

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 777/2014
(22) Anmeldetag: 20.10.2014
(43) Veröffentlicht am: 15.05.2016

(51) Int. Cl.: **G01N 9/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 19840904 A1
DE 10356383 A1

(71) Patentanmelder:
ANTON PAAR GMBH
8054 GRAZ-STRASSGANG (AT)

(72) Erfinder:
Rechberger Andreas DI (FH)
8010 Graz (AT)
Amsüss Robert Dr. DI
8053 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Köpping Gabriele
8054 Graz (AT)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung der Dichte eines Fluids**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Dichte eines fluiden Mediums mit einem Biegeschwinger, dessen Schwingerrohr vom Messfluid durchströmt wird. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, die Periodendauer der Schwingung des frei und gedämpft schwingenden Schwingerrohrs zur Dichtebestimmung heranzuziehen. Dazu wird die Anregung des Erregerverstärkers mittels eines Schalters abwechselnd unterbrochen und wieder in den Schwingkreis geschaltet. Die Periodendauer der gedämpften Schwingung wird gemeinsam mit deren Amplitude und oder Phasenlage für die Ausgabe einer viskositätskorrigierten Dichte herangezogen.

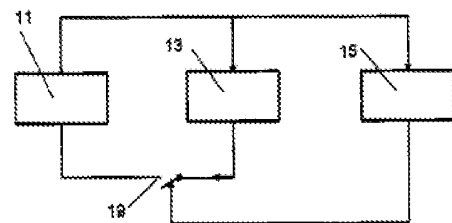


Fig. 2

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Dichte eines fluiden Mediums mit einem Biegeschwinger, dessen Schwingerrohr vom Messfluid durchströmt wird. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, die Periodendauer der Schwingung des frei und gedämpft schwingenden Schwingerrohrs zur Dichtebestimmung heranzuziehen.

Dazu wird die Anregung des Erregerverstärkers mittels eines Schalters abwechselnd unterbrochen und wieder in den Schwingkreis geschaltet. Die Periodendauer der gedämpften Schwingung wird gemeinsam mit deren Amplitude und oder Phasenlage für die Ausgabe einer viskositätskorrigierten Dichte herangezogen.

(Fig. 2)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Dichtebestimmung aus der Periodendauer eines Biegeschwingers ermittelt aus Periodendauer einer resonanten Schwingungsmode, wobei die Periodendauer aus einem frei schwingendem, gedämpften Schwinger bestimmt wird und zwischen erzwungener ungedämpfter Schwingung und frei abnehmender Amplitude der Schwingung periodisch gewechselt wird. Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens umfasst neben dem Erregerkreis und Mittel für die Frequenz- und Amplitudenmessung auch einen periodisch schaltenden Unterbrecher, der den Erregerkreis für die Messung unterbricht.

Die Messung der Dichte von fluiden Medien mit einem Biegeschwinger beruht auf der Tatsache, dass die Schwingung eines mit einer zu untersuchenden Probe gefüllten Hohlkörpers von der Füllung des Schwingerrohrs abhängt, d.h. von der Masse bzw. wenn das Volumen konstant ist, von der Dichte des eingefüllten Mediums.

Eine Messzelle enthält das schwingfähige Gebilde, nämlich einen hohlen, U-förmig gebogenen, gläsernen oder metallischen Rohrkörper. Dieser wird auf elektronischem Weg zu einer Schwingung angeregt. Die beiden Schenkel des U-förmigen Rohrs bilden die Federelemente des Schwingers. Die Eigenfrequenz des U-förmigen Schwingerrohrs wird nur von jenem Teil der

Probe beeinflusst, welcher an der Schwingung tatsächlich teilnimmt. Dieses an der Schwingung teilnehmende Volumen V ist durch die ruhenden Schwingungsknoten an den Einspannstellen des Schwinger-Rohrs begrenzt. Ist das Schwingerrohr mindestens bis zu diesen Einspannstellen mit der Probe gefüllt, nimmt immer dasselbe, genau definierte Volumen V an der Schwingung teil und die Masse der Probe kann daher proportional zu ihrer Dichte angenommen werden. Eine Überfüllung des Schwingers über die Einspannstellen hinaus ist für die Messung belanglos. Aus diesem Grund können mit dem Schwinger auch Dichten von Fluiden gemessen werden, die den Schwinger durchströmen. Die Dichte des Fluids bestimmt also die spezifischen Frequenzen, in denen das U-förmige Rohr schwingt. Verwendet man Präzisions-Glasrohre oder -Metallrohre, so variieren deren Eigenschaften je nach Dichte und Viskosität der Flüssigkeit. Die Resonanz-Frequenzen werden durch geeignete Anregung und Abnahme der Schwingungen ausgewertet und aus der Periodendauer die Dichte der eingefüllten fluiden Probe bestimmt. Der Schwinger wird mit Fluiden bekannter Dichte justiert und so die Messungen auswertbar.

Für die Periodendauer P und -Dichte ρ gilt allgemein:

$$\rho = P^2 \frac{R}{4\pi^2 V} - \frac{m}{V} = A P^2 - B$$

Derartige Dichteschwinger bzw. Biegeschwinger sind schon seit langem bekannt und werden in unterschiedlichsten Ausführungsformen hinsichtlich Anregung und Abnahme der Schwingung hergestellt. Die

unterschiedlichen Mittel zu Anregung und Abnahme der sich ergebenden Eigenschwingungen können z.B. mittels Magnetspulen und Magneten, piezoelektrischen Elementen, kapazitiver Abtastung etc. erfolgen. Dabei sind diese Mittel am Schwinger bevorzugt so anzubringen, dass sie nicht in den Knotenpunkten der untersuchten Eigenschwingung liegen.

Um für diese Messungen Ergebnisse hoher Genauigkeit zu erzielen, muss der Schwinger so ausgeführt sein, dass er möglichst geringe Dämpfung erfährt bzw. über hohe Güte verfügt.

Die hohe Güte des Schwingers resultiert in einer schmalen Bandbreite der Resonanzfrequenzen. Damit ist es nicht praktikabel, die Eigenfrequenzen mit ungerichteter Anregung (z.B. Rauschen) oder einzelnen Impulsen zu erregen.

Die Anregung erfolgt mit periodischen Signalen, beispielsweise Rechteckpulsen oder sinusförmigen Wellen. Dies kann über einen normalen Regelkreis oder über eine phasenverschobene Rückkopplung erfolgen.

In einem Regelkreis wird mit dem Abnahmesignal z.B. auf die maximale Amplitude und damit auf die Eigenschwingung des Biegeschwingers geregelt. Der Schwinger wird so zu einer erzwungenen Schwingung in seiner Resonanzfrequenz angeregt und aus der Bestimmung der Periodendauer dieser Schwingung wird die Dichte des im Schwinger gefüllten Mediums bestimmt.

Über eine Feedback-Schleife wird das Ausgangssignal des Abnahmemittels der Schwingung um 90 Grad am mechanischen System phasenverschoben, verstärkt und das

periodische Signal für die Anregung des Schwingers verwendet. Damit schwingt der Biegeschwinger in einer erzwungenen Schwingung.

Abb. 1 zeigt ein Prinzipschaltbild eines derartigen Erregerverstärkers:

Der Biegeschwinger (1) ist in einem Haltemittel (2) eingespannt. Die Erregung erfolgt hier beispielsweise mittels Piezoelement (3) in der Nähe der Einspannstelle des ersten Schenkels des Schwingers, die Abnahme erfolgt mit einem zweiten Piezoelement (4) am zweiten Schenkel des Schwingers. Phasendreher (6) und Verstärker (7) in Kombination bilden den einfachsten Erregerverstärker. Das Ausgangssignal des Abnahmemittels wird verstärkt und um 90° phasengedreht und dem Mittel zur Schwingungserregung zugeführt. Mit einem derartigen Erregerverstärker kann der Schwinger in einen Zustand der Resonanzschwingung „hochgeschwungen“ werden. Die Periodendauer bzw. Frequenz der Schwingung wird mit dem Frequenzmesser (5) gemessen und einer Auswerteeinheit zur Dichtebestimmung zugeführt.

Bekannte Biegeschwinger werden nach diesem Prinzip mit analogen und digitalen Erregerverstärkern betrieben und aus der Frequenz bzw. Periodendauer des Schwingers wird in bekannter Weise die Dichte des zu untersuchenden fluiden Mediums ermittelt. Die tatsächliche Dichte fluider Medien ist stark von der Temperatur abhängig (diese wird im Regelfall

zumindest gemessen und/oder der gesamte Schwinger bzw. die Probe wird auf eine bestimmte Messtemperatur mit geeigneten Mitteln (z.B. Peltierelementen) temperiert. Bestimmt man die Dichte mit dem Biegeschwinger, so hat durch das unterschiedliche Verhalten von Proben gleicher Dichte unterschiedlicher Viskosität im Schwinger auch die Viskosität der Probe einen relativ großen Einfluss auf das Messergebnis und muss Berücksichtigung finden. Die Viskosität äußert sich neben ihrem Einfluss auf die ermittelte Dichte vor allem auch durch ihren Einfluss auf die Dämpfung bzw. Güte des Schwingers.

Unterschiedlichste Verfahren zur Korrektur des viskositätsabhängigen Dichtewertes sind bekannt, die einen für diese Dämpfung repräsentativen Parameter auswerten und die Dichtemessung korrigieren. Dies erfolgt zumeist basierend auf zusätzlich angeregten Schwingungen im Bereich von sogenannten Oberwellen durch Betrachtung der Phasenbeziehung zur Anregung. Alternativ bekannt ist beispielsweise die Verwendung eines überlagerten Regelkreises, der die Amplitude des Anregungssignals variiert, um eine konstante Schwingungsamplitude zu erhalten. Die über das Anregesignal eingebrachte Energie entspricht somit der Dämpfung des Systems und kann zur Gütebestimmung herangezogen werden.

Die Gütemessung kann hier aber auch durch Messung der abklingenden Amplitude bei periodischem Abkoppeln des Erregers erfolgen, diese ist theoretisch die optimale Lösung zur Ermittlung der Güte. Dadurch werden jegliche

Ungenauigkeiten der Anregung (z.B. Nicht-linearitäten und / oder Phasenverzerrungen von Filtern, etc.) vermieden.

Bei den hohen verwendeten Güten der Schwinger besitzen diese allerdings den Nachteil von langen Messzeiten, stellen immer nur eine Einzelmessung dar und beeinflussen auch die Periodendauer der erzwungenen Schwingung. Bevorzugt werden daher keine Unterbrechungen des Schwingers nach dem Einschwingen durchgeführt.

In all diesen bekannten Anordnungen wird die Periodendauer der erzwungenen Grundschiwingung im Regelfall für die Auswertung zur Dichtemessung verwendet.

Die Nachteile derartiger Anordnungen sind beispielsweise bei der Amplitudenmodulation, dass die Resonanzfrequenz nicht exakt gemessen wird, da auch nicht lineare Verzerrungen (Elektronik, IIR Filter) wie auch zeitliche Verzögerungen (Zeitquantisierung) des ADC (Analog-Digital-Konverter) und/oder DAC (Digital-Analog-Konverter)- Signals eine Rolle spielen.

Zusätzlich verlangen die hohen Güten und somit die daraus resultierende geringe Bandbreite des Schwingers sehr kleine Modulationsfrequenzen in der Größenordnung von $1/1000 \dots 1/2000$ der Eigenfrequenz.

Beispielsweise werden für Resonanzfrequenzen im Bereich von 300 Hz (Glasschwinger) bis 5000 Hz (Metall), und Gütewerten von 10... 5'000 (Glas) und 10 .. 14'000 (Metall) die Modulationsfrequenz im Bereich von $1/3 \dots$

1/10 Hz verwendet. Damit ergeben sich für den Periodendurchlauf 3...10 sec.

Je geringer die Modulationsfrequenz ist, desto länger dauert die Abklingmessung der Güte, da im allgemeinen ein neuer Messwert einmal pro Periode der Modulationsfrequenz verfügbar ist. Also je nach Medium alle 3 bis 10 sec.

Zusätzlich ist je nach erforderlicher Genauigkeit eine zusätzliche Mittelung nötig.

Erfindungsgemäß wird nunmehr vorgeschlagen, die Vorteile der Bestimmung der Periodendauer mittels erzwungener Schwingung (kontinuierliches Messverfahren, parallele Phasenregelung) und die Vorteile der von der Anregung unabhängigen Messung des Abklingverhaltens für die Messung der Güte zu kombinieren und sowohl die Güte als auch die Periodendauer des Schwingers direkt mit einer kontinuierlichen Abklingmessung zu untersuchen und hinsichtlich der Viskositätskorrigierten Dichte auszuwerten.

Durch die periodische Messung des Abklingverhaltens besteht hier der Nachteil einer nur einmaligen Messung nicht mehr. Da die gesamte Bestimmung der Dichte und Viskositätskorrektur aus dem Abklingverhalten erfolgt, ist auch die Beeinflussung der Perioden- bzw.

Phasenmessung aus dem erneuten Hochschwingen des Erregerverstärkerkreises kein Problem mehr.

Auch können hier bei geringeren Güten des Schwingers höhere Genauigkeiten erzielt werden.

Fig 2. zeigt ein Prinzipschaltbild der Erfindung: Die Erregung (13) versetzt den Schwinger (11) in Resonanz. Dies kann über einen normalen Regelkreis- oder über eine phasenverschobene Rückkopplung erfolgen. (z.B. -90° Resonanzbedingung des Schwingers). Dies erlaubt die Realisierung eines quasi "reglerlosen" Erregers, da die -90° Phasendrehung eine reine Signaltransformation darstellt - im Gegensatz zu einem geregelttem Oszillator der basierend auf einen Phasenvergleich (Output/Input) auf den -90° Punkt hinregelt. Die Periodendauer bzw. Frequenz der Schwingung wird mit dem Frequenzmesser (15) gemessen und einer Auswerteeinheit zur Dichtebestimmung zugeführt.

Erfindungsgemäß wird nun vorgeschlagen, dass sowohl die Periodendauer als auch die Amplitude der erzwungenen resonanten Schwingung erst nach dem Entkoppeln des Erregers bestimmt werden, es wird erst die abklingende Schwingung des Biegeschwingers untersucht. Die Erregung hat somit keinen Einfluss auf die Messung an sich - und benötigt auch keine Information über den aktuellen Messzyklus. Der Schalter (19) unterbricht dafür periodisch die Erregung des Schwingers, der Erregerkreis wird für eine Zeitdauer t_1 über diesen Schalter unterbrochen und das Abklingverhalten des Schwingers untersucht. Danach wird der Schalter wieder geschlossen und der Erregerkreis zwingt den in seiner gedämpften freien Resonanz schwingenden Schwinger wieder in eine erzwungene ungedämpfte Schwingung. Bevorzugt wird der Erregerkreis so lange geschlossen,

bis die erzwungene Resonanzschwingung des Schwingers in maximaler Amplitude schwingt.

Fig. 3 zeigt ein derartiges Abklingen des Schwingers. Nach dem Entkoppeln des Erregerkreises zum Zeitpunkt t wird die Amplitude der Schwingung mit der Zeit je nach Güte des Schwingers schneller oder langsamer abklingen. Die tatsächliche Resonanzfrequenz bzw. Periodendauer P_0 wird hier von der der erzwungenen Schwingung (Periodendauer P_1) leicht abweichen, da hier die Nichtlinearitäten und Zeitfehler des Erregerkreises entfallen und der freie Schwinger in seiner Resonanzfrequenz schwingt. Dabei zeigt das Bild zur Verdeutlichung eine stark überzeichnete Differenz der Periodendauern.

Fig. 4 zeigt das Bild des periodischen Ein- und Ausschalten des Erregers (Schalter in Position S_0 - Schwinger schwingt in die Resonanz hoch) mit den korrespondierenden Signalen für die Amplitude A in Abhängigkeit der Zeit.

Die Amplitude nimmt mit dem Einschwingvorgang zu. Der Amplitudenverlauf beim Anregen folgt dabei einer Funktion vom Typ $1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$.

Zum Zeitpunkt t_1 wird der Schalter geöffnet (Schalter in Position S_1), der Schwinger schwingt hier gedämpft, die Amplitude zeigt das Abklingverhalten und in diesem Zeitraum wird die Schwingung hinsichtlich Frequenz und Amplitude ausgewertet. Zum Zeitpunkt t_2 wird der Schalter wieder geschlossen, der Schwinger schwingt

wieder hoch und die erzwungene Schwingung wird wieder angeregt. Dieser Vorgang wird periodisch wiederholt (t_3, t_4, \dots)

Die Steuerung dieser Periode kann z.B jeweils über das Amplitudensignal der Schwingung erfolgen, sowohl im Anschwingen als auch im Abklingen kann das Erreichen eines bestimmten Amplitudenwertes herangezogen werden und daraus die Periode zum Schalten von Schalter 19 herangezogen werden. Alternativ kann auch direkt ein nicht streng periodisches An- und Abschalten der Erregerverstärkung vorgenommen werden. Die Amplitude muss sich nicht bis 0 absenken (vollständiges Ausklingen) sondern es kann (bzw. wird) bereits früher wieder eingekoppelt.

Dadurch ist es möglich die Periode bzw. Frequenz des Schwingers während des Abklingvorganges zu messen, und gleichzeitig alle implementierungsabhängigen Abweichungen der Erregung zu eliminieren, da diese während der Abklingmessung nicht auf den Schwinger beaufschlagt werden.

Des Weiteren kann die Frequenz des Schwingers mit einer Frequenzvergleichsmessung durchgeführt werden, welche sehr genau ist. (Phasendrift der Schwebung).

Da die Erregung messinvariant ist, kann sehr schnell zwischen Abkling- und Erregungsmodus gewechselt werden (mehrmals pro Sekunde).

Der Abklingvorgang muss nicht vollständig erfolgen, da durch Extrapolation der

Amplitudenwerte auch mit einem kleinen Amplitudenabfall die Güte berechnet werden kann.

Somit kann das Auslastfenster eine konstante von der Befüllung des Schwingers unabhängige Breite haben. Die Genauigkeit der Gütemessung steigt somit mit fallender Güte (da der Amplitudenunterschied innerhalb des konstanten Abklingfensters größer wird -und somit die Differenz bezogen auf ein konstantes Rauschen).

Bevorzugt wird das Intervall für das An- und Abschalten für den jeweiligen Schwinger festgelegt, in Abhängigkeit von Güte und Amplitude der untersuchten Resonanzschwingung kann die Dauer $\Delta\tau_0:\Delta\tau_1$ der Zeitintervalle für die Erregung durch das Abklingen im Verhältnis 1:1 bis 1:3 liegen. Dies wird auch durch die zur Verfügung stehende „Anrege-Energie“ (= Spannung am Piezo, Strom durch die Spule,...) beeinflusst, da durch höhere eingebrachte Energie kürzere Anschwingzeiten realisierbar sind)

Bevorzugt ist dabei vorgesehen, dass der Unterbrecher / Schalter, der die Erregerverstärkung unterbricht, erst am Ausgang des Erregerverstärkerkreises angebracht wird. Damit kann der Schwingkreis der Erregerverstärkung auch im Unterbrechungsfall mit der Periode des Biegeschwingers in Phase gehalten werden und im Falle des Wiedereinschalten der Erregerverstärkung durch die phasenrichtige Erregung rascher wieder die ursprüngliche Amplitude erreicht werden. Dabei kann er sich vor oder nach dem DAC befinden.

Der abklingende Sinus wird nach Frequenz und Amplitude analysiert und aus diesen beiden Werten wird in einer Auswerte- und Anzeigeeinheit die Dichte des im Schwinger befindlichen Mediums sowie weitere Verarbeitung der Signale hinsichtlich beispielsweise Viskositätskorrektur und Füllfehlererkennung durchgeführt. Die dafür benötigten Justierkurven und Justierkonstanten werden nach Justiermessungen an Standards bekannter Dichte und Viskosität in der Steuer- und Auswerteeinheit hinterlegt.

Die Messung der Abklingkurven kann dabei über beliebig lange Perioden erfolgen, beispielsweise erfolgt die Messung bei einem Metallschwinger 4..5 kHz Resonanzfrequenz (entsprechend einer Periodendauer von ca 200...250 μ s) bei luftgefülltem Schwinger mit einer Abklingzeitdauer Δt_1 von ca. 65 msec.

Generell sind Abklingperioden von kleiner 1 sec bevorzugt, um die Messungen ausreichend rasch durchführen zu können. Bei hohen Güten entstehen lange Messzeiten, da sich durch die geringe Dämpfung die Amplitude des Schwingers nur langsam ändert. Die Wahl der Dauer der Abklingmessung erfolgt auch in Abhängigkeit von Genauigkeit, Elektronikkomponenten und Rechnerleistung.

Die Bestimmung von Frequenz und Amplitude kann beispielsweise mittels einer Fourier-Analyse geschehen, die Frequenzbestimmung auch beispielsweise direkt durch Mischen eines lokalen Oszillators mit dem Messsignal oder Bestimmung der Nulldurchgänge des

Messsignals. Die Amplitude kann beispielsweise direkt frequenzunabhängig und instantan gemessen werden, mittels gleitender Maxima etc. Bei direkter Messung der Amplitude kann jedem einzelnen ADC Sample, also jedem einzelnen Messwert vom ADC, ein eigener Amplitudenwert zugeordnet.

Fig. 5 zeigt eine erfindungsgemäße Ausführungsform des Schaltplans eines Biegeschwingers:

Im Anfangszustand ist Schalter 9 geschlossen.

Der Biegeschwinger ist hier mit zwei Piezoelementen für Anregung (3) und Abnahme (4) ausgestattet. Anregung und Abnahme erfolgen über analoge Spannungssignale. Das Signal der Abnahmeeinheit (4) wird durch einen Analog-Digital- Converter (ADC) digitalisiert und in einen programmierbaren digitalen Baustein (8) geleitet, der hier die zentralen Steuer - und Regelaufgaben übernimmt.

Dieser zentrale Baustein (8) einer digitalen Ausführung muss eine möglichst rasche Signalverarbeitung gewährleisten, dies kann z.B. mittels μ -Controller oder DSP (Digitale Signal Prozessor) umgesetzt werden. Aufgrund der erzielbaren Regelgeschwindigkeit wird bevorzugt ein FPGA (Field Programmable Gate Array) verwendet.

Die prinzipiell in Fig.1 beschriebene Erregerverstärkerschaltung wird mit diesem Bauteil und einem weiteren Digital-Analog-Prozessor, dessen Steuersignal die Erregereinheit (3) antreibt, umgesetzt. Das verstärkte Ausgangssignal ist zum

Eingangssignal um 90° phasenverschoben und erregt den Schwinger zu einer erzwungenen Schwingung.

Alternativ kann anstelle der Piezoelemente beliebige elektrische Komponenten zur Anregung und Abnahme der Schwingung beispielsweise auch eine Kombination von stromdurchflossenen Spulen und Permanentmagneten verwendet werden. Anregung und Abnahme kann auch an anderen Stellen des Schwingers, z.B. seitlich an den Schenkeln, sitzen.

Dabei werden als Ausgangs- und Steuersignal die Spulenströme der Spulen verwendet.

Zentraler Bestandteil der Anordnung ist nunmehr ein elektronischer Schalter 9, der ebenfalls vom zentralen Baustein 8 gesteuert wird.

Die Frequenz- bzw. Periodendauerbestimmung erfolgt direkt durch Mischen eines lokalen Oszillators mit dem Messsignal.

Es erfolgt ein Frequenzvergleich des Eingangssignal ω_1 , das ist das Abnahmesignal vom Piezoelement (4), das die Periodendauer des Biegeschwingers liefert, mit einem lokalen Oszillator ω_2 .

Multipliziert man die beiden Signale miteinander so gilt:

$$\cos\omega_1 \cdot \cos\omega_2 \sim \cos(\omega_1 - \omega_2) + \cos(\omega_1 + \omega_2)$$

Der lokale Oszillator wird so geregelt, dass die beiden Frequenzen gleich groß sind und damit der erste Term zu einer reinen Amplitude (DC-Signal) wird, der zweite Term kann durch den großen Unterschied der Signale

einfach gefiltert werden (die Oberwelle für einen 4 kHz Schwinger würde hier $\omega_1 = \omega_2$ bei 8 kHz liegen)

Um die Genauigkeit zu steigern und/oder die Viskositätskorrektur mit zwei unterschiedliche resonanten Schwingungen zu ermitteln, kann gewünscht sein, den Schwinger nicht nur in einer resonanten Mode anzuregen, sondern gleichzeitig eine zweite resonante Mode, z.B. die erste Oberwelle, mit dem Erregerverstärker anzuregen. Dies kann im Falle eines digitalen Erregerverstärkers zeitgleich durch Überlagerung der jeweiligen Anregungssignale erfolgen. Zur Auswertung dieser beiden Schwingungen kann ein zusätzlicher Filter 10 vorgesehen werden, der das Antwortsignal des Biegeschwingers wieder in die beiden Frequenzen trennt.

Die frequenzunabhängige und instantane Amplitudenmessung ordnet jedem einzelnen ADC-Sample einen eigenen Amplitudenwert zu (es muss somit nicht über eine ganze Schwingungsperiode gemessen werden.) Dies wird dadurch erreicht, dass der lokale Oszillator anstelle der üblichen reellen Sinus-Darstellung ($y = \sin(\omega t)$) als komplexer Rotor realisiert wird.

$$y = \exp(j\omega t) = \cos(\omega t) + j\sin(\omega t).$$

Die Signalamplitude wird mittels Transformation der kartesischen Darstellung des ADC-Signals in Polarkoordinaten ermittelt:

$$y = A \cdot e^{(jP)}$$

Weiters ist eine amplitudenunabhängige Bestimmung der aktuellen Phase möglich:

Da zu jedem einzelnen Eingangssample ein entsprechender komplexer Datenpunkt

zugeordnet werden kann, ist auch eine instantane Bestimmung der Phasenlage des Schwingers möglich.

Mittels einfacher Differentiation der Phase kann somit die Periode bzw. Frequenz berechnet werden. Diese Messung ist dadurch unabhängig von der Amplitudenmessung bzw. der aktuellen Schwingerfrequenz.

Patentansprüche

- 1) Verfahren zur Messung der Dichte aus der Periodendauer einer resonanten Schwingungsmode eines Biegeschwingers wobei der Schwinger mit einer Erregerverstärker-Schaltung in resonante ungedämpfte Schwingung versetzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwinger während eines Zeitintervalls Δt_1 durch einen Erregerverstärker in erzwungene ungedämpfte Schwingung versetzt wird, die Anregung der erzwungenen Schwingung periodisch unterbrochen wird, der Schwinger danach während eines Zeitintervalls Δt_2 frei und gemäß seiner Güte gedämpft schwingt wobei die Periode der freien gedämpften Schwingung für die Dichtebestimmung herangezogen wird und nach der Messung der Schwinger wieder zu ungedämpften Schwingung angeregt wird.
- 2) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die gedämpfte Schwingung auch hinsichtlich ihrer Phase und/oder Amplitude ausgewertet wird, um aus diesen Parametern eine Viskositätskorrektur des ermittelten Dichtewerts vorzunehmen.
- 3) Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung der Periodendauer der Schwingung durch Frequenzvergleich mit einem lokalen Oszillator erfolgt.
- 4) Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitudenbestimmung direkt mittels Koordinatentransformation des Messsignals erfolgt.

- 5) Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das periodische An- und Abschalten des Erregerkreises durch fixe Zeitintervalle festgelegt wird.
- 6) Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das An- und Abschalten des Erregerkreises mittels der Amplitudenwerte der gedämpften und/oder ungedämpften Schwingung geregelt wird.
- 7) Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Zeitintervall der Erregerverstärkung in fixem Verhältnis Δt_1 zum Zeitintervall zur Periodenmessung Δt_2 steht, wobei das Verhältnis $\Delta t_1 : \Delta t_2$ bevorzugt im Bereich zwischen 1:1 bis 1:3 steht.
- 8) Steuer- und/oder Regelkreis für ein Verfahren zur Dichtemessung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Erregerschaltkreis, der den Schwinger zur ungedämpften Schwingung anregt, ein Unterbrecher vorgesehen ist, der wiederholbar in definierten Zeitintervallen zwischen dem Erregerkreis zur ungedämpften Schwingung des Biegeschwingers und ohne Vorgabe einer Erregung gedämpft schwingendem Biegeschwinger umschaltet und die Periode der Schwingung zur Ermittlung der Dichte bei offenem Erregerkreis gemessen wird.
- 9) Steuer- und Regelkreis für einen Biegeschwinger nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Umschaltung in die erzwungene Schwingung im Erregerkreis jeweils durch einen Regelkreis bei

Erreichen eines bestimmten Amplitudenwertes für die gedämpfte und/oder ungedämpfte Schwingung erfolgt.

- 10) Steuer - und/oder Regelkreis für einen Biegeschwinger nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung für die Umschaltung festgelegte Zeitintervallen Δt_1 und/oder Δt_2 vorgibt.
- 11) Steuer- und/oder Regelkreis nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Unterbrechermittel nach dem Erregerverstärker im Kreis angebracht werden und der Schwingkreis für die Verstärkerschaltung mit dem Biegeschwinger in Phase bleibt.

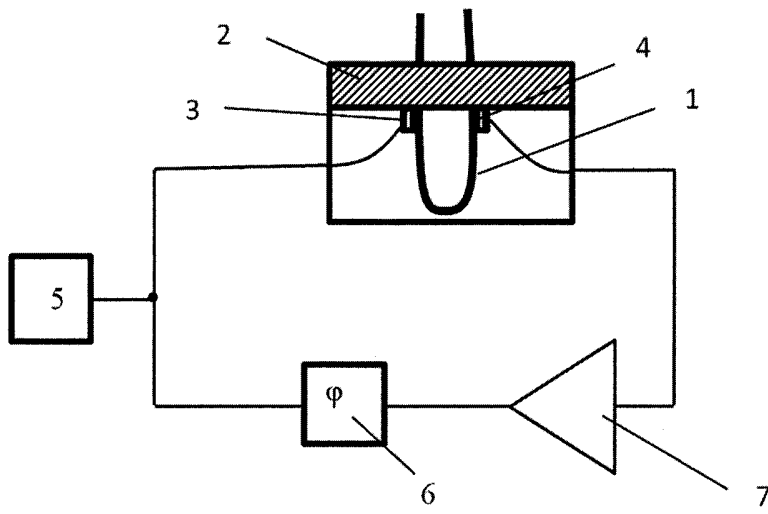


Fig. 1 Stand der Technik

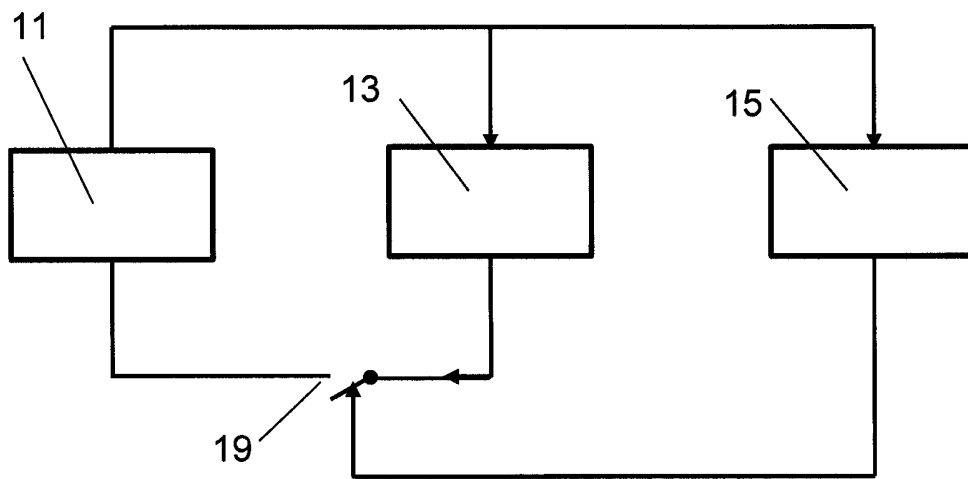


Fig. 2

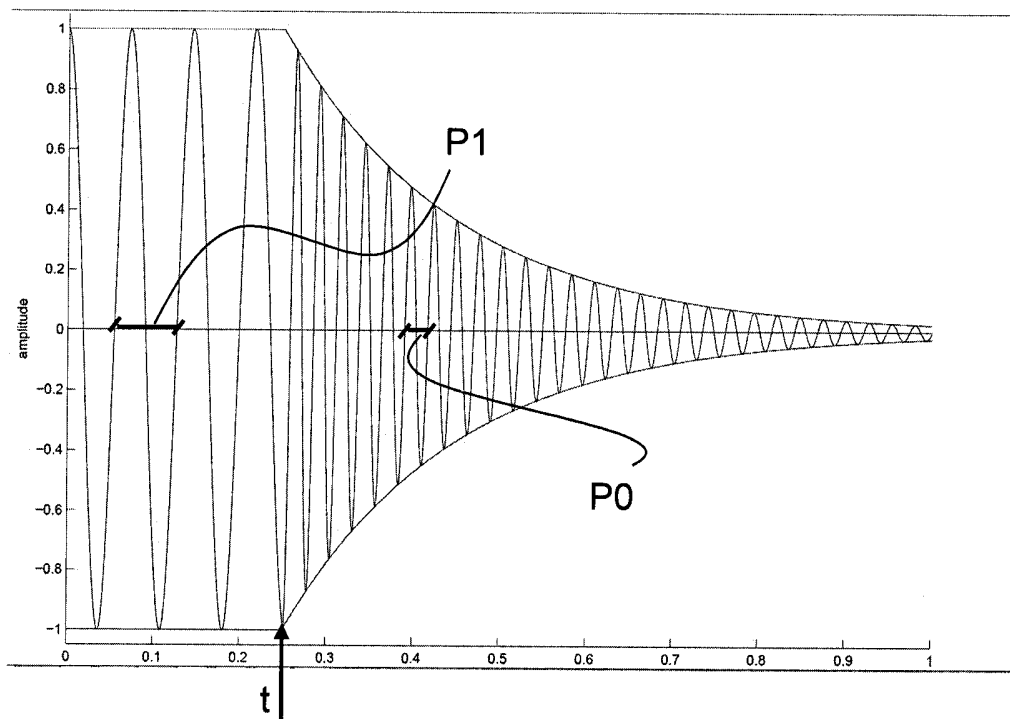


Fig. 3

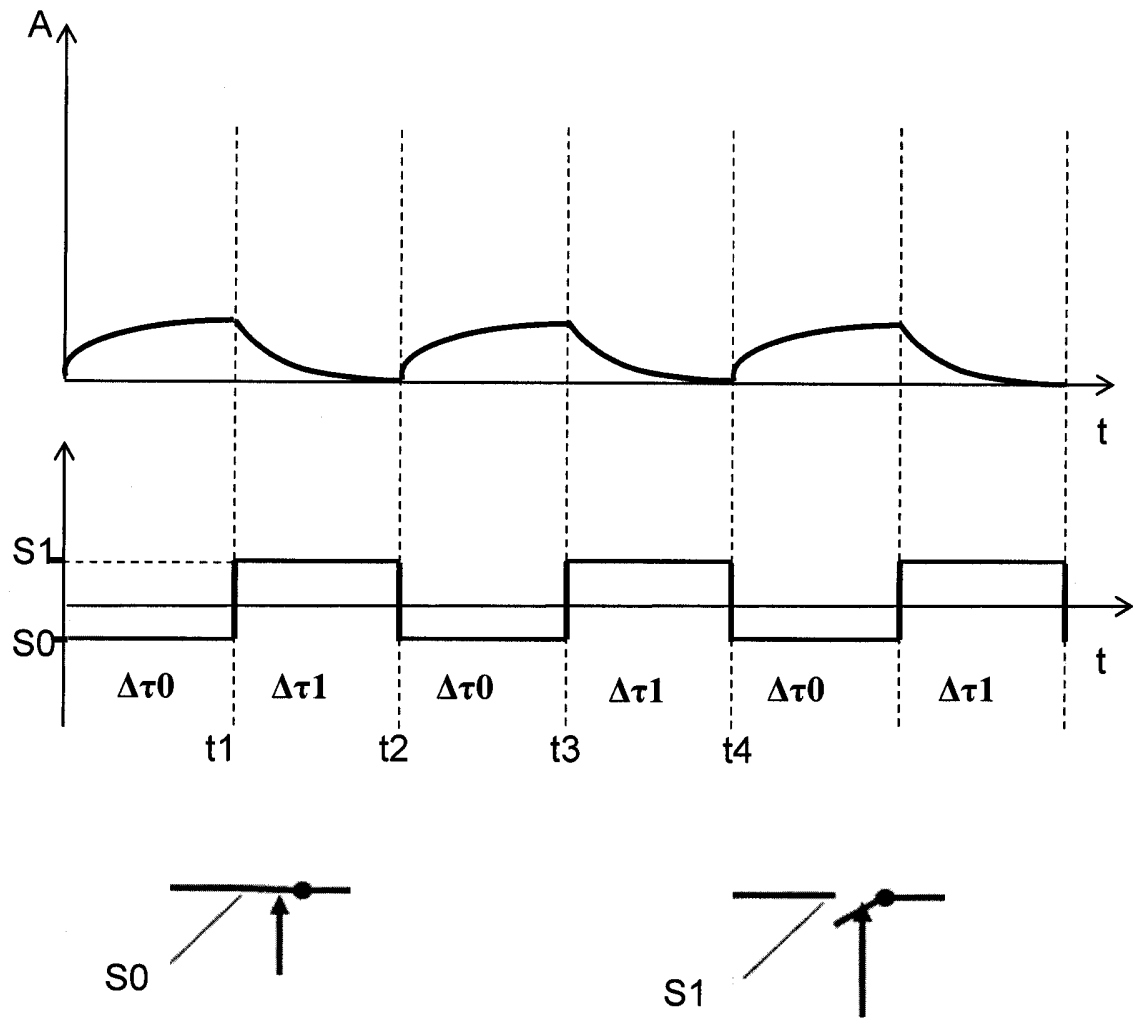


Fig. 4

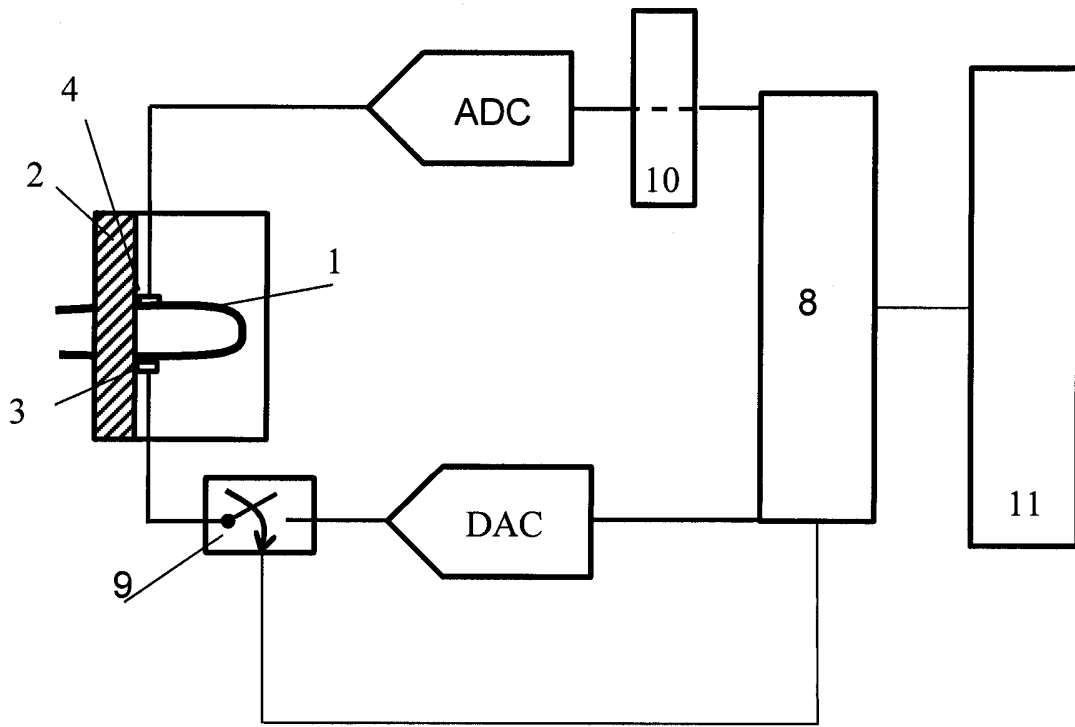


Fig. 5

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß IPC: G01N 9/00 (2006.01)
Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß CPC: G01N 9/002 (2013.01); G01N 2009/006 (2013.01)
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): G01N
Konsultierte Online-Datenbank: EPODOC, WPI
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 20.10.2014 eingereichten Ansprüchen 1 - 11 erstellt.

Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	DE 19840904 A1 (HEINRICHS MESSGERAETE JOSEF) 09. März 2000 (09.03.2000) das ganze Dokument.	1 - 11
A	DE 10356383 A1 (ABB PATENT GMBH) 30. Juni 2005 (30.06.2005) das ganze Dokument	1 - 11

Datum der Beendigung der Recherche: 16.07.2015	Seite 1 von 1	Prüfer(in): SEYRINGER Christian
---	---------------	------------------------------------

¹⁾ **Kategorien** der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldegegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldegegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.
- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.