferenz bei zumindest zwei vorgegebenen Phasenwerten bestimmt wird.

**[0009]** Der Einfluß der Dichte ist anhand der in [Fig. 3](#) dargestellten Frequenz-Phase-Kurvenschar einer schwingfähigen Einheit in Medien mit unterschiedlichen Dichten visualisiert: Unterschiedliche Dichten führen zu einer Parallelverschiebung der Frequenz-Phase-Kurve entlang der Frequenzachse. Je höher die Dichte ist, um so niedriger ist die Schwingfrequenz bei gleichem Phasenwert. Die Form der Kurven selbst ist in allen Fällen nahezu identisch. Da erfindungsgemäß keine Absolutwerte, sondern Relativwerte gemessen werden, wird der Effekt, den eine sich ändernde Dichte auf die Messungen hat, automatisch eliminiert.

**[0010]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird als Antriebs-/Empfangseinheit ein Piezo-Antrieb eingesetzt. Piezoantriebe, die im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung zum Einsatz kommen können, sind z.B. aus der EP 0 985 916 A1 bekannt geworden.

**[0011]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist vorgesehen, daß die Antriebseinheit die schwingfähige Einheit in einem vorgegebenen Schwingungsmodus zu Schwingungen anregt, wobei es sich bei dem Schwingungsmodus bevorzugt um den Grundmode der schwingfähigen Einheit handelt.

**[0012]** Eine bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung schlägt vor, daß der Regel-/Auswerteeinheit eine Speichereinheit zugeordnet ist, in der Daten abgelegt sind, die die funktionale Beziehung zwischen der Frequenz und der Phase der Schwingungen der schwingfähigen Einheit bei unterschiedlichen Dämpfungsverhältnissen bzw. bei unterschiedlichen Viskositäten widerspiegeln. Bei den Daten kann es sich um Kennlinien, Formeln oder Meßwerte handeln.

**[0013]** Bevorzugt stellt die Regel-/Auswerteeinheit zumindest zwei voneinander hinreichend verschiedene Phasenwerte ein; nachfolgend bestimmt die Regel-/Auswerteeinheit die den Phasenwerten zugeordneten Frequenzen bzw. die entsprechende Frequenzänderung der Schwingungen der schwingfähigen Einheit und ermittelt durch Vergleich der zuvor festgestellten Frequenzänderung und der abgespeicherten Daten die Viskosität des Mediums.

**[0014]** Gemäß einer besonders günstigen Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung liegen die zumindest zwei Phasenwerte symmetrisch zu dem Phasenwert  $\varphi = 90^\circ$ .

**[0015]** Eine vorteilhafte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht vor, daß die Regel-/Auswerteeinheit den Bereich, in dem die Frequenzen liegen, die zur Bestimmung der Viskosität herangezogen werden, so auswählt, daß die funktionale Beziehung zwischen den Phasenwerten und den Frequenzen im wesentlichen linear ist.

**[0016]** Gemäß einer alternativen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung stellt die Regel-/Auswerteeinheit zumindest zwei voneinander verschiedene Frequenzen ein; die den Frequenzen der Schwingungen der schwingfähigen Einheit zugeordneten Phasen zwischen Sendesignal und Antwortsignal werden anschließend ermittelt; in einem letzten Schritt bestimmt die Regel-/Auswerteeinheit durch Vergleich der ermittelten Phasenwerte und der abgespeicherten Phasenwerte die Viskosität des Mediums.

**[0017]** Gemäß einer bevorzugten Variante der zuletzt genannten Alternative der erfindungsgemäßen Vorrichtung, ist der Regel-/Auswerteeinheit ein Signalgenerator zugeordnet, der die Antriebseinheit so ansteuert, daß die schwingfähige Einheit sukzessive mit unterschiedlichen Schwingungsfrequenzen schwingt, wobei die Schwingungsfrequenzen innerhalb eines ausgewählten Frequenzbandes liegen (→ frequency sweep).

**[0018]** Weiterhin erlaubt es eine Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung, die schwingfähige Einheit als Universaldetektor auszubilden: So betreibt die Regel-/Auswerteeinheit die schwingfähige Einheit in einem ersten Betriebsmodus als Grenzscharter und in einem zweiten Betriebsmodus als Viskositätssensor. Der jeweilige Betriebsmodus wird von einem in der Regel-/Auswerteeinheit enthaltenen Programm vorgegeben.

**[0019]** Bevorzugt ist eine Eingabe-/Ausgabeeinheit vorgesehen, über die Einstellungen an der Vorrichtung vorgenommen werden oder über die Information hinsichtlich der Meßwerte, die die Vorrichtung liefert, bereitgestellt wird. Zwecks Datenaustausch zwi-

schen der schwingfähigen Einheit und einer entfernt angeordneten Kontrollstelle ist zumindest eine Busleitung vorge-sehen. Der Datenaustausch selbst kann mittels eines beliebigen Über-tragungsstandards erfolgen, z. B. Profibus PA, Fieldbus Foundation.

**[0020]** Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

**[0021]** [Fig. 1](#): eine schematische Darstellung der Frequenz-Phase-Kurven einer schwingfähigen Einheit bei unterschiedlichen Dämpfungskoeffizienten,

**[0022]** [Fig. 2](#): ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Viskosität von der Frequenzänderung graphisch wiedergibt,

**[0023]** [Fig. 3](#): ein Diagramm, das die Frequenz-Phase-Kurven bei unterschiedlichen Dichten des Mediums darstellt,

**[0024]** [Fig. 4](#): ein Blockschaltbild einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

**[0025]** [Fig. 5](#): ein Blockschaltbild der in [Fig. 4](#) verwendeten Erregerschaltung,

**[0026]** [Fig. 6](#): eine graphische Darstellung einer Frequenz-Phase-Kurve mit Visualisierung  $\varphi$  eines 'frequency sweep' in zwei vorgegebenen Frequenzbändern und

**[0027]** [Fig. 7](#): eine Blockschaltbild einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

**[0028]** [Fig. 1](#) zeigt die Darstellung von drei Frequenz-Phase-Kurven einer schwingfähigen Einheit **2** in Medien mit unterschiedlichen Dämpfungskoeffizienten  $\xi$ . Der Wendepunkt der drei Kurven liegt bei der Resonanzfrequenz  $f_r$ , die im wesentlichen durch die Steifigkeit der Membran und die Masse des Schwing-elements bestimmt ist. Wie aus [Fig. 1](#) ersichtlich ist, beträgt die Phase  $\varphi$  zwischen Antriebssignal und Antwortsignal der schwingfähigen Einheit **2** im Resonanzfall  $90^\circ$ . Im Falle einer geringen Dämpfung (Dämpfungskoeffizient  $\xi_1$ ) führen bereits geringfügige Frequenzänderungen  $df$  zu einem Phasensprung von  $180^\circ$  – die Phasenänderung erfolgt abrupt. Bei größeren Dämpfungskoeffizienten  $\xi_2, \xi_3$  erfolgt der Phasenänderung von  $0^\circ$  auf  $180^\circ$  mehr oder weniger fließend. Innerhalb eines gewissen Frequenz- bzw. Phasenbereichs zeigen die Frequenz-Phase-Kurven einen linearen Verlauf, wobei die Steigung abhängig ist von der Dämpfung durch das Medium.

**[0029]** In [Fig. 2](#) ist schematisch die Abhängigkeit der Viskosität  $\eta$  von der Frequenz-differenz  $df$  zwi-

schen Antriebssignal und Antwortsignal in einem logarithmischen Maßstab wiedergegeben. Die Kurvenschar stellt die Graphen bei unterschiedlichen Phasenverschiebungen  $df(\varphi_n - \varphi_m)$  mit  $n, m \in \mathbb{N}, n \neq m$  dar. Die Frequenzänderung  $df$  bei einer vorgegebenen Phasenverschiebung  $df(\varphi_n - \varphi_m)$  zeigt eine eindeutige Abhängigkeit von der Viskosität  $\eta$ . Folglich ist es möglich, die Viskosität  $\eta$  zu bestimmen, indem gemäß einer ersten alternativen Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung **1** die Frequenzdifferenz  $df$  bei zumindest zwei vorgegebenen Phasenwerten  $\varphi_1, \varphi_2$  gemessen wird.

**[0030]** Der Einfluß der Dichte  $\rho$  ist anhand der in [Fig. 3](#) dargestellten die Frequenz-Phase-Kurven einer schwingfähigen Einheit **2** in Medien mit unterschiedlichen Dichten  $\rho$  visualisiert: Unterschiedliche Dichten  $\rho$  führen zu einer Parallelverschiebung der Frequenz-Phase-Kurve entlang der Frequenzachse  $f$ . Je höher die Dichte  $\rho$  ist, um so niedriger ist die Schwingfrequenz bei gleichem Phasenwert  $\varphi$ . Die Form der Kurven selbst ist in allen Fällen nahezu identisch. Da erfindungsgemäß keine Absolutwerte, sondern bevorzugt Relativwerte (Frequenzänderungen bzw. Phasenänderungen) für die Auswertung der Viskosität  $\eta$  herangezogen werden, wird der Effekt, den eine sich ändernde Dichte  $\rho$  auf die Meßwerte hat, automatisch eliminiert.

**[0031]** In [Fig. 4](#) ist ein Blockschaltbild einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung **1** zu sehen. Gemäß dieser ersten Ausgestaltung werden sukzessive zwei vorgegebene Phasen  $\varphi_1, \varphi_2$  zwischen dem Antriebssignal und dem Antwortsignal eingestellt. Die Einstellung der beiden Phasenwerte  $\varphi_1, \varphi_2$  erfolgt über die Erregerschaltung **9**, die nachfolgend noch im Detail beschrieben wird. Anschließend werden die mit den Phasenwerten  $\varphi_1, \varphi_2$  verknüpften Frequenzwerte  $f_1, f_2$  bestimmt. Anhand der Frequenzänderung  $df = f_2 - f_1$  wird nachfolgend die Viskosität  $\eta$  des Mediums unter Heranziehung von abgespeicherten Daten ermittelt.

**[0032]** Diese erste Methode zur Viskositätsbestimmung hat viel Ähnlichkeit mit der Methode, wie mittels eines Vibrationsdetektors das Erreichen eines vorbestimmten Füllstandes festgestellt werden kann. Der einzige Unterschied besteht im Grunde genommen darin, daß bei der Füllstandsmessung lediglich die Phase der Eigenfrequenz bzw. der Resonanzfrequenz der schwingfähigen Einheit **2** berücksichtigt wird, während bei der Viskositätsmessung zumindest zwei Phasenwerte  $\varphi_1, \varphi_2$  und die entsprechenden Frequenzen  $f_1, f_2$ , bzw. die entsprechende Frequenzänderung  $df = f_1 - f_2$  der schwingfähigen Einheit **2** betrachtet werden.

**[0033]** Aufgrund dieses hohen Ähnlichkeitsgrades ist es auch relativ einfach möglich, eine schwingfähige Einheit **2** als Universalsensor für die Füllstands-

Dichte- und/oder Viskositätsmessung auszubilden. Der Füllstand wird – wie bereits erwähnt – üblicherweise durch Überwachung der Resonanzfrequenz  $f_r$  ermittelt. Bevorzugt erfolgt die Bestimmung der Viskosität  $\eta$ , indem zwei voneinander verschiedene Phasenwerte  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  eingestellt und die entsprechenden Frequenzen bzw. die entsprechende Frequenzänderung  $df = f_1 - f_2$  ermittelt wird. Die Frequenzänderung  $df = f_1 - f_2$  bei vorgegebenen Phasenwerten  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  ist funktional abhängig von der Viskosität  $\eta$ .

**[0034]** Die schwingfähige Einheit **2** wird über die piezoelektrische Erreger-/Empfangseinheit, die im gezeigten Fall aus einem scheibenförmigen piezoelektrischen Element **5**, einer Antriebselektrode **6** und zwei Empfangselektroden **7** besteht, zu Schwingungen angeregt. Hierbei übernimmt das piezoelektrische Element **5** die Funktion eines Interfaces zwischen den mechanischen Teilen, also der Membran **4** und den Schwingelementen **3**, und den elektronischen Teilen, Antriebselektrode **6** und Empfangselektroden **7**, der schwingfähigen Einheit **2**: Das piezoelektrische Element **5** setzt einerseits ein elektrisches Antriebssignal in mechanische Schwingungen um; andererseits wandelt es mechanische Schwingungen in ein elektrisches Antwortsignal. Es versteht sich von selbst, daß anstelle eines scheibenförmigen piezoelektrischen Elements **5** auch ein sog. Stapelantrieb eingesetzt werden kann.

**[0035]** In [Fig. 5](#) ist ein Blockschaltbild der in [Fig. 4](#) verwendeten Erregerschaltung **9** dargestellt. Die Erregerschaltung **9** hat – wie aus dem in [Fig. 5](#) gezeigten Blockschaltbild hervorgeht – mehrere Funktionen: Sie greift das Empfangssignal Rx an den Empfangselektroden **7** ab. Das Antwortsignal Rx wird über den Bandpaßfilter **13** geführt. Der Bandpaßfilter **13** hat bevorzugt eine sehr kleine Bandbreite, so daß nur noch die gewünschten Frequenzen bzw. die gewünschte Frequenz am Ausgang des Bandpaßfilters **13** vorhanden sind bzw. vorhanden ist. Das gefilterte Antwortsignal Rx wird anschließend dem Verstärker **14** zugeführt und verstärkt. In dem Phasenschieber **15** werden im gezeigten Fall zwei konstante Phasenwerte  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  eingestellt. Über den Verstärker **16** und den Tiefpaßfilter **17** wird das Antwortsignal auf die Antriebselektrode **6** als Antriebssignal Tx zurückgeführt und regt die schwingfähige Einheit **2** zu Schwingungen mit dem jeweils eingestellten Phasenwert  $\varphi_1$ ;  $\varphi_2$  an.

**[0036]** Von der Erregerschaltung **9** gelangt das Antwortsignal Rx zu dem Mikroprozessor **10**, der zu jedem Phasenwert  $\varphi_1$ ;  $\varphi_2$  die entsprechende Frequenz  $f_1$ ;  $f_2$  ermittelt. Nachfolgend wird die Frequenzänderung  $df = f_2 - f_1$  bestimmt und mit entsprechenden Daten, die in der Speichereinheit **11** abgelegt sind, verglichen. Aufgrund des eindeutigen funktionalen Zusammenhangs zwischen der Frequenzänderung  $df$  und der Viskosität  $\eta$  läßt sich die jeweilige Vis-

kosität  $\eta$  des Mediums ermitteln. Die ermittelte Viskosität  $\eta$  des Mediums kann beispielsweise über die Eingabe-/Anzeigeeinheit **12** dem Bedienpersonal zur Kenntnis gebracht werden. Selbstverständlich ist es auch möglich, den ermittelten Viskositätswert zur Ansteuerung von Stellgliedern zu verwenden.

**[0037]** Gemäß einer alternativen Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung **1** wird die Frequenz  $f$  innerhalb vorgegebener Frequenzbänder geändert; die schwingfähige Einheit **2** wird also mit unterschiedlichen Frequenzen angetrieben ( $\rightarrow$  frequency sweep). Den unterschiedlichen Frequenzen sind unterschiedliche Phasenwerte zugeordnet. Graphisch ist das kontinuierliche Durchfahren gewisser Frequenzbereiche in [Fig. 6](#) dargestellt. In [Fig. 7](#) ist ein Blockschaltbild dieser zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung **1** zu sehen.

**[0038]** Bei dieser zweiten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden während des 'frequency sweep' zwei Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  lokalisiert, die zu zwei fest vorgegebenen Phasenwerten  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  gehören. Konkret werden hierzu gewisse Frequenzbereiche  $\Delta f_1$ ,  $\Delta f_2$  in kontinuierlichen Schritten durchfahren. Sobald die fest vorgegebenen Phasenwerte  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  gemessen werden, werden die zu den Phasenwerten  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  gehörigen Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  ermittelt. Aufgrund der Frequenzdifferenz  $df = f_2 - f_1$  wird anschließend die Viskosität  $\eta$  des Mediums bestimmt.

**[0039]** Die schwingfähige Einheit **2** wird von einem Signalgenerator **19** mit Antriebssignalen Tx einer vorgegebenen Frequenz und bevorzugt einer vorgegebenen Amplitude erregt. Die Antriebssignale Tx werden einer Signalanpassungseinheit **18** zugeführt, die die Signale derart aufbereitet, daß sie von der Empfangseinheit **21** gelesen werden können. Die Empfangseinheit **21** empfängt also die Antwortsignale Rx der schwingfähigen Einheit **2**; ein Phasenmesser **22** bestimmt jeweils die entsprechende Phasenverschiebung zwischen Antriebs- und dem Antwortsignal. Die Steuereinheit **20** zeichnet für den gesamten Ablauf zur Ermittlung der Frequenzänderung  $df$  verantwortlich: Sie führt den Phasenvergleich aus, steuert die Frequenz des Signalgenerators **19** und berechnet schließlich die entsprechende Frequenzänderung  $df$ . Anhand der ermittelten Frequenzänderung  $df$  wird nachfolgend in dem Konverter **23** die Viskosität  $\eta$  des Mediums bestimmt. Hierzu werden abgespeicherte Tabellenwerte, Kennlinien oder Formeln herangezogen.

## Bezugszeichenliste

|    |                              |
|----|------------------------------|
| 1  | erfindungsgemäße Vorrichtung |
| 2  | schwingfähige Einheit        |
| 3  | Schwingelement               |
| 4  | Membran                      |
| 5  | Piezoelektrisches Material   |
| 6  | Erregerelektrode             |
| 7  | Empfängerelektrode           |
| 8  | Regel-/Auswerteeinheit       |
| 9  | Erregerschaltung             |
| 10 | Mikroprozessor               |
| 11 | Speichereinheit              |
| 12 | Anzeigeeinheit               |
| 13 | Bandpaßfilter                |
| 14 | Verstärker                   |
| 15 | Phasenschieber               |
| 16 | Verstärker                   |
| 17 | Tiefpaßfilter                |
| 18 | Signalanpassungseinheit      |
| 19 | Signalgenerator              |
| 20 | Steuereinheit                |
| 21 | Signalempfänger              |
| 22 | Phasenmesser                 |
| 23 | Konverter                    |
| 24 | Busleitung                   |
| 25 | Kontrollstelle               |

## Schutzansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter (Grenzschalter) und zur Bestimmung und/oder Überwachung der Viskosität des Mediums mit einer schwingfähigen Einheit, einer Antriebs-/Empfangseinheit und einer Regel-/Auswerteeinheit, wobei die schwingfähige Einheit in einer definierten Meßposition innerhalb des Behälters angeordnet ist bzw. wobei eine schwingfähige Einheit so angebracht ist, daß sie bis zu einer definierten Eintauchtiefe in das Medium eintaucht, wobei die Antriebs-/Empfangseinheit die schwingfähige Einheit zu Schwingungen anregt bzw. wobei die Antriebs-/Empfangseinheit die Schwingungen der schwingfähigen Einheit empfängt, wobei die Regel-/Auswerteeinheit (8) die schwingfähige Einheit (2) in einem ersten Betriebsmodus als Grenzschalter und in einem zweiten Betriebsmodus als Viskositätssensor betreibt, wobei die Regel-/Auswerteeinheit (8) anhand der Änderung der Resonanzfrequenz ( $f_r$ ) der schwingfähigen Einheit (2) den Füllstand des Mediums bestimmt, und wobei die Regel-/Auswerteeinheit (8) anhand der Frequenz-Phase-Kurve ( $\varphi = g(f)$ ) der schwingfähigen Einheit (2) die Viskosität ( $\eta$ ) des Mediums bestimmt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebseinheit (5, 6, 7) die

schwingfähige Einheit (2) in einem vorgegebenen Schwingungsmodus zu Schwingungen anregt, wobei es sich bei dem Schwingungsmodus bevorzugt um den Grundmodus der schwingfähigen Einheit (2) handelt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei der Antriebs-/Empfangseinheit (5, 6, 7) um einen Piezo-Antrieb handelt, der in Kontakt mit der Membran (4) ist, an der das zumindest eine Schwingelement (3) befestigt ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Regel-/Auswerteeinheit (8) eine Speichereinheit (11) zugeordnet ist, in der Daten abgelegt sind, die die funktionale Beziehung zwischen der Frequenz ( $f$ ) und der Phase ( $\varphi$ ) der Schwingungen der schwingfähigen Einheit (2) bei unterschiedlichen Dämpfungen ( $\xi$ ) bzw. bei unterschiedlichen Viskositäten ( $\eta$ ) widerspiegeln.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Regel-/Auswerteeinheit (8) zumindest zwei voneinander hinreichend verschiedene Phasenwerte ( $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ) einstellt, daß die Regel-/Auswerteeinheit (8) die den Phasen ( $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ) zugeordneten Frequenzen ( $f_1$ ,  $f_2$ ) bzw. die entsprechende Frequenzänderung ( $df$ ) der Schwingungen der schwingfähigen Einheit (2) bestimmt und daß die Regel-/Auswerteeinheit (8) durch Vergleich der ermittelten Frequenzänderung ( $df$ ) mit abgespeicherten Daten die Viskosität ( $\eta$ ) des Mediums ermittelt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die zumindest zwei Phasenwerte ( $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ) symmetrisch zu dem Phasenwert  $\varphi = 90^\circ$  liegen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Regel-/Auswerteeinheit (8) den Bereich, in dem die Frequenzen ( $f$ ) liegen, die zur Bestimmung der Viskosität ( $\eta$ ) herangezogen werden, so auswählt, daß die funktionale Beziehung zwischen den Phasenwerten ( $\varphi$ ) und den Frequenzen ( $f$ ) im wesentlichen linear ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Regel-/Auswerteeinheit (8) zumindest zwei verschiedene Frequenzen ( $f_1$ ,  $f_2$ ) einstellt, daß die Regel-/Auswerteeinheit (8) die den Frequenzen ( $f_1$ ,  $f_2$ ) der Schwingungen der schwingfähigen Einheit (2) zugeordneten Phasenwerte ( $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ) bestimmt und daß die Regel-/Auswerteeinheit (8) durch Vergleich der ermittelten Phasenwerte ( $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ) mit abgespeicherten Daten die Viskosität ( $\eta$ ) des Mediums ermittelt.

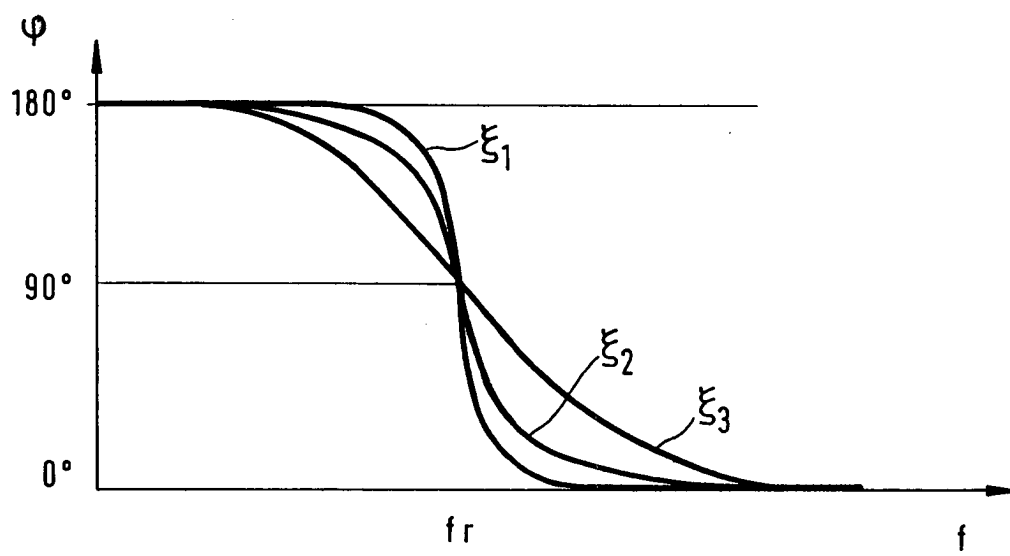
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Regel-/Auswerteeinheit (8) ein Signalgenerator (19) zugeordnet ist, der die Antriebseinheit (6) so ansteuert, daß die schwingfähige Einheit (2) sukzessive mit unterschiedlichen Schwingungsfrequenzen schwingt, wobei die Schwingungsfrequenzen innerhalb zumindest eines ausgewählten Frequenzbandes liegen.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, 5 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Eingabe-/Ausgabeeinheit (12) vorgesehen ist, über die Einstellungen an der Vorrichtung (1) vorgenommen werden oder über die Information hinsichtlich der Meßwerte, die die Vorrichtung liefert, bereitgestellt wird.

11. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Busleitung (24) vorgesehen ist, über das die Regel-/Auswerteeinheit (8) mit einer entfernt angeordneten Kontrollstelle (25) kommuniziert.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Fig.1



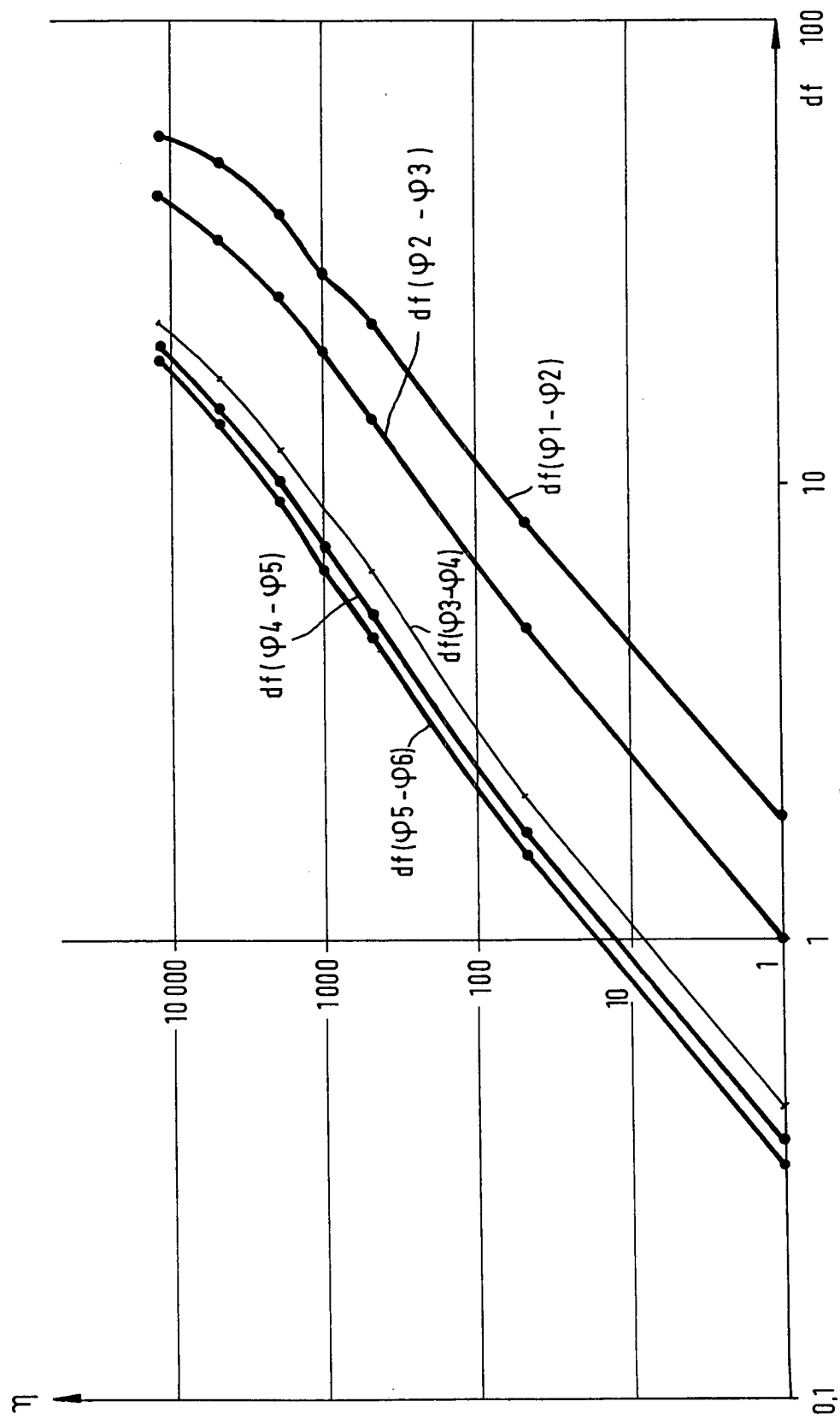


Fig.2

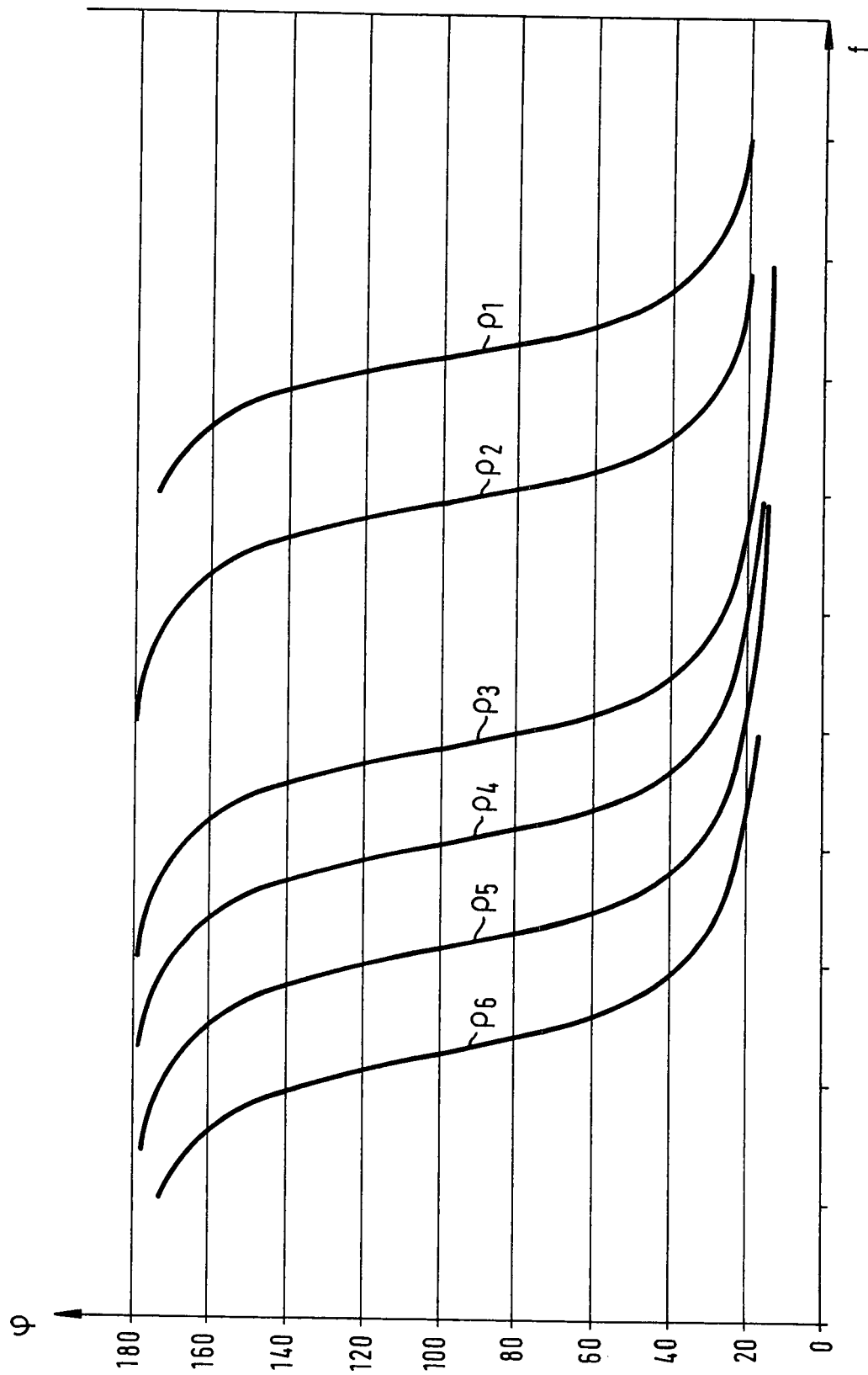


Fig.3

Fig.4

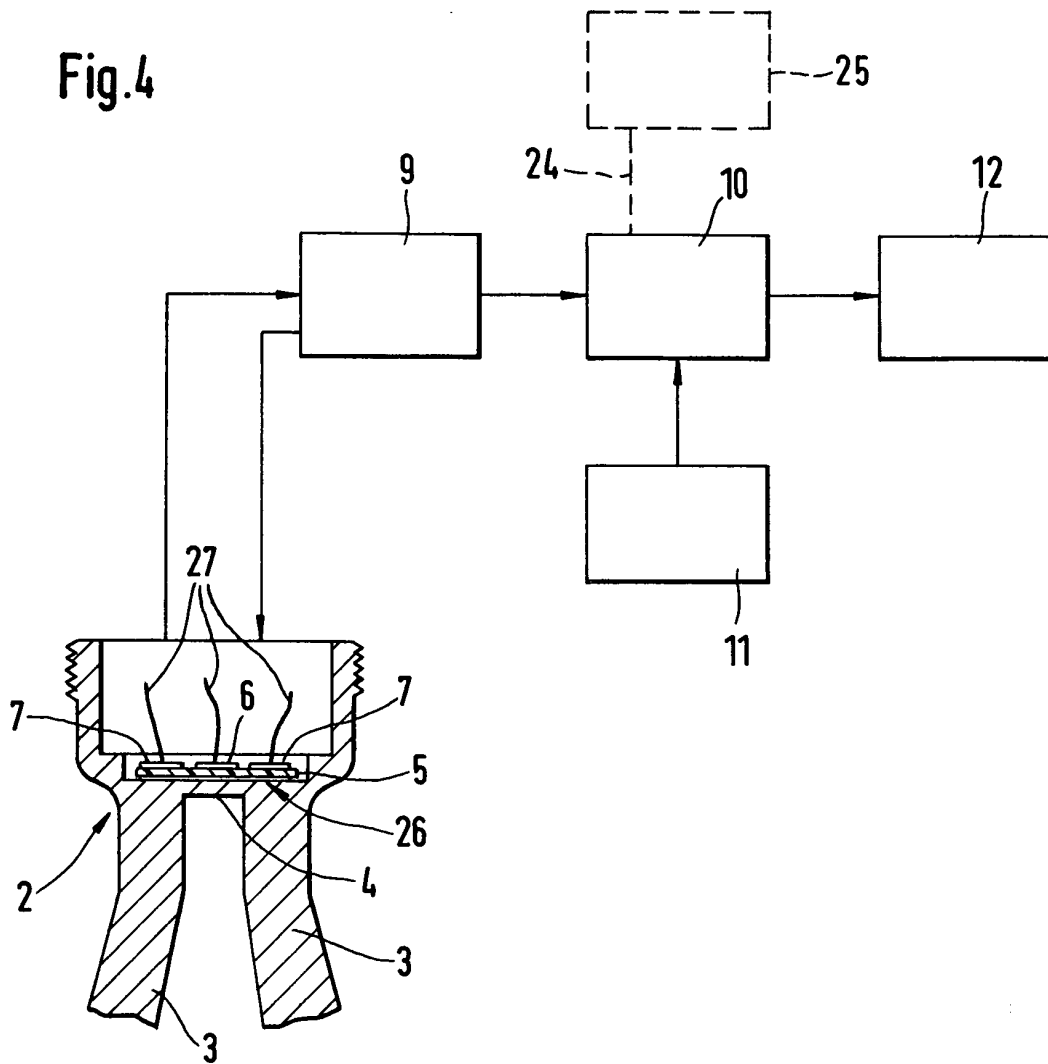
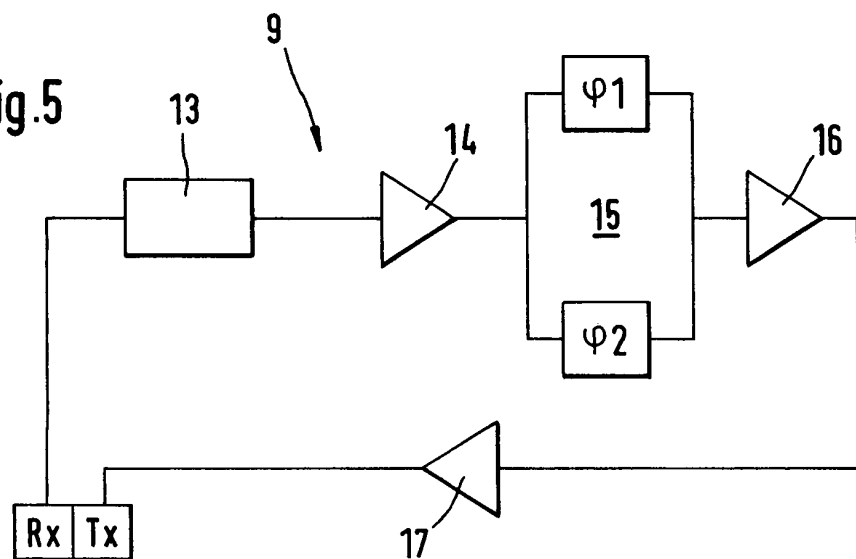


Fig.5



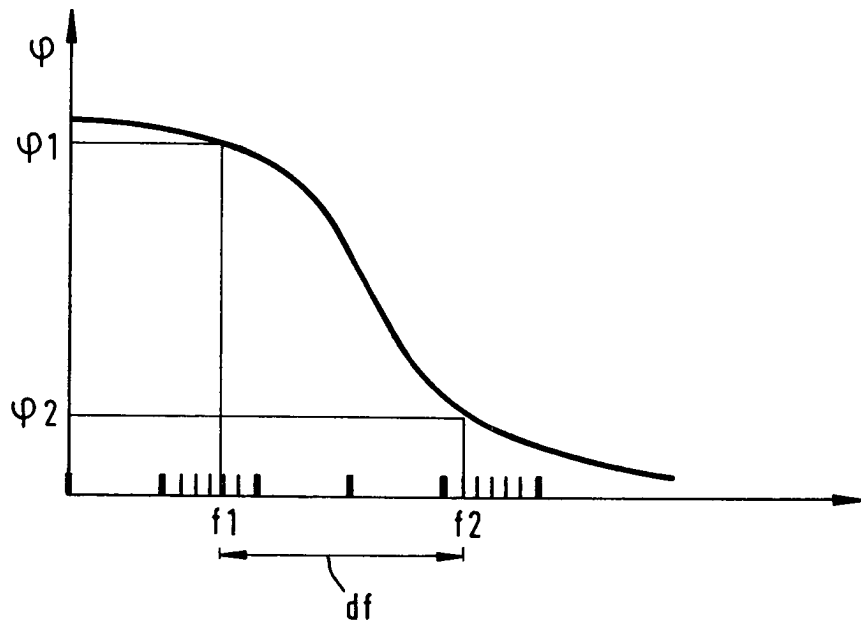


Fig.6

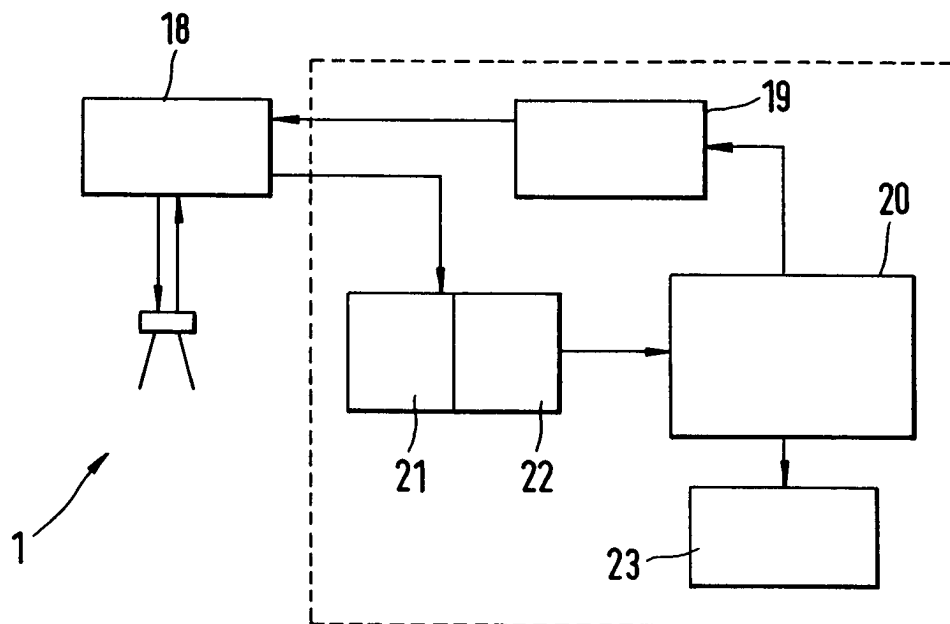


Fig.7