



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 298 685 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 01 N 29/18
G 01 N 29/02

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	DD G 01 N / 334 726 8	(22)	21. 11. 89	(44)	05. 03. 92
(71)	siehe (73)				
(72)	Henning, Bernd, Dipl.-Ing.; Lucklum, Ralf, Dr. rer. nat.; Hauptmann, Peter, Prof. Dr. sc. nat.; Zuber, Anett, Dipl.-Ing., DE				
(73)	Technische Universität „Otto von Guericke“ Magdeburg, PSF 1 24, O - 3010 Magdeburg, DE				
(54)	Verfahren und Einrichtung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall				

(55) Ausbreitungsgeschwindigkeit; Ultraschall; Stoffsystem, flüssig; Absorption, veränderlich; Wandler; Komparator; Echo

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall vorzugsweise flüssigen Stoffsystemen mit stark veränderlichem Absorptionsverhalten, als Betriebs- oder Labormessmethode einsetzbar zur Beobachtung stoffumwandelnder oder eigenschaftsverändernder Prozesse. Das Verfahren ist gekennzeichnet durch die Auswertung der größten Amplitude eines Empfangs- oder Echosignales sowie eine Unterteilung des Meßvorganges in eine Vorbereitungs- und eine Meßphase, wobei in ersterer der Spitzenwert des zu detektierenden Empfangs- oder eines Echosignals erfaßt, gespeichert und geringfügig verringert als Vergleichswert abgelegt wird und in der Meßphase das Empfangs- oder ein Echosignal mit dem bereits genannten Vergleichswert aus der Vorbereitungsphase verglichen und beim Überschreiten des Vergleichswertes durch das Empfangs- oder Echosignal die Messung endet. Die im allgemeinen Aufbau bekannte Einrichtung ist dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgang des Empfangsverstärkers an den Eingang der Spitzenwertabtast- und Halteschaltung angeschlossen ist, wobei diese über einen Spannungsteiler mit einem weiteren Eingang der Komparatoranschaltung in Verbindung steht.

Patentansprüche:

1. Verfahren und Einrichtung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall vorzugsweise in flüssigen Stoffsystemen mit stark veränderlichem Absorptionsverhalten, als Betriebs- oder Labormeißmethode einsetzbar zur Beobachtung stoffumwandelnder oder eigenschaftsverändernder Prozesse, bei denen sich in einem Reaktionsgefäß o. ä. ein elektrisch-akustischer Wandler und ein akustisch-elektrischer Wandler gegenüberstehen, **gekennzeichnet dadurch**, daß der ausgewertete Signalparameter zur Erfassung der Laufzeit als Maß der Ausbreitungsgeschwindigkeit die Schwingung größter Amplitude eines Empfangs- oder Echosignales ist, daß die Messung der Laufzeit des Signals in eine Vorbereitungs- und eine Meßphase unterteilt wird, daß in der Vorbereitungsphase der Spitzenwert des zu detektierenden Empfangs- oder eines Echosignales erfaßt, gespeichert und geringfügig verringert als Vergleichswert verwendet wird, daß in der Meßphase, in der mit der Ausgabe des Sendesignales die Laufzeitmessung gestartet wird, das Empfangs- oder ein Echosignal mit dem bereits genannten Vergleichswert aus der Vorbereitungsphase verglichen und beim Überschreiten des Vergleichswertes durch das Empfangs- oder Echosignal die Laufzeitmessung gestoppt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß in der Vorbereitungs- und in der Meßphase eine Ausblendung nicht zu detektierender Signale erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Laufzeit des Schallsignals durch das zu untersuchende Stoffsystem durch eine Differenzmessung der zuvor ermittelten Laufzeitwerte des Empfangssignals und des ersten Echosignals oder zweier aufeinanderfolgender Echosignale bestimmt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß in einer dem Meßvorgang vorgelagerten adaptiven Phase die Steuerparameter für die Sendesignalfrequenz, die Sendesignalamplitude, die Empfangssignalverstärkung, die Blendenzeit selbsttätig ermittelt und eingestellt oder nach einer bestimmten Einsatzdauer korrigiert werden.
5. Einrichtung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall vorzugsweise in flüssigen Stoffsystemen mit stark veränderlichem Absorptionsverhalten, einsetzbar zur Beobachtung stoffumwandelnder oder eigenschaftsverändernder Prozesse, bei denen sich in einem Reaktionsgefäß o. ä. ein elektrisch-akustischer Wandler und ein akustisch-elektrischer Wandler gegenüberstehen, allgemein einen Aufbau besitzend, bei dem ein Steuerwerk mit einer Sendeeinheit, einer Zähleinheit, einer Blende und einer Spitzenwertabtastschaltung und -halteschaltung sowie die Sendeeinheit mit der Zähleinheit und dem elektrisch-akustischen Wandler und der akustisch-elektrische Wandler über einen Empfangsverstärker mit einem Eingang einer Komparatorschaltung, die über die Blende mit der Zähleinheit verknüpft ist, verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Ausgang des Empfangsverstärkers (4) an den Eingang der Spitzenwertabtast- und Halteschaltung (5) angeschlossen ist, wobei diese über einen Spannungsteiler (6) mit einem weiteren Eingang der Komparatorschaltung (7) in Verbindung steht.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall vorzugsweise in flüssigen oder gasförmigen Stoffsystemen mit stark veränderlichem Absorptionsverhalten, das als Betriebs- oder Labormeißmethode einsetzbar ist zur Beobachtung stoffumwandelnder oder eigenschaftsverändernder Prozesse.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Zur Erfassung von Stoffkenngrößen haben die Ultraschallmeßverfahren eine große Bedeutung erlangt. Dabei gelangen die stoffabhängigen Parameter Ausbreitungsgeschwindigkeit und/oder Absorption zur Auswertung. Zur Messung der Schallgeschwindigkeit stehen im wesentlichen die in der DE-OS 3420794 erläuterten Verfahren zur Verfügung. Diese Verfahren erfordern i. a. extrem präzise Meßaufbauten, stabile Umgebungsbedingungen sowie große Erfahrung und besondere Fertigkeiten im Umgang mit den Meßapparaturen. Dies ist insbesondere beim Resonanzverfahren oder bei der Puls-Echo-Überlappungsmethode nach Papadakis der Fall (vgl. auch: Sorge, G., Hauptmann, P.: Ultraschall in Wissenschaft und Technik, BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1985, S. 38).

Zum Einsatz in autark arbeitenden Ultraschallmeßsystemen sind nur einige Methoden der Laufzeiterfassung vorteilhaft anwendbar. Als besonders geeignet hat sich dabei das ring-around-Prinzip, wie z. B. in der DE-OS 2 110 629 dargestellt, erwiesen. Hierbei ruft der von einem Sendeimpuls herrührende, um die Laufzeit verzögerte Empfangsimpuls den nächsten Sendeimpuls hervor. Die Sendefolgefrequenz ist daher ein Maß für die Laufzeit des Schallsignals im zu untersuchenden Stoffsystem und der systembedingten Laufzeit infolge Signalverzögerungen im elektronischen Teil des Meßaufbaus sowie in den Wandlern. Der erforderliche Korrekturwert kann durch Messung von einem oder mehreren Referenzstoffsystemen oder -stoffen ermittelt und vom Laufzeitmeßwert subtrahiert werden, um neben der hohen relativen Genauigkeit der Meßmethode auch eine große absolute Präzision zu erzielen.

Nachteilig ist, daß diese Meßmethode nur für stark absorbierende Stoffsysteme oder bei großen Wandlerabständen geeignet ist, da sonst die auftretenden Reflexionen und Echosignale die Messung störend beeinflussen.

Weitere Methoden der Laufzeitmessung sind in den DE-OS 2 238 130 und DE-OS 3 009 574 erläutert. Dabei erfolgt die Messung der Laufzeit mit Hilfe einer digitalen Zeitählung, welche mit Aussenden des Sendesignals gestartet und nach Eintreffen des Empfangs- oder eines getorten Echosignals gestoppt wird. Insbesondere bei der Erfassung von Echosignalen sind viele Meßvorgänge notwendig, um die präzise Einstellung der Verstärkung (DE-OS 2 238 130) bzw. Abschwächung (DE-OS 3 009 574) zu realisieren, um zu garantieren, daß das zu detektierende Echosignal die Diskriminatorschwelle des Komparators definiert überschreitet.

Nachteilig ist, daß sich während der mitunter zeitaufwendigen Verstärkungssteuerung (die Anzahl der zur Einstellung notwendigen Messungen wird naturgemäß mit zunehmender geforderter Genauigkeit immer größer) die Anpassung und das Absorptionsverhalten des zu untersuchenden Mediums nicht verändern darf. Diese Voraussetzung ist jedoch im notwendigen Maße nur bei Festkörpern gegeben – damit ist die Anwendungsbreite dieser Methode stark eingeschränkt.

Bei anderen Meßmethoden zur Laufzeiterfassung in Flüssigkeiten werden stetig steuerbare (US-PS 4 212 201) oder digital gesteuerte Meßverstärker zum Tiefenausgleich bei höheren Echosignalen eingesetzt. Diese angepaßten Empfangs- oder Echosignale werden dann einem Komparator zur Detektion zugeleitet. Dabei dient dem Komparator als Vergleichssignal meist ein empirisch ermittelter oder von Hand fest eingestellter Referenzspannungswert bzw. -stromwert. Für eine gute Störsignale- und Störgeräuschunterdrückung darf jedoch dieser Wert nicht zu klein gewählt werden. Wird zur Detektion des Empfangssignals das Überschreiten der Diskriminatorschwelle verwendet, können infolge von Amplitudenschwankungen Fehler auftreten. Nutzt man dazu einen zweiten Nullspannungskomparator, läßt sich ein Teil dieser Fehler vermeiden (s. DE-OS 2 110 629). Nachteilig hierbei ist, daß bei Flüssigkeiten mit stark veränderlicher Absorption und dies ist typisch für stoffumwandelnde oder eigenschaftsverändernde Prozesse, ein fehlerhaftes Detektieren der ersten Schwingungsmaxima besor dert dann zu Meßfehlern führt, wenn der Empfangs- oder Echosignalpegel in der Nähe der Diskriminatorschwelle liegt.

Die Messung von aufeinanderfolgenden Echosignalen bei gleichbleibender Genauigkeit der Laufzeitmessung in einem kurzen zeitlichen Abstand von beispielsweise 1 bis 2 ms ist meist nicht möglich oder erfordert größeren schaltungstechnischen Aufwand.

Insgesamt sind die bekannten technischen Lösungen also durch eingeschränktes Anwendungsgebiet, unzureichende Zuverlässigkeit der Meßaussage oder stark erhöhten Realisierungsaufwand gekennzeichnet.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Einrichtung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall zu schaffen, die bei vergrößertem Anwendungsbereich mit nur geringfügig erhöhtem Realisierungsaufwand eine deutliche Verbesserung der Meßqualität gewährleisten.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Es besteht die Aufgabe, ein Verfahren und eine Einrichtung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall zu entwickeln, die eine Ultraschallgeschwindigkeitsmessung auch in Stoffsystemen mit stark veränderlichem Absorptionsverhalten mit gleichbleibend hoher Genauigkeit ermöglichen. Dabei soll die Einrichtung nur wenige einfache zusätzliche Baugruppen aufweisen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß das Verfahren und die Einrichtung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall vorzugsweise in flüssigen Stoffsystemen mit stark veränderlichem Absorptionsverhalten folgende Verfahrensschritte aufweist:

- Als auszuwertender Signalparameter zur Bestimmung der Laufzeit als Maß der Ausbreitungsgeschwindigkeit wird die Schwingung größter Amplitude eines Empfangs- oder Echosignales erfaßt.
- Die Messung der Laufzeit des Signals wird in eine Vorbereitungs- und eine Meßphase unterteilt.
- In der Vorbereitungsphase wird der Spitzenwert des zu detektierenden Empfangs- oder eines Echosignals erfaßt, gespeichert und geringfügig verringert als Vergleichswert abgelegt.
- In der Meßphase, in der mit der Ausgabe des Sendesignales die Laufzeitmessung beginnt, wird das Empfangs- oder ein Echosignal mit dem bereits genannten Vergleichswert aus der Vorbereitungsphase verglichen und beim Überschreiten des Vergleichswertes durch das Empfangs- oder Echosignal die Laufzeitmessung gestoppt.

Zur Sicherung einer hohen Genauigkeit erfolgt vorteilhafterweise in der Vorbereitungs- und in der Meßphase eine Ausblendung nicht zu detektierender Signale.

Es ist auch besonders günstig, die Laufzeit des Schallsignals als Maß für die Ausbreitungsgeschwindigkeit durch das zu untersuchende Stoffsystem durch eine Differenzmessung der zuvor ermittelten Laufzeitwerte des Empfangssignals und des ersten Echosignals oder zweier aufeinanderfolgender Echosignale zu bestimmen.

Eine sehr vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall besteht darin, daß in einer dem Meßvorgang vorgelagerten adaptiven Phase die Steuerparameter für die Sendesignalfrequenz, die Sendesignalamplitude, die Empfangssignalverstärkung, die Blendenzzeit selbsttätig ermittelt und eingestellt oder nach einer bestimmten Einsatzdauer korrigiert werden.

Die erfindungsgemäße Einrichtung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall vorzugsweise in flüssigen Stoffsystemen mit stark veränderlichem Absorptionsverhalten, bei der in einem Reaktionsgefäß o.ä. sich ein elektrisch-akustischer Wandler und ein akustisch-elektrischer Wandler gegenüberstehen, besitzt allgemein, einen Aufbau, bei dem ein Steuerwerk mit einer Sendeeinheit, einer Zähleinheit, einer Blende und einer Spitzenwertabstastschaltung und -halteschaltung sowie die Sendeeinheit mit der Zähleinheit und dem elektrisch-akustischen Wandler und der akustisch-elektrische Wandler über einen Empfangsverstärker mit einem Eingang einer Komparatorschaltung verbunden ist, die über die Blende mit der Zähleinheit verknüpft ist, und weist zusätzlich folgende erfinderische Merkmale auf:

Der Ausgang des Empfangsverstärkers ist an den Eingang der Spitzenwertabstast- und Halteschaltung angeschlossen, wobei diese über einen Spannungsteiler mit einem weiteren Eingang der Komparatorschaltung in Verbindung steht. Zur Ausgestaltung der erfindungsgemäß verknüpften Komparatorschaltung kann diese aus einem Komparator, der das Überschreiten des Vergleichswertes durch das Empfangs- oder Echosignal detektiert, und einem zweiten Komparator, der den darauffolgenden Nulldurchgang des Signals erfaßt und über die Blende den Zählkanal sperrt und damit die Laufzeitmessung beendet, bestehen.

Es ist jedoch auch möglich, daß die Komparatorschaltung aus einem Komparator besteht, der das Überschreiten des Vergleichswertes durch das Empfangs- oder Echosignal detektiert und über eine Blende mit einem Zählkanal zur Messung der Dauer der Überschreitung des Vergleichswertes verbunden ist. In diesem Falle ergibt sich die Laufzeit aus der Summe des Zählergebnisses der Laufzeitmessung und dem halbierten Zählergebnis der Komparatorsignaldauer.

Die Zwischenspeicherung des Spitzenwertes des zu detektierenden Empfangs- oder Echosignals ermöglicht durch Erweiterung der Einrichtung mit einem Verstärker und einem Analog-Digital-Wandler vorteilhaft die Bestimmung der Amplituden der Signale. Damit ist es möglich, die Amplituden von aufeinanderfolgenden Empfangs- oder Echosignalen zur Ermittlung des Absorptionskoeffizienten zu benutzen.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll im folgenden an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Dabei zeigen die zugehörigen Zeichnungen in

Fig. 1: das Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Einrichtung zur Realisierung des Verfahrens zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall

Fig. 2: ein Signalschema zum zeitlichen Ablauf des Meßvorganges,

Fig. 3: das Blockschaltbild einer Ausgestaltung der Einrichtung und

Fig. 4: das Blockschaltbild einer weiteren Ausgestaltung der Einrichtung.

Die Wirkungsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens wird im folgenden im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Einrichtung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall beschrieben.

Gemäß Fig. 1 weist die Einrichtung folgende Elemente auf: Steuerwerk 1, elektrisch-akustischer Wandler 2, akustisch-elektrischer Wandler 3, Empfangsverstärker 4, Spitzenwertabstastschaltung und -halteschaltung 5, Spannungsteiler 6, Komparatorschaltung 7, Blende 8, Zähleinheit 9 und Sendeeinheit 10.

In der Vorbereitungsphase des erfindungsgemäß in diese und die Meßphase unterteilten Meßvorganges (vgl. Fig. 2) wird, vom Steuerwerk 1 ausgelöst, von der Sendeeinheit 10 ein Sendeburstsignal a erzeugt und dem elektrisch-akustischen Wandler 2 zugeführt. Nach der Durchschallung des zu untersuchenden Stoffsystems wird das Signal vom akustisch-elektrischen Wandler 3 rückgewandelt. Das Empfangssignal b wird vom Empfangsverstärker 4 verstärkt, der Komparatorschaltung 7 und der vom Steuerwerk 1 gesteuerten Spitzenwertabstastschaltung und -halteschaltung 5 zugeführt, zwischengespeichert und dient nach einer geringfügigen Amplitudenverringerung auf 90 bis 98% mittels Spannungsteiler 6 als Vergleichssignal c für die Komparatorschaltung 7.

In der Meßphase wird, von Steuerwerk 1 ausgelöst, wiederum ein Sendeburstsignal a erzeugt und die Laufzeitmessung gestartet. Das Empfangssignal b wird verstärkt und der Komparatorschaltung 7 zugeführt. Dabei wird durch das Überschreiten des in der Vorbereitungsphase gewonnenen Vergleichssignals c bei der von Steuerwerk 1 geöffneten Blende 8 die Laufzeitmessung in der Zähleinheit 9 gestoppt.

Die in Fig. 3 gezeigte Ausführungsform der Einrichtung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall besteht aus den in Fig. 1 gezeigten Elementen, wobei die Komparatorschaltung 7 die spezielle Zusammensetzung aus Spitzenwertkomparator 7.1, Nullspannungskomparator 7.2 und Komparator-Flipflop 7.3 aufweist.

Die Zähleinheit 9 besitzt die Baugruppen Normalfrequenzgenerator 9.1, Zähltor 9.2 für einen ersten Zähler 9.3, während die Sendeeinheit 10 in die Baugruppen Sendetorsteuerung 10.1, VCO-Steuerung 10.2, VCO 10.3, Sendetor 10.4 und Sendeverstärker 10.5 zerfällt. Weiterhin existieren gem. Fig. 3 die Baugruppen Verstärker 11, Analog-Digital-Wandler 12, Steuer- und Datenbus 13, seriell Interface 14, Anzeige 15 und seriell Bussystem 16.

Die Funktionsweise dieser Ausgestaltung ist folgende:

Auch hier wird durch Steuerwerk 1 die Unterteilung des Meßvorganges in die vorgenannten Phasen realisiert. In der Vorbereitungsphase wird vom Steuerwerk 1 die Sendetorsteuerung 10.1 aktiviert, die eine vorgegebene Anzahl von Schwingungen des VCO 10.3 über das Sendetor 10.4 dem Sendeverstärker 10.5 zuleitet, der den elektrisch-akustischen Wandler 2 anregt. Nach der Durchschallung des zu untersuchenden Stoffsystems wird das Signal vom akustisch-elektrischen Wandler 3 zurückgewandelt, von Empfangsverstärker 4 verstärkt, dem Spitzenwertkomparator 7.1, dem Nullspannungskomparator 7.2 und der Spitzenwertabstastschaltung und -halteschaltung 5 zugeführt und nach geringfügiger Verringerung auf etwa 90 bis 98% des Spitzenwertes durch Spannungsteiler 6 dem Spitzenwertkomparator 7.1 als Vergleichssignal zugeleitet.

Der zwischengespeicherte Spitzenwert wird von Verstärker 11 verstärkt und von Analog-Digital-Wandler 12 digitalisiert. Nach Abklingen aller Echosignale nach ca. 1 ms wird die Meßphase eingeleitet. Erneut wird ein, dem in der Vorbereitungsphase erzeugtes Signal gleiches, Sendeburstsignal erzeugt – gleichzeitig werden das Zähltor 9.2 und der erste Zähler 9.3 aktiviert. Das empfangene oder Echosignal wird verstärkt und an den Spitzenwertkomparator 7.1 zum Detektieren des Überschreitens des Vergleichssignals geleitet, wodurch das Komparator-Flipflop 7.3 gesetzt und bei der abfallenden Flanke im Nulldurchgang durch den Nullspannungskomparator 7.2 über Blende 8 die Laufzeitmessung gestoppt wird. Dadurch wird gewährleistet, daß zur Detektion des Empfangs- oder Echosignals der Nulldurchgang nach der größten Schwingung als signifikantes Merkmal benutzt wird.

Welches Empfangs- oder Echosignal detektiert wird, bestimmt das Steuerwerk 1 in der Vorbereitungsphase durch die Steuerung der Spitzenwertabtastschaltung und -halteschaltung 5 und in der Meßphase durch die Steuerung der Blende 8.

Dadurch, daß der Vergleichswert des Spitzenwertkomparators 7.1 kurz vor jeder Laufzeitmessung in Abhängigkeit von den konkreten Anpaßbedingungen und dem Absorptionsverhalten des zu untersuchenden Stoffsystems generiert wird, ist gewährleistet, daß der Schalterpunkt stets unbeeinflusst von Pegeländerungen des Empfangs- oder Echosignals bleibt, also eine konstante Genauigkeit erhalten bleibt.

Zur Bestimmung der Meßgröße Ultraschallgeschwindigkeit c_s werden bei konstantem Wandlerabstand w_a zwei Laufzeitmessungen, z. B. T_1 – Laufzeit des ersten Echos, T_2 – Laufzeit des zweiten Echos, ausgeführt, so daß sich ergibt:

$$c_s = \frac{2 w_a}{T_2 - T_1}$$

Durch die Differenzmessung ist es möglich, die Verzögerungszeiten im elektronischen Teil sowie in den Wandlern zu bestimmen und zu eliminieren.

Die Auswertung der Amplitudeninformationen über den Analog-Digital-Wandler 12 gestattet die Bestimmung des Absorptionskoeffizienten des untersuchten Stoffsystems.

Die ermittelten Meßwerte können in Anzeige 15 dargestellt oder über das serielle Interface 14 in das Bussystem 16 zur weiteren Verarbeitung mit größeren Rechnern eingespeist werden.

In Fig. 4 wird eine weitere, geringfügig veränderte Ausgestaltung der Erfindung vorgestellt, bei der die Komparatorschaltung 7 nur aus einem Spitzenwertkomparator 7.1 besteht, der über Blende 8 mit einem aus Zähltor 9.2 und Zähler 9.3 bestehenden Zählkanal zum Detektieren des Überschreitens des Vergleichssignals und zum Stoppen der Laufzeitmessung und weiterhin mit einem aus Zähler 9.4 und Zähler 9.5 bestehenden zweiten Zählkanal zur Messung der Komparatorsignaldauer, d. h. der Dauer der Überschreitung des Vergleichssignals durch das Empfangs- oder Echosignal, verbunden ist.

Zum Beispiel wird die Laufzeit T_1 des ersten Echosignals dann bestimmt durch das Laufzeitzählergebnis TL_1 des ersten Zählers 9.3 und die durch Zähler 9.5 festgestellte Komparatorsignaldauer TK_1 nach der Beziehung

$$T_1 = TL_1 + \frac{TK_1}{2}$$

Die Berechnung der Ultraschallgeschwindigkeit c_s erfolgt dann entsprechend der erstgenannten Ausgestaltung der Erfindung. Die erfindungsgemäße Verfahrensweise kann durch eine zusätzlich eingeführte adaptive Phase vorteilhaft ausgestaltet werden, in der folgende Vorgänge ablaufen:

Nach dem Einschalten der Einrichtung bzw. nach einer bestimmten Einsatzdauer werden, vom Steuerwerk 1 gesteuert, die wichtigsten Steuerparameter wie Sendesignalfrequenz, Sendesignalamplitude und Empfangsverstärkung mit Hilfe von VCO-Steuerung 10.2, VCO 10.3, Sendetor 10.4, Sendeverstärker 10.5, elektrisch-akustischer Wandler 2, akustisch-elektrischer Wandler 3, Empfangsverstärker 4, Spitzenwertabtastschaltung und -halteschaltung 5, Verstärker 11 und Analog-Digital-Wandler 12 sowie die Blendenzzeit durch schrittweise Messung von Empfangs- und Echosignalen selbsttätig ermittelt, eingestellt und korrigiert.

Die Erfindung eignen sich besonders zur Anwendung unter Betriebsbedingungen, da Umwelt- und Prozeßeinflüsse wie Verschmutzungen der Schwingerkonstruktionen, Drift von Betriebsparametern elektronischer Funktionseinheiten oder Amplitudenschwankungen infolge Absorptionsänderungen ohne Einfluß auf die hohe Genauigkeit des Meßsystems sind. Daher ist auch der Anwendungsbereich der Erfindungen gegenüber den eingeschränkt verwendbaren bekannten Lösungen deutlich erweitert.

Der zur Erzielung dieser Vorteile notwendige Mehraufwand an einfachen elektronischen Baugruppen (Spannungsteiler, Komparator, Zähler) fällt daher kaum ins Gewicht.

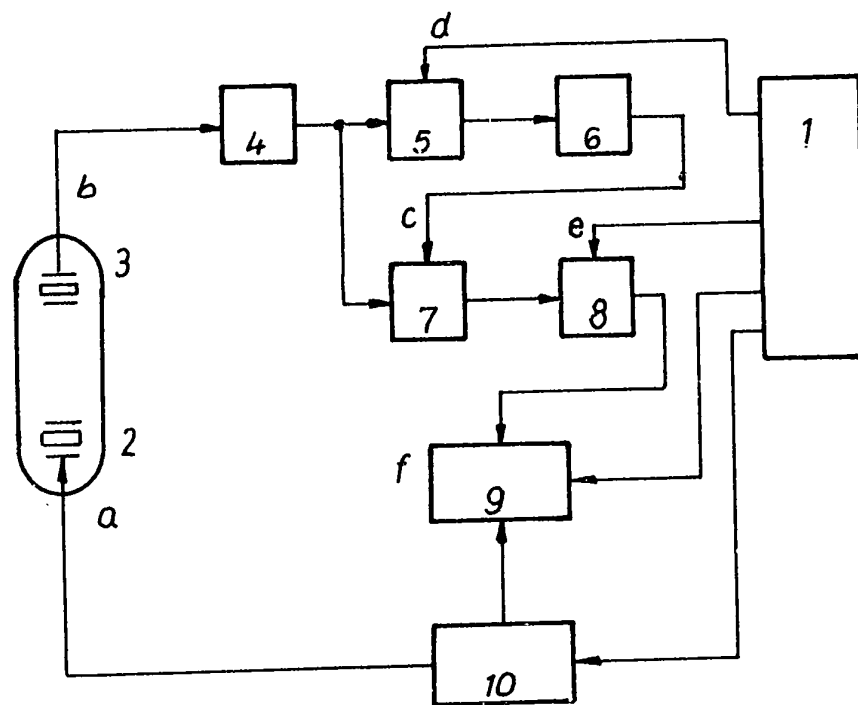


Fig.1

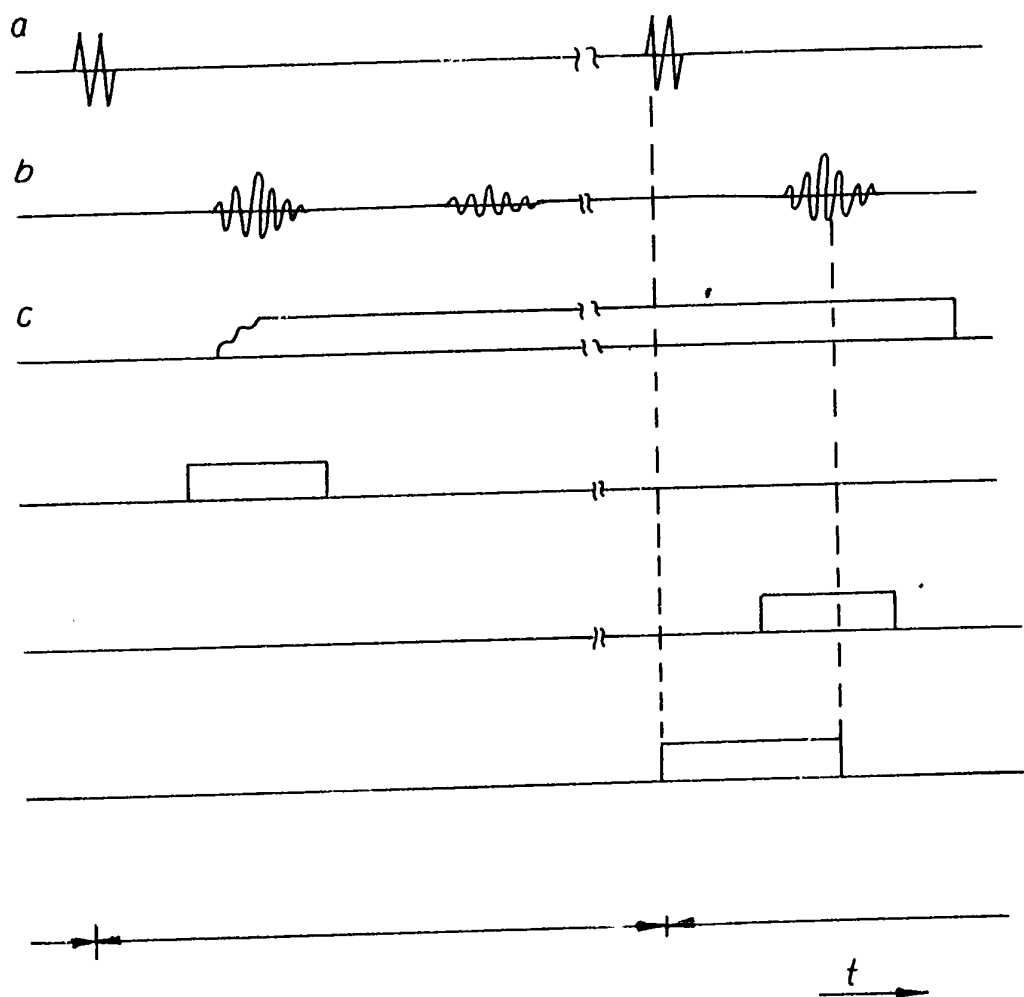


Fig. 2

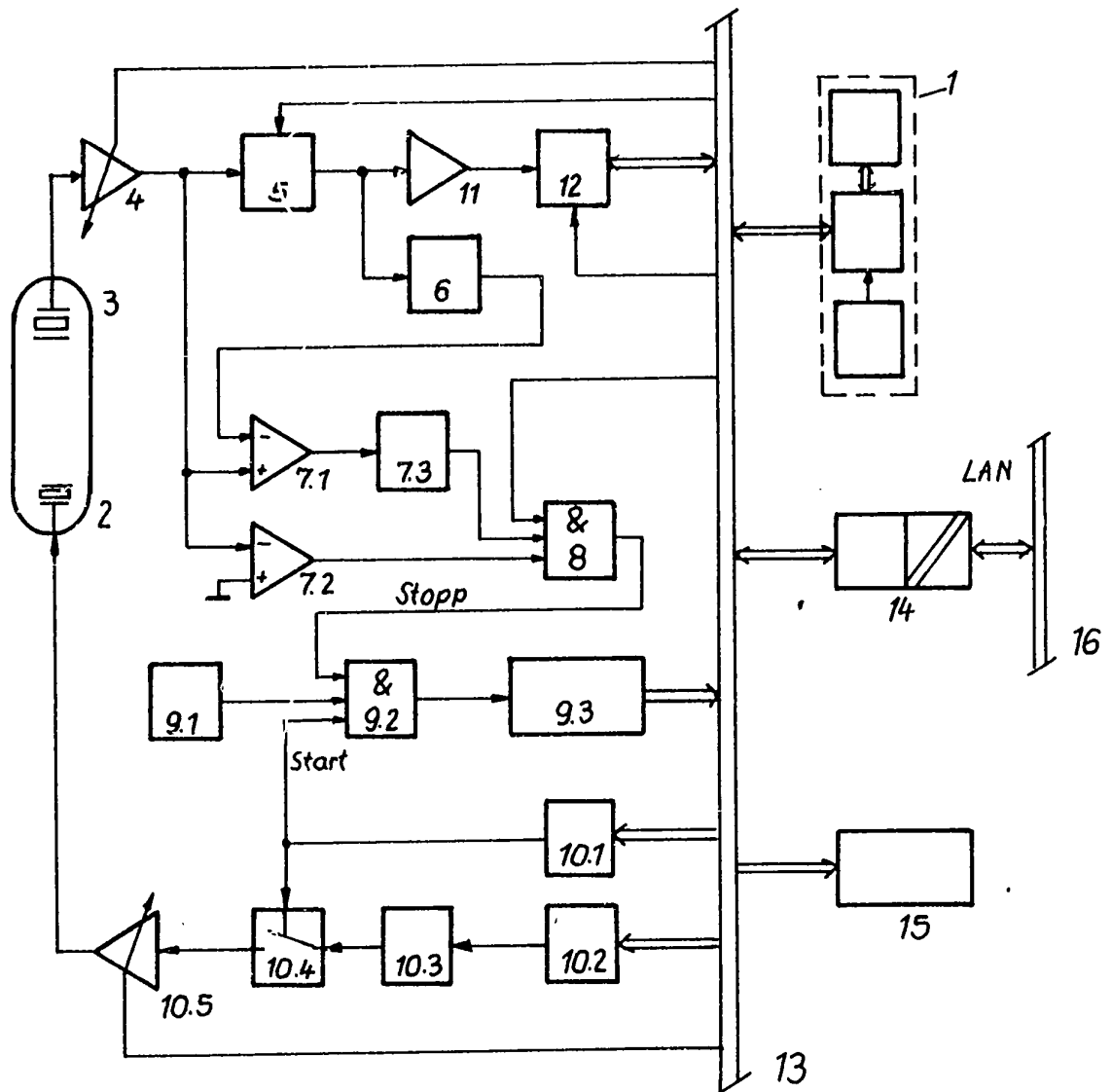


Fig. 3

