



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤ Int. Cl.³: G 01 F
G 01 S
G 01 P

1/66
11/00
5/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑪

628 140

⑳ Gesuchsnummer: 1887/78

㉔ Anmeldungsdatum: 22.02.1978

③① Priorität(en): 22.02.1977 US 770677

㉔ Patent erteilt: 15.02.1982

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 15.02.1982

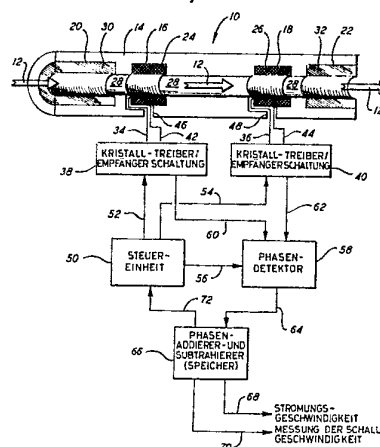
⑦③ Inhaber:
The Perkin-Elmer Corporation, Norwalk/CT
(US)

⑦② Erfinder:
Lawrence G. Hall, West Covina/CA (US)
Robert S. Loveland, West Covina/CA (US)

⑦④ Vertreter:
Patentanwälte W.F. Schaad, V. Balass, E.E.
Sandmeier, Zürich

⑤④ Strömungsmessgerät für ein Strömungsmittel.

⑤⑦ Ein Strömungsmessgerät zur genauen Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit eines Strömungsmittels und zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in diesem Mittel besitzt eine Umformeranordnung (24, 26), durch die das Strömungsmittel strömt. Es sind zwei zylindrische Umformer (24, 26) vorgesehen, von denen abwechselnd der eine akustische Druckwellen aussendet und der andere diese Druckwellen empfängt. Die Phasendifferenz zwischen dem ausgesandten und dem empfangenen Signal wird für zwei aufeinanderfolgende Sende-Empfangs-Zyklen gespeichert, wobei die Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgend gespeicherten Phasendifferenzen die Grösse und die Richtung der Strömungsmittelströmung angibt und die Summe der gespeicherten Phasendifferenzen ein Mass für die Schallgeschwindigkeit in dem Strömungsmittel ist. Das Strömungsmessgerät weist eine Einrichtung zum automatischen Kompensieren von Änderungen in der Strömungsmittelzusammensetzung auf, so dass die angegebene Strömungsgeschwindigkeit jederzeit richtig ist.



PATENTANSPRÜCHE

1. Strömungsmessgerät für ein längs eines Weges strömendes Strömungsmittel, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (14, 28) zum Bestimmen einer die Strömungsmittelströmung einschliessenden Weges, längs des Weges angeordnete erste und zweite Umformer (24, 26), eine mit dem ersten und zweiten Umformer verbundene Umformersteuerschaltung (38, 40, 50), die während eines ersten Sende-Empfangs-Zyklus bewirkt, dass der erste Umformer (24) erste akustische Druckwellen in dem Strömungsmittel erzeugt und der zweite Umformer (26) bei Empfang dieser Druckwelle ein erstes Signal erzeugt und dass während eines zweiten Sende-Empfangs-Zyklus der zweite Umformer (26) zweite akustische Druckwellen in dem Strömungsmittel erzeugt und der erste Umformer (24) bei Empfang dieser Druckwellen ein zweites Signal erzeugt, durch eine Detektoreinrichtung (58) zum Bestimmen einer ersten Geschwindigkeitsangabe während des ersten Sende-Empfangs-Zyklus und zum Bestimmen einer zweiten Geschwindigkeitsangabe während des zweiten Sende-Empfangs-Zyklus, durch eine Recheneinrichtung (66) zur Summen- und/oder Differenzbildung aus der ersten und zweiten Geschwindigkeitsangabe und durch eine mit der Umformersteuerschaltung (38, 40, 50) verbundene Einrichtung (VCO) zum Einstellen der Frequenz der von dem ersten bzw. zweiten Umformer (24, 26) erzeugten akustischen Druckwellen auf die Resonanzfrequenz.
2. Strömungsmessgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoreinrichtung (58) eine Messeinrichtung (58) zum Messen einer ersten Phasendifferenz zwischen den vom ersten Umformer (24) erzeugten ersten akustischen Druckwellen und dem ersten vom zweiten Umformer (26) erzeugten Signal während jedes ersten Sende-Empfangs-Zyklus und zum Messen einer zweiten Phasendifferenz zwischen den vom zweiten Umformer (26) erzeugten zweiten akustischen Druckwellen und dem vom ersten Umformer (24) erzeugten zweiten Signal, während jedes zweiten Sende-Empfangs-Zyklus ist und dass die Recheneinrichtung (66) die Differenz aus der ersten und zweiten Phasendifferenz bildet, wobei die Grösse des Differenzsignals auf die augenblickliche Strömungsmittel-Strömungsgeschwindigkeit direkt bezogen ist und das Vorzeichen des Differenzsignals die Richtung der Strömungsmittelströmung längs des Weges angibt.
3. Strömungsmessgerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Resonanzfrequenz für die von den Umformern (24, 26) erzeugten akustischen Druckwellen, die natürliche Hohlraum-Resonanzfrequenz der 02-Mode ist, die das Auftreten eines Resonanzechos über den Durchmesser (D) eines jeden der Umformer (24, 26) bewirkt.
4. Strömungsmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und zweite Umformer (24, 26) jeweils voneinander getrennte, sendende und empfangende Umformer besitzen.
5. Strömungsmessgerät nach einem der Ansprüche 2 bis 4, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Anzeigen der Summe der ersten Phasendifferenz und der zweiten Phasendifferenz, wobei die Grösse der angezeigten Summe sich auf die Schallgeschwindigkeit in dem Strömungsmittel bezieht.
6. Strömungsmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Umformer (24, 26) einen zylindrischen Körper aufweist, dessen Innenmantelfläche im wesentlichen fluchtend mit der Einrichtung (14, 28) zum Bestimmen des die Strömungsmittelströmung einschliessenden Weges ausgebildet ist, so dass die Umformer (24, 26) die Strömungsmittelströmung nicht behindern.
7. Strömungsmessgerät nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Umformer (24, 26) einen Kristall aufweist.
8. Strömungsmessgerät nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Kristallmaterial ein Material aus der Polyvinyl-

fluoriden, Bariumtitanat, Bleizirkonattitanat, Quarz, Turmalin, hochpolymere organische piezoelektrische Materialien oder polarisierte polykristalline ferroelektrische Keramikmaterialien aufweisenden Gruppe hat.

9. Strömungsmessgerät nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (VCO) zum automatischen Einstellen der Frequenz der akustischen Drücke einen Oszillator zum Erzeugen eines Signals bei einer Frequenz hat, die zumindest teilweise durch die Summe der ersten Phasendifferenz und der zweiten Phasendifferenz bestimmt ist.

10. Strömungsmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Umformer-Steuerschaltung (50) eine Einrichtung (Q_1 bis Q_6) zum kontinuierlichen Umschalten zwischen dem ersten Sende-Empfangs-Zyklus und dem zweiten Sende-Empfangs-Zyklus hat.

11. Strömungsmessgerät nach einem der Ansprüche 2 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einrichtung (146, 148) zum Speichern der ersten Phasendifferenz und der zweiten Phasendifferenz vorgesehen ist.

12. Strömungsmessgerät nach einem der Ansprüche 2 bis 11, gekennzeichnet durch eine auf das Differenzsignal ansprechende Einrichtung (Fig. 6) zum Korrigieren des Differenzsignals in ein korrigiertes Strömungsgeschwindigkeitssignal.

13. Strömungsmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 12, gekennzeichnet durch akustisches Dämpfungsmaterial (30, 32), das längs des Weges an einer Stelle angeordnet ist, um die von den Umformern (24, 26) ausgesandten und reflektierten akustischen Druckwellen an den Enden der Einrichtung (24, 28) zum Bestimmen des Weges wesentlich zu dämpfen.

14. Strömungsmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zum Bestimmen des die Strömungsmittelströmung einschliessenden Weges einen rohrförmigen Körper (14) aufweist.

15. Strömungsmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Umformersteuerschaltung je eine dem ersten und dem zweiten Umformer (24, 26) zugeordnete Treiber-Empfängerschaltung (38, 40) umfasst.

16. Strömungsmessgerät nach einem der Ansprüche 3 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz der akustischen Druckwellen auf einen solchen Wert gehalten ist, dass der Durchmesser (D) im wesentlichen gleich $2,3\lambda$ ist, wobei λ die Wellenlänge der von den Umformern (24, 26) in dem Strömungsmittel erzeugten Druckwellen ist.

Die Erfindung betrifft ein Strömungsmessgerät für ein längs eines Weges strömendes Strömungsmittel.

- Ein typisches, mit akustischen Wellen arbeitendes Strömungsmessgerät ist in der US-PS 3 109 112 beschrieben. Dieses Strömungsmessgerät hat ein Paar von Umformern zum Erzeugen und Empfangen von Druckwellen entweder im hörbaren oder Ultraschall-Frequenzbereich. Diese Umformer sind innerhalb eines Gehäuses angeordnet, durch das das Strömungsmittel fliesst. Die Umformer befinden sich abwechselnd in Sende- und Empfangsbetriebsweise, so dass Druckwellen durch den sendenden Umformer, in dem Gas erzeugt wird, und von dem anderen Umformer empfangen werden. Durch Messung der Phasendifferenz zwischen den ausgesendeten und empfangenen Wellen in beiden Richtungen wird die Geschwindigkeit des durch die Umformer hindurchgehenden Gases bestimmt.

Eine Modifikation des in der vorstehend genannten US-Patentschrift beschriebenen Strömungsmessgerätes beruht auf Umformern, die mit einem Sende- und einem Empfangsteil ausgestattet sind, um irgendwelche Probleme infolge von Änderungen in der Gaszusammensetzung oder Temperatur des Gases im wesentlichen auszuschliessen.

Die vorstehend angegebene bekannte Vorrichtung erfordert,

dass der Umformer in dem Strömungsweg des Gases angeordnet ist, dessen Geschwindigkeit gemessen werden soll oder in einem Hohlraum in der Leitungswand angeordnet ist. Bei jeder Anordnung wird die normale Strömung des Strömungsmittels wesentlich geändert, wenn es an dem Umformer vorbeiströmt, wodurch die Genauigkeit des Strömungsmessgerätes leidet. Ausserdem können Feststoffteilchen in dem Strömungsmittel od. dgl. sich um die Umformer herum sammeln, wodurch die Sende- und Empfangseigenschaften der Umformer verschlechtert werden.

Bei einem Versuch, diese und weitere Schwierigkeiten der bekannten akustischen Strömungsmessgeräte zu beseitigen, wurde ein Strömungsmessgerät entwickelt, das keine Hindernisse längs des Strömungsweges hat und in der US-Patentanmeldung Serial No. 599 245 vom 24. Juli 1975 beschrieben ist, der die US-PS 4 003 252 entspricht. Bei diesem Strömungsmessgerät haben die Umformer eine im wesentlichen zylindrische Form und sind innerhalb der Wände der Strömungsleitung angeordnet, wodurch alle Hindernisse in dem Strömungsweg wie auch Hohlräume in der Leitungswand beseitigt sind, in denen sich Ablagerungen sammeln könnten.

Obwohl dieses Strömungsmessgerät Hindernisse in dem Strömungsweg des Strömungsmittels wie auch Hohlräume in der Leitungswand beseitigt, kann es ungenau werden oder vollständig ausfallen, wenn die Zusammensetzung des durch es hindurchfliessenden Gases unterschiedlich zu der ist, für das das Strömungsmessgerät abgeglichen ist. Tatsächlich ist dieses ein gemeinsames Problem bei den meisten akustischen Strömungsmessgeräten, da die Geschwindigkeit der akustischen Druckfortpflanzung innerhalb eines Gases eine Funktion seiner chemischen Zusammensetzung ist, so dass die Genauigkeit von typischen akustischen Strömungsmessgeräten von seinem Abgleich für das bestimmte Gas abhängt, dessen Strömung zu messen ist. Das Erfordernis eines erneuten Abgleiches jedesmal dann, wenn das Strömungsmessgerät für ein anderes Gas benutzt werden soll, ist bestenfalls zumindest unbequem. Bei Anwendungen, bei denen die Gaszusammensetzung sich während der Benutzung des Strömungsmessgerätes ändert, z. B. bei Lungentätigkeits-Funktionsanalysegeräten, sind akustische Strömungsmessgeräte ungenau, sofern keine korrigierende Rückkopplung von einem Gasanalysegerät vorgesehen ist, um eine Änderung der Gaszusammensetzung zu kompensieren.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Strömungsmessgerät der eingangs genannten Art zu schaffen, das unabhängig von Änderungen in der Zusammensetzung oder der Temperatur des Strömungsmittels ist, wobei das Strömungsmessgerät sich automatisch auf derartige Änderungen unter Berücksichtigung der Schallgeschwindigkeit einstellt.

Das erfindungsgemässe Strömungsmessgerät für ein längs eines Weges strömendes Strömungsmittel ist gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Bestimmen eines die Strömungsmittelströmung einschliessenden Weges, längs des Weges angeordnete erste und zweite Umformer, eine mit dem ersten und zweiten Umformer verbundene Umformersteuerschaltung, die während eines ersten Sende-Empfangs-Zyklus bewirkt, dass der erste Umformer erste akustische Druckwellen in dem Strömungsmittel erzeugt und der zweite Umformer bei Empfang dieser Druckwellen ein erstes Signal erzeugt und dass während eines zweiten Sende-Empfangs-Zyklus der zweite Umformer zweite akustische Druckwellen in dem Strömungsmittel erzeugt und der erste Umformer bei Empfang dieser Druckwellen ein zweites Signal erzeugt, durch eine Detektoreinrichtung zum Bestimmen einer ersten Geschwindigkeitsangabe während des ersten Sende-Empfangs-Zyklus und zum Bestimmen einer zweiten Geschwindigkeitsangabe während des zweiten Sende-Empfangs-Zyklus, durch eine Recheneinrichtung (66) zur Summen- und/oder Differenzbildung aus der ersten und zweiten Geschwindigkeitsangabe und durch eine mit der Umformersteuerschaltung verbundene Einrichtung zum Einstellen der Frequenz der

von dem ersten bzw. zweiten Umformer erzeugten akustischen Druckwellen auf die Resonanzfrequenz.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Strömungsmessgerätes, einschliesslich einer Umformer-Anordnung, und ein Blockschaltbild der ihm zugeordneten Schaltung;

Fig. 2 eine detaillierte Schaltung eines Zeitimpulsgenerators zum Steuern der Arbeitsweise der in den Fig. 4 und 5 gezeigten Schaltung;

Fig. 3 ein Zeit-Impuls-Diagramm für die Schaltung der Fig. 2, und

Fig. 4 bis 6 detaillierte Schaltungen einer Ausführungsform der erfindungsgemässen Strömungsmessgerätschaltung, die die von der Schaltung der Fig. 2 erzeugten Zeitimpulse benutzt.

Wie in Fig. 1 gezeigt ist, weist das erfindungsgemässe Strömungsmessgerät eine Umformeranordnung 10 auf, die im Längsschnitt gezeigt ist, einen im wesentlichen zylindrischen Körper mit einer zentralen Bohrung aufweist, die sich durch die Anordnung 10 erstreckt und durch die Gas in einer durch die Pfeile 12 angegebenen Richtung strömt. Diese Pfeile 12 geben die Gasströmung durch die Umformeranordnung 10 in einer Richtung von links nach rechts in Fig. 1 an. Jedoch kann Gas durch die Anordnung 10 auch in der entgegengesetzten Richtung strömen, wenn dieses gewünscht ist.

Die Umformeranordnung 10 ist im wesentlichen nach Massgabe der Beschreibung in der US-PS 4 003 252 ausgebildet, deren Offenbarung hiermit in die Beschreibung einbezogen wird. So kann die Umformeranordnung 10 der vorliegenden Erfindung zusätzlich ein zylindrisches Gehäuse aus Metall oder einem anderen geeigneten Material, das in Fig. 1 nicht gezeigt ist, umfassen, das das Tragglied 14 umgibt. Das Tragglied 14 selbst ist vorzugsweise aus Polyurethanschaum, Schaumgummi oder einem anderen Material gefertigt, das gute akustische Dämpfungseigenschaften hat. Zwei kreisringförmige Ausnehmungen 16 und 18 sind in der Innenwand des Traggliedes 14 ausgebildet und mit Abstand zueinander längs des Weges der Strömungsmittelströmung angeordnet, die durch die Pfeile 12 angegeben ist. Zwei zusätzliche kreisförmige Ausnehmungen 20 und 22 sind an den entgegengesetzten Enden des Traggliedes 14 angeordnet.

Jeweils innerhalb und in Berührung mit den Oberflächen, die jede kreisringförmige Ausnehmung 16 und 18 bilden, ist ein zylindrischer Umformer 24 und 26 angeordnet, von denen jeder eine zylindrische Innenbohrung hat, die durch ihn hindurchgeht und im wesentlichen sich gleichförmig mit den inneren zylindrischen Bohrungen 28 erstreckt, die sich zwischen den kreisringförmigen Ausnehmungen des Traggliedes 14 erstrecken.

Umformer mit einer anderen Geometrie, wie gewölbte Umformer, können ebenfalls mit geeigneten Änderungen an den übrigen Teilen der Umformeranordnung 10 benutzt werden, um eine zentral angeordnete Bohrung durch sie hindurch mit keinen Hindernissen und keinen Hohlräumen in der Bohrungswand zu erhalten, die ein Sammlungsort für Teilchenmaterial wären.

Innerhalb einer jeden kreisförmigen Ausnehmung 20 und 22 ist ein Endring 30 und 32 jeweils angeordnet, der vorzugsweise aus einem Schall absorbierenden Material, wie einem Polyurethan-Dämpfungsschaum, ähnlich dem Y-370 Schwingungsdämpfungsband, das von der 3M-Corporation hergestellt ist, gefertigt ist. Materialien, die ähnliche schallabsorbierende Eigenschaften haben, können ebenfalls für die Endringe 30 und 32 benutzt werden. Die Endringe 30 und 32 haben jeweils eine zylindrische Innenbohrung, die im wesentlichen sich fluchtend mit den benachbarten Zylinderbohrungen 28 des Traggliedes 14 erstrecken. Der Strömungsweg durch die Umformeranordnung 10, wie er durch die Pfeile 12 angegeben ist, hat daher eine im wesentlichen kontinuierliche Wand, so dass das durch ihn hindurchfliessende Strömungsmittel durch keine Vorsprünge oder Hohlräume behindert ist.

Die Umformer 24 und 26 können eine von einer Anzahl herkömmlicher Einrichtungen haben, die in radialer oder reifenförmiger Weise zum Erzeugen von akustischen Drücken innerhalb des Gases arbeiten, das durch die Anordnung 10 hindurchströmt. Beispiele geeigneter Materialien für die Umformer 24 und 26 umfassen zylindrische Körper, die aus Polyvinylfluoriden oder anderen hochpolymeren organischen, piezoelektrischen Materialien hergestellt sind, aus Bariumtitanat gefertigte keramische Umformer, Bleizirkonattitanat oder andere polarisierte polykristalline ferroelektrische keramische Materialien, Quarz, Turmalin oder äquivalente elektromechanische Anordnungen umfassen, die dem Fachmann bekannt sind.

Die Innen- und Aussenflächen der Umformer 24 und 26 haben leitende Beschichtungen auf ihnen, die die elektrischen Speiseelektroden bilden. Die leitenden Beschichtungen auf den Innenflächen der Umformer 24 und 26 sind jeweils über Leitungen 34 und 36 mit extern angeordneten Kristalltreiber/Empfängerschaltungen 38 und 40 verbunden. Die leitenden Beschichtungen auf der Aussenfläche der Umformer 24 und 26 sind jeweils über Leitungen 42 und 44 mit den Kristalltreiber/Empfängerschaltungen 38 und 40 verbunden. Die elektrischen Verbindungsleitungspaare 34, 42 und 36, 44 für die Umformer 24 und 26 treten jeweils durch Öffnungen 46 und 48 hindurch, die jeweils von aussen der Anordnung 10 mit den Umformern innerhalb der kreisringförmigen Ausnehmungen 16 und 18 verbunden sind. Die Wirkungsweise der Umformeranordnung 10 in Verbindung mit der elektronischen Schaltung ist prinzipiell die gleiche, wie sie in der zuvor erwähnten US-PS 4 003 252 beschrieben ist, so dass deren Offenbarung auch in dieser Hinsicht hier aufgenommen wird. Grundsätzlich ist die Umformeranordnung jedoch über eine flexible Hülle, ein Rohr od. dgl. mit einer externen Strömungsmittelquelle verbunden, deren Strömungsgeschwindigkeit bestimmt werden soll. Das Strömungsmittel selbst kann entweder ein Gas oder eine Flüssigkeit aufweisen, obwohl das gezeigte Ausführungsbeispiel der Erfindung insbesondere zur Messung der Gasströmung ausgelegt ist, wenn diese durch die Umformeranordnung 10 in einer axialen Richtung hindurchfliesst, die durch die Pfeile 12 angegeben ist, oder aber in die entgegengesetzte Richtung. Eine Steuerschaltung 50 ist jeweils über Leitungen 52 und 54 mit den Umformer-Treiber/Empfängerschaltungen 38 und 40 verbunden. Die Steuerschaltung 50 veranlasst einen der Umformer-Treiber/Empfängerschaltungen 38 oder 40 zum Aussenden eines elektrischen Signals an den jeweils mit ihr verbundenen zylindrischen Umformer 24 oder 26, während die andere Treiber/Empfängerschaltung 40 oder 38 ein Signal von dem mit ihr verbundenen Umformer 26 oder 24 empfängt. Wie zuvor angegeben, sprechen die Umformer 24 oder 26, die elektrische Signale von einer Treiber/Empfängerschaltung erhalten, auf diese durch Erzeugung eines akustischen Druckes in dem Strömungsmittel an. Gleichzeitig spricht der andere mit der anderen Treiber/Empfängerschaltung 38 oder 40 verbundene Umformer auf die akustischen Drücke in dem Strömungsmittel durch Erzeugung eines elektrischen Signals an, das von der mit ihm verbundenen Treiber/Empfängerschaltung erfasst wird.

Die an einem der Umformer 24 oder 26 erzeugten akustischen Drücke benötigen eine endliche Zeit, um sich von dem sendenden Umformer zu dem empfangenden Umformer mit der Ausbreitungszeit auszubreiten, die von der Richtung und der Geschwindigkeit der Strömungsmittelströmung durch die Umformeranordnung 10 und der Schallgeschwindigkeit in der Strömungsmittelströmung innerhalb der Anordnung 10 abhängt. Diese Beziehungen sind im einzelnen in der zuvor erwähnten US-Patentschrift beschrieben.

Als Alternative zu den zuvor beschriebenen Umformern kann jeder Umformer 24 und 26 durch ein Paar von Umformern ersetzt sein, die in der Anordnung 10 in gleicher Weise angeordnet sind. Von dem Paar von Umformern ist einer besonders zum

Senden, d. h. zum Erzeugen von akustischen Drücken, und der andere zum Empfangen, d. h. zum Erzeugen eines elektrischen Signals in Abhängigkeit von akustischen Drücken in dem Gas ausgebildet.

Die Umformeranordnung 10 und die mit ihr verbundene Schaltung arbeiten in der folgenden Weise: die Steuerschaltung 50 bewirkt zuerst, dass einer der Umformer, entweder der Umformer 24 oder 26, akustische Drücke in dem Strömungsmittel erzeugt, und gleichzeitig, dass der andere Umformer, entweder der 26 oder 24, die akustischen Drücke von dem ersten Umformer aufnimmt. Diese Arbeitsweise ist ein erster Sende-Empfangs-Zyklus. Ein Sendesignal wird gleichzeitig von der Steuerschaltung 50 über eine der Leitungen 52 oder 54 an eine Treiber/Empfänger-Schaltung 38 oder 40 und über die Leitung 56 an einen Phasendetektor 58 gegeben. Ein empfangenes Signal von dem empfangenden Umformer 24 oder 26 wird über eine der Umformer-Treiber/Empfänger-Schaltungen 38 oder 40 über Leitungen 60 oder 62 jeweils an den Phasendetektor 58 gegeben. Der Phasendetektor 58 spricht auf das Sendesignal und das empfangene Signal durch Erzeugen eines Signals auf der Leitung 64 an, das die Phasendifferenz zwischen dem ausgesendeten und dem empfangenen Signal angibt. Diese Information wird über die Leitung 64 an eine Recheneinrichtung in Form eines Phasenaddierers und -subtrahierers 66 gegeben, der eine Speichereinrichtung zum zeitweiligen Speichern der von dem Phasendetektor 58 empfangenen Phasendifferenz aufweist.

Die Steuerschaltung 50 bewirkt dann eine Vertauschung der Rollen der Umformer 24 und 26. Das heisst, der andere Umformer 24 oder 26 wird in seinen Sendebetrieb geschaltet, um akustische Drücke im Strömungsmittel zu erzeugen, und der erste Umformer 24 oder 26 wird in seinen Empfangsbetrieb geschaltet. Diese Arbeitsweise bildet einen zweiten Sende-Empfangszyklus. Der Phasendetektor 58 arbeitet während des zweiten Sende-Empfangs-Zyklus zur Bestimmung der Phasendifferenz zwischen dem ausgesendeten Signal und dem empfangenen Signal und diese zweite Phasendifferenz wird über die Leitung 64 an den Phasenaddierer und -subtrahierer 66 gegeben, der auch diese zweite Phasendifferenz zeitweilig speichert.

Der Phasenaddierer und -subtrahierer 66 berechnet, nachdem beide Phasendifferenzen in ihm gespeichert sind, sowohl eine Summe als auch eine Differenz zwischen den beiden gespeicherten Phasendifferenzen. Die Differenz zwischen den beiden gespeicherten Phasendifferenzen mit einer weiteren Korrektur, die in Verbindung mit Fig. 6 erläutert wird, wird auf der Ausgangsleitung 68 angegeben, die, wenn das erfindungsgemässe Strömungsmessgerät abgeglichen ist, die Strömungsgeschwindigkeit durch die Umformeranordnung 10 angibt. Zusätzlich gibt das Vorzeichen der Differenz zwischen den beiden Phasendifferenzen, die von dem Phasendetektor 58 berechnet sind, die Strömungsrichtung durch die Umformeranordnung 10 an, wobei ein positives Vorzeichen eine beliebig gewählte Richtung der Strömungsmittelströmung durch die Anordnung 10 und ein negatives Vorzeichen die entgegengesetzte Richtung der Strömungsmittelströmung angeben.

Die Summe der beiden Phasendifferenzen, wie sie von dem Phasenaddierer und -subtrahierer 66 berechnet wird, wird auf der Ausgangsleitung 70 angegeben. Die Grösse des Signals auf der Leitung 70 ist proportional der Schallgeschwindigkeit in dem Gas, das durch die Anordnung 10 hindurchströmt, verglichen mit der Schallgeschwindigkeit in dem Bezugsgas, das für den Abgleich benutzt wird. Die Summe wird auch über die Leitung 72 an die Steuerschaltung 50 übertragen, die damit in einer später noch im einzelnen beschriebenen Weise benutzt wird. Zusätzlich wird sie zum Korrigieren des Strömungswertes auf der Leitung 68 benutzt. Der auf der Ausgangsleitung 70 angegebene Wert ist ein relativer Wert und das erfindungsgemässe Strömungsmessgerät muss so abgeglichen werden, dass die Grösse des Wertes auf der Leitung 70 interpretiert werden kann.

Wie vorstehend allgemein angegeben ist, ist ein Versagen des in dem zuvor erwähnten US-PS 4 003 252 beschriebenen Strömungsmessgerät dadurch bedingt, dass dieses Strömungsmessgerät nicht bei Umgebungsbedingungen arbeitet, bei denen die Schallgeschwindigkeit in dem Gas, das durch die Umformer hindurchgeht, während seiner Benutzung sich dynamisch ändert. Es wurde festgestellt, dass das zylindrische Umformersystem arbeitet, indem es ein starkes Resonanzecho über den Durchmesser der Röhre bei einer oder mehr Eigenfrequenzen aufbaut. So kann z. B. die Beziehung annähernd $2,3\lambda = D$ sein, wobei λ die Wellenlänge des Schalls in dem Strömungsmittel in Zentimetern ist und D der Innendurchmesser des Kristalls und der Röhre in Zentimetern ist. Die Frequenz, bei der das Resonanzecho über dem Durchmesser D auftritt, wird die natürliche Hohlraumresonanzfrequenz der 02-Mode genannt. Andere nutzbare Frequenzen, bei denen Resonanzechos auftreten, sind die, bei denen D im wesentlichen gleich $0,73\lambda$, $1,4\lambda$, $3,2\lambda$ oder $3,9\lambda$ ist. Der Grund für das zuvor beschriebene Versagen des Strömungsmessgerätes ist dann durch die Tatsache bedingt, dass die Geschwindigkeit der akustischen Drücke innerhalb des Gases, das durch die Umformer hindurchströmt, sich als eine Funktion der Gaszusammensetzung ändert. Dieses bewirkt, dass die Amplitude der akustischen Drücke, die durch den Umformer der Anordnung erfasst werden, der sich im Empfangsbetrieb befindet, sich ändert, da der Innendurchmesser der Umformer nicht länger gleich der Eigenwellenlänge ist, wodurch die Grösse des von dem empfangenden Umformer erzeugten Signals stark abfällt. Daher wird es schwieriger, das empfangene Signal zu erfassen, wodurch die Möglichkeit von Erfassungsfehlern oder einem vollständigen Versagen beim Erfassen von akustischem Druck gegeben ist. Dieses Versagen kann durch Ändern der Innendurchmesser-Abmessungen der Umformer innerhalb der Anordnung oder durch Ändern der Frequenz der akustischen Drücke beseitigt werden, die von dem sendenden Umformer erzeugt sind. Da die Umformeranordnung selbst für eine Einstellung des Innendurchmessers der Umformer nicht geeignet ist, ist es selbstverständlich besser, dieses Problem durch Einstellen der Frequenz der akustischen Drücke zu lösen, die durch den sendenden Umformer erzeugt sind. Die Summe der Phasendifferenzen, wie sie von dem Phasennaddierer und -subtrahierer 66 berechnet sind, wird daher über die Leitung 72 an die Steuerschaltung 50 gegeben. Wie zuvor angegeben, bezieht sich das Signal auf der Leitung 72 auf die Schallgeschwindigkeit in dem Gas, das durch die Anordnung 10 hindurchströmt. Dieses Signal wird von der Steuerschaltung 50 zum Ändern der Frequenz der akustischen Drücke benutzt, die von dem sendenden Umformer während jedes Sendempfangs-Zyklus erzeugt werden, um damit die Wellenlänge konstant zu halten und das von dem empfangenden Umformer aufgenommene Signal so gross wie möglich zu machen.

Es wurde auch festgestellt, dass nach der Korrektur der Frequenz zum Konstanthalten der Wellenlänge die auftretende Strömungsgeschwindigkeit mit der Schallgeschwindigkeit multipliziert werden muss, um eine genaue Strömungsgeschwindigkeitsmessung unabhängig von der Änderung der Gaszusammensetzung zu erzeugen. Versuche haben gezeigt, dass Strömungsmessgeräte der in dem vorstehend genannten US-Patent beschriebenen Art manchmal Fehlern infolge einer Reflektion der akustischen Drücke von andern Teilen des Systems unterliegen, indem die Umformer angeschlossen sind. Diese Reflektionen ergeben sich häufig aus den akustischen Drücken, die an anderen Strömungsmittelübertragungsanschlüssen abprallen, die mit der Umformeranordnung verbunden sind. Probleme haben sich auch ergeben, wenn der Umformer selbst in Atemluft-Analysegeräten benutzt wird, wo er in dichter Nachbarschaft zum Mund des Individuums physikalisch angeordnet ist, dessen Atemluft zu analysieren ist.

Die vorliegende Erfindung beseitigt das Reflektionsproblem durch Vorsehen der Endringe 30 und 32, die an den einander

gegenüberliegenden Enden der Anordnung 10 angeordnet sind. Diese Ringe 30 und 32 sind aus einem akustischen Dämpfungsmaterial, wie das zuvor erwähnte Material, das die Amplitude der akustischen Drücke wesentlich vermindert, die durch sie hindurchgeht. Tatsächlich ist die Grösse der durch sie bewirkten Dämpfung, wenn ein geeignetes Material für die Ringe 30 und 32 gewählt ist, ausreichend, so dass ein Ende der Anordnung 10 in unmittelbarer Nähe des Mundes eines Individuums angeordnet werden kann, dessen Atemluft zu analysieren ist, und die bei anderen akustischen Strömungsmessgeräten infolge von akustischen Reflektionen auftretenden Probleme sind damit im wesentlichen beseitigt. Die durch die Ringe 30 und 32 bewirkte Dämpfung beseitigt im wesentlichen auch die Probleme mit Reflektionen, wenn die Anordnung 10 in das Strömungsmittel tragenden Systemen eingekoppelt wird.

Die vorstehende Erläuterung in Verbindung mit Fig. 1 hat allgemein die Schaltung und die Arbeitsweise der Erfindung beschrieben. Die Schaltungen der Fig. 2 und 4 bis 6 zeigen eine tatsächliche Anwendung der Erfindung in Verbindung mit einem Atemluft-Versuchsgesetz, jedoch erkennt der Fachmann sofort, dass andere Schaltungen benutzt werden können und auch die Bauelemente geändert werden können, um die Schaltung für eine Benutzung bei anderen Anwendungen für die Erfindung zu optimieren.

Die Schaltung der Fig. 2 weist einen Impulsgenerator zum Erzeugen von Steuerimpulsen auf, um die in den Fig. 4 bis 6 gezeigten Schaltungen zu betätigen. Fig. 3 zeigt andererseits ein Impulsdigramm, das die Impulsfolge für unterschiedliche Ausgangssignale der Schaltung der Fig. 2 zeigt. Die Schaltung der Fig. 2 weist eine Integratorschaltung CD4047 auf, mit der ein 121K-Widerstand und ein 4700PF-Kondensator zum Steuern der Ausgangsfrequenz verbunden ist, die bei dem erwähnten Widerstand und Kondensator 400 kHz beträgt. Zwei in Reihe geschaltete J-K-Flip-Flops, die jeweils eine Hälfte einer integrierten Schaltung CD4027 darstellen, werden zur Erzeugung von Zeitgeberimpulsen benutzt, deren Geschwindigkeit geringer ist als die von dem aus der integrierten Schaltung CD4047 gebildeten Oszillator erzeugt. Die von dem Oszillator erzeugten Signale und die Flip-Flops werden durch UND- und NAND-Glieder der Fig. 2 zusammengefasst, um jeweils Impulsketten zu erzeugen, wie sie in Fig. 3 gezeigt sind. Ein Impulsdigramm für den Ausgang Q_0 ist in Fig. 3 nicht gezeigt, jedoch führt er ein Rechtecksignal mit einer Frequenz, die doppelt so gross als für Q_1 ist, und eine ins Positive gehende Vorderflanke eines Impulses auf der mit Q_0 bezeichneten Leitung tritt zur gleichen Zeit auf, wie die ins Positive gehende Vorderflanke eines Impulses an dem Ausgang Q_1 der Schaltung CD4047.

Wie in Fig. 5 gezeigt ist, bildet eine integrierte Schaltung CD4046 einen spannungsgesteuerten Oszillator (VCO), der ein Rechtecksignal am Ausgang 4 erzeugt, dessen Frequenz durch die Widerstände bestimmt ist, die in Reihe zwischen den Anschluss 11 und Erde geschaltet sind, wie auch durch die an den Anschluss 9 gegebene Spannung. Für die bestimmten, in Fig. 5 gezeigten Widerstände und einer Spannung von etwa + 7,5 Volt am Anschluss 9 ist die Frequenz des Rechtecksignals am Ausgang 4 des spannungsgesteuerten Oszillators nominal 51 kHz. Eine Änderung der am Eingang 9 erscheinenden Spannung bewirkt eine Verschiebung der Frequenz des spannungsgesteuerten Oszillators. Die in Fig. 5 gezeigte Schaltung bewirkt eine dynamische Änderung der Frequenz des VCO in Abhängigkeit von Änderungen der Schallgeschwindigkeit in dem Gas in einer später noch näher beschriebenen Weise.

Das Rechtecksignal von dem spannungsgesteuerten Oszillator am Anschluss 4 gelangt über eine Leitung 100 an den Anschluss 3 der Schaltung CD4046, die intern einen Phasendetektor (ϕ DET) bildet. Das Rechtecksignal gelangt auch über eine Leitung 102 an ein NAND-Glied, dessen Ausgang mit einem Operationsverstärker LM318 und einem Operationsmultiplizie-

rer XR2208 verbunden ist. Die Funktion dieser Schaltungen ist es, ein Sinussignal am Anschluss 104 zu erzeugen, das die gleiche Frequenz wie das auf der Leitung 102 erscheinende Rechtecksignal hat. Der Fachmann erkennt jedoch sofort, dass die Schaltung zwischen der Leitung 102 und dem Anschluss 104 nur eine Schaltung vieler bekannter Schaltungen zum Umformen eines Rechtecksignals in ein Sinussignal darstellt, so dass auch andere äquivalente Schaltungen benutzt werden können.

Zwischen dem Anschluss 104 und dem Ausgangsanschluss AC sind drei aus den Schaltungstypen LM318 und 8043C gebildete Operationsverstärker vorgesehen. Der Operationsverstärker LM318 verstärkt das Sinussignal am Anschluss 104. Die zwei Operationsverstärker 8043C stellen die Phase des Signals, das am Ausgangsanschluss AC erscheint, mit Einstellwiderständen 106 und 108 ein, mit denen die Phase des Signals am Ausgangsanschluss AC um etwa 360° eingestellt werden kann. Diese Widerstände werden während des Abgleichs des Strömungsmessgerätes eingestellt und werden vorzugsweise so eingestellt, dass das Signal am Anschluss 9 der Schaltung CD4046 + 7,5 Volt ist, wobei keine Luft durch die Übertrageranordnung 10 (Fig. 1) strömt. Die folgende Beschreibung beschreibt den Mechanismus, durch den die Phaseneinstellung des Signals am Ausgangsanschluss AC eine Änderung der Spannung am Anschluss 9 bewirkt.

Die in Fig. 4 gezeigte Schaltung weist Umformer-Treiber/Empfänger-Schaltungen auf und zeigt, wie diese mit den Umformern 24 und 26 verbunden sind. Die Schaltung der Fig. 4 ist in einen Treiberteil, der links von der gestrichelten Linie 110 gezeigt ist, und einen Empfängerteil unterteilt, der rechts von der gestrichelten Linie 110 gezeigt ist, die Umformer 24 und 26 jedoch nicht enthält.

Das Sinussignal von der Schaltung der Fig. 5 wird an den Eingangsanschluss AC in Fig. 4 und anschliessend an zwei Umformer-Treiberschaltungen gegeben, wobei die erste Treiberschaltung Q5 und die zweite Treiberschaltung Q6 enthält. Diese Transistoren Q5 und Q6 verknüpfen das Sinussignal von dem Eingangsanschluss AC an die jeweils verbundenen Umformer 24 oder 26, wodurch diese in ihren Sendebetrieb gelangen. Die Verknüpfungssignale werden von Transistorpaaren Q1, Q3 und Q2, Q4 und den jeweils verbundenen Schaltungen erzeugt, die die Schaltung der Fig. 2 zum Erzeugen der Verknüpfungssignale umfassen, die an den Anschlüssen X und Y erscheinen. Da die Verknüpfungssignale an den Anschlüssen X und Y zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten und sich abwechseln, wie dieses in Fig. 3 gezeigt ist, werden die Umformer 24 und 26 abwechselnd in ihren Sendebetrieb geschaltet.

Die Empfängerschaltungen 116 und 118 sind auch unmittelbar jeweils mit den Umformern 24 und 26 verbunden, jedoch sind die Empfängerschaltungen 116 und 118 entweder wirksam oder unwirksam, um auf Signale anzusprechen, die durch die mit ihnen verbundenen Umformer 24 oder 26 erzeugt werden, in Abhängigkeit davon, ob der jeweils mit ihnen verbundene, einen Kurzschluss bewirkende Transistor Q7 oder Q8 leitend oder gesperrt ist. Der Transistor Q7 wird z. B. durch ein Verknüpfungssignal Q3 gesteuert und verbindet die Leitung 112 mit Erde, wenn das Signal Q3 positiv ist. In gleicher Weise verbindet der Transistor Q8 die Leitung 114 mit Erde, wenn das Verknüpfungssignal $\overline{Q3}$ positiv ist. Aus dem Impulsdigramm der Fig. 3 ist zu erkennen, dass Q3 immer dann positiv ist, wenn X positiv ist, so dass damit der Empfänger 116 immer unwirksam ist, wenn sich der Umformer 24 in seinem Sendebetrieb befindet und Signale von dem Eingangsanschluss AC empfängt. In gleicher Weise ist der Empfänger 118 immer dann unwirksam, wenn $\overline{Q3}$ positiv ist, wenn sich der Umformer 26 im Sendebetrieb befindet. Wenn daher ein gegebener Umformer 24 oder 26 sich im Sendebetrieb befindet, so ist die jeweils mit ihnen verbundene Empfängerschaltung 116 oder 118 unwirksam. Befindet sich jedoch einer der Umformer im Sendebetrieb, so ist die mit dem anderen Umfor-

mer 24 oder 26 verbundene Empfängerschaltung 116 oder 118 wirksam, da das zugehörige Verknüpfungssignal Q3 oder $\overline{Q3}$ Erdpotential zeigt. So befindet sich z. B. während eines ersten Sende-Empfangs-Zyklus der Umformer 24 im Sendebetrieb und erhält Signale vom Eingangsanschluss AC, der Transistor Q7 ist durch das Signal Q3 leitend, um den Empfänger 116 durch die Erdleitung 112 abzuschalten, und die Empfängerschaltung 118 ist wirksam mit dem Umformer 26 verbunden, da der Transistor Q8 infolge des sich auf Erdpotential befindenden Verknüpfungssignals $\overline{Q3}$ leitend ist. Gleichzeitig befindet sich das Verknüpfungssignal Y auf Erdpotential, wodurch es verhindert, dass das am Eingangsanschluss AC erscheinende Signal über den Transistor Q6 an den Umformer 26 gelangen kann. Der zweite Sende-Empfangs-Zyklus tritt auf, wenn der Umformer 26 Signale von dem Eingangsanschluss AC erhält, der Transistor Q7 durch Q3 gesperrt ist, der Transistor Q8 durch $\overline{Q3}$ leitend geschaltet ist, das Verknüpfungssignal Y positiv ist und das Verknüpfungssignal X sich auf Erdpotential befindet. Daher befindet sich der Umformer 26 im Sendebetrieb, der Empfänger 116 ist wirksam und der Empfänger 118 ist unwirksam.

Die mit dem Umformer 24 verbundene Empfängerschaltung 116 weist zwei Operationsverstärker 120 und 122 auf, die in Reihe geschaltet sind und immer dann wirksam sind, wenn der Transistor Q7 nicht leitend ist, um irgendein auf der Eingangsleitung 112 erscheinendes Signal zu verstärken. Das verstärkte Signal erscheint am Anschluss 6 des Operationsverstärkers 122, der mit dem invertierenden Eingang einer Vergleicherschaltung 124 verbunden ist. Die Vergleicherschaltung 124 ist immer dann wirksam, wenn das Verknüpfungssignal A sich auf einem logischen Pegel von 0 befindet, wodurch das Ausgangssignal am Anschluss 7 erscheinen kann. Das Ausgangssignal am Anschluss 7 ist eine positive Spannung von etwa + 15 Volt, wenn das Sinus-Eingangssignal am Anschluss 3 der Vergleicherschaltung 124 ein negatives Potential hat, und liegt bei 0 Volt, wenn das Eingangssignal am Anschluss 3 ein positives Potential hat. Die Vergleicherschaltung 124 formt daher das Sinus-Eingangssignal in ein Rechteck-Ausgangssignal um. Die mit dieser verbundene Vergleicherschaltung 126 ist während der Dauer der Wirksamkeit der Vergleicherschaltung 124 unwirksam und vice versa.

Der Empfänger 118 weist zwei in Reihe geschaltete Operationsverstärker 130 und 132 auf, die das auf der Eingangsleitung 114 erscheinende Signal verstärken und dieses verstärkte Signal an den Ausgang 6 des Operationsverstärkers 132 geben. Dieses Ausgangssignal am Anschluss 6 des Verstärkers 132 wird an den invertierenden Eingang der Vergleicherschaltung 126 gegeben, die immer dann wirksam ist, wenn das Verknüpfungssignal B sich auf einem logischen Pegel von 0 befindet. Das Ausgangssignal am Anschluss 7 der Vergleicherschaltung 126 ist ein Rechtecksignal mit einer Spannung von etwa + 15 Volt, wenn immer das Eingangssignal am Anschluss 3 negatives Potential hat, und von etwa 0 Volt, wenn immer das Eingangssignal am Anschluss 3 positives Potential hat. Da die Verknüpfungssignale A und B zu unterschiedlichen Zeitpunkten erscheinen, beeinflusst die Arbeitsweise der Vergleicherschaltung 124 oder 126 nicht die Arbeitsweise der anderen Vergleicherschaltung 126 oder 124.

Die Vergleicherschaltungen 124 und 126 sind daher unabhängig voneinander wirksam, um Rechtecksignale an ihren jeweiligen Ausgängen aus den Sinussignalen zu erzeugen, die an den jeweils mit ihnen verbundenen Umformern 24 oder 26 immer dann erzeugt werden, wenn sich der Umformer im Empfangsbetrieb befindet und die erforderlichen Verknüpfungssignale vorhanden sind, um die Empfängerschaltungen 116 oder 118 zu betätigen. Da die Ausgangsanschlüsse der Vergleicherschaltungen an dem Anschluss SIG zusammengeschaltet sind, gibt das an dem Anschluss SIG erscheinende Signal die logische UND-Verknüpfung der an den Ausgängen der Vergleicherschaltungen 124 und 126 erscheinenden Signale an.

Das Ausgangssignal von den Empfängerschaltungen 116 und

118 wird über den in Fig. 4 mit SIG bezeichneten Anschluss an den zugeordneten und in Fig. 5 mit SIG bezeichneten Eingangsanschluss und dann an den Anschluss 14 der integrierten Schaltung CD4046 gegeben, die intern mit der in ihr enthaltenen Phasendetektorschaltung verbunden ist. Der Phasendetektor selbst arbeitet genauso wie eine EXCLUSIV-ODER-Schaltung, deren Ausgang intern mit einem Anschluss 2 der integrierten Schaltung CD4046 verbunden ist und einen Ausgangspegel von einer logischen 1 immer dann hat, wenn nur ein Eingang des Phasendetektors einen Pegel mit einer logischen 1 erhält. Das am Anschluss 2 der integrierten Schaltung CD4046 erscheinende Signal ist daher ein Rechtecksignal, das impulsbreitenmoduliert ist, wobei die Breite eines jeden Impulses auf die Phasendifferenz zwischen dem gesendeten Signal, d. h. dem Signal auf der Leitung 100, und dem empfangenen Signal ist, d. h. dem am Anschluss 14 der integrierten Schaltung CD4046 erscheinenden Signal.

Bei der normalen Arbeitsweise des erfindungsgemässen Strömungsmessgerätes ist, wenn die Zusammensetzung des durch die Umformeranordnung 10 hindurchströmenden Gases sich gegenüber der ändert, bei der das Strömungsmessgerät abgeglichen wurde, die Phase des an dem Eingangsanschluss SIG in Fig. 5 erscheinenden Signals unterschiedlich zu der Signalphase, die an diesem Eingangsanschluss erscheint, wenn die Schaltung abgeglichen wurde. Das Ausgangssignal des Phasendetektors wird daher anders, wodurch die Spannung über dem 1MF-Kondensator eines Tiefpassfilters, das einen 1M Ω -Widerstand und einen 1MF-Kondensator aufweist und mit dem Ausgang des Operationsverstärkers 156 verbunden ist, gegenüber der Spannung ändert, bei der das Strömungsmessgerät in einer Weise abgeglichen wurde, die später im einzelnen beschrieben wird. Diese Spannungsänderung über dem 1MF-Kondensator bewirkt, dass die Spannung am Anschluss 9 der integrierten Schaltung CD4046 sich ändert, wodurch die Frequenz des von dem spannungsgesteuerten Oszillator erzeugten Signals sich ebenfalls ändert. Das System setzt die Einstellung des spannungsgesteuerten Oszillators hinsichtlich seiner Frequenz fort, bis die Phasendifferenz zwischen dem ausgesendeten und dem empfangenen Signal nicht länger eine Spannungsänderung über dem 1MF-Kondensator im dem Tiefpassfilter bewirkt.

Die Möglichkeit, die Arbeitsfrequenz in Abhängigkeit von einer Änderung der Gaszusammensetzung zu ändern, ist im Hinblick auf die vorliegende Erfindung besonders wichtig, da dieses die bisherigen Systeme nicht können. Es kann gezeigt werden, dass die erfindungsgemässen Umformer eine maximale Energieübertragung von dem sendenden zum empfangenden Umformer bewirken, wenn sie bei ihrer Eigenfrequenz betrieben werden, die von dem Innendurchmesser des Umformers abhängt. Ist daher Luft das Gas in der Umformeranordnung, wenn das Strömungsmessgerät abgeglichen wird, so entspricht die Frequenz des spannungsgesteuerten Oszillators der, die akustische Drücke mit einem Bruchteil der halben Wellenlängen über den Umformerdurchmesser in Luft erzeugen, was einer Eigenfrequenz entspricht. Ändert sich danach die Gasdichte, so ändert sich auch die Geschwindigkeit der Schalldrücke in diesem, wodurch eine unterschiedliche Phasendifferenz von dem Phasendetektor erfasst wird. Dieses bewirkt eine Änderung der Frequenz der akustischen Drücke, die von dem spannungsgesteuerten Oszillator erzeugt wird, in einer später näher beschriebenen Weise, und es kann gezeigt werden, dass die neue Frequenz einer solchen entspricht, bei der der Durchmesser jedes Umformers erneut die Eigenwertanzahl der halben Wellenlängen bei der neuen Frequenz bei dem sich dann in der Umformeranordnung befindenden Gas ist. Auf diese Weise wird eine maximale Energieübertragung zwischen einem sendenden und einem empfangenden Umformer aufrechterhalten.

Das impulsbreitenmodulierte Signal, das an dem Ausgang des Phasendetektors erscheint, ist eines von zwei Eingangssignalen

für ein UND-Glied 140, dessen Ausgang mit einer Integrator-schaltung 142 verbunden ist. Der zweite Eingang des UND-Gliedes 140 erhält ein die Integration ermöglichendes Signal IE, das eine logische 1 immer dann ist, wenn entweder das Verknüpfungssignal A oder das Verknüpfungssignal B eine logische 0 ist, was ein Zustand ist, der angibt, dass das Ausgangssignal des Phasendetektors der Phasendifferenz zwischen einem ausgesendeten und einem empfangenen Signal entspricht. Auf diese Weise wird das impulsbreitenmodulierte Signal über das UND-Glied 140 zugeführt, wenn es durch das die Integration ermöglichende Signal IE leitend ist. Das Ausgangssignal der Integrator-schaltung 142 erscheint am Ausgang 6 des Operationsverstärkers LM318 und hat einen integrierten Pegel während der Dauer des die Integration ermöglichenden Signals, dessen endgültiger Pegel zu der Phasendifferenz zwischen dem ausgesendeten Signal von einem Umformer und dem empfangenen Signal von dem anderen Umformer zugeordnet ist und über eine Leitung 144 an einen Eingangsanschluss 5 von zwei unterschiedlichen Abtast- und Halteschaltungen 146 und 148 gegeben wird. Jede Abtast- und Halteschaltung 146 oder 148 tastet die am Anschluss 5 erscheinende Spannung ab, wenn ein Verknüpfungssignal an jeden der jeweiligen Steuereingänge am Verknüpfungsanschluss 6 gegeben wird. Die abgetastete Spannung erscheint am Anschluss 11 und hat den gleichen Pegel, wie er am Anschluss 5 erscheint, wenn das Verknüpfungssignal vorgelegen hat. Die Spannung am Anschluss 11 einer jeden Abtast- und Halteschaltung 146 oder 148 bleibt zwischen Verknüpfungsimpulsen am Anschluss 6 unverändert. Die Abtast- und Halteschaltung 146 wird zu ihrem Abtastbetrieb immer dann angesteuert, wenn das am Eingangsanschluss U erscheinende Signal eine logische 1 ist. In gleicher Weise wird die Abtast- und Halteschaltung 148 immer dann in ihren Abtastbetrieb angesteuert, wenn der Eingangsanschluss D eine logische 1 führt.

Zwischen dem Abtastbetrieb, entweder der Abtast- und Halteschaltungen 146 oder 148, erscheint ein Integrator-Rücksetzsignal am Eingangsanschluss IR, das einen Transistor Q12 leitend schaltet, um einen Kondensator zwischen dem Anschluss 6 und dem Anschluss 2 des Operationsverstärkers innerhalb der Integratorschaltung 142 kurzzuschliessen. Dieses setzt den Integrator zurück, so dass seine Ausgangsspannung gleich 0 ist.

Während des Betriebs sind die Abtast- und Halteschaltungen 146 und 148 wirksam, um Gleichspannungen zu speichern, die die Phasendifferenz zwischen dem ausgesendeten Signal an dem einen Umformer und dem empfangenen Signal an dem anderen Umformer angeben. Im Falle der Abtast- und Halteschaltung 146, die von einem Ansteuersignal am Eingangsanschluss U angesteuert wird, wird eine Spannung gespeichert, die nach Massgabe einer beliebigen Definition der Phasendifferenz zwischen dem von dem stromab liegenden Umformer 26 gesendeten Signal und dem in Abhängigkeit davon an dem stromauf liegenden Umformer 24 erzeugten Signal entspricht, nämlich einer sogenannten Stromauf-Phasendifferenz. Ist andererseits die Abtast- und Halteschaltung 148 in Abhängigkeit von einem Ansteuersignal D wirksam, um eine Spannung zu speichern, so entspricht diese der Phasendifferenz zwischen dem von dem stromab liegenden Umformer 24 ausgesendeten Signal und dem in Abhängigkeit davon von dem stromab liegenden Umformer 26 erzeugten Signal, nämlich der sogenannten Stromab-Phasendifferenz.

Das Ausgangssignal von den Abtast- und Halteschaltungen 146 und 148 wird jeweils an den invertierenden und den nichtinvertierenden Eingang eines Operationsverstärkers 150 gegeben, der eine Spannung an seinem Ausgangsanschluss 14 erzeugt, die gleich der Differenz zwischen der Spannung, die seinem nichtinvertierenden Eingangsanschluss zugeführt wird und der Spannung ist, die an seinem invertierenden Eingangsanschluss erscheint ($\odot D - \odot U$). Wie früher angegeben wurde, gibt diese Differenz die nicht korrigierte Strömungsgeschwindigkeit eines

Gases durch die Umformeranordnung 10 (Fig. 1) an. Um das Strömungsmessgerät in geeigneter Weise abzugleichen, hat der nichtinvertierende Eingangsanschluss des Operationsverstärkers ein insgesamt mit 152 bezeichnetes Einstell-Netzwerk, das mit ihm verbunden ist, um die Spannung an dem nichtinvertierenden Eingangsanschluss 5 einzustellen, dass die an dem Ausgangsanschluss 14 erscheinende Spannung immer dann gleich 0 ist, wenn die Strömungsgeschwindigkeit durch die Umformeranordnung 10 gleich 0 ist. Diese Einstellschaltung 152 kompensiert verschiedene Schaltungsabgleichfehler, besonders solche der Abtast- und Halteschaltungen 146 und 148.

Das Ausgangssignal der Abtast- und Halteschaltungen 146 und 148 wird jeweils über einen 20 K-Widerstand an den Eingangsanschluss 5 einer weiteren Abtast- und Halteschaltung 154 gegeben. Da die Ausgangssignale der Abtast- und Halteschaltungen 146 und 148 in der gezeigten Weise weitergegeben werden, beträgt die Spannung am Anschluss 5 der Abtast- und Halteschaltung 154 die Hälfte der Summe der Zweiphasendifferenzen, die in den beiden Abtast- und Halteschaltungen 146 und 148 gespeichert sind. Diese Summe wird innerhalb der Abtast- und Halteschaltung 154 in Abhängigkeit von einem Summiersignal gespeichert, das an dem Eingangsanschluss 5 erhalten wird. Das Ausgangssignal der Abtast- und Halteschaltung 154 wird über einen weiteren Operationsverstärker 156 weitergegeben, der eine Gleichspannung am Ausgangsanschluss 8 erzeugt, die auf die Summe der Phasendifferenzen bezogen ist, die in den Abtast- und Halteschaltungen 146 und 148 zu dem Zeitpunkt gespeichert sind, wenn das Ansteuersignal erscheint. Wie zuvor bereits angegeben wurde, weist diese am Ausgangsanschluss 8 des Verstärkers 156 auftretende Spannung ($\varnothing D + \varnothing U$) eine relative Angabe für die Schallgeschwindigkeit in dem Gas innerhalb der Umformeranordnung 10 auf.

Die an dem Anschluss 8 des Verstärkers 156 erscheinende Spannung ($\varnothing D + \varnothing U$) wird an ein Tiefpassfilter zurückgekoppelt, das einen 1 M Ω -Widerstand und einen 1 MF-Kondensator aufweist. Die an diesem 1 MF-Kondensator auftretende Spannung wird an einen Anschluss 9 der Schaltung CD4046 gegeben, die intern mit dem spannungsgesteuerten Oszillator verbunden ist und damit seine Betriebsfrequenz einstellt. Die Frequenz des spannungsgesteuerten Oszillators wird daher mit einer Änderung der Schallgeschwindigkeit in dem Gas innerhalb der Umformeranordnung 10 geändert.

Die Schaltungen der Fig. 4 und 5 in Verbindung mit den Schaltungen der Fig. 2 erzeugen ein Signal an dem Ausgangsanschluss 14 des Verstärkers 150, das der nicht korrigierten Strömung durch die Umformeranordnung 10 entspricht, und ein weiteres Ausgangssignal am Anschluss 8 des Verstärkers 156, das der Schallgeschwindigkeit in dem Gas innerhalb der Umformeranordnung 10 entspricht. Nach Massgabe der Regeln bei der Bestimmung des Umformers 24 als stromauf liegender Umformer und des Umformers 26 als stromab liegender Umformer bedeutet immer, wenn die am Ausgang 14 des Verstärkers 150 erscheinende Spannung negativ ist, diese negative Spannung, dass das Strömungsmittel tatsächlich durch die Umformeranordnung in einer Richtung von dem stromauf liegenden Umformer 24 zu dem stromab liegenden Umformer 26 strömt. Ausserdem kann die Grösse der an dem Anschluss 14 des Verstärkers 150 erscheinenden Spannung auf die in Fig. 6 gezeigte Schaltung bezogen und von dieser korrigiert werden, um die Strömungsgeschwindigkeit des die Anordnung 10 passierenden Strömungsmittels anzugeben. Ist andererseits die Spannung an dem Anschluss 14 des Verstärkers 150 positiv, so gibt dieses an, dass das Strömungsmittel durch die Anordnung 10 in einer Richtung von dem stromab liegenden Umformer 26 zu dem stromauf liegenden Umformer 24 strömt. Auch hier entspricht die Grösse der am Anschluss 14 des Verstärkers 150 erscheinenden Spannung der nicht korrigierten Strömungsgeschwindigkeit durch die Umformeranordnung 10.

Bei der in Fig. 5 gezeigten Schaltung ist jedoch das Ausgangssignal des Verstärkers 156 lediglich eine auf die Schallgeschwindigkeit in dem Gas sich beziehende Angabe. Um zu bestimmen, ob die Geschwindigkeit grösser oder kleiner als die ist, für die das Strömungsmessgerät abgeglichen wurde, muss die Amplitude zum Zeitpunkt des Abgleichs aufgezeichnet werden und dann mit der laufenden Ablesung verglichen werden. Die Schaltung kann jedoch in einfacher Weise so modifiziert werden, dass die Ausgangsspannung immer dann gleich 0 ist, wenn das Abgleichströmungsmittel in der Umformeranordnung vorhanden ist. Ändert sich dann die Schallgeschwindigkeit in dem Strömungsmittel, so wird die Ausgangsspannung entweder positiv oder negativ und das Vorzeichen der Spannung entspricht dem Unterschied, ob die Schallgeschwindigkeit verglichen mit dem Strömungsmittel, bei dem das Strömungsmessgerät abgeglichen wurde, angestiegen oder gefallen ist. Die Grösse der Ausgangsspannung entspricht dann der relativen Differenz zwischen der Schallgeschwindigkeit in dem Gas, das augenblicklich durch die Umformer hindurchgeht, und der Schallgeschwindigkeit in dem Gas, das bei dem Abgleich durch die Umformer hindurchgegangen ist. Um die Ausgangsspannung für eine Anzeige der relativen Schallgeschwindigkeit zu benutzen, sind mehr Schaltungen erforderlich, da das Ausgangssignal des Verstärkers 156 zur Benutzung als ein Fehlersignal vorgesehen ist, um die Frequenz des spannungsgesteuerten Oszillators VCO einzustellen, sowie als ein Eingangssignal für die Schaltung der Fig. 6.

Eine weitere andere Ausbildung ermöglicht, dass die Ausgangsspannung gleich dem Wert 1 eingestellt wird, wenn z. B. Luft in der Umformeranordnung vorhanden ist. Wenn sich die Schallgeschwindigkeit des durch die Umformeranordnung fließenden Gases ändert, entspricht die Grösse der Ausgangsspannung der Geschwindigkeit in dem Gas bezogen auf die Geschwindigkeit in Luft.

Die Schaltung der Fig. 6 weist eine Schaltung zur Annahme der nicht korrigierten Strömungsgeschwindigkeit vom Ausgangssignal des Verstärkers 150 in Fig. 5 auf und erzeugt ein die korrigierte Strömungsgeschwindigkeit angegebendes Ausgangssignal. Es wurde festgestellt, dass das Ausgangssignal des Verstärkers 150 einen Fehler hat, der proportional zu f_1/f_2 ist, wobei f_1 die anfängliche Abgleichfrequenz des spannungsgesteuerten Oszillators in Fig. 5 ist und f_2 die Frequenz des spannungsgesteuerten Oszillators ist, wenn ein Gas sich in dem Umformer befindet, das eine unterschiedliche Schallgeschwindigkeit hat. Die Schaltung der Fig. 6 multipliziert das Ausgangssignal der nicht korrigierten Strömungsgeschwindigkeit des Verstärkers 150 mit f_2/f_1 , um ein Signal für die korrigierte Strömungsgeschwindigkeit am Anschluss 7 des Verstärkers LM324B in Fig. 6 zu erzeugen.

Die Fehlerspannung des spannungsgesteuerten Oszillators, die am Ausgang des Verstärkers 156 in Fig. 5 erscheint, ist proportional der Frequenz und wird zum Erzeugen eines Korrekturfaktors zum Korrigieren der Strömungsgeschwindigkeit benutzt. Der Operationsverstärker LM308 der Fig. 6 wirkt als ein Signalformer, und erhält die Fehlerspannung ($\varnothing D + \varnothing U$) des spannungsgesteuerten Oszillators. Durch Einstellen des mit dem Verstärker LM308 verbundenen Widerstandes zum Abgleich auf 0 wird am Anschluss 6 eine Ausgangsspannung von 0 Volt erzeugt, wenn die Fehlerspannung den Nominalpegel von + 7,5 Volt hat. Der Signalformer erzeugt eine Ausgangsspannung von $\pm 1,05$ Volt pro Abweichung von ± 5 kHz.

Das Ausgangssignal am Anschluss 6 des Verstärkers LM308 moduliert dann einen Einsatzyklus-Modulator, der aus Verstärkern LM324A und LM311 und die mit diesen verbundene Schaltung gebildet ist. Wenn der spannungsgesteuerte Oszillator auf der Abgleichfrequenz arbeitet, ist das Ausgangssignal am Verstärker LM308 gleich 0 und der Einstellwiderstand für den Einsatzyklus, der mit dem Verstärker LM324A verbunden ist, wird auf 50 % eingestellt, wobei die Feldeffekttransistor-Schalter Q14 und Q15 für 50 % der Zeit gesperrt und für 50 % der Zeit

leitend sind. Als Folge davon ist die Verstärkung des Verstärkers LM324B 1 und es wird keine Korrektur für die nicht korrigierte Strömung vom Verstärker 150 in Fig. 5 eingeführt, und das Ausgangssignal am Anschluss 7 des Verstärkers LM324B gibt die Strömungsgeschwindigkeit des Gases durch den Umformer an.

Wenn die Arbeitsfrequenz des spannungsgesteuerten Oszillators sich ändert, so erscheint eine Spannung am Anschluss 6 des Verstärkers LM308 in Fig. 6, die positiv für einen Abfall der Frequenz und negativ für einen Anstieg der Frequenz ist. Diese Spannung moduliert den Einsatzzyklus-Generator, wodurch sich der Einsatzzyklus ändert. Die Änderung des Einsatzzyklus bewirkt eine Änderung der Verstärkung des Verstärkers LM324B in Abhängigkeit von einer Änderung der Frequenz des spannungsgesteuerten Oszillators, so dass das Signal für die nicht korrigierte Strömungsgeschwindigkeit von Fig. 5 durch den Verstärker LM324B geändert wird, so dass das Ausgangssignal proportional zur Strömungsgeschwindigkeit durch den Umformer ist.

Die vorstehende Beschreibung eines akustischen Strömungsmessgerätes hatte eine besondere Betonung auf eine bevorzugte elektronische Schaltung, die mit einer Umformeranordnung zusammenwirkt, um nicht nur die Gasströmung und -richtung, sondern auch eine Messung der relativen Schallgeschwindigkeit in dem strömenden Gas zu bewirken.

Die Beschreibung hat auch etwas die Tatsache betont, dass die Erfindung für ein Strömungsmessgerät geeignet ist, mit dem die Strömungsrichtung, die Strömung und die Schallgeschwindigkeit in einem Gas zu messen ist, jedoch ist das Gerät in gleicher Weise auch für die Messung der Strömungsrichtung, der Strömung und der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten geeignet, obwohl dann einige Schaltungselemente in ihren Werten eine Änderung erfordern können, um die Wirksamkeit des Strömungsmessgerätes auch für andere Anwendungen zu optimieren, bei denen nicht die Strömungsrichtung, Strömung und Schallgeschwindigkeit in einem Gas gemessen werden soll. Ausserdem erkennt der Fachmann sofort, dass andere Modifikationen des Strömungsmessgerätes möglich sind, ohne dass dabei jedoch der allgemeine Erfindungsgedanke und der in den Patentansprüchen angegebene Schutzzumfang verlassen wird. So kann z. B. anstelle des Phasendetektors und der Phasensummen- und Differenzrechnern auch eine andere äquivalente Einrichtung benutzt werden, um eine Grösse zu berechnen, die proportional oder gleich der Geschwindigkeit der akustischen Drücke in dem Umformer sind, die von dem sendenden zu dem empfangenden Umformern wandern. Jede berechnete Geschwindigkeit hat zwei Komponenten, von denen eine die Geschwindigkeit der Strömungsmittelströmung und die andere die Geschwindigkeit der akustischen Drücke in dem Strömungsmittel ohne Strömungsmittelströmung sind. Einer dieser äquivalenten Geschwindigkeitsrechner kann eine Einrichtung zum Bestimmen der Zeitdifferenz zwischen dem Start der akustischen Drücke an einem sendenden Umformer und dem Zeitpunkt, zu dem der empfangende Umformer ein Empfangssignal in Abhängigkeit von den akustischen Drücken erzeugt. Jede berechnete Zeitdifferenz ist auch proportional zur Geschwindigkeit der akustischen Drücke, die von dem sendenden zu dem empfangenden Umformer wandern.

Weitere Vorteile des beschriebenen Strömungsmessgerätes können durch Zusammenfassung oder erneutes Anordnen der die verschiedenen Parameter angegebenen Signale erhalten werden. So bewirken z. B. Änderungen in der Gaszusammensetzung, die eine Änderung im Molekulargewicht der Gasmischung bewirken, auch eine Änderung in der Schallgeschwindigkeit. Auf diese Weise kann ein Übergang von einer Gasmischung A mit einem durchschnittlichen Molekulargewicht M_A zu einer Gasmischung B mit einem durchschnittlichen Molekulargewicht M_B und der Anteil der Gasmischung A gemischt mit der Gasmischung B gemessen werden. Eine solche Technik kann mit einem

Gas-Strömungs-Messgerät z. B. dazu benutzt werden, um eine Proportionalmessung des Anteils von Kohlendioxid in der ausgeatmeten Atemluft, verglichen mit dem in der eingeatmeten Mischung bewirkt werden.

Da die Schallgeschwindigkeit gegeben ist durch:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma k T}{M}} \text{ Meter/sec}$$

ist, wobei

γ = das Verhältnis der spezifischen Wärme bei konstantem Druck zu dem bei konstantem Volumen,
 k = die Boltzmann'sche Konstante von $1,38 \times 10^{-23}$ Joule/°C,
 T = die absolute Temperatur °C und
 M = die Masse der Moleküle in dem Gas in kg sind,
 ist zu erkennen, dass das Molekulargewicht proportional zu c^2 ist und der Fachmann erkennt sofort, dass ein elektrisches Ausgangssignal erzeugt werden kann, das proportional zu Änderungen des Molekulargewichts ist, während die anderen Variablen konstant bleiben. Es ist klar, dass dieser einfache Fall ausgedehnt werden kann, um Änderungen in den spezifischen Wärmen und Temperaturen mit Änderungen im Molekulargewicht zusammenzufassen, so dass die Gasmischung A durch eine Gruppe von Bedingungen und die Gasmischung B durch eine weitere Gruppe von Bedingungen spezifiziert werden kann.

Wenn ausserdem der Druck oder die Dichte sich stark ändert, kann die volumetrische Strömung auf annähernd Standardbedingungen oder die tatsächliche Massenströmung korrigiert werden, indem eine Druckmessung mit Parametern kombiniert wird, die von dem beschriebenen Strömungsmessgerät zu erhalten sind. Die Massenströmung ist gegeben durch

$$\bar{M} = \bar{V} p / k T \text{ Kilogramm/sec}$$

wobei p = der Druck in der Newton/Meter² ist.

Aus der vorstehenden Gleichung für die Schallgeschwindigkeit c ergibt sich dann

$$\bar{M} = \bar{V} p \gamma / c^2$$

Für den Fachmann ist es sofort klar, dass ein Druckumformer benutzt werden kann, um den absoluten Druck in dem Strömungsmessgerät zu messen. Ausserdem wird das Ausgangssignal des Druckumformers mit der volumetrischen Strömung $\bar{V}$ aus dem Strömungsmessgerät multipliziert und durch das Quadrat der Schallgeschwindigkeit c dividiert, so dass auch ein Signal von dem Strömungsmessgerät zusammen mit geeigneten Konstanten einen Näherungswert für die tatsächliche Massenströmung ergeben kann.

Während ein konstanter Wert für γ einen Fehler in dem Wert für einige Änderungen in der Gasmischung ergibt, gibt es viele Fälle, wo Änderungen im Wert von γ unbedeutend sind. Die Benutzung der zuvor beschriebenen Parameter zum Erzeugen eines Signals für die volumetrische Strömung, vermindert auf eine Standardtemperatur und einen Standarddruck ist für den Fachmann ebenfalls offensichtlich.

Nachdem ein Strömungsmessgerätesystem zum genauen Messen der Strömungsgeschwindigkeit unabhängig von der Zusammensetzung beschrieben wurde, ist es klar, dass diese Technik auch mit Vorteil bei anderen akustischen Strömungsmessgeräten benutzt werden kann, bei denen die Umformer nicht zylindrisch oder bogenförmig sind, sondern sich in dem Strömungsweg befinden oder gewisse Hindernisse oder Ausnehmungen längs des Strömungsweges bilden. Das heisst, jedes akustische Strömungsmessgerät kann aus dieser Technik Vorteile ziehen, wenn Fehler durch Änderungen in der Schallgeschwindigkeit in dem Strömungsmittel bedingt sind.

Der Fachmann erkennt, dass das zuvor beschriebene akusti-

sche Strömungsmessgerät das prinzipielle Ziel der Erfindung erfüllt, d. h. die Genauigkeit des Strömungsmessgerätes ist relativ unabhängig von Änderungen in der Gaszusammensetzung. Der Fachmann erkennt auch, dass die zuvor angegebenen

und weitere Änderungen in der beschriebenen Schaltung vorgenommen werden können, um äquivalente Wirkungen zu erzielen, ohne dass dabei der allgemeine Erfindungsgedanke verlassen wird, wie er in den Patentansprüchen angegeben ist.

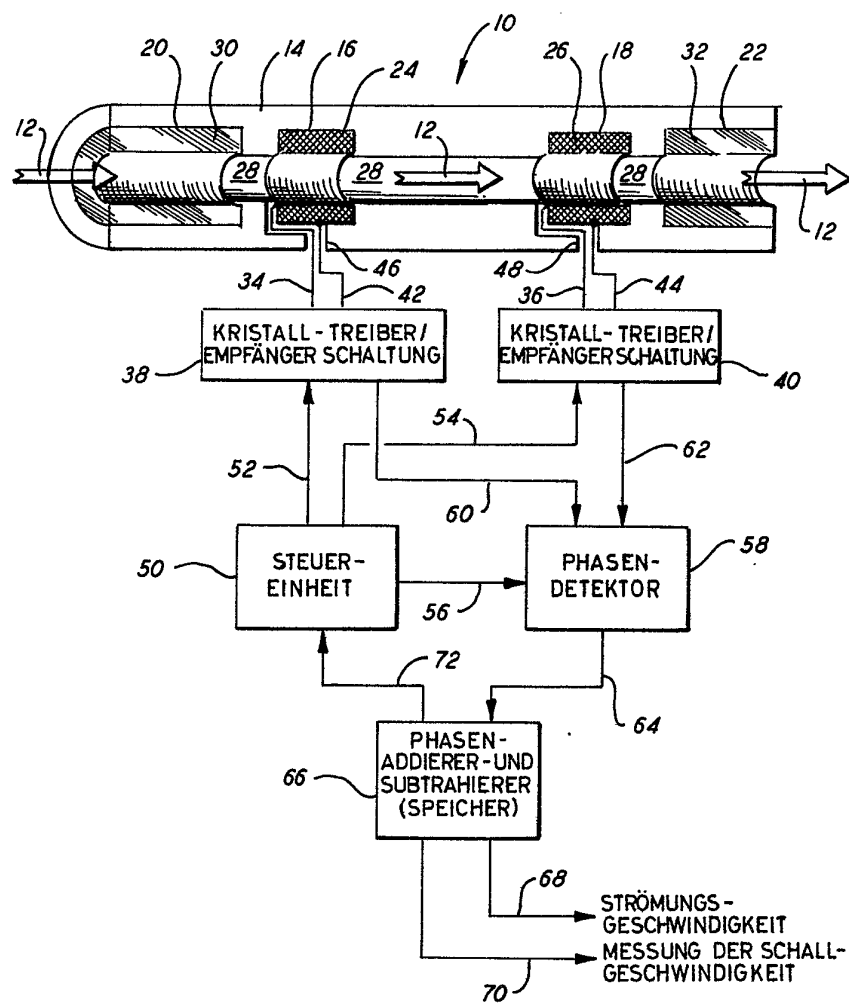


FIG. 1

