



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 23 688 T2** 2006.07.20

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 181 518 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 23 688.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/12824**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 928 951.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2000/070321**

(86) PCT-Anmeldetag: **11.05.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **23.11.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **27.02.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **02.11.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.07.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01L 13/02** (2006.01)
G01L 9/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
312411 14.05.1999 US

(73) Patentinhaber:
Rosemount Inc., Eden Prairie, Minn., US

(74) Vertreter:
**PAe Splanemann Reitzner Baronetzky
Westendorp, 80469 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:
**FRICK, L., Roger, Hackensack, US; RUD, E.,
Stanley, Victoria, US; BRODEN, A., David,
Andover, US**

(54) Bezeichnung: **PROZESSDRUCKMESSUNG MIT VERBESSERTER FEHLERKOMPENSATION**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0001] Allgemein definiert bezieht sich der Begriff "Prozessvariable" auf einen physikalischen oder chemischen Zustand einer Materie oder eine Umwandlung von Energie. Beispiele für Prozessvariablen schließen Druck, Temperatur, Strömung, Leitfähigkeit, pH-Wert sowie andere Eigenschaften ein. Der Begriff "Prozessmessung" bezieht sich auf den Erhalt von Informationen, welche die Größe von Prozessgrößen bestimmen. Druck wird insofern als grundlegende Prozessvariable angesehen, da er für die Messung von Strömung (die Differenz zwischen zwei Drücken), Pegelstand (Andruck oder Gegendruck), und sogar Temperatur (Fluiddruck in einem Wärmesystem) verwendet wird.

[0002] Ein industrieller Prozesssender ist ein Messwandler, der auf eine mit einem Messelement gemessene Variable anspricht und die Variable in ein genormtes Übertragungssignal umwandelt, beispielsweise ein elektrisches oder optisches Signal oder Luftdruck, welche alle eine Funktion der gemessenen Variable darstellen. Industrielle Prozessdrucksender werden bei der Druckmessung in einem industriellen Prozess, wie z.B. in Trüben, Flüssigkeiten, Dämpfen und Gasen in chemischen, Zellstoff-, Erdöl-, Gas-, pharmazeutischen, Nahrungsmittel- und anderen Fluidverarbeitungsanlagen eingesetzt. Industrielle Prozesssender werden oft in der Nähe von Prozessfluiden oder in Feldanwendungen angeordnet. Oft sind diese Feldanwendungen rauben und veränderlichen Umweltbedingungen ausgesetzt, die Herausforderungen an Konstrukteure solcher Sender stellen.

[0003] Das Messelement in vielen Drucksendern ist ein Kapazitätssensor, der eine biegsame oder ablenkbare Messmembran ("Membran") und zwei Kondensatorelektroden einschließt. Eine erste Art von Messelement weist eine Membran auf, bei welcher es sich um eine leitfähige gespannte Membran handelt, die sich ansprechend auf einen ausgeübten Druck auf beiden Seiten der Membran wölbt oder durchbiegt, und zwei Kondensatorelektroden, eine auf jeder Seite der Membran. Ein dielektrisches Füll-Fluid wird zwischen den Kondensatorplatten und der Membran verwendet. Das Füll-Fluid, das mit einer Isoliermembran verwendet wird, die mit dem Prozessfluid eine Schnittstelle bildet, verhindert, dass das Prozessfluid, das manchmal rau, korrosiv, schmutzig oder verunreinigt sein kann, auf die Bauteile des Messelements einwirkt und die Bauteile unter Umständen beschädigt. Eine erste Kondensatorelektrode auf einer Seite der Membran, die mit der leitfähigen Membran verbunden ist, bildet einen ersten Kondensator. Eine zweite Kondensatorelektrode auf der gegenüberliegenden Seite der Membran, die mit der Membran verbunden ist, bildet einen zweiten Kondensator. Die Kapazität eines jeden Kondensators verändert sich im Verhältnis zum Umkehrwert des Abstands zwischen der Kondensatorplatte und der Membran. Auf diese Weise verändert sich die Kapazität eines jeden Kondensators, da sich die Membran ansprechend auf die angelegten Drücke wölbt oder durchbiegt. Der Grad der Wölbung oder die Biegemenge steht in Zusammenhang mit der Differenz zwischen den beiden angelegten Drücken oder einem Differenzdruck. Die Differenzkapazität zwischen einer jeden Kondensatorplatte und der leitfähigen Membran wird erfasst und zur Lieferung des genormten Übertragungssignals verwendet, das mit dem Differenzdruck in Zusammenhang steht.

[0004] Das Messelement ist besonders zur Erfassung der Membranwölbung in einer Prozessfeldumgebung ausgelegt. Die ungefähre Beziehung zwischen der Kapazität C und dem Abstand zwischen einer der Kondensatorplatten, X , lautet folgendermaßen: $C = \epsilon K/X$, wobei ϵ die absolute Dielektrizitätskonstante des Füll-Fluids ist und K eine Konstante ist, die von mehreren Faktoren, wie z.B. der Geometrie des Messelements, abhängig ist. Die absolute Dielektrizitätskonstante eines typischen Füll-Fluids ist empfindlich gegenüber Veränderungen in einer Prozessfeldumgebung. Die absolute Dielektrizitätskonstante ϵ weicht für gewöhnlich ungefähr 15% von den typischen Temperaturbereichen eines Füll-Fluids in Prozessfeldumgebungen ab. Das Messelement mit zwei gegenüberliegenden Kondensatoren ist derart konfiguriert, dass das Ausgangssignal im Allgemeinen unabhängig von einer sich verändernden absoluten Dielektrizitätskonstanten ist. Die beiden Kondensatoren in dem Messelement liefern im Allgemeinen ein Ausgangssignal, das mit dem Verhältnis $(C_1 - C_2)/(C_1 + C_2)$ in Zusammenhang steht, wobei C_1 die Kapazität des ersten Kondensators und C_2 die Kapazität des zweiten Kondensators in dem Messelement darstellen. Die absolute Dielektrizitätskonstante ϵ im Zähler und die absolute Dielektrizitätskonstante im Nenner dieses Quotienten heben sich gegenseitig auf. Dementsprechend ist das Messelement im Allgemeinen unempfindlich gegenüber den Temperaturveränderungen eines Füll-Fluids in einer Prozessfeldumgebung.

[0005] Eine zweite Art von kapazitivem Messelement ist bekannt, wobei jedoch anders als bei der vorstehend beschriebenen ersten Art von Messelement, die zweite Art von Messelement nicht für das Messen von Differenzdruck geeignet ist. Anstelle dessen wird die zweite Art von Messelement zum Messen des Absolutdrucks verwendet. Die zweite Art von Messelement weist zwei Kondensatorplatten auf, welche zwei Kondensatoren

bilden, und zwar eher auf einer Seite der Membran als vielmehr auf gegenüberliegenden Seiten der Membran. Die zweite Art von Sensor verwendet kein Füll-Fluid. Ein absoluter Prozessdruck wird an eine Sensormembran auf der den Elektroden gegenüberliegenden Seite angelegt. Die zweite Art von Sensor schließt ein keramisches Substrat ein, um die beiden Elektroden in gleichem Abstand zur ungewölbten leitfähigen Membran anzuordnen. Die beiden Kondensatorelektroden werden in einer Ebene auf einer Seite der Membran angeordnet, um eine unerwünschte Bewegung des keramischen Substrats zu kompensieren. Das Sensorausgangssignal steht in Zusammenhang mit der Differenz der Kapazitäten. Der Sensor erfasst eine Krümmung der parabolisch gewölbten Membran und das Sensorausgangssignal hebt eine kolbenähnliche Bewegung des keramischen Substrats auf oder ignoriert diese, die für gewöhnlich als Ergebnis von Temperaturveränderungen auftritt. Der Sensor zweiter Art ist nicht für die Verwendung mit einem Füll-Fluid auf der Elektrodenseite der Membran geeignet, da die Transferfunktion, welche eine kolbenähnliche Bewegung des Substrats kompensiert, nicht in der Lage ist, Veränderungen der absoluten Dielektrizitätskonstanten des Füll-Fluids bei Temperaturveränderungen zu kompensieren.

[0006] Die Fähigkeit zur Erfassung der Krümmung der abgelenkten oder gewölbten Membran in einer Feldprozessumgebung weist Vorteile gegenüber einer bloßen Fähigkeit zur Erfassung der Ablenkungsgröße oder Biegemenge der Membran auf. Idealerweise ist die Verlagerung der Membran proportional zu den Druckunterschieden, die an beiden Seiten der Membran angelegt werden. Leider wölbt sich die Membran nicht in idealer Weise. Aufgrund physikalischer Kräfte, die gedehnten Membranen von Natur anhaften, werden Membranen oft verformt, nachdem sie abgelenkt wurden. Die Verformung kann als "Offset" beschrieben werden, wobei genau die Ränder oder Kanten der Membran derart gekrümmt werden, dass der flache Abschnitt der Membran einen engeren Abstand zu einer der Elektroden aufweist, als dass dies bei einer idealen Beabstandung der Fall wäre, d.h. die Kanten werden derart gekrümmt, dass der flache Mittelabschnitt in Richtung der einen oder anderen Elektrode vorspringt. Der Offset wird nicht durch bloßes Messen der Membranwölbung in dem Messelement der ersten Art erfasst, und dieser Offset verursacht ungenaue Ablesungen des Prozessdrucks. Die ungenauen Ablesungen wurden aus mindestens zwei Gründen nicht kompensiert. Zum einen fehlte es an der Erkennung der Quelle dieser Fehler und des daraus entstehenden Membran-Offsets. Zum anderen sind die Messelemente und die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Sender nicht in der Lage, Krümmung von Offset bei einer Messung der Ablenkung zu trennen, und kompensieren immer noch unterschiedliche absolute Dielektrizitätskonstanten aufgrund sich verändernden Temperaturen in einer Prozessfeldumgebung.

[0007] US-Patent Nr. 3,557,621 offenbart einen kapazitiven Drucksender mit einer biegsamen Metallmembran. Elektroden sind der Membran zugewandt und liefern variable Kondensatoren, deren Kapazität zur Bestimmung der Membranablenkung gemessen wird. Dünne ringförmige Bänder aus leitendem Material umgeben beide Elektroden. Eine Spannung wird an die ringförmigen Bänder aus leitendem Material angelegt, so dass sie Schützelektroden bereitstellen, um Oberflächen-Leckströme zwischen Elektroden und der Membran zu verhindern.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0008] Die vorliegende Erfindung stellt einen Drucksensor gemäß Anspruch 1 bereit.

[0009] Die vorliegende Erfindung liefert zudem einen Drucksender gemäß Anspruch 11.

[0010] Die vorliegende Erfindung schafft darüber hinaus ein Verfahren zum Messen von Differenzdruck gemäß Anspruch 19.

[0011] Vorzugsweise, jedoch optional, sind Merkmale des Drucksensors, des Drucksenders und des Verfahrens in den anliegenden Ansprüchen dargelegt.

[0012] Die Erfindung ist auf eine neue Vorrichtung gerichtet, die eine verbesserte Fehlerkompensation bei der Messung des Prozessdrucks bereitstellt. Die neue Vorrichtung ist in der Lage, einen Membran-Offset und unterschiedliche absolute Dielektrizitätskonstanten, die in einer Prozessfeldumgebung vorliegen, zu kompensieren. Frühtests haben gezeigt, dass die neue Vorrichtung die Genauigkeit der Prozessdruckmessung erheblich verbessert und einige Offset-Fehler mindestens um eine Größenordnung reduzieren kann.

[0013] Ein Aspekt der Erfindung ist auf ein verbessertes Messelement, oder einen Drucksensor gerichtet. Der Drucksensor, der mit einem dielektrischen Füll-Fluid gefüllt ist, weist mindestens drei Kondensatorelektroden auf, die um eine Membran angeordnet sind. Mindestens zwei Kondensatorelektroden sind auf einer Seite einer leitenden Membran positioniert und sind auf eine besondere Art und Weise im Hinblick auf die Membran an-

geordnet. Mindestens eine Kondensatorelektrode ist auf der anderen Seite der Membran angeordnet. Beispielsweise weist der Sensor einen Zellenkörper mit einem Innenhohlraum auf, der mit dem dielektrischen Füll-Fluid gefüllt ist. Die ablenkbare Membran mit einem leitenden Abschnitt wird über den Innenhohlraum gespannt und trennt den Innenhohlraum in zwei kleinere Hohlräume. Mindestens zwei Elektroden sind mit der Hohlraumwand in dem ersten der beiden kleineren Hohlräume verbunden. Eine der Elektroden weist einen engeren Abstand zu der Mitte der Hohlraumwand als die andere Elektrode auf, d.h. eine der Elektroden befindet sich in einer "Mittelzone" und die andere Elektrode befindet sich in einer "Randzone". In dem zweiten der beiden kleineren Hohlräume ist mindestens eine Elektrode mit der Hohlraumwand verbunden. In einer Ausführungsform weist jeder der beiden kleineren Hohlräume zwei Elektroden auf, die mit den jeweiligen Hohlraumwänden verbunden sind. Diese Ausführungsform verwendet vier Kondensatorelektroden.

[0014] Ein erfindungsgemäßer Sensor eignet sich für die Verwendung in einem verbesserten Prozessdrucksender. Der Prozessdrucksender weist den Drucksensor auf, der elektrisch mit einem Analog-Digital-Wandler verbunden ist, so dass die Elektroden des Drucksensors eine Eingabe in den Analog-Digital-Wandler bereitstellen. Eine Art von Analog-Digital-Wandler ist ein Kapazitäts-Digital-Wandler (CDC-Wandler). In einer Ausführungsform werden die Elektroden entweder direkt oder über Schaltkreiselemente miteinander verbunden und dann für den Analog-Digital-Wandler bereitgestellt. Diese Ausführungsform erlaubt eine Verbindung des Sensors mit bestehenden Analog-Digital-Schaltkreisen. Andere Ausführungsformen ziehen die Verwendung speziell konstruierter Analog-Digital-Schaltkreise in Erwägung. Der Sender ist zur Verwendung in einer Prozessfeldumgebung geeignet.

[0015] Die vorliegende Erfindung verringert Fehler aufgrund eines Membran-Offsets, oder "Offset-Fehlern" erheblich. Eine Art von Offset-Fehler wird als "Druck-Hysteresefehler" bezeichnet. Beispielsweise liefert der Sensor bei Zunahme des Prozessdrucks von einem niedrigeren zu einem höheren Wert ein Ausgangssignal bei Punkten entlang des Wegs. Bei Abnahme des Prozessdrucks von einem höheren Wert auf einen niedrigeren Wert kann sich das Ausgangssignal jedoch an denselben Punkten unterscheiden. Die Trennung zwischen dem skalenmäßig höheren Ausgangssignal und dem skalenmäßig niedrigeren Ausgangssignal an einem Punkt wird als der Druck-Hysteresefehler bezeichnet. Das ideale Ausgangssignal, d.h. ein Ausgangssignal, das dem Eingangssignal präzise entspricht, liegt oftmals irgendwo zwischen dem auf der Skala höheren Ausgangssignal und dem auf der Skala niedrigeren Ausgangssignal, und das tatsächliche Ausgangssignal ist oft keine genaue Wiedergabe des Prozessdrucks.

[0016] Sensoren des Standes der Technik können ein Ausgangssignal erzeugen, das Druck-Hysteresefehler von ungefähr 0,11% beinhaltet, wohingegen die vorliegende Erfindung ein Ausgangssignal mit Druck-Hysterese Fehlern von weniger als 0,01 bereitstellen kann. Die vorliegende Erfindung verringert zudem im Stand der Technik bekannte Offset-Fehler bedeutend, wie z.B. eine Überdruck-RZ-Hysterese (RZ = return to zero, Rückkehr zu Null), einen Nulllinien-Druckfehler, einen Nulltemperatur-Hysteresefehler, und verbessert eine langfristige Nullpunktdrift.

[0017] Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale ergeben sich aus der nachfolgenden Kurzbeschreibung der Erfindung anhand der Zeichnungen.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0018] Es zeigen:

[0019] [Fig. 1](#) ein Prozessmesssystem mit einem erfindungsgemäß konstruierten Prozesssender;

[0020] [Fig. 2](#) eine Darstellung in aufgelösten Einzelteilen des Prozesssenders von [Fig. 1](#);

[0021] [Fig. 3](#) ein funktionales Blockdiagramm des in [Fig. 1](#) gezeigten Prozesssenders;

[0022] [Fig. 4](#) eine Perspektivansicht eines in Teilabschnitte zerlegten Sensorsmoduls und eines Drucksensors, welche Abschnitte des Senders von [Fig. 1](#) sind;

[0023] [Fig. 5](#) eine seitliche Schnittansicht des Drucksensors von [Fig. 4](#);

[0024] [Fig. 6](#) eine teilweise Darstellung des Drucksensors von [Fig. 4](#) in aufgelösten Einzelteilen;

[0025] [Fig. 7](#) bis [Fig. 9](#) teilweise Auflösungen in Einzelteile von anderen Drucksensoren, die erfindungsge-

mäßig konstruiert sind;

[0026] [Fig. 10](#) eine Seitenschnittansicht eines weiteren Drucksensors, der erfindungsgemäß konstruiert ist;

[0027] [Fig. 11](#) bis [Fig. 15](#) Schemaansichten von Senderkonfigurationen, die erfindungsgemäß konstruiert sind und den Drucksensor aus [Fig. 4](#) implementieren;

[0028] [Fig. 16](#) bis [Fig. 18](#) Schemaansichten des Drucksensors von [Fig. 4](#) während des Betriebs; und

[0029] [Fig. 19](#) eine vereinfachte Schemaansicht des Drucksensors von [Fig. 4](#).

BESCHREIBUNG

[0030] In der folgenden Beschreibung wird auf die anliegenden Zeichnungen Bezug genommen. Die Zeichnungen und die Beschreibung stellen spezifische Beispiele oder "Ausführungsformen" bereit, wie die Erfindung eingesetzt oder "ausgeübt" werden kann.

[0031] [Fig. 1](#) zeigt im Allgemeinen die Umgebung eines Prozessmesssystems **32**. [Fig. 1](#) zeigt ein Prozessrohrnetz **30**, das ein unter Druck gesetztes Fluid enthält, das zur Messung eines Prozessdrucks mit dem Prozessmesssystem **32** verbunden ist. Das Prozessmesssystem **32** weist ein Impulsrohrnetz **34** auf, das mit dem Rohrnetz **30** verbunden ist. Das Impulsrohrnetz **34** ist mit einem Prozessdrucksender **36** verbunden. Ein Hauptbauelement **33**, wie beispielsweise eine Messblende oder Stauscheibe, ein Venturirohr, eine Durchflussdüse, und dergleichen, kommt mit dem Prozessfluid an einer Stelle in dem Prozessrohrnetz **30** zwischen den Rohren des Impulsrohrnetzes **34** in Kontakt. Das Hauptbauelement **33** bewirkt eine Druckveränderung in dem Fluid, da dieses das Hauptbauelement **33** passiert.

[0032] Bei dem Sender **36** handelt es sich um eine Prozessmessvorrichtung, die Prozessdrücke über das Impulsrohrnetz **34** empfängt. Der Sender **36** misst die Prozessdrücke und wandelt diese in ein genormtes Übertragungssignal um, bei dem es sich um eine Funktion des Prozessdrucks handelt. Sender können auch mehrere Prozessvariablen messen oder können derart konfiguriert sein, dass sie Prozesssteuerungsfunktionen bereitstellen. In dem Beispiel handelt es sich bei dem Sender **36** um einen Differenzdrucksender. Differenzdruck ist die Differenzgröße zwischen zwei Druckwerten, wie z.B. die Differenz zwischen zwei Prozessdrücken, die in einen Sender eingegeben werden. Die Messung des Differenzdrucks schließt die Messung des Manometerdrucks ein, wobei der in den Sender eingegebene Referenzdruck Luftdruck ist, und weist zudem die Messung von absolutem Druck auf, wobei der in den Sender eingegebene Referenzdruck ein Vakuum ist. [Fig. 1](#) zeigt den Sender, der zur Messung des Durchflusses konfiguriert ist. Es werden jedoch auch andere Verwendungen des Senders für die Differenzdruckmessung in Erwägung gezogen.

[0033] Eine Prozessschleife **38** erleichtert sowohl ein Energiesignal an den Sender **36** als auch eine bidirektionale Kommunikation und kann gemäß einer Reihe von Prozesskommunikationsprotokollen konstruiert sein. In dem veranschaulichten Beispiel handelt es sich bei der Prozessschleife **38** um eine Zweidrahtschleife. Eine Zweidrahtschleife verwendet, wie der Name bereits sagt, zwei Drähte zur elektrischen Verbindung des Senders **36** mit einer abgelegenen Steuerwarte **40**. Die Zweidrahtschleife wird zur Übertragung der gesamten Energie an, und der gesamten Kommunikationen an und von dem Sender **36** während des normalen Betriebs mit einem 4–20 mA Signal verwendet. Dementsprechend wird der Sender **36** gemäß Darstellung oft als "Zweidrahtsender" bezeichnet, obwohl andere Konfigurationen, wie z.B. Dreidraht- und Vierdraht-Sender, usw. ebenfalls bekannt sind und in Erwägung gezogen werden. Kommunikationen können mit Hilfe eines 4–20 mA starken analogen Signals und des offenen digitalen Protokoll-Kommunikationsformats HART[®] (Highway Addressable Remote Transducer), das gleichzeitige digitale Kommunikationen mit dem 4–20 mA Signal bereitstellt, ausgeführt werden. Eine Kommunikation kann auch mit einem offenen FOUNDATION[™]-Feldbus-Protokoll erfolgen, welches einen digitalen Kommunikationslink zwischen einem intelligenten Feldpegel und Steuervorrichtungen bereitstellt und mit diesem zusammenwirkt. Der Sender **36** kann so konfiguriert sein, dass er mit anderen Prozessprotokollen, einschließlich Device Bus, Sensor Bus, Profibus, Ethernet, und anderen verwendet werden kann, die alle weltweit eingesetzt werden. Ein Computer **42** oder ein anderes Informationsverarbeitungssystem durch ein Modem **44**, oder eine andere Netzwerkschnittstelle, wird zur Kommunikation mit dem Sender **36** verwendet. Eine abgelegene Spannungsversorgung **46** betreibt den Sender **36**.

[0034] [Fig. 2](#) zeigt eine Darstellung in aufgelösten Einzelteilen des Senders **36**. Ein Flansch **50** ist an einem Sensormodul **52** befestigt, um eine Schnittstelle mit einem Impulsrohrnetz **34** zu bilden. Der Sensormodul **52** weist ein Gehäuse **53** mit Gewinde auf, bei welchem es sich um eine vollständig geschweißte Konstruktion

handelt, um die Innenbauteile von dem Prozessmedium und der Feldumgebung zu isolieren. [Fig. 3](#) zeigt ein Blockdiagramm des Senders **36**, das [Fig. 2](#) entspricht. Ein Prozessdruck **54** wird an den Sensormodul **52** angelegt. Ein Drucksensor **56**, der mechanisch, elektrisch und thermisch von dem Prozessmedium isoliert ist, empfängt die Prozessdrücke **54** und liefert ein analoges elektrisches Signal **58**, das den Differenzdruck wiedergibt. Das Signal **58** wird verarbeitet und an der Sensormodulelektronik **60**, welche einen Analog-Digital-Wandler **62** und einen Sensormodulspeicher **64** aufweist, in ein digitales Signal umgewandelt. Der Speicher **64** enthält spezifische Information über den Sensormodul und Korrekturkoeffizienten für den Sensormodul **52**. Ein Temperatursensor **63** liefert ein analoges Signal, das die Umgebungstemperatur der Sensorelektronik **60** wiedergibt. Das digitale Signal wird über ein mehrpoliges Kabel **66** ausgegeben. Wie in [Fig. 2](#) gezeigt, wird das mehrpolige Kabel **66** als rückziehbares Band, das von einer Hülle **68** auf der Abdeckung **70** des Sensormoduls **52** umgeben ist, realisiert.

[0035] Ein Elektronikgehäuse **71** trägt Senderbauteile, die mit dem Sensormodul **52** und der Schleife **38** eine Schnittstelle bilden. Das mehrpolige Kabel **66** wird in eine Elektronikbaugruppe **72** eingesteckt. [Fig. 3](#) zeigt, dass die Elektronikbaugruppe ein Mikroprozessorsystem **74** und einen Speicher **76** aufweist, die zur weiteren Aufbereitung des digitalen Signals verwendet werden. Ein Analog-Digital-Wandler **78** oder eine digitale Kommunikations-Schaltkreisanordnung **80** wird für die Erzeugung und den Empfang entweder eines analogen oder digitalen Übertragungssignals über die Schleife **38** verwendet, und wird daher oft als ein "Kommunikationsschaltkreis" bezeichnet. Die Schleife **38** ist mit dem Sender über Öffnungen oder Durchbohrungen **82** verbunden, wie es in [Fig. 2](#) gezeigt ist. Ein Anschlussblock **84** ist elektrisch mit der Elektronikbaugruppe **72** verbunden, um einen direkten Zugriff auf die erzeugten Signale zu schaffen. Das Elektronikgehäuse **71** nimmt den Sensormodul **52** sowie die Abdeckungen **86** mit O-Ringen **88** auf, um ein explosionsssicheres Gehäuse in einem montierten Sender **36** bereitzustellen, der für eine Feldinstallation geeignet ist. Das Gehäuse schützt die Senderelektronik, die in dem Sensormodul **52** und dem Elektronikgehäuse **71** liegt.

[0036] [Fig. 4](#) zeigt eine Schnittansicht des Sensormoduls **52**. Ein Differenzprozessdruck **54**, für gewöhnlich in Form eines Fluids (Gas oder Flüssigkeit) wird an den Sensormodul **52** an Isoliermembranen **90** angelegt. Jede Isoliermembran **90** wölbt sich ansprechend auf die aufgebrachten Prozessdrücke **54** in ihrer Isolierkammer **92**. Die Isolierkammern **92** kommunizieren mit Isolierrohren **94**, die mit einem Füll-Fluid **95** gefüllt sind, das die aufgebrachten Prozessdrücke **54** an einen Sensor **56** überträgt, der ebenfalls schematisch in [Fig. 3](#) bei dem Bezugszeichen **56** angezeigt ist. Die Isoliermembranen **90** dienen zum Schutz des Sensors **56** vor dem Prozessfluid, das für den Sensor korrosiv wirken oder anderweitig schädlich sein kann. Der Sensor **56** schließt einen Zellenkörper **98** mit einem Innenhohlraum **100** ein, der mit dem Füll-Fluid **95** gefüllt ist. Eine Membran **102**, die oft als Messmembran bezeichnet wird, trennt den Innenhohlraum **100** in zwei im Allgemeinen gleiche und gegenüberliegende Hohlraumhälften, und wölbt sich ansprechend auf den Prozessdruck **54**, so wie er in den Innenhohlraum **100** übertragen wird. Die Verlagerung der abgelenkten Membran **102** ist proportional zu der Druckdifferenz zwischen den beiden Hälften des Hohlraums **100**. Die Position der Membran **102** im Hinblick auf den Hohlraum **100** wird mit Hilfe von Kondensatorelektroden in dem Hohlraum **100** erfasst (wird nachfolgend noch ausführlich beschrieben). Leitungsdrähte **104**, **106**, **108**, **110** erstrecken sich durch Öffnungen **111** und **113** und verbinden die Kondensatorelektroden mit einer Elektronikbaugruppe **112** des Sensors, die die Sensorelektronik **60** aufweist. Auf diese Weise wandelt der Sensor **56** den Differenz-Prozessdruck in ein analoges elektrisches Signal um, und die Sensorelektronik **60** wandelt das analoge elektrische Signal in ein digitales elektrisches Signal um.

[0037] [Fig. 5](#) zeigt eine ausführliche Seitenansicht des Sensors **56** gemäß dem Schnitt in [Fig. 4](#) und [Fig. 6](#) zeigt eine teilweise Darstellung des Sensors **56** in aufgelösten Einzelteilen. Der Zellenkörper **98** kann aus jedem beliebigen geeigneten Werkstoff hergestellt sein, der bei der Herstellung von Kapazitäts-Drucksensoren verwendet wird. In dem gezeigten Beispiel schließt der Zellenkörper **98** ein Metallgehäuse **114** ein, das aus zwei tassenähnlichen Hälften **116**, **118** vor der Montage gebildet wird. Die tassenähnlichen Hälften **116**, **118** werden jeweils mit einem starren Isolator **120**, wie z.B. Keramik oder Glas, gefüllt, der mit dem Metallgehäuse **114** verschmolzen ist. Der Isolator **120** weist Öffnungen **122** auf, die mit den Isolierrohren **94** kommunizieren. Jede Öffnung **122** kommuniziert mit Öffnungen **124** in den keramischen Rohren **125**, in denen sich die Öffnungen **124** durch den Isolator **120** und in den Innenhohlraum **100** erstrecken. Jede der Hälften **116**, **118** ist zerspanend bearbeitet, so dass sie eine konkave Oberfläche in mindestens dem Isolator **120** und dem Rohr **125** bildet. Ein Abschnitt des Zellenkörper **98** ist ebenfalls zerspanend bearbeitet, um in dem gezeigten Beispiel eine konkave Form aufzuweisen. Diese konkave Oberfläche wird als eine erste Innenwand **126** in der ersten Hälfte **116** und als eine zweite Innenwand **128** in der zweiten Hälfte **118** bezeichnet. Die konkaven Innenwände **126**, **128** in dem gezeigten Beispiel sind zumindest teilweise im Allgemeinen kugelförmig. Die konkaven Innenwände **126**, **128** sind gegenüberliegend voneinander angeordnet und bilden und begrenzen den Innenhohlraum **100** in einem montierten Sensor **96**. Als eine Alternative zu einer konkaven Oberfläche kann der Zellen-

körper eine rechteckige Vertiefung aufweisen, die zwei im Allgemeinen gegenüberliegende Innenwände erzeugt.

[0038] Die Membran **102** wird zwischen den beiden Hälften **116**, **118** straff gespannt, und mit einem fortlaufend aufgetragenen Material **130** in der richtigen Position festgeschweißt. Das aufgetragene Material **130** verbindet und dichtet die Hälften **116**, **118** hermetisch ab, um den Zellenkörper **98** zu bilden. Die Schweißnaht **130** hält zudem die Membran **102** unter einer gewissen Spannung, so dass diese als ablenkbares Federelement wirken kann, das, wenn es einer Kraft ausgesetzt wird, gegen die eine oder andere der ersten und zweiten Innenwände **126**, **128** gedrückt wird. Mindestens ein Abschnitt der Membran **102** schließt ein elektrisch leitendes Material ein. Bei dem in den [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) gezeigten Beispiel handelt es sich bei der Membran **102** um eine dünne Metallmembran, so dass die gesamte Membran **102** leitend ist. Eine Achse **99** ist aus Referenzgründen so dargestellt, dass sie sich senkrecht vom Mittelpunkt der Membran **102** und durch den Zellenkörper **98** erstreckt.

[0039] Die Membran **102** trennt den Innenhohlraum **100** in einen ersten Hohlraum **132** und einen zweiten Hohlraum **134**. In dem gezeigten Beispiel begrenzen die Membran **102** und die erste Innenwand **126** den ersten Hohlraum **132**. Die Membran **102** und die zweite Innenwand **128** definieren den zweiten Hohlraum **134**, der im Allgemeinen gegenüberliegend zu der Membran **102** von dem ersten Hohlraum **132** aus liegt. Die Innenwände **126**, **128** sind in Randzonen **136** bzw. **138** und in Mittelzonen **140** bzw. **142** unterteilt. Die Abschnitte einer jeden Innenwand **126**, **128** in unmittelbarer Nähe zu dem Bereich, in welchem die Innenwand **126**, **128** die Membran **102** berührt, sind die Randzonen **136**, **138**. Ebenso sind die Abschnitte einer jeden Innenwand **126**, **128**, die den Bereich einschließen, an dem die Achse **99** sich durch die Innenwände **126**, **128** erstreckt, die Mittelzonen **140**, **142**. Die Randzonen **136**, **138** einer jeden Innenwand **126**, **128** umgeben die jeweiligen Mittelzonen **140**, **142**. Das Verhältnis der Fläche der Randzonen **136**, **138** zu den Mittelzonen **140**, **142** kann sich verändern. In dem gezeigten Beispiel erstreckt sich der Isolator **120** durch die Membran, wodurch die Innenwände **126**, **128** gebildet werden. In anderen Versionen erstreckt sich der Isolator **120** nicht durch die Membran **102**, und die Innenwände **126**, **128** schließen eine Zone ein, die in den tassenähnlichen Hälften **116**, **118** gebildet werden, wobei diese Zone in der Nähe der Membran **102** liegt.

[0040] Dielektrisches Füll-Fluid **95** füllt jeweils den ersten Hohlraum **132**, den zweiten Hohlraum **134**, die Öffnungen **122**, die Isolierrohre **94** sowie die Isolierkammern **92**. Während der Herstellung des Sensors **96** wird das Füll-Fluid **95** in den Sensor **96** injiziert, um die Isolierrohre **94** zu füllen. Das Füll-Fluid **95** ist mit dem Sensor **56** kompatibel, und Beispiele für bekannte dielektrische Füll-Fluide schließen Silikon-Öl, inerten Halogenkohlenstoff und andere ein. In dem Beispiel wird die dieselbe Art von Füll-Fluid **95** in beiden Hohlräumen **132**, **134** verwendet. Das dielektrische Füll-Fluid **95** erhöht die Kapazität des Sensors **96** im Vergleich zu einer vergleichbaren mit Luft gefüllten Vorrichtung erheblich, wobei jedoch die dielektrische Konstante des Füll-Fluids **95** als Funktion von Temperatur und Druck variiert. Im Allgemeinen ist das Volumen des Füll-Fluids **95** in dem ersten Hohlraum gleich dem Volumen des Füll-Fluids **95** in dem zweiten Hohlraum **134**. Da sich eine oder beide Isoliermembranen **90** wölben oder durchbiegen, verlagert sich das Füllfluid **95** in den Hohlräumen **132**, **134**, und das Füll-Fluid übt eine Kraft auf die Membran **102** aus. Diese Kraft entspricht, im Allgemeinen der Kraft, die an die Isoliermembranen **90** über den unterschiedlichen Prozessdruck **54** angelegt wird. Unterschiede zwischen den Kräften, die auf die Membran von jedem Hohlraum ausgeübt werden, bewirken eine Ablenkung oder Verlagerung der Membran.

[0041] In einer Version berührt die Membran **102** die Innenwände **126**, **128** und stützt sich auf diesen ab, bevor eine der Isoliermembranen **90** vollständig in ihren jeweiligen Isolierkammern **92** abgelenkt wird und bevor erheblicher Schaden an der Membran **102** entsteht. Auf diese Weise wirken die Innenwände **126**, **128** als Überdruck-Stops und schützen die Membran **102**. Auf ähnliche Weise ist die kugelförmige Form der konkaven Innenwände **126**, **128** derart, dass sich im Allgemeinen die gesamte Membran **102** an entweder der Wand **126** oder der Wand **128** abstützt, um die Membran **102** vor lokalisierten dauerhaften Verformungen zu schützen.

[0042] Eine dünne Metallbeschichtung, oder eine erste "Elektrode" **144**, ist mit der ersten Innenwand **126** verbunden. In dem gezeigten Beispiel ist die erste Elektrode **144** auf der ersten Innenwand **126** angeordnet und in dem ersten Innenhohlraum **132** positioniert. Verfahren zum Anbringen der Elektroden schließen Sputtern oder Kathodenzerstäubung, physikalische oder chemische Gasphasenabscheidung, Plasmaabscheidung, Siebdruckverfahren, oder andere geeignete Verfahren zur Verbindung der Elektrode mit der Innenwand ein. Die Dicke der Elektrode ist zur Verdeutlichung in den Figuren übertrieben dargestellt. Die Elektrode **144** liegt in der Mittelzone **140** der ersten Innenwand, liegt in unmittelbarer Nähe zu dem Keramikrohr **125**, und ist gegenüberliegend zu dem ersten Innenhohlraum **132** von der Membran **102** aus angeordnet. Die erste Elektrode

144 ist direkt mit einem Leitungsdraht **104** verbunden, der in dem Isolator **120** eingebettet ist und sich durch einen keramischen Stopfen **109** in eine Öffnung **111** erstreckt.

[0043] Eine zweite Elektrode **146** ist ebenfalls mit der ersten Innenwand mit Hilfe eines geeigneten Abscheidungsverfahrens verbunden. In dem gezeigten Beispiel wird die zweite Elektrode **146** durch Sputtern auf der ersten Innenwand **126** in dem ersten Innenhohlraum **132** aufgetragen, und ist gegenüberliegend zu dem ersten Innenhohlraum **132** von der Membran **102** aus angeordnet. Die Dicke der Elektrode ist zur Verdeutlichung in den Figuren übertrieben dargestellt. Die zweite Elektrode **146** liegt in der Randzone **136**, oder ist mit einer größeren Beabstandung entlang der Innenwand **126** von der Achse **99** aus angeordnet als die erste Elektrode **114** entlang der Innenwand **126** von der Achse **99**. Die Elektroden **144**, **146** sind beabstandet voneinander am Isolator **120** und an der Membran angeordnet, so dass sich die Elektroden nicht direkt gegenseitig oder die Membran berühren. In dem in [Fig. 6](#) gezeigten Beispiel erstreckt sich die zweite Elektrode **146** um die erste Elektrode **144**. Die zweite Elektrode **146** ist direkt mit dem Leitungsdraht **106** verbunden, der beabstandet von dem Leitungsdraht **104** angeordnet ist und nicht in direktem Kontakt mit diesem steht, und erstreckt sich darüber hinaus durch einen keramischen Stopfen **109** in eine Öffnung **11**. Eine dünne Ablagerung von Siliziummonoxid (nicht dargestellt) oder eines anderen geeigneten Isolators bedeckt die Elektroden **144**, **146**, um einen direkten Kontakt mit der Membran **102** in Überdrucksituationen zu verhindern.

[0044] Die Elektroden **144**, **146**, **148**, **150** können eine Vielzahl von Konfigurationen aufweisen. [Fig. 6](#) zeigt, dass die zweite Elektrode **146** in der Randzone aus zwei Elektrodenhälften **145** und **147** gebildet ist, welche die erste Elektrode **144** umgeben. Die Elektrodenhälften **145**, **147** sind beabstandet voneinander auf der ersten Innenwand **126** angeordnet, wobei sie jedoch in dem Isolator **120** des Zellenkörpers direkt miteinander und mit dem Leitungsdraht **106** verbunden sind. Die [Fig. 7](#) bis [Fig. 9](#) zeigen weitere Beispiele für den Sensor **56**. In [Fig. 7](#) ist die Elektrode **1146** analog zu der Elektrode **146** von [Fig. 6](#) ausgebildet, und wird als "zweite Elektrode" bezeichnet. Die Elektrode **1146** erstreckt sich nur teilweise um die erste Elektrode **144** und ist ebenfalls mit dem Leitungsdraht **106** verbunden. In [Fig. 8](#) wird die Elektrode **2146** als "zweite Elektrode" bezeichnet und weist die Form eines Ringes auf, der die erste Elektrode **144** vollständig umgibt. In [Fig. 9](#) wird die Elektrode **3146** als die "zweite Elektrode" bezeichnet und weist eine willkürliche Form in der Randzone **136** auf. Es werden auch andere Formen und Konfigurationen der zweiten Elektrode in Erwägung gezogen. Beispielsweise kann es sich bei der "zweiten Elektrode" um das bloße Ende des Leitungsdrahtes **106** handeln, das in dem Innenhohlraum **100** freiliegt und keine andere Metallbeschichtung aufweist, die mit der ersten Innenwand **126** verbunden ist. Die unterschiedlichen Formen für die zweite Elektrode **146** können auch für die vierte Elektrode **150** angewendet werden. Ähnlich können die erste und dritte Elektrode **144** bzw. **148** eine Vielzahl von Formen aufweisen. Beispielsweise können die erste und dritte Elektrode **144** bzw. **148** eine flache Form aufweisen oder willkürlich geformt sein.

[0045] Die Elektroden **144**, **146** arbeiten als Kondensatorelemente oder Kondensatorplatten, wobei alle über ein elektrisches Feld durch das dielektrische Füll-Fluid **95** elektrisch an die Membran **102** angeschlossen sind, d.h. "kapazitiv gekoppelt" sind. Die Membran **102** arbeitet auch als weitere Kondensatorplatte und es liegt keine direkte Verbindung zwischen der Membran **102** und einer der beiden Elektroden **144** oder **146** vor. Auf diese Weise bilden die erste Elektrode **144** und die Membran **102** einen ersten Kondensator, und die zweite Elektrode **146** und die Membran **102** bilden einen zweiten Kondensator. Der Begriff "Kondensator" wird zur Beschreibung des Aufbaus verwendet, auch wenn die "Kondensatorplatten" (einschließlich der Membran) nicht immer geladen sind. Daher werden beispielsweise die erste Elektrode **144** und die Membran **102** sogar dann als "kapazitiv gekoppelt" angesehen, wenn sie nicht geladen sind. Die Membran **102** arbeitet als eine Kondensatorplatte, die sowohl dem ersten als auch dem zweiten Kondensator gemeinsam ist. Die Elektroden **144**, **146** sind im Hinblick auf die bewegliche Membran **102** befestigt, und somit handelt es sich bei dem ersten und zweiten Kondensator um "Regel-Kondensatoren". Die Kapazität eines jeden Regel-Kondensators verändert sich bei Wölbung der Membran. Insbesondere ist die Kapazität eines Kondensators im Allgemeinen proportional zum Umkehrwert des Abstands zwischen den Kondensatorplatten des Kondensators.

[0046] Während des Betriebs liefert die Sensorelektronik **60** ein Signal zum Laden der Membran **102**. Aufgrund der Wölbung der Membran **102** in dem Innenhohlraum **100** ansprechend auf den angelegten Prozessdruck verändert sich der Abstand zwischen der Membran und jeder Elektrode **144**, **146**. Dies bewirkt eine Veränderung der Kapazität eines jeden Kondensators, wobei die Kapazität eine Funktion des Prozessdrucks **54** ist. Die Leitungsdrähte **104**, **106** und die Membran **102** sind direkt mit der Baugruppe **112** der Sensorelektronik verbunden. Die Ladung auf der Elektrode **144** und dem Leitungsdraht **104** ist eine Funktion der Kapazität des ersten Kondensators, und die Ladung auf der Elektrode **146** und dem Leitungsdraht **106** ist eine Funktion der Kapazität des zweiten Kondensators. Die Sensorelektronik **60** misst die variablen Kapazitäten, die zur Bestimmung des angelegten Prozessdrucks verwendet werden können.

[0047] Eine dritte Elektrode **148** ist mit der zweiten Innenwand **128** verbunden und in dem zweiten Innenhohlraum **134** angeordnet. Ein Verfahren zum Koppeln der Elektrode **148** erfolgt durch Sputtern. Die Dicke der Elektrode ist zur Verdeutlichung in den Figuren übertrieben dargestellt. Die dritte Elektrode **148** ist in der Mittelzone **142** der zweiten Innenwand **128** angeordnet, ist gegenüberliegend dem zweiten Innenhohlraum **128** von der Membran **102** aus angeordnet, ist ähnlich in Größe und Form wie die erste Elektrode **144** und ist gegenüberliegend dem Innenhohlraum **100** von der ersten Elektrode aus angeordnet. Die dritte Elektrode **148** ist im Hinblick auf die Membran **102** befestigt, und die dritte Elektrode **148** und die ablenkbare Membran bilden einen dritten Regel-Kondensator. Die dritte Elektrode **148** ist direkt mit dem Leitungsdraht **108** verbunden, der in dem Isolator **120** eingebettet ist und sich durch den keramischen Stopfen **115** in eine Öffnung **113** erstreckt.

[0048] Eine vierte Elektrode **150** ist mit der zweiten Innenwand **128** in dem zweiten Innenhohlraum **134** in der Randzone **138** der zweiten Innenwand **128** verbunden. Ein Verfahren für den Anschluss der vierten Elektrode **150** erfolgt durch Sputtern. Die Dicke der Elektrode ist zur Verdeutlichung in den Figuren übertrieben dargestellt. Die vierte Elektrode **150** ist gegenüberliegend dem zweiten Innenhohlraum **134** von der Membran **102** aus angeordnet, ist ähnlich in Größe und Form wie die zweite Elektrode **146** und ist gegenüber dem Innenhohlraum **100** von der zweiten Elektrode **146** aus angeordnet. Die Elektroden **148**, **150** sind über dem Isolator **120** und zu der Membran **102** beabstandet voneinander angeordnet, so dass die Elektroden **148**, **150** sich oder die Membran **102** nicht direkt berühren. Die vierte Elektrode **150** ist direkt mit dem Leitungsdraht **110** verbunden, der beabstandet von dem Leitungsdraht **108** und nicht in Kontakt mit diesem angeordnet ist, und sich zudem durch einen keramischen Stopfen **115** in die Öffnung **113** erstreckt. Alternativ kann die vierte Elektrode **150** lediglich das Ende des Leitungsdrahts **110** sein, das in dem Hohlraum **128** freiliegt.

[0049] Die dritte und vierte Elektrode **148** bzw. **150** dienen jeweils als Kondensatorplatte für separate Kondensatoren. Die dritte Elektrode **148** ist kapazitiv mit der Membran **102** gekoppelt, um einen dritten Regel-Kondensator zu bilden, und die vierte Elektrode **150** ist kapazitiv mit der Membran **102** gekoppelt, um einen vierten Regel-Kondensator zu bilden. Der dritte und vierte Kondensator sind ähnlich dem ersten und zweiten Kondensator ausgebildet, jedoch auf der zweiten Halbzelle **118**. Eine mangelnde Symmetrie zwischen den Elektroden **144**, **146** auf der ersten Innenwand **126** und den Elektroden **148**, **150** auf der zweiten Zwischenwand **128** wird ebenfalls in Erwägung gezogen. Das Beispiel von [Fig. 10](#) weist keine vierte Elektrode und keinen entsprechenden Leitungsdraht auf, und weist somit auch keinen vierten Kondensator auf. In dem Beispiel ist die dritte Elektrode **148** gegenüberliegend zu der ersten Elektrode **144** angeordnet, obwohl die dritte Elektrode in dieser Konfiguration an einer beliebigen Stelle auf der zweiten Innenwand **128** angeordnet werden kann.

[0050] [Fig. 4](#) zeigt Leitungsdrähte **104**, **106**, **108**, **110**, die mit der Elektronik-Baugruppe **112** verbunden sind, und [Fig. 3](#) zeigt an, dass der Sensor **56** betriebsbereit mit einem Analog-Digital-Wandler **62** gekoppelt ist, wie beispielsweise einem Kapazitäts-Digital-Wandler. Der Analog-Digital-Wandler **62** ist mit einer anderen Elektronik in dem Sender **36**, oder in der "Senderelektronik" verbunden, wie es vorstehend bereits mit Bezug auf die [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) beschrieben worden ist. Es sind verschiedene Analog-Digital-Wandler bekannt, die ein analoges Eingangssignal in ein digitales Ausgangssignal umwandeln und sind für die Verwendung mit dem Prozessdrucksender **36** annehmbar. Eine Art von Analog-Digital-Wandler **62** ist ein Sigma-Delta-Wandler, oder besser bekannt durch sein Symbol $\Sigma\Delta$. Ein Merkmal, das den Sigma-Delta-Schaltkreis von anderen Arten von Analog-Digital-Wandlern unterscheidet, liegt darin, dass der Sigma-Delta-Wandler einen Ausgleichsstrom mit einer Polarität bereitstellt, der von einem mit einem Integrator verbundenen getakteten Regler geregelt wird. Der Analog-Digital-Wandler **62** schließt einen Sigma-Delta-Schaltkreis ein und kann als anwenderspezifischer integrierter Schaltkreis realisiert werden. In einem Beispiel ist der anwenderspezifische integrierte Schaltkreis auf der Sensorelektronik-Baugruppe **112** und nahe dem Sensor **56** angeordnet. Der anwenderspezifische integrierte Schaltkreis kann jedoch in einem explosions sicheren Gehäuse des Senders **36** angeordnet werden. Der anwenderspezifische integrierte Schaltkreis kann je nach Bedarf oder Wunsch andere Schaltelemente einschließen, um zusätzliche Funktionen zusätzlich zu denen des Sigma-Delta-Schaltkreises zu liefern. Eine solche Funktion kann zur Bestimmung der Kapazität der Sensorkondensatoren dienen und ein Ausgangssignal bereitstellen, das eine Funktion des Prozessdrucks ist.

[0051] Die [Fig. 11](#) bis [Fig. 14](#) zeigen ein paar Beispiele für den Sensor **56**, der mit dem Analog-Digital-Wandler **62** verbunden ist. In jedem der dargestellten Beispiele sind die Leitungsdrähte **104**, **106**, **108**, **110** und somit die Elektroden **144**, **146**, **148**, **150** elektrisch mit dem Analog-Digital-Wandler **62** verbunden, der als ein anwenderspezifischer integrierter Schaltkreis **151** in [Fig. 11](#) und als **152** in den [Fig. 12](#) bis [Fig. 14](#) realisiert ist, wobei diese das Ausgangssignal **149** liefern. Der Schaltkreis **151** von [Fig. 11](#) schließt den Schaltkreis **152** sowie zusätzliche Schaltelemente oder elektrische Verbindungen ein. Der anwenderspezifische integrierte Schaltkreis **152** ist im Stand der Technik bekannt und kann zusammen mit Sensoren des dazugehörigen Standes der Technik verwendet werden. Der Schaltkreis **152** wird in dem Modell **3051C** Prozessdrucksender verwendet,

der von der Firma Rosemount Inc. mit Sitz in Eden Prairie, Minn. hergestellt und verkauft wird. Der Schaltkreis **152** in den [Fig. 12](#) bis [Fig. 14](#) weist ein Sensor-Erregungsausgangssignal **155** auf, das mit der Membran **102** zur elektrischen Ladung der Membran und zur Erzeugung eines elektrischen Feldes in dem Innenhohlraum **100** elektrisch verbunden ist. Der Schaltkreis **152** schließt auch ein hohes Kapazitäts-Eingangssignal **153** und ein niedriges Kapazitäts-Eingangssignal **154** ein, die mit den Elektroden **144** bis **150** und einem Linearisationskondensator-Erregungsanschluss **156** elektrisch verbunden sind.

[0052] Die [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) zeigen die erste und vierte Elektrode **144** und **150**, die außerhalb des Innenhohlraums **100** an einem ersten Knoten **161** elektrisch miteinander verbunden sind, und die zweite und dritte Elektrode **146** und **148** sind außerhalb des Innenhohlraums **100** an einem zweiten Knoten **162** elektrisch miteinander verbunden. Der erste und zweite Knoten **161**, **162** sind mit dem Schaltkreis **152** elektrisch verbunden. Insbesondere ist der erste Knoten **161** direkt mit dem hohen Kapazitäts-Eingangssignal **153** und der zweite Knoten direkt mit dem niedrigen Kapazitäts-Eingangssignal **154** elektrisch verbunden. Die Linearisierungskondensatoren **157**, **158** sind zwischen den Knoten **161** bzw. **162** angeschlossen sowie an den Knoten **159**, der für den Anschluss **156** bereitgestellt ist. [Fig. 12](#) zeigt Leitungsdrähte **104** und **110**, die zur Bildung eines Knotens **161** gebunden sind, und die Leitungsdrähte **106**, **108** sind zur Bildung eines Knotens **162** gebunden. In [Fig. 13](#) ist ein erster Einstellungs-Kondensator **165** elektrisch zwischen der vierten Elektrode **150** und dem ersten Knoten **161** angeschlossen. Darüber hinaus ist ein zweiter Einstellungs-Kondensator **167** elektrisch zwischen der zweiten Elektrode **146** und dem zweiten Knoten **162** angeschlossen.

[0053] [Fig. 14](#) zeigt die erste und zweite Elektrode **144**, **146**, die außerhalb des Innenhohlraums **100** an einem dritten Knoten **163** elektrisch miteinander verbunden sind, sowie die dritte und vierte Elektrode **148**, **150**, die außerhalb des Innenhohlraums **100** an einem vierten Knoten **164** miteinander verbunden sind. Ein erster invertierender Ladungsverstärker **166** ist mit der zweiten Elektrode **146** elektrisch verbunden und sein Ausgangssignal wird an den dritten Knoten **163** geliefert. Ein zweiter invertierender Ladungsverstärker **168** ist mit der vierten Elektrode **150** elektrisch verbunden und sein Ausgangssignal wird an den vierten Knoten **164** geliefert. Die invertierenden Ladungsverstärker sind in der Technik bekannt und sind im Allgemeinen durch ihre Funktion zur Verstärkung und Umkehrung der Polarität eines Ladungssignals definiert. Der dritte Knoten und vierte Knoten **163**, **164** sind direkt mit dem hohen und niedrigen Kapazitäts-Eingangssignalen **153** bzw. **154** elektrisch verbunden.

[0054] Die [Fig. 12](#) bis [Fig. 14](#) zeigen, dass die Schaltkreiselemente und Knoten außerhalb des Sensors ebenfalls separat von dem anwenderspezifischen integrierten Schaltkreis **152** angeordnet sind. Diese Schaltkreiselemente können auf der Baugruppe **112** der Sensorelektronik angeordnet sein und dann mit dem Schaltkreis **152**, der sich ebenfalls auf der Baugruppe **112** befindet, verbunden werden. [Fig. 11](#) zeigt ein Beispiel, bei dem ein anwenderspezifischer integrierter Schaltkreis **151** den Schaltkreis **152** und zusätzliche Schaltkreiselemente in monolithischer Form aufweist, so dass jede der in den [Fig. 12](#) bis [Fig. 14](#) gezeigte Ausführungsformen als ein mikroelektronischer Chip realisiert werden kann. Der Schaltkreis **151** kann auch andere Schaltkreiselemente aufweisen, welche für eine spezielle Anwendung geeignet sind. Die Leitungsdrähte **104**, **106**, **108**, **110** sind direkt mit den Eingangssignalen **170**, **172**, **174** und **176** des Schaltkreises **151** verbunden. Der Schaltkreis **151** weist die in den [Fig. 12](#) bzw. [Fig. 13](#) gezeigten Knoten und Kondensatoren auf, oder die in [Fig. 14](#) gezeigten Knoten und invertierenden Ladungsverstärker.

[0055] [Fig. 15](#) zeigt die Leitungsdrähte **104**, **106**, **108**, **110** des Sensors, die mit dem anwenderspezifischen integrierten Schaltkreis **178** an den Eingängen **180**, **182**, **184**, **186** verbunden sind. Der Schaltkreis **178** weist zudem den Sensor-Erregungsausgang **181** und den Schaltkreis-Ausgang **183** auf, welche analog zu denen der Schaltkreise **151** und **152** sind. Der Schaltkreis **178** unterscheidet sich vom Schaltkreis **151** insofern, dass Schaltkreis **178** einen besonderen Sigma-Delta-Wandler verwendet, der sich von dem als Schaltkreis **152** angegebenen Wandler unterscheidet.

[0056] Die Membran **102** ist als gerade und flach in [Fig. 5](#) gezeigt, was einen gleichmäßigen angelegten Druck in dem ersten und zweiten Hohlraum **132**, **134** anzeigt. Wenn eine Druckdifferenz zwischen den Hohlräumen **132**, **134** vorliegt, wie z.B. bei dem Fall, dass der Druck im Hohlraum **134** größer als der Druck im Hohlraum **132** ist, wölbt sich die Membran von ihrer ursprünglichen Position aus, wie es in [Fig. 16](#) vorgeschlagen ist. Die Dicke der Elektrode ist zur besseren Verdeutlichkeit übertrieben dargestellt. Idealerweise ist die Form einer gewölbten Membran **102** parabolisch, wie es in [Fig. 16](#) gezeigt ist. Die ideale parabolische Form der gewölbten Membran stimmt im Allgemeinen mit dem kugelförmigen Umriss der ersten Innenwand **126** überein (ähnlich würde die Form der gewölbten Membran im Allgemeinen mit dem Umriss der zweiten Innenwand **128** übereinstimmen, falls der Druck umgekehrt würde). Eine ideale Wölbung der Membran als ein Prozentsatz des Umrisses der ersten Innenwand ist im Allgemeinen an allen Stellen der Membran identisch. Die Prozentverän-

derung bei der variablen Kapazität ist ebenfalls identisch, da die Membran in diesem Beispiel gegen die erste Innenwand **126** gedrückt wird. Dementsprechend sollten der erste und zweite Kondensator dieselben verhältnismäßigen Veränderungen der Kapazität messen, während die Membran gegen die erste Innenwand **126** gedrückt wird, und diese Kapazität steht mit dem angelegten Prozessdruck in Zusammenhang.

[0057] Die Membran **102** jedoch wölbt sich nicht in einer derartigen idealischen parabolischen Art und Weise. Anstelle dessen verlagert sich die Membran **102** und wird nach anfänglicher Wölbung flach. Beispielsweise zeigt [Fig. 17](#) eine Membranverformung, wenn die Drücke in beiden Hohlräumen **132**, **134** identisch zueinander sind. Die Membran **102** erstreckt sich in den einen oder anderen Hohlraum, wenn sie idealerweise ganz und gar flach sein sollte. Die Größe des in den [Fig. 17](#) und [Fig. 18](#) gezeigten Offset ist lediglich zur Veranschaulichung dargestellt und die tatsächliche Größe der Verformung ist übertrieben dargestellt. Im Allgemeinen wird dieser Offset durch Biegemomente von Kanten verursacht, die an der Zone **152** auftreten, wo die Membran **102** in physikalischen Kontakt mit der ersten und zweiten Innenwand **126** bzw. **128** kommt. Die Biegemomente der Kanten schließen Reibungsmomente sowie Nachgiebigkeits- oder Schlupfmomente der Kanten ein. Die Größe oder Menge der Biegung entlang der Membran ist zur Verdeutlichung ebenfalls übertrieben dargestellt. Beispielsweise sind alle Elektroden **144**, **146**, **148**, **150** in einem tatsächlichen Sensor **96** für gewöhnlich gegenüber dem flachen Abschnitt der verlagerten Membran **102** angeordnet. [Fig. 18](#) zeigt eine Membranverformung, wenn der Druck im Hohlraum **134** größer als der Druck im Hohlraum **132** ist. Die Membran **102** wölbt sich parabolisch, wobei sie sich jedoch von dem Offset-Zustand aus wölbt, und weist somit eine Offset-Komponente auf. Die Größe der Membranwölbung wird als Ergebnis des Differenzdrucks, der zu der Größe des Membran-Offset als Ergebnis der Kanten-Biegemomente addiert wird, zur parabolischen Wölbung.

[0058] Der Vorgang der Fehlerkompensation wird mit Bezug auf [Fig. 19](#) eingeführt, bei der es sich um ein vereinfachtes Schemadiagramm des Sensors **56** handelt. Eine Fehlerkompensation beginnt mit der Messung zweier Entfernungen der Membranwölbung zu einer ausgewählten Position, oder Referenzebene, und Subtraktion einer Entfernung von der anderen Entfernung, um zu einem Wert zu gelangen, der proportional zu einem fehlerkorrigierten Ausgangssignal ist. Beispielsweise kann es sich bei der ausgewählten Position um eine Referenzebene **190** handeln, die eine ideale Membran im Ruhezustand darstellt. In diesem Beispiel weist die Membran einen Mittelbereich **192** auf, der im Allgemeinen gegenüberliegend zu dem Mittelbereich **140** der ersten Innenwand **126** angeordnet ist, sowie eine Randzone **194**, die im Allgemeinen gegenüberliegend zu der Randzone **136** der ersten Innenwand **126** liegt. Die erste Entfernung X_1 ist die Entfernung des Mittelbereichs **192** der Membran zu einer Ebene **190**. Die zweite Entfernung X_2 ist die Entfernung der Randzone **194** der Membran zu der Ebene **190**. Die zweite Entfernung X_2 wird von der ersten Entfernung X_1 subtrahiert, um einen Wert zu liefern, der proportional zu einem fehlerkorrigierten Ausgangssignal einer Differenzdruckmessung oder R ist. Insbesondere ist $R = K(X_1 - X_2)$.

[0059] Der Wert K kann ein Einheitswert oder eine andere Konstante sein. Der Wert K wird für gewöhnlich zur Skalierung des Ausgangssignals verwendet ist oft identisch mit oder liegt zwischen (-1) und (1) . In einem Beispiel ist K gleich dem Umkehrwert, der aus der Entfernung X_{01} des Mittelbereichs **140** der Innenwand zu der Ebene **190**, die zu der Entfernung X_{02} der Randzone **136** der Innenwand zu der Ebene **190** addiert wird, resultiert. Insbesondere ergibt sich: $K = 1/(X_{01} + X_{02})$. Bei der Implementierung des Sensors **96** wird X_{01} durch Messen der Entfernung zwischen den Mittelelektroden **144**, **148** und durch Dividieren durch zwei erhalten. Bei der Implementierung des Sensors **96** wird X_{02} durch Messen der Entfernung zwischen den Randelektroden **146**, **150** und durch Dividieren durch zwei erhalten. Dementsprechend ergibt sich:

$$R = (X_1 - X_2)/(X_{01} + X_{02})$$

[0060] Falls die Innenwand gekrümmt ist, ist X_{01} nicht gleich X_{02} . Diese Transferfunktion kann in einer Vielzahl von Sensoren implementiert werden, die ein dielektrisches Füll-Fluid für die Kompensation einer Membranverformung und Veränderungen der Dielektrizitätskonstanten des Füll-Fluids aufweisen. Ein Sensor, der zur Implementierung dieser Transferfunktion eingesetzt wird, ist der Sensor von [Fig. 5](#) mit vier Elektroden. In einer Transferfunktion, die vom Sensor aus [Fig. 10](#) mit drei Elektroden implementiert ist, gibt es keinen Wert X_{02} . Somit ergibt sich: $K = 1/X_{01}$. Dementsprechend ergibt sich folgende Gleichung:

$$R = (X_1 - X_2)/X_{01}$$

[0061] Die Berechnungen und das Ergebnis können von einer beliebigen Signalverarbeitungseinrichtung aus einer Vielzahl von Vorrichtungen zusätzlich zu dem vorstehend beschriebenen anwenderspezifischen integrierten Schaltkreisen bereitgestellt werden.

[0062] Eine Grundform einer bei dem Sender von [Fig. 2](#) zur Lieferung eines fehlerkompensierten Ausgangssignals bei der Messung des Prozessdrucks verwendeten Transferfunktion nutzt vier Kapazitätsmessungen, die vom Sensor **56** bereitgestellt werden. Die Kapazität des ersten Kondensators steht mit einem elektrischen Signal an einer ersten Elektrode **144** in Zusammenhang und wird als erste Kapazität oder C_1 beschrieben. Die Kapazität des zweiten Kondensators steht mit einem elektrischen Signal an der zweiten Elektrode **146** in Zusammenhang und wird als zweite Kapazität, oder C_2 beschrieben. Die Kapazität des dritten Kondensators steht mit einem elektrischen Signal an der dritten Elektrode **148** in Zusammenhang und wird als dritte Kapazität, oder C_3 beschrieben. Die Kapazität des vierten Kondensators steht mit einem elektrischen Signal an der vierten Elektrode **150** in Zusammenhang und wird als vierte Kapazität, oder C_4 beschrieben.

[0063] Das Ausgangssignal R der grundlegenden Transferfunktion zeigt eine Differenzdruckmessung an, wobei eine Membranverformung kompensiert ist. Ein Ausdruck der grundlegenden Transferfunktion ist in Gleichung A gezeigt:

$$R = ((C_1 - C_3) - (C_2 - C_4)) / ((C_1 + C_3) - (C_2 + C_4)) \quad [A]$$

[0064] In Gleichung A wird die vierte Kapazität C_4 von der zweiten Kapazität C_2 subtrahiert, um eine erste Differenz $(C_2 - C_4)$ zu erhalten. Die dritte Kapazität C_3 wird von der ersten Kapazität C_1 subtrahiert, um eine zweite Differenz $(C_1 - C_3)$ zu erhalten. Die erste Differenz wird von der zweiten Differenz zum Erhalt eines Zählers subtrahiert. Der Nenner weist eine erste Summe aus der zweiten und vierten Kapazität $(C_2 + C_4)$ auf, die von einer zweiten Summe aus der ersten und dritten Kapazität $(C_1 + C_3)$ subtrahiert wird. Der Zähler wird zum Erhalt des Ergebnisses R durch den Nenner dividiert. Diese Schritte können auch in einer anderen Reihenfolge oder es können auch mehrere Schritte gleichzeitig ausgeführt werden.

[0065] Die grundlegende Transferfunktion der Gleichung A steht mit der Fehlerkompensation basierend auf einem Abstand der Wölbung oder Ablenkung in Zusammenhang, wie es vorstehend mit Bezug auf [Fig. 19](#) beschrieben worden ist. Das Verhältnis der Kapazität der Randlektrode zu der Kapazität der Mittelelektrode wird zur Leistungsverbesserung des Sensors ausgewählt. Beispielsweise ergibt sich, wenn $X_{01}/X_{02} = (C_2 + C_4)/(C_1 + C_3)$, oder $C_2/C_1 = C_4/C_3 = X_{01}/X_{02}$ ist, dann $R = (X_1 - X_2)/(X_{01} + X_{02})$. In der Praxis ergibt sich daraus, dass die Abmessung der Elektroden in der Randzone, d.h. der Elektroden **146**, **150**, ziemlich klein ist, oder im Falle einer Ring- oder teilweisen Ringkonfiguration dünn ist. Eine andere Möglichkeit, dieses Ergebnis zu erzielen, besteht darin, einige oder alle vier Kapazitäten, die mit den jeweiligen elektrischen Signalen in Zusammenhang stehen, zu verstärken, abzuschwächen oder eine Kombination von beiden, bevor die Transferfunktion zum Arbeiten mit den Kapazitäten verwendet wird. Eine Abschwächung bedeutet zugleich eine Verstärkung; insbesondere handelt es sich um eine Verstärkung von weniger als eins. Auf diese Weise werden die "rohen" elektrischen Signale, die an den Elektroden **144**, **146**, **148**, **150** tatsächlich vorliegen, jeweils mit einem ausgewählten Verstärkungsfaktor zur Lieferung von elektrischen Signalen, die die vier Kapazitäten wiedergeben, die zur Implementierung von Transferfunktionen geeignet sind, multipliziert. In dem Sensor von [Fig. 5](#) werden die rohen elektrischen Signale der Elektroden **146** und **150** um einen Verstärkungsfaktor kleiner als Eins verstärkt, um Signale zu liefern, die in der Transferfunktion verwendet werden.

[0066] [Fig. 14](#) zeigt eine Implementierung der grundlegenden Transferfunktion. Der Schaltkreis **152** empfängt zwei Eingangssignale, welche die Kapazitäten an dem hohen und dem niedrigen Kapazitätseingang **153**, **154** darstellen, wobei die Kapazitäten als C_H und C_L abgekürzt werden. Der Schaltkreis **152** empfängt die Eingangssignale und liefert ein Ausgangssignal R_1 , welches sich in Gleichung B folgendermaßen ausdrücken lässt:

$$R_1 = (C_L - C_H) / (C_H + C_L) \quad [B]$$

[0067] Der Eingang **153** empfängt ein Signal C_L , das gleich $(C_1 - C_2)$ ist; und Eingang **154** empfängt ein Signal C_H , das gleich $(C_3 - C_4)$ ist. Dementsprechend lässt sich das Ausgangssignal des Schaltkreises **152** als Gleichung C ausdrücken:

$$R_1 = ((C_1 - C_2) - (C_3 - C_4)) / ((C_1 - C_2) + (C_3 - C_4)) \quad [C]$$

[0068] Oft werden Streukapazitäten in die Kapazitätsmessungen des Sensors **96** eingebracht. Als Ergebnis kann jeder Kapazitätsterm in Gleichung A einen Hauptkapazitätsterm aufweisen, der die Kapazität zwischen der Elektrode und der Membran **102** darstellt, sowie eine Streukapazität. Beispielsweise kann die erste Kapazität eine erste Hauptkapazität und eine erste Streukapazität aufweisen, so dass $C_1 = (C_{1M} + C_{1S})$. Ähnlich ergibt sich $C_2 = (C_{2M} + C_{2S})$, $C_3 = (C_{3M} + C_{3S})$ und $C_4 = (C_{4M} + C_{4S})$.

[0069] Die Implementierung von [Fig. 14](#) zieht die Auswirkung von Streukapazitäten in Betracht. Wenn die Verstärkungen bei invertierenden Ladungsverstärkern **166**, **168** auf (-1) eingestellt werden, ist die Transferfunktion der Implementierung unabhängig von der Streukapazität, wenn $C_{1S} = C_{2S} = C_{3S} = C_{4S}$. Im Allgemeinen invertiert der erste invertierende Ladungsverstärker **166** jedoch die Polung von C_2 und multipliziert das Ergebnis um eine Verstärkung A_1 , und der zweite invertierende Ladungsverstärker **168** invertiert die Polung von C_4 und multipliziert das Ergebnis um eine Verstärkung A_2 . Daher lautet ein Ausdruck des Ergebnisses der Konfiguration von [Fig. 14](#), der mit der grundlegenden Transferfunktion übereinstimmt,

$$R_1 = \frac{((C_{1M} + C_{1S}) - A_1(C_{2M} + C_{2S})) - ((C_{3M} + C_{3S}) - A_2(C_{4M} + C_{4S}))}{((C_{1M} + C_{1S}) - A_1(C_{2M} + C_{2S})) + ((C_{3M} + C_{3S}) - A_2(C_{4M} + C_{4S}))}$$

[0070] Die gewünschte Kompensation kann durch Einstellen der Verstärkungen A_1 und A_2 erreicht werden. Die Wirkung von Streukapazität kann durch eine optimale Konstruktion eines Sensors reduziert werden, und Verstärkungen A_1 und A_2 können unabhängig voneinander eingestellt werden, um eine fehlende physikalische Symmetrie zu kompensieren.

[0071] Die [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) zeigen zwei Beispiele für eine weitere Implementierung der grundlegenden Transferfunktion. Ein Ausdruck der grundlegenden Transferfunktion ist als Gleichung D dargestellt:

$$R = ((C_1 + C_4) - (C_2 + C_3)) / ((C_1 + C_4) + (C_2 + C_3)) \quad [D]$$

[0072] Gleichung E stimmt mit dem Ausdruck von Gleichung A überein. In Gleichung D wird die erste Kapazität C_1 zu der vierten Kapazität C_4 addiert, um eine erste Summe $(C_1 + C_4)$ zu erhalten. Die zweite Kapazität C_2 wird zu der dritten Kapazität C_3 zum Erhalt einer zweiten Summe $(C_2 + C_3)$ addiert. Die erste Summe wird zu der zweiten Summe zum Erhalt des Nenners addiert und die zweite Summe wird von der ersten Summe zum Erhalt des Zählers subtrahiert. Der Zähler wird durch den Nenner geteilt, um das Ergebnis R zu erhalten.

[0073] Zusätzliche Kapazitätswerte sind in der Implementierung der Transferfunktion für das Beispiel von [Fig. 12](#) eingeschlossen. Die Implementierung ist auch anfällig für Auswirkungen von Streukapazität. In einer Konstruktion des Sensors sind die vier Streukapazitäten identisch zueinander. In einer anderen Konstruktion sind die Streukapazitäten wirksam beseitigt. Das Beispiel weist zudem zwei Linearisations-Kondensatoren **157**, **158** ein, die Linearisationskapazitäten C_{L1} bzw. C_{L2} einbringen, welche die Transferfunktion beeinflussen. Daher lautet ein Ausdruck des Ergebnisses R_2 der Konfiguration von [Fig. 12](#) unter Berücksichtigung der Linearisations- und Streukapazitäten folgendermaßen:

$$R_2 = \frac{((C_{1M} + C_{1S}) + (C_{4M} + C_{4S}) - C_{L1}) - ((C_{2M} + C_{2S}) + (C_{3M} + C_{3S}) - C_{L2})}{((C_{1M} + C_{1S}) + (C_{4M} + C_{4S}) - C_{L1}) + ((C_{2M} + C_{2S}) + (C_{3M} + C_{3S}) - C_{L2})}$$

[0074] Der Schritt des Addierens der ersten Kapazität C_1 zu der vierten Kapazität C_4 in Gleichung D schließt das Subtrahieren einer ersten Linearisationskapazität C_{L1} , welche mit einem elektrischen Signal an einem ersten Linearisationskondensator **157** in Zusammenhang steht, von der ersten oder vierten Kapazität zum Erhalt der ersten Summe ein. Zudem schließt der Schritt des Addierens der dritten Kapazität C_3 und der zweiten Kapazität C_2 in Gleichung D das Subtrahieren einer zweiten mit einem elektrischen Signal an einem zweiten Linearisations-Kondensator **158** in Zusammenhang stehenden Linearisationskapazität C_{L2} von der zweiten oder dritten Kapazität zum Erhalt der zweiten Summe ein.

[0075] Noch zusätzliche Kapazitätswerte sind in der Implementierung der Transferfunktion für das Beispiel aus [Fig. 13](#) eingeschlossen. Das Beispiel weist zwei Einstellungs-Kondensatoren **165**, **167** auf, die Einstellungskapazitäten C_{A1} bzw. C_{A2} einbringen, welche die Transferfunktion beeinflussen. Somit ist ein Ausdruck des Ergebnisses R_3 der Konfiguration in Gleichung E gezeigt:

$$R_3 = \frac{((C_{1M} + C_{1S}) + (C_{4E}) - C_{L1}) - ((C_{2E}) + (C_{3M} + C_{3S}) - C_{L2})}{((C_{1M} + C_{1S}) + (C_{4E}) - C_{L1}) + ((C_{2E}) + (C_{3M} + C_{3S}) - C_{L2})}$$

[0076] Die zweite Kapazität C_2 aus Gleichung D wird zu einer zweiten Effektivkapazität C_{2E} in Gleichung E, und wird folgendermaßen ausgedrückt:

$$C_{2E} = C_{2A}(C_{2M} + C_{2S})/(C_{A2} + C_{2M} + C_{2S})$$

[0077] Die zweite Effektivkapazität C_{2E} schließt die zweite Einstellungskapazität C_{A2} ein, die mit der Summe aus der zweiten Hauptkapazität C_{2M} sowie einer zweiten Streukapazität C_{2S} multipliziert ist, und durch die Summe aus der zweiten Einstellungskapazität C_{A2} , der zweiten Hauptkapazität C_{2M} und der zweiten Streukapazität C_{2S} dividiert ist.

[0078] Die vierte Kapazität C_4 aus Gleichung D wird zu einer vierten Effektivkapazität (C_{4E}) in Gleichung E und wird folgendermaßen ausgedrückt:

$$C_{4E} = C_{A1}(C_{4M} + C_{4S})/(C_{A1} + C_{4M} + C_{4S})$$

[0079] Die vierte Effektivkapazität C_{4E} schließt die erste Einstellungskapazität C_{A1} multipliziert mit der Summe aus der vierten Hauptkapazität C_{4M} und der vierten Streukapazität C_{4S} und dividiert durch die Summe aus der ersten Einstellungskapazität C_{A1} , der vierten Hauptkapazität C_{4M} und der vierten Streukapazität C_{4S} ein.

[0080] Gleichung A kann in vielen Formen implementiert werden. Beispielsweise empfängt der Schaltkreis **178** von [Fig. 15](#) elektrische Signale, die mit den vier Kapazitäten der Leitungsdrähte **104**, **106**, **108**, **110** in Zusammenhang stehen. Der Schaltkreis **178** verarbeitet dann die Signale zur Erzeugung eines Ausgangssignals, das mit der in Gleichung A dargelegten grundlegenden Transferfunktion übereinstimmt.

[0081] Die vorstehend beschriebene Gleichung $R = (X_1 - X_2)/X_{01}$ kann mit Hilfe eines Sensors mit drei Kondensatoren implementiert werden, ähnlich dem Sensor von [Fig. 10](#). Die Kapazität des ersten Kondensators steht mit einem elektrischen Signal an der ersten Elektrode **144** in Zusammenhang und wird als erste Kapazität oder C_1 beschrieben. Die Kapazität des zweiten Kondensators steht mit einem elektrischen Signal an der zweiten Elektrode **146** in Zusammenhang und wird als die zweite Kapazität oder C_2 beschrieben. Die Kapazität des dritten Kondensators steht mit einem elektrischen Signal an der dritten Elektrode **148** in Zusammenhang und wird als die dritte Kapazität oder C_3 beschrieben.

[0082] Das Ergebnis R der diesen Sensor verwendenden Transferfunktion lautet folgendermaßen:

$$R = \frac{C_1 - C_3 - AC_1C_3/C_2}{C_1 + C_3 + B}$$

[0083] In dieser Gleichung wird die erste Kapazität C_1 mit der dritten Kapazität C_3 und mit einer ersten Konstanten A multipliziert, um einen ersten Wert (AC_1C_3) zu erhalten. Der erste Wert wird zum Erhalt eines zweiten Werts (AC_1C_3/C_2) durch die zweite Kapazität C_2 dividiert. Der zweite Wert wird von der dritten Kapazität C_3 zum Erhalt eines vierten Werts subtrahiert, der dann zum Erhalt eines Zählers von der ersten Kapazität C_1 subtrahiert wird. Der Zähler wird durch die Summe aus der ersten Kapazität C_1 , der dritten Kapazität C_3 und einer zweiten Konstanten B dividiert. Die Konstanten A und B werden so gewählt, dass $R = (X_1 - X_2)/X_{01}$.

Patentansprüche

1. Drucksensor (**56**), wobei der Drucksensor (**56**) Folgendes aufweist:
 einen Zellenkörper (**98**) mit einer ersten Innenwand (**126**) und einer zweiten Innenwand (**128**), die der ersten Innenwand (**126**) im Allgemeinen gegenüberliegt, wobei die erste (**126**) und die zweite (**128**) Innenwand einen Innenhohlraum (**100**) definieren;
 eine biegsame Membran (**102**) mit einem leitfähigen Abschnitt, wobei die Membran (**102**) mit dem Zellenkörper (**98**) zwischen der ersten (**126**) und der zweiten (**128**) Innenwand gekoppelt ist, wobei die Membran (**102**) den Innenhohlraum (**100**) in einen ersten Hohlraum (**132**) und einen zweiten Hohlraum (**134**) teilt,
dadurch gekennzeichnet, dass der erste Hohlraum (**132**) durch die erste Innenwand (**126**) und die Membran (**102**) definiert ist, und der zweite Hohlraum (**134**) dem ersten Hohlraum (**132**) im Allgemeinen gegenüberliegt und durch die zweite Innenwand (**128**) und die Membran (**102**) definiert ist,
 dadurch gekennzeichnet, dass der erste (**132**) und der zweite (**134**) Hohlraum jeweils dazu ausgelegt sind, einen variablen Druck aufzunehmen, der eine Kraft auf die Membran (**102**) ausübt, und dass die Membran (**102**) ansprechend auf Druckunterschiede, die in dem ersten (**132**) und dem zweiten (**134**) Hohlraum aufgenommen werden, biegsam ist; und
 dadurch gekennzeichnet, dass die erste Innenwand (**126**) einen Randbereich (**136**) und einen Mittelbereich (**140**) aufweist, wobei der Randbereich (**136**) den Mittelbereich (**140**) umgibt;

eine erste Elektrode (144), die mit der ersten Innenwand (126) im Allgemeinen innerhalb des Mittelbereichs (140) und innerhalb des ersten Hohlrums (132) gekoppelt ist, wobei die erste Elektrode (144) im Allgemeinen dem leitfähigen Abschnitt der Membran (102) gegenüberliegt und kapazitiv mit dem leitfähigen Abschnitt gekoppelt ist, um einen ersten Regel-Kondensator zu bilden;

eine zweite Elektrode (146; 1146; 2146; 3146), die mit der ersten Innenwand (126) im Allgemeinen innerhalb des Randbereichs (136) gekoppelt ist, wobei die zweite Elektrode (146; 1146; 2146; 3146) im Allgemeinen dem leitfähigen Abschnitt der Membran (102) gegenüberliegt und kapazitiv mit dem leitfähigen Abschnitt gekoppelt ist, um einen zweiten Regel-Kondensator mit einer Kapazität zu bilden, die sich mit der Durchbiegung der Membran (102) nahe dem Randbereich (136) ändert;

eine dritte Elektrode (148), die mit der zweiten Innenwand (128) gekoppelt ist, wobei die dritte Elektrode (148) kapazitiv mit dem leitfähigen Abschnitt der Membran (102) gekoppelt ist, um einen dritten Regel-Kondensator zu bilden; und

gekennzeichnet durch eine Sensorelektronik (60), die so angeordnet ist, dass sie die variable Kapazität des ersten, zweiten und dritten Regel-Kondensators misst.

2. Drucksensor (56) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste (132) und der zweite (134) Hohlraum jeweils ein dielektrisches Füll-Fluid (95) enthalten, wobei die Füll-Fluids (95) jeweils dazu ausgelegt sind, einen Druck aufzunehmen und eine entsprechende Kraft auf die Membran (102) auszuüben, und dass die Membran (102) ansprechend auf Druckunterschiede, die durch die Füll-Fluids (95) in dem ersten (132) und dem zweiten (134) Hohlraum aufgenommen werden, biegsam ist.

3. Drucksensor (56) nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Zellenkörper (98) aus einer ersten Zellenhälfte (116) mit der ersten Innenwand (126) und einer zweiten Zellenhälfte (118) mit der zweiten Innenwand (128) gebildet ist, und dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (102) zwischen den beiden Zellenhälften (116, 118) gespannt ist.

4. Drucksensor (56) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (102) Kontakt mit dem Zellenkörper (98) hat und der ersten (126) und der zweiten (128) Innenwand benachbart ist.

5. Drucksensor (56) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Abschnitt jeder ersten (126) und zweiten (128) Innenwand aus einem Isolierwerkstoff gefertigt ist.

6. Drucksensor (56) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (144, 146, 148; 1146; 2146; 3146) auf den Isolierwerkstoff der ersten (126) und der zweiten (128) Innenwand aufgesputtert sind.

7. Drucksensor (56) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die biegsame Membran (102) eine dünne Metallmembran ist, und dass der leitfähige Abschnitt die gesamte Membran (102) beinhaltet.

8. Drucksensor (56) nach Anspruch 2 oder einem der Ansprüche 3 bis 7, falls dazu zugehörig, dadurch gekennzeichnet, dass das dielektrische Füll-Fluid (95) Silikon-Öl ist.

9. Drucksensor (56) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, welcher Folgendes aufweist:
eine vierte Elektrode (150), die an der zweiten Innenwand (128) im Allgemeinen innerhalb des Randbereichs (138) befestigt ist, wobei die vierte Elektrode (150) von der dritten Elektrode (148) beabstandet ist, wobei die vierte Elektrode (150) kapazitiv mit dem leitfähigen Abschnitt der Membran (102) gekoppelt ist, um einen vierten Regel-Kondensator mit einer Kapazität zu bilden, die sich mit der Durchbiegung der Membran (102) nahe dem Randbereich (138) ändert.

10. Drucksensor (58) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste (126) und die zweite (128) Innenwand konkav verlaufen.

11. Prozessdrucksender (36), welcher Folgendes aufweist:
eine im Inneren eines Gehäuses (71) bereitgestellte Senderelektronik, wobei die Senderelektronik einen Kommunikationsschaltkreis (44) aufweist, der mit einem Verarbeitungssystem (42) gekoppelt ist;
einen im Inneren des Gehäuses (71) bereitgestellten Analog-Digital-Wandler (62), wobei der Analog-Digital-Wandler (62) elektrisch mit der Senderelektronik gekoppelt ist; und
einen Drucksensor (56) nach Anspruch 9; und welcher weiter Folgendes aufweist:
einen ersten (104), zweiten (106), dritten (108) und vierten (110) Leitungsdraht, die elektrisch mit der ersten (144), zweiten (146), dritten (148) bzw. vierten (150) Elektrode verbunden sind und sich jeweils vom Zellenkörper

per (98) aus erstrecken.

12. Drucksender (36) nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die erste (144) und die vierte (150) Elektrode an einem ersten Knoten (161) außerhalb des Zellenkörpers (98) elektrisch miteinander gekoppelt sind, und dadurch gekennzeichnet, dass die zweite (146) und die dritte (148) Elektrode an einem zweiten Knoten (162) außerhalb des Zellenkörpers (98) elektrisch miteinander gekoppelt sind.

13. Drucksender (36) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der erste (161) und der zweite (162) Knoten elektrisch mit dem Analog-Digital-Wandler (62) gekoppelt sind.

14. Drucksender (36) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der erste (161) und der zweite (162) Knoten sich im Inneren des Analog-Digital-Wandlers (62) befinden.

15. Drucksender (36) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein fünfter Kondensator (165) elektrisch zwischen der vierten Elektrode (150) und dem ersten Knoten (161) gekoppelt ist, und dass ein sechster Kondensator (166) elektrisch zwischen der zweiten Elektrode (146) und dem zweiten Knoten (162) gekoppelt ist.

16. Drucksender (36) nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Elektrode (146) elektrisch mit einem ersten invertierenden Ladungsverstärker (166) außerhalb des Zellenkörpers (98) gekoppelt ist, wobei der erste invertierende Ladungsverstärker (166) an einem dritten Knoten (163) elektrisch mit der ersten Elektrode (144) gekoppelt ist, und dass die vierte Elektrode (150) elektrisch mit einem zweiten invertierenden Ladungsverstärker (168) außerhalb des Zellenkörpers (98) gekoppelt ist, wobei der zweite invertierende Ladungsverstärker (168) an einem vierten Knoten (164) mit der dritten Elektrode (148) gekoppelt ist.

17. Drucksender (36) nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der dritte (163) und der vierte (164) Knoten elektrisch mit dem Analog-Digital-Wandler (62) gekoppelt sind.

18. Drucksender (36) nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die invertierenden Ladungsverstärker (166, 168) sich im Inneren des Analog-Digital-Wandlers (62) befinden.

19. Verfahren zum Messen von Differenzdruck, welches folgende Schritte aufweist:
 Aufbringen eines ersten Prozessdrucks auf eine erste Menge von Füll-Fluid (95) auf einer ersten Seite einer biegsamen Membran (102);
 Aufbringen eines zweiten Prozessdrucks auf eine zweite Menge von Füll-Fluid (95) auf einer zweiten Seite der biegsamen Membran (102);
 Messen einer Biegunsmenge (X_1) eines Mittelbereichs (192) der Membran (102) von einer ausgewählten Position (190); und durch folgende Schritte gekennzeichnet ist:
 Messen einer Biegunsmenge (X_2) eines Randbereichs (194) der Membran (102) von der ausgewählten Position (190); und
 Subtrahieren der Biegunsmenge (X_2) am Randbereich (194) von der Biegunsmenge (X_1) am Mittelbereich (192).

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die ausgewählte Position eine Ruhe-Ebene (190) der Membran ist.

21. Verfahren nach Anspruch 19, welches weiter den Schritt des Erzeugens eines Ausgangssignals aufweist, das im Wesentlichen mit der Biegunsmenge (X_1) am Mittelbereich (192) minus der Biegunsmenge (X_2) am Randbereich (194) in Zusammenhang steht.

22. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (102) einer Wand (126, 128) des Hohlraums gegenüberliegt, wobei ein Randbereich (136) der Wand dem Randbereich der Membran gegenüberliegt und ein Mittelbereich (138) der Wand dem Mittelbereich der Membran (102) gegenüberliegt, wobei das Verfahren weiter folgenden Schritt aufweist:
 Dividieren der Biegunsmenge (X_1) am Mittelbereich (192) minus der Biegunsmenge (X_2) am Randbereich (194) durch einen Wert gleich einem Abstand (X_{02}) des Randbereichs (136) der Wand von der ausgewählten Position plus einem Abstand (X_{01}) des Mittelbereichs (138) der Wand von der ausgewählten Position.

23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (X_{02}) des Randbereichs (136) der Hohlraumwand (126, 128) von der ausgewählten Position nicht gleich dem Abstand (X_{01}) des Mittel-

bereichs (138) der Hohlraumwand (126, 128) von der ausgewählten Position ist.

24. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (102) einer Hohlraumwand (126, 128) gegenüberliegt, wobei ein Mittelbereich (138) der Wand dem Mittelbereich der Membran (102) gegenüberliegt, wobei das Verfahren weiter folgenden Schritt aufweist:

Dividieren der Biegunsmenge (X_1) am Mittelbereich (192) minus der Biegunsmenge (X_2) am Randbereich (144) durch einen Wert gleich einem Abstand (X_{01}) des Mittelbereichs (138) der Wand von der ausgewählten Position.

25. Verfahren nach Anspruch 19, welches eine Fehlerkompensation bei der Messung eines Differenzdrucks mit einem Sensor (56) mit einer leitfähigen und biegsamen Membran (102), einer ersten (144) und einer zweiten (146) Elektrode auf einer Seite der Membran (102), und einer dritten (148) und einer vierten (150) Elektrode auf einer anderen Seite der Membran (102) einschließt, dadurch gekennzeichnet, dass die vier Elektroden (144 bis 150) jeweils separat mit der Membran (102) gekoppelt sind, um vier Kondensatoren zu bilden, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

Addieren eines ersten Kapazitäts-Signals (C_1), das mit einem elektrischen Signal an der ersten Elektrode (144) in Zusammenhang steht, zu einem vierten Kapazitäts-Signal (C_4), das mit einem elektrischen Signal an der vierten Elektrode (150) in Zusammenhang steht, um eine erste Summe zu erhalten;

Addieren eines dritten Kapazitäts-Signals (C_3), das mit einem elektrischen Signal an der dritten Elektrode (148) in Zusammenhang steht, zu einem zweiten Kapazitäts-Signal (C_2), das mit einem elektrischen Signal an der zweiten Elektrode (146) in Zusammenhang steht, um eine zweite Summe zu erhalten;

Addieren der ersten Summe zu der zweiten Summe, um einen Nenner zu erhalten;

Subtrahieren der zweiten Summe von der ersten Summe, um einen Zähler zu erhalten;

Dividieren des Zählers durch den Nenner.

26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Kapazitäts-Signal (C_1) ein erstes Hauptkapazitäts-Signal (C_{1M}) und ein erstes Streukapazitäts-Signal (C_{1S}) beinhaltet;

das zweite Kapazitäts-Signal (C_2) ein zweites Hauptkapazitäts-Signal (C_{2M}) und ein zweites Streukapazitäts-Signal (C_{2S}) beinhaltet;

das dritte Kapazitäts-Signal (C_3) ein drittes Hauptkapazitäts-Signal (C_{3M}) und ein drittes Streukapazitäts-Signal (C_{3S}) beinhaltet;

das vierte Kapazitäts-Signal (C_4) ein viertes Hauptkapazitäts-Signal (C_{4M}) und ein viertes Streukapazitäts-Signal (C_{4S}) beinhaltet.

27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass erste, zweite, dritte und vierte elektrische Signal an den Elektroden mit einem Verstärkungsfaktor (A_1, A_2) multipliziert werden.

28. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass das erste (C_{1S}), das zweite (C_{2S}), das dritte (C_{3S}) und das vierte (C_{4S}) Streukapazitäts-Signal einander in einem Ausgangssignal aufheben.

29. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Addierens des ersten Kapazitäts-Signals (C_1) zu dem vierten Kapazitäts-Signal (C_4) das Subtrahieren eines ersten Linearisationskapazitäts-Signals (C_{L1}), das mit einem elektrischen Signal an einem ersten Linearisations-Kondensator (157) in Zusammenhang steht, von dem ersten (C_1) oder dem vierten (C_4) Kapazitäts-Signal beinhaltet, um die erste Summe zu erhalten; und dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Addierens des dritten Kapazitäts-Signals (C_3) zu dem zweiten Kapazitäts-Signal (C_2) das Subtrahieren eines zweiten Linearisationskapazitäts-Signals (C_{L2}), das mit einem elektrischen Signal an einem zweiten Linearisations-Kondensator (158) in Zusammenhang steht, von dem zweiten (C_2) oder dem dritten (C_3) Kapazitäts-Signal beinhaltet, um die zweite Summe zu erhalten.

30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Kapazitäts-Signal (C_2) ein zweites Effektivkapazitäts-Signal (C_{2E}) ist und ein zweites Einstellungskapazitäts-Signal (C_{A2}), welches mit einem elektrischen Signal an einem zweiten Einstellungs-Kondensator (166) in Zusammenhang steht, multipliziert mit der Summe aus dem zweiten Hauptkapazitäts-Signal (C_{2M}) und dem zweiten Streukapazitäts-Signal (C_{2S}) und dividiert durch die Summe aus dem zweiten Einstellungskapazitäts-Signal (C_{A2}), dem zweiten Hauptkapazitäts-Signal (C_{2M}) und dem zweiten Streukapazitäts-Signal (C_{2S}) enthält, und dass das vierte Kapazitäts-Signal (C_4) ein viertes Effektivkapazitäts-Signal (C_{4E}) ist und ein erstes Einstellungskapazitäts-Signal (C_{A1}), welches mit einem elektrischen Signal an einem ersten Einstellungs-Kondensator (165) in Zusammenhang steht, multipliziert mit der Summe aus dem vierten Hauptkapazitäts-Signal (C_{4M}) und dem vierten Streukapazi-

täts-Signal (C_{4S}) und dividiert durch die Summe aus dem ersten Einstellungskapazitäts-Signal (C_{A1}), dem vierten Hauptkapazitäts-Signal (C_{4M}) und dem vierten Streukapazitäts-Signal (C_{4S}) enthält.

31. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einige der elektrischen Signale an der ersten (**144**), der zweiten (**146**), der dritten (**148**) und der vierten (**150**) Elektrode verstärkt werden, um Signale zu liefern, die das erste (C_1), das zweite (C_2), das dritte (C_3) bzw. das vierte (C_4) Kapazitäts-Signal darstellen.

32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrischen Signale an der zweiten (**146**) und der vierten (**150**) Elektrode um einen Verstärkungsfaktor von weniger als Eins verstärkt werden.

33. Verfahren nach Anspruch 19, welches eine Fehlerkompensation bei der Messung eines Prozessdrucks mit einem Prozess-Messsender (**36**) mit einem Sensor (**56**) einschließt, wobei der Sensor (**56**) eine Vielzahl elektrischer Signale erzeugt, die ein erstes (C_1), zweites (C_2), drittes (C_3) und viertes (C_4) Kapazitäts-Signal darstellen, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

Subtrahieren des vierten Kapazitäts-Signals (C_4) von dem zweiten Kapazitäts-Signal (C_2), um eine erste Differenz zu erhalten;

Subtrahieren des dritten Kapazitäts-Signals (C_3) von dem ersten Kapazitäts-Signal (C_1), um eine zweite Differenz zu erhalten;

Subtrahieren der ersten Differenz von der zweiten Differenz, um einen Zähler zu erhalten; und

Dividieren des Zählers durch einen Nenner, dadurch gekennzeichnet, dass der Nenner eine zweite Summe aus dem ersten (C_1) und dem dritten (C_3) Kapazitäts-Signal minus einer ersten Summe aus dem zweiten (C_2) und dem vierten (C_4) Kapazitäts-Signal aufweist

34. Verfahren nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Summe zu der zweiten Summe addiert wird, um eine dritte Summe zu erhalten, und dass der Nenner die dritte Summe minus einer vierten Summe von Linearisationskapazitäten (C_{L1} , C_{L2}) aufweist.

35. Verfahren nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass die vier Kapazitäts-Signale (C_1 bis C_4) jeweils ein Hauptsignal (C_{1M} bis C_{4M}) und ein Streukapazitäts-Signal (C_{1S} bis C_{4S}) beinhalten.

36. Verfahren nach Anspruch 19, welches eine Fehlerkompensation bei der Messung eines Differenzdrucks mit einem Sensor (**56**) mit einer leitfähigen und biegsamen Membran (**102**), einer ersten (**144**) und einer zweiten (**146**) Elektrode auf einer Seite der Membran (**102**), und einer dritten Elektrode (**148**) auf einer anderen Seite der Membran (**102**) einschließt, dadurch gekennzeichnet, dass die drei Elektroden (**144**, **146**, **148**) jeweils separat mit der Membran (**102**) gekoppelt sind, um drei Kondensatoren zu bilden, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

Multiplizieren eines ersten Kapazitäts-Signals (C_1), das mit einem ersten elektrischen Signal an der ersten Elektrode (**144**) in Zusammenhang steht, mit einem dritten Kapazitäts-Signal (C_3), das mit einem dritten elektrischen Signal an der dritten Elektrode (**148**) in Zusammenhang steht, und mit einer ersten Konstanten (A), um einen ersten Wert zu erhalten;

Dividieren des ersten Werts durch ein zweites Kapazitäts-Signal (C_2), das mit einem zweiten elektrischen Signal an der zweiten Elektrode (**146**) in Zusammenhang steht, um einen zweiten Wert zu erhalten;

Subtrahieren des zweiten Werts von dem dritten Kapazitäts-Signal (C_3), um einen vierten Wert zu erhalten;

Subtrahieren des vierten Werts von dem ersten Kapazitäts-Signal (C_1), um einen Zähler zu erhalten; und

Dividieren des Zählers durch die Summe aus dem ersten Kapazitäts-Signal (C_1), dem dritten Kapazitäts-Signal (C_3) und einer zweiten Konstanten (B).

Es folgen 19 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

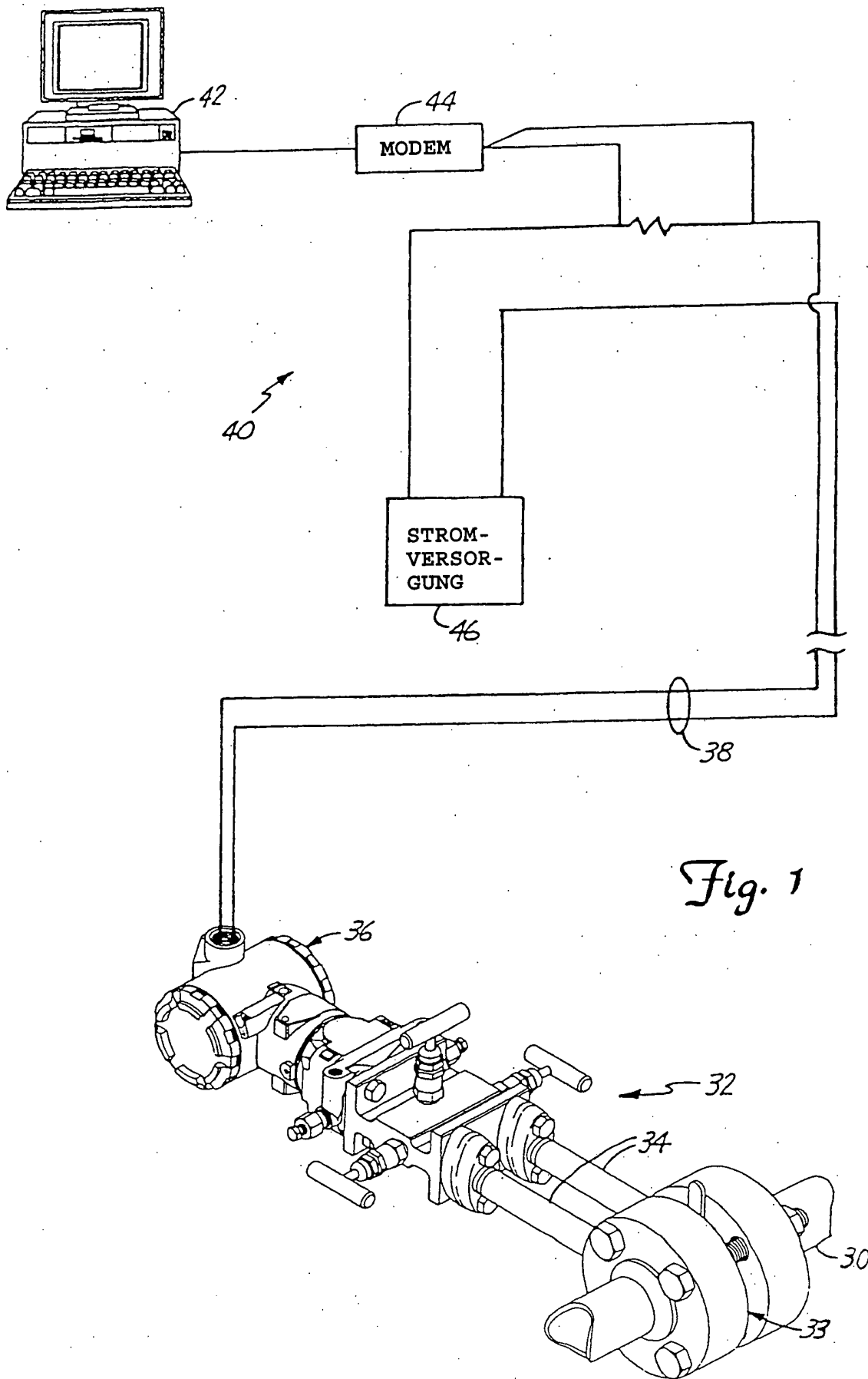


Fig. 1

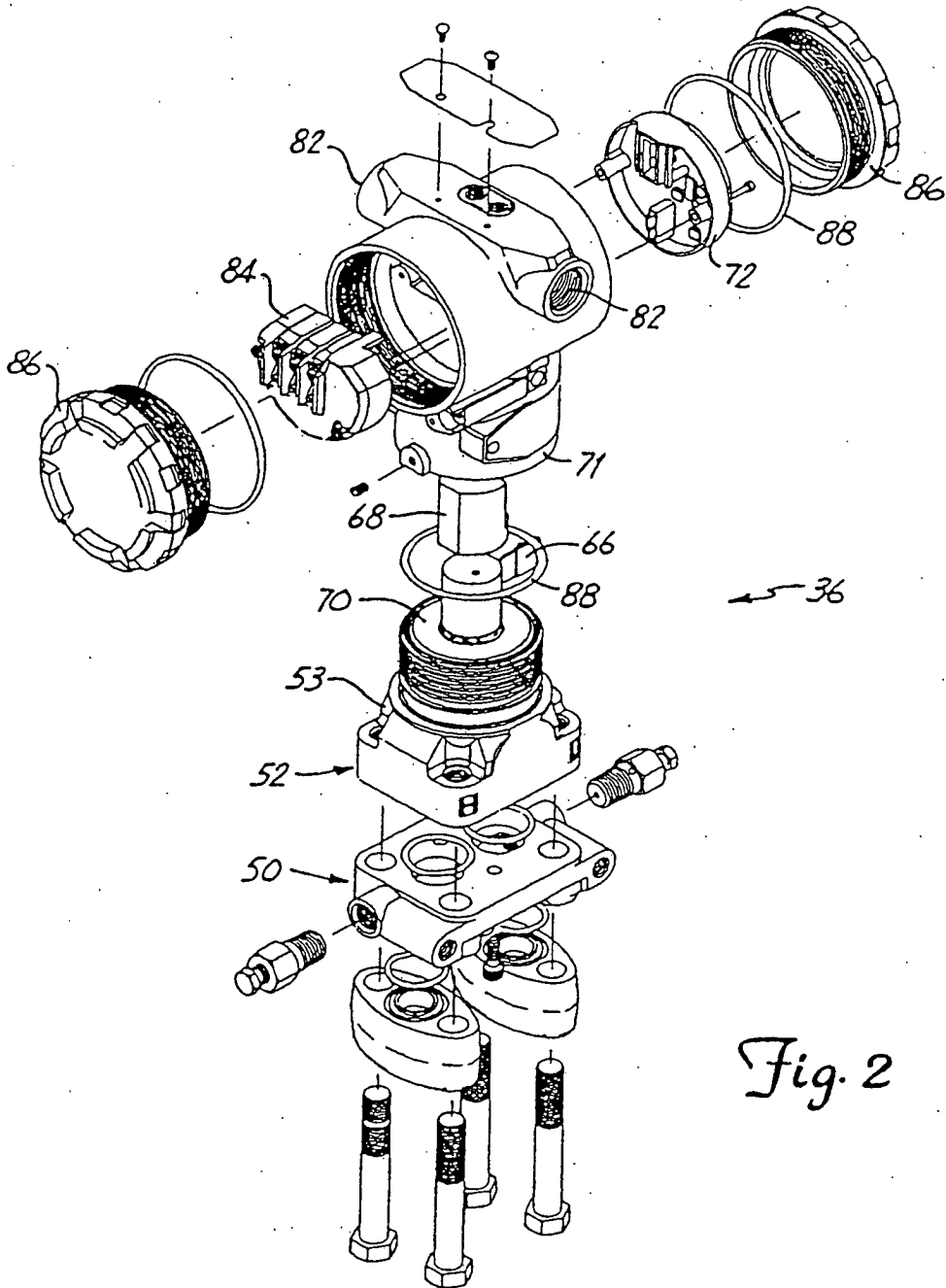


Fig. 2

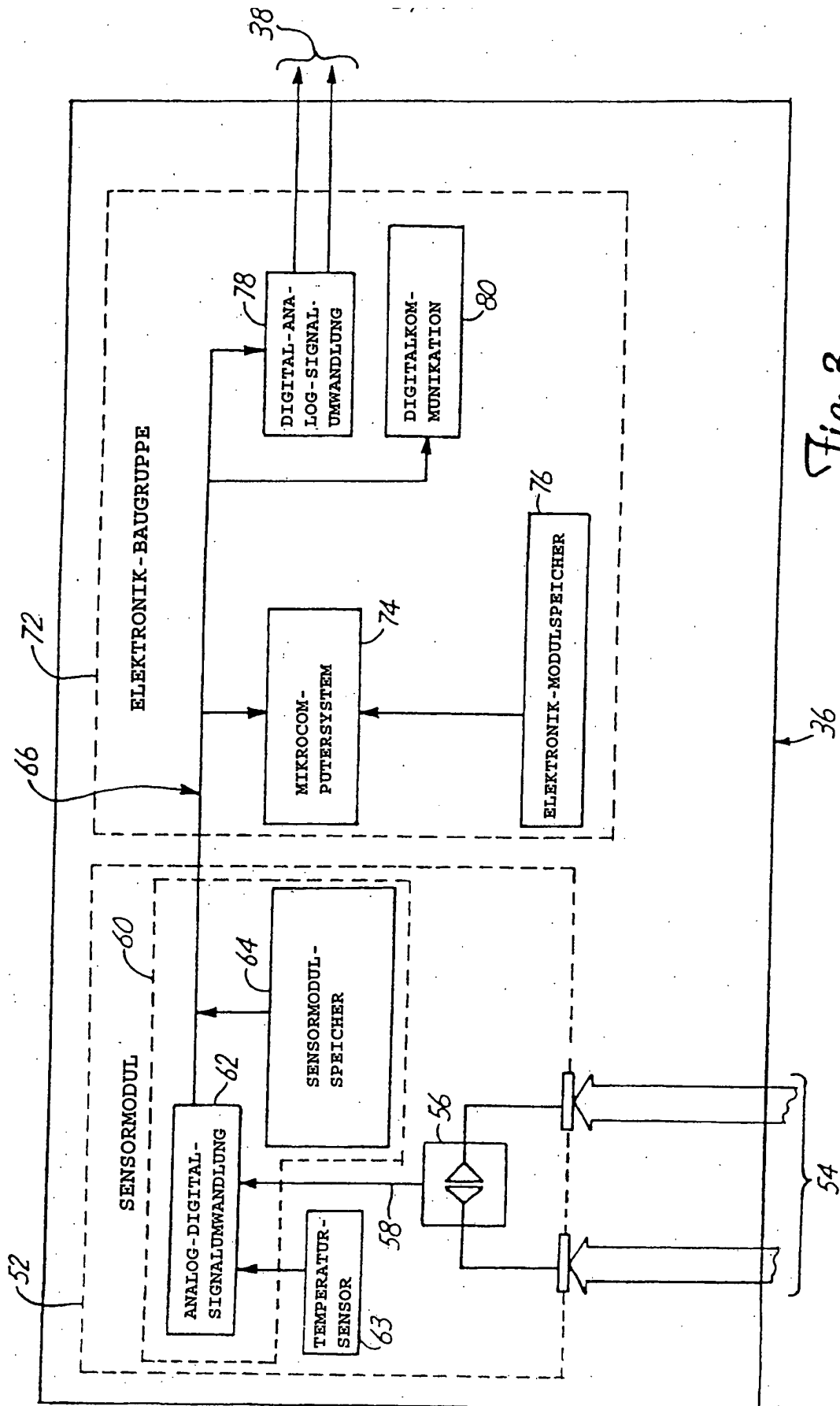
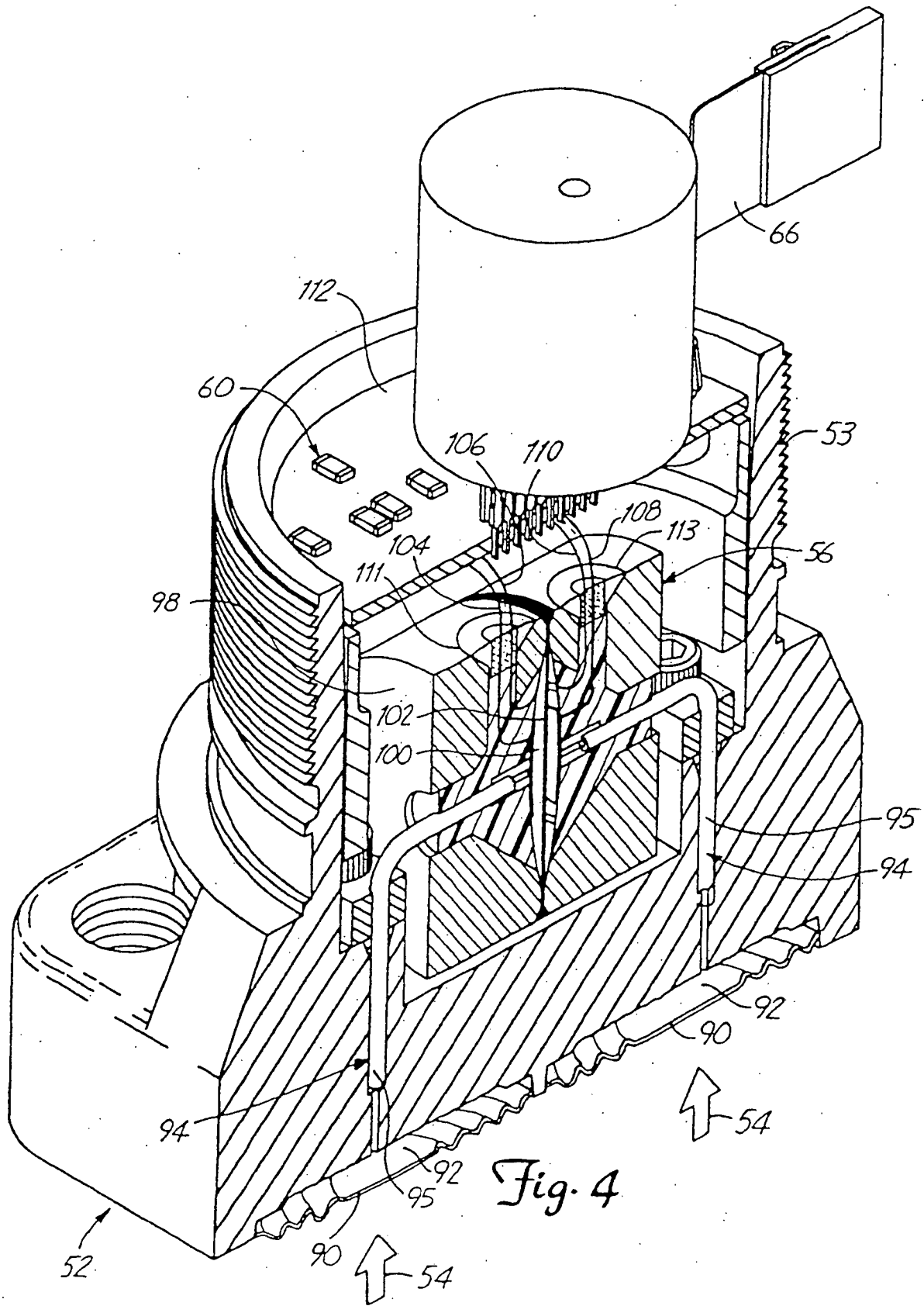


Fig. 3



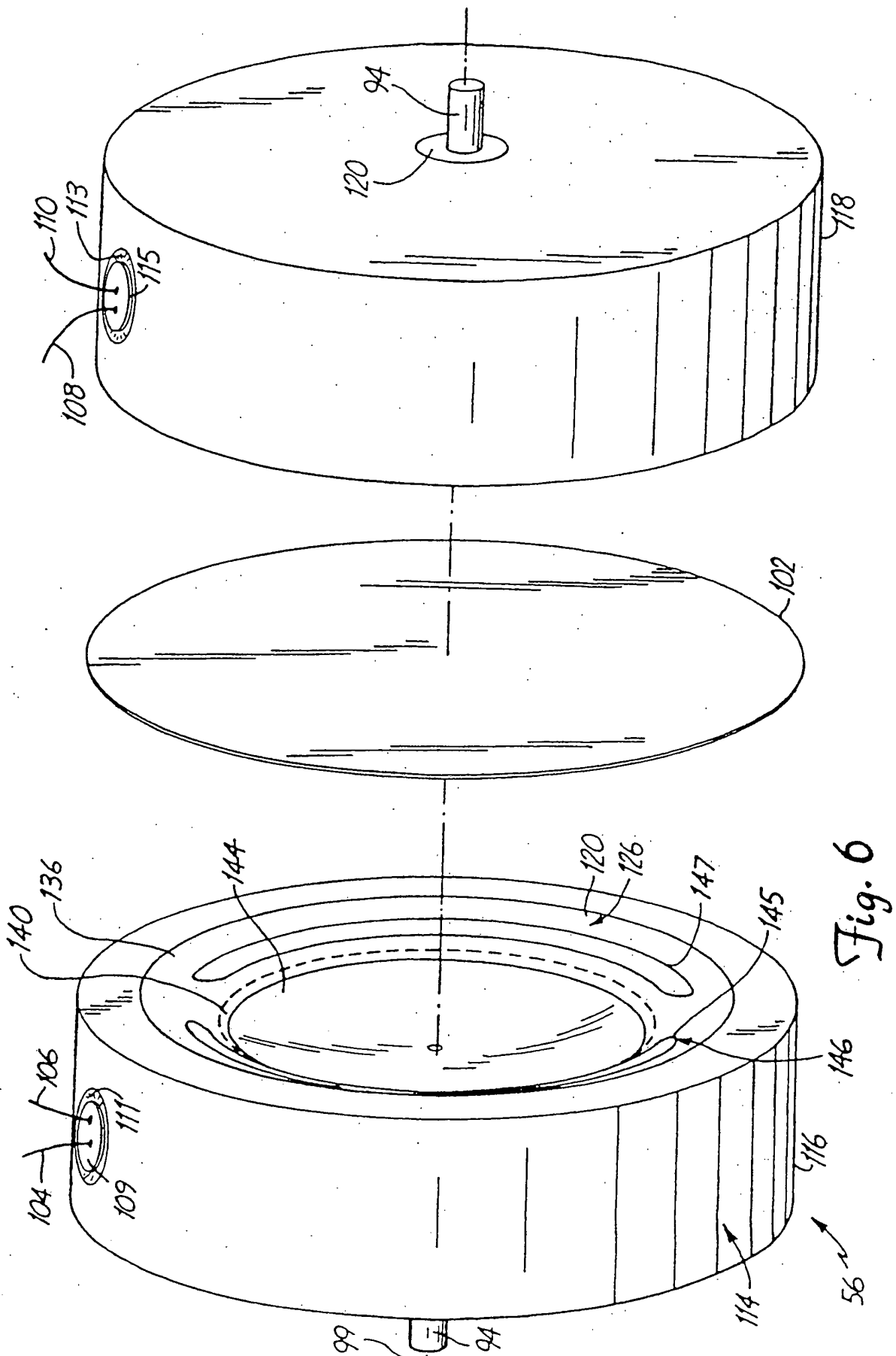


Fig. 6

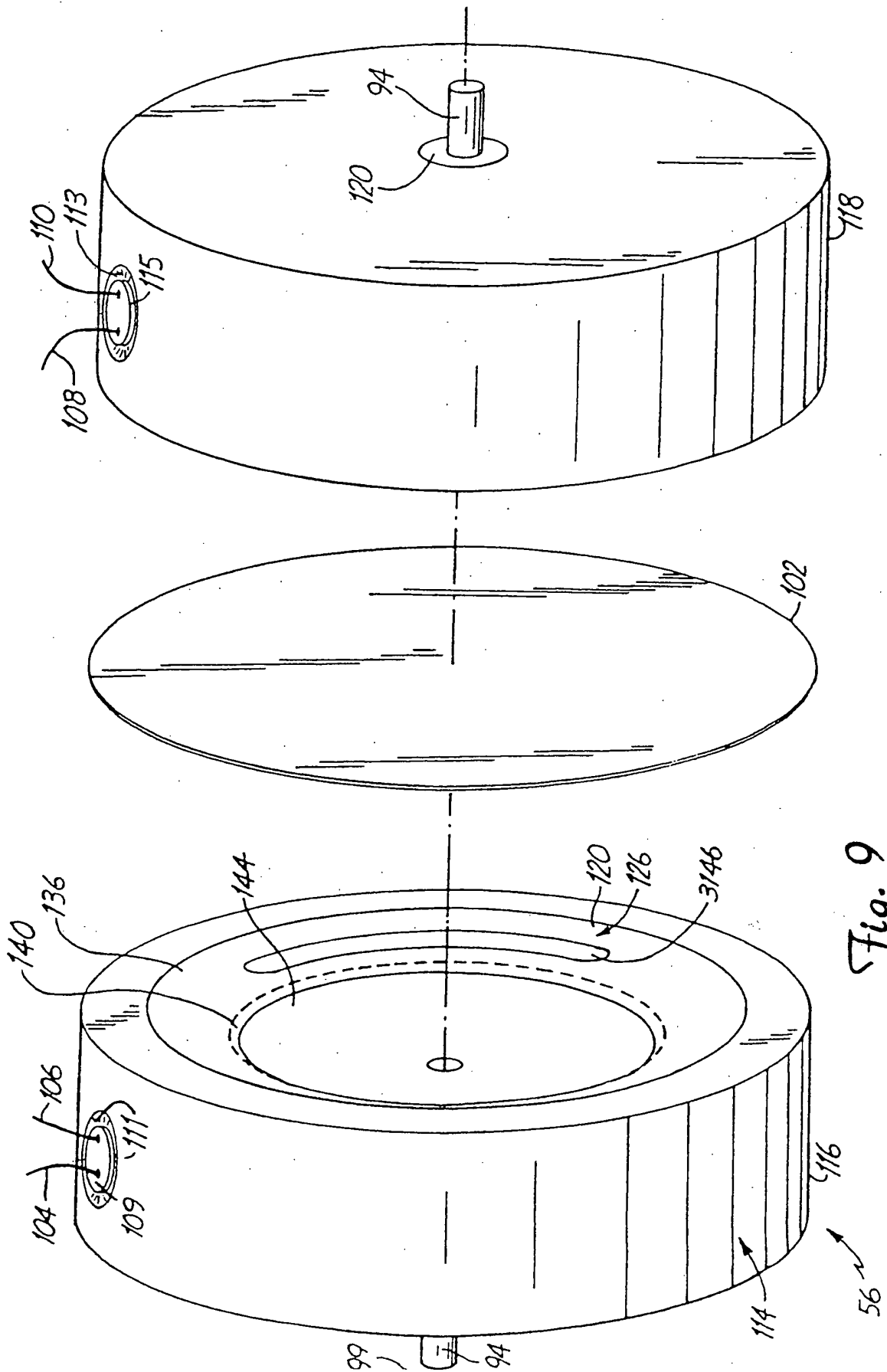


Fig. 9

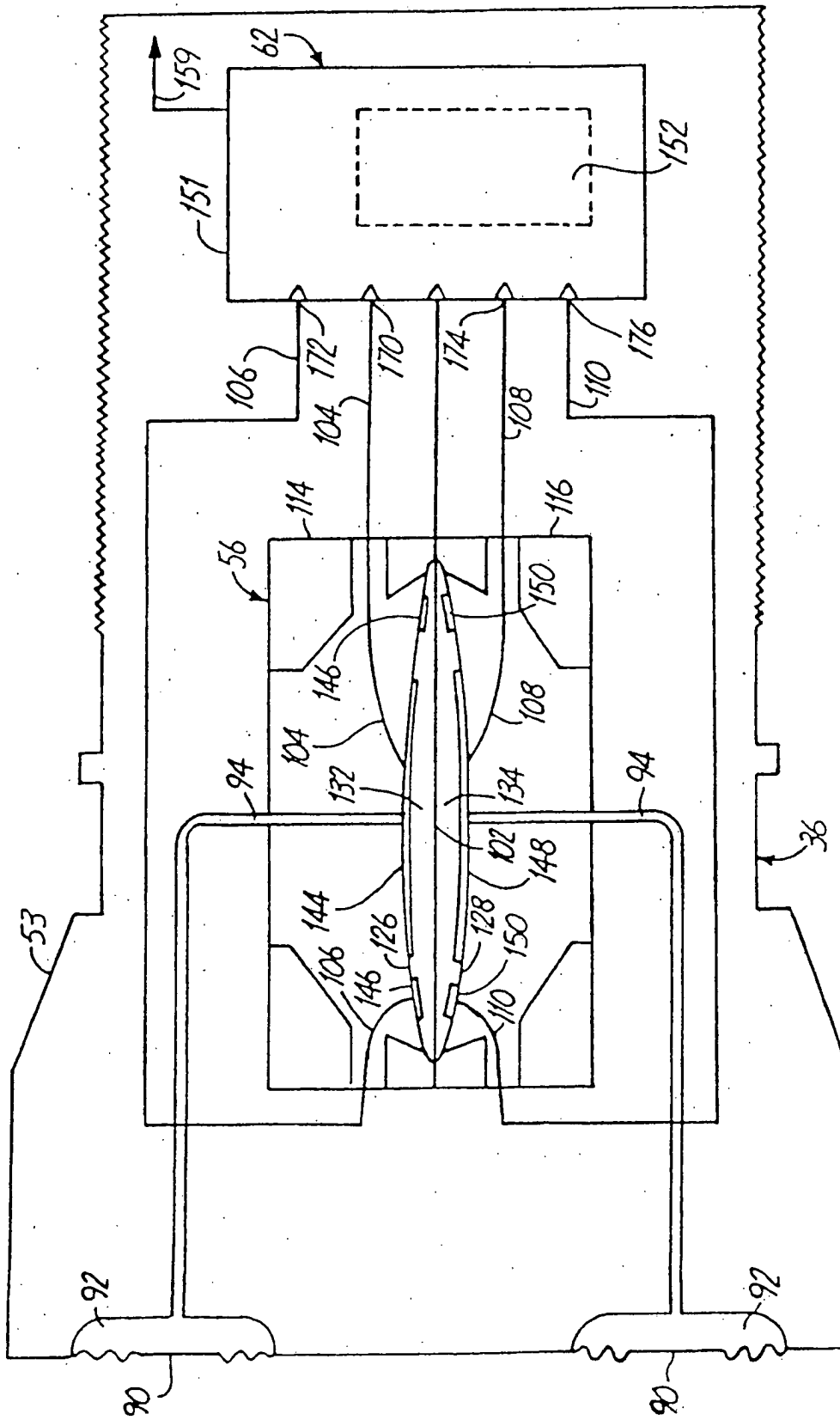


Fig. 11

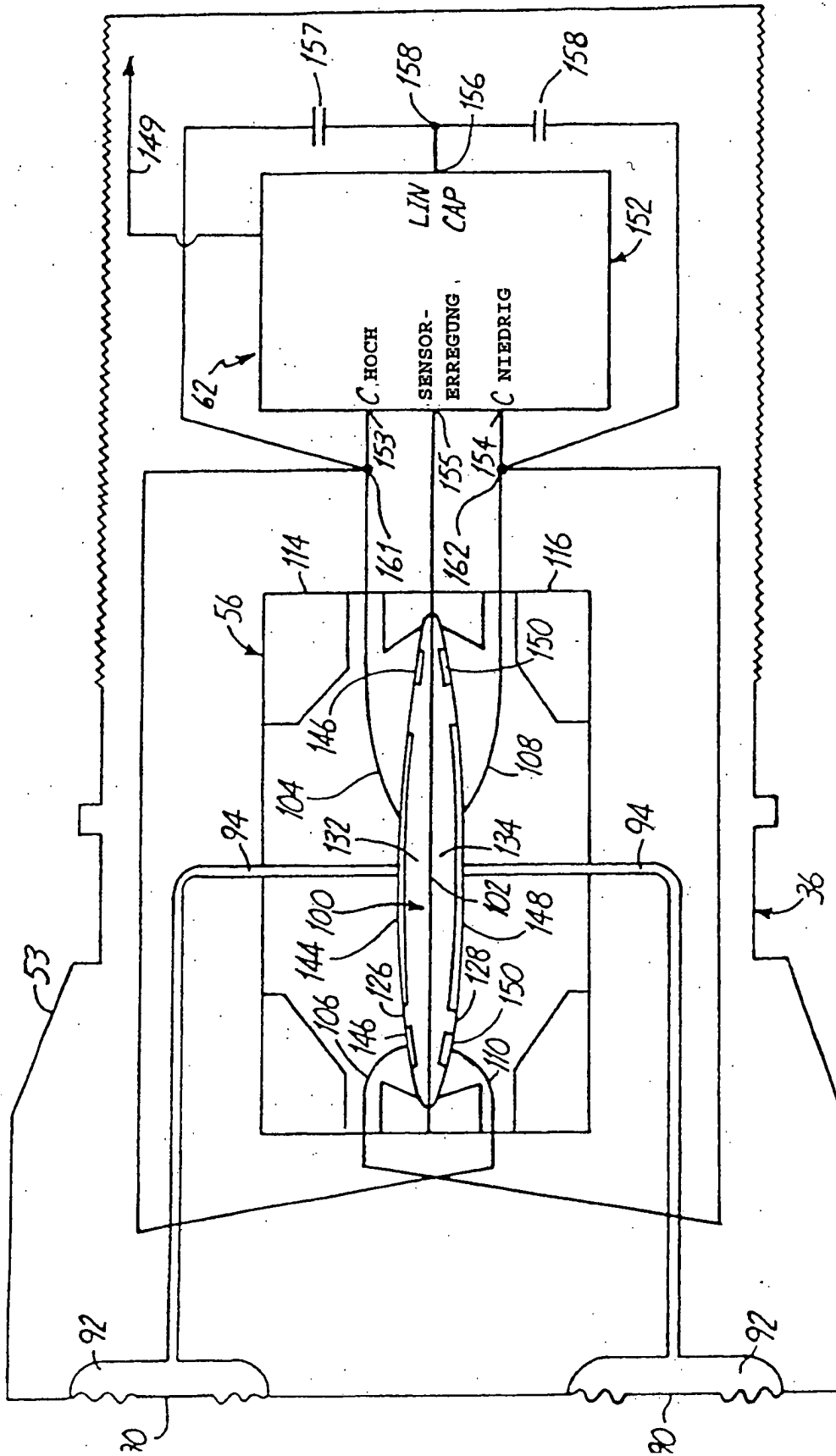


Fig. 12

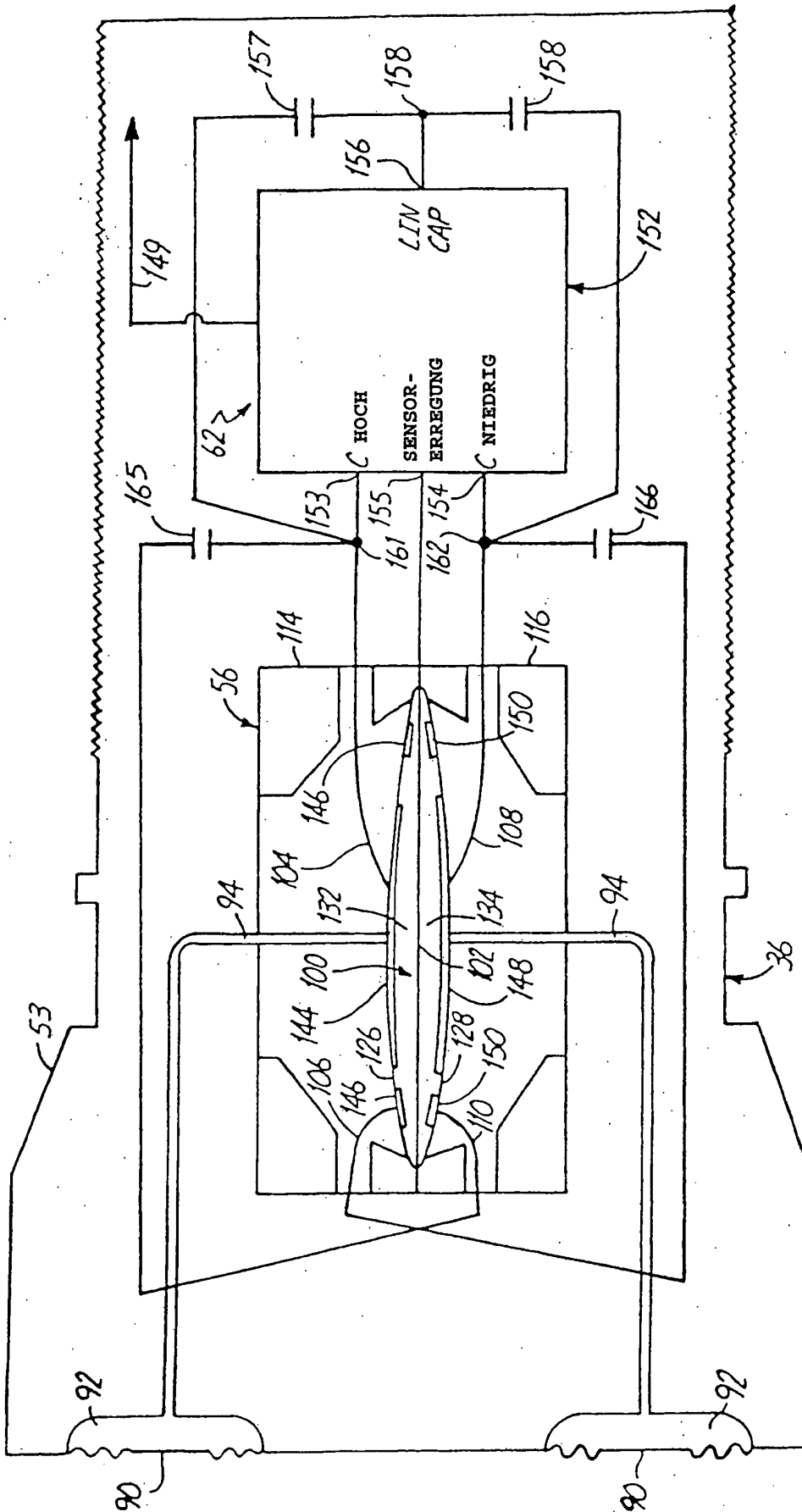


Fig. 13

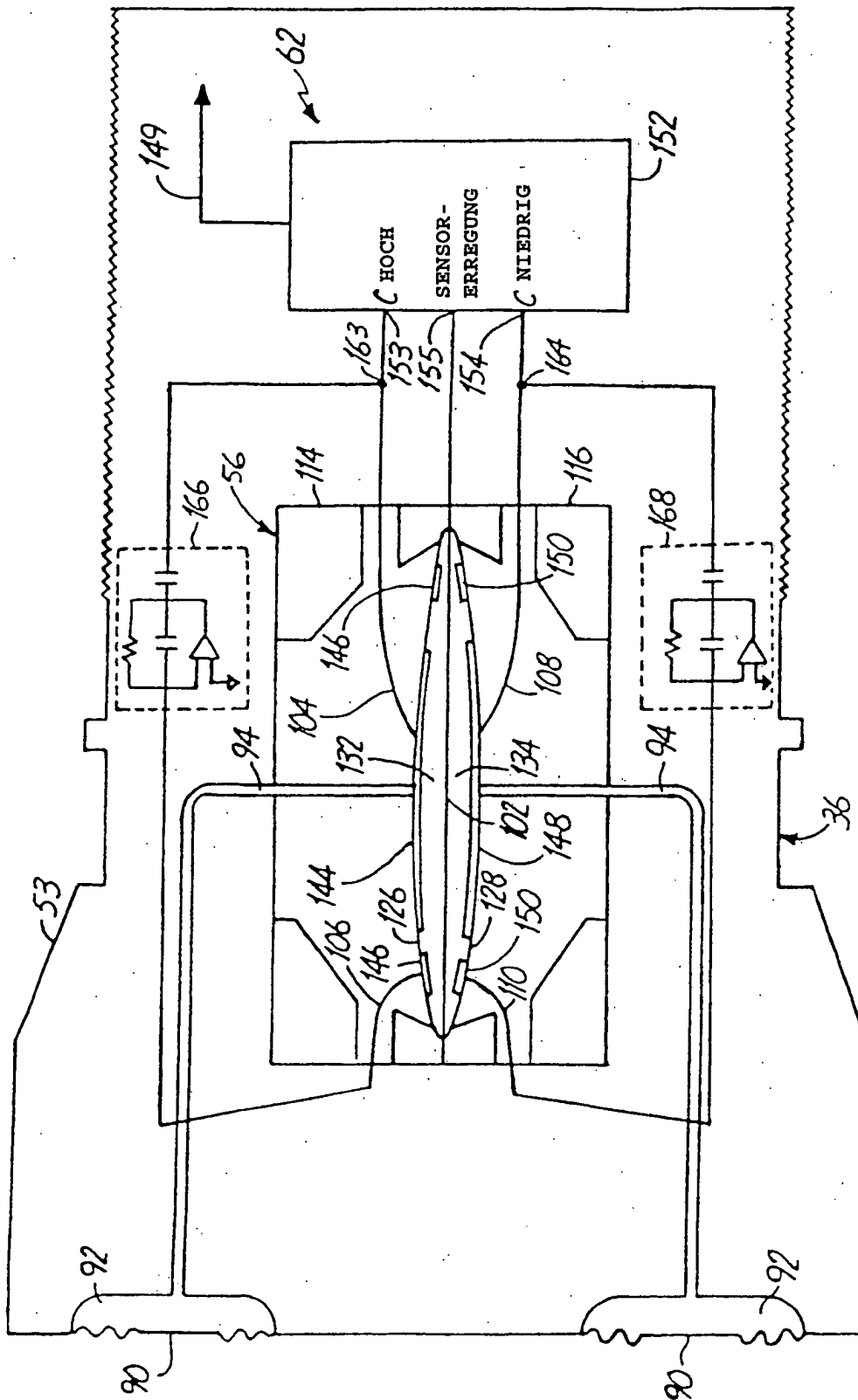


Fig. 14

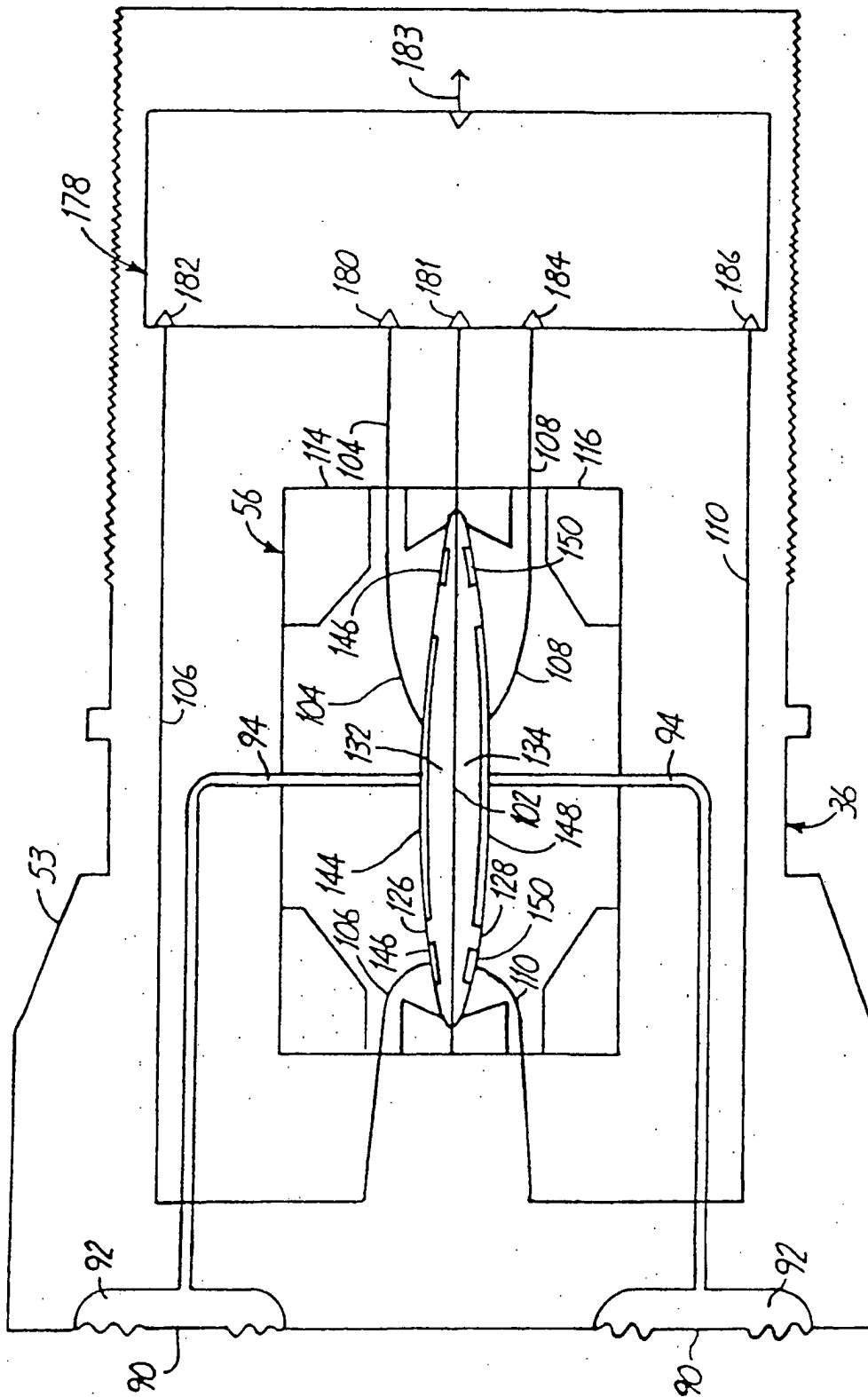


Fig. 15

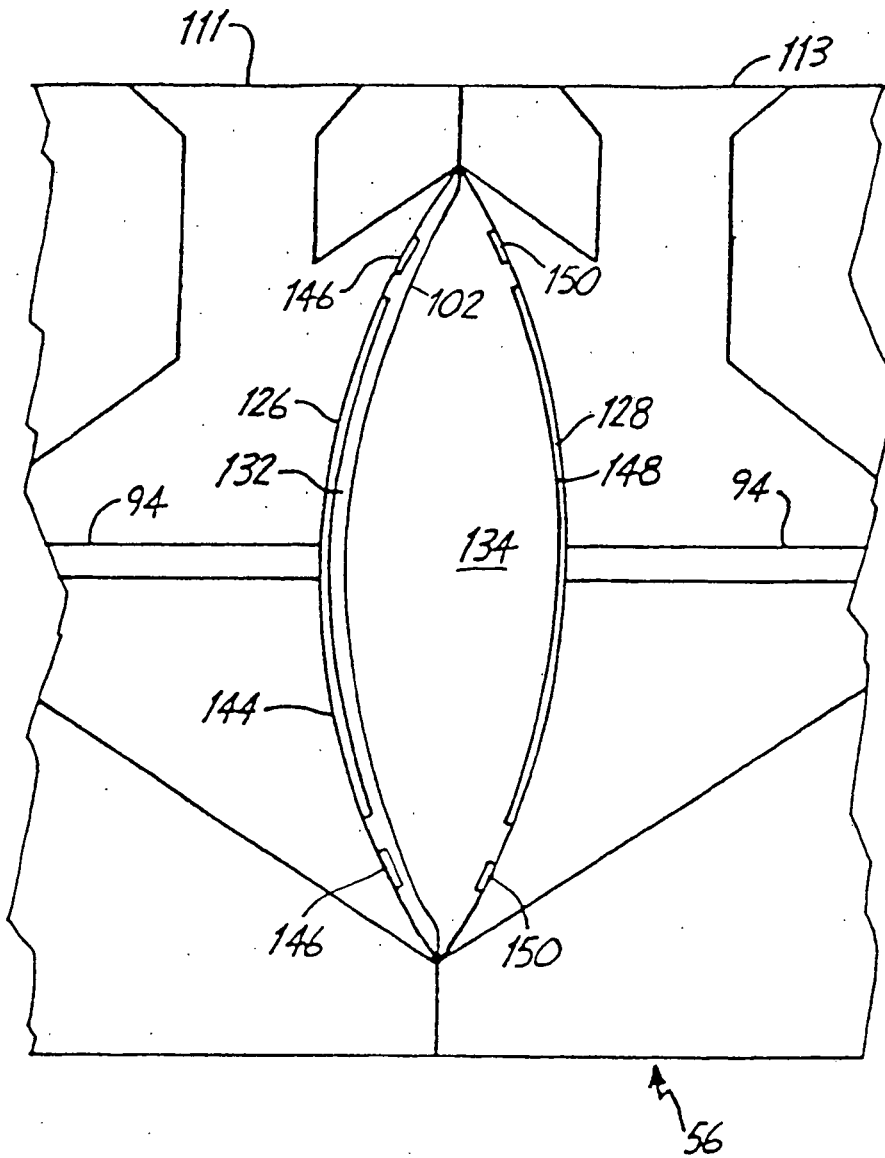


Fig. 18

