

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(11) **PI 0010542-2 B1**

(22) Data de Depósito: 11/05/2000
(45) Data da Concessão: 11/12/2012
(RPI 2188)



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

(54) Título: **PROCESSOS PARA MEDIR PRESSÃO DIFERENCIAL, PARA COMPENSAÇÃO DE ERRO NA MEDIÇÃO DE PRESSÃO DIFERENCIAL COM UM SENSOR, E PARA COMPENSAÇÃO DE ERRO NA MEDIÇÃO DE PRESSÃO DE PROCESSO COM UM TRANSMISSOR DE MEDIÇÃO DE PROCESSO.**

(30) Prioridade Unionista: 14/05/1999 US 09/312411

(73) Titular(es): Rosemount Inc.

(72) Inventor(es): David A. Bronden, Roger L. Frick, Stanley E. Rud. Jr.

“PROCESSOS PARA MEDIR PRESSÃO DIFERENCIAL, PARA COMPENSAÇÃO DE ERRO NA MEDIÇÃO DE PRESSÃO DIFERENCIAL COM UM SENSOR, E PARA COMPENSAÇÃO DE ERRO NA MEDIÇÃO DE PRESSÃO DE PROCESSO COM UM TRANSMISSOR DE MEDIÇÃO DE PROCESSO”

Definido de maneira genérica, o termo “variável de processo” se refere a um estado físico ou químico de matéria ou conversão de energia. Exemplos de variáveis de processo incluem pressão, temperatura, fluxo, condutividade, pH, e outras propriedades. O termo “medição de processo” se refere à aquisição de informação que estabelece a magnitude de quantidades de processo. Pressão é considerada uma variável básica de processo uma vez que é utilizada para a medição de fluxo, (a diferença de duas pressões), nível (carga ou contra-pressão), e mesmo temperatura (pressão de fluido em um sistema térmico).

Um transmissor de processo industrial é um transdutor que responde a uma variável medida com um elemento sensoreador e converte a variável para um sinal de transmissão padronizado, por exemplo, um sinal elétrico ou ótico, ou pressão de ar, que é uma função da variável medida. Transmissores de pressão de processo industrial são utilizados com a medição de pressão de um processo industrial tal como lamas, líquidos, vapores de gases em instalações de processo de produtos químicos, a polpa, petróleo, gás, produtos farmacêuticos, alimentos, e outras instalações de processo de fluido. Transmissores de processo industrial são muitas vezes colocados junto dos fluidos de processo ou em aplicações de campo. Muitas vezes estas aplicações de campo são submetidas a condições ambientais severas e variáveis que fornecem desafios para projetistas de tais transmissores. O elemento sensoreador em diversos transmissores de pressão é um sensor de capacitância que inclui um diafragma sensoreador deflexionável e dois eletrodos capacitores. Um primeiro tipo de elemento

5 sensoreador inclui um diafragma que é uma membrana condutora esticada que deflexiona em resposta a pressões aplicadas sobre ambos os lados do diafragma e dois eletrodos capacitores um sobre cada lado do diafragma. Um fluido dielétrico de enchimento é utilizado entre as placas capacitores e o diafragma. O fluido de enchimento utilizado com um diafragma isolante que interfaceia com o fluido de processo, impede que o fluido de processo, que muitas vezes pode ser severo, corrosivo, sujo ou contaminado, de interagir com os componentes do elemento de sensoreamento e talvez danificar os componentes. Um primeiro eletrodo capacitor, sobre um lado do diafragma, acoplado com o diafragma condutor, forma um primeiro capacitor. Um segundo eletrodo capacitor sobre o lado oposto do diafragma, acoplado com o diafragma, forma um segundo capacitor. A capacitância de cada capacitor muda em proporção ao inverso da distância entre a placa capacitadora e o diafragma. Assim, a capacitância de cada capacitor muda quando o diafragma deflexiona em resposta às pressões aplicadas. A quantidade de deflexão é relacionada à diferença entre as duas pressões aplicadas, a pressão diferencial. A capacitância diferencial entre cada placa capacitadora e o diafragma condutor é detectada e é utilizada para fornecer o sinal de transmissão padronizado que é relacionado à pressão diferencial.

20 O elemento sensor é particularmente adaptado para detectar deflexão de diafragma em um ambiente de campo de processo. A relação aproximada entre a capacitância C e a distância entre uma das placas capacitadoras X , é $C = \epsilon K/X$ onde ϵ é a permissividade do fluido de enchimento e K é uma constante que depende de diversos fatores, tais como a geometria do elemento sensoreador. A permissividade ϵ de um fluido de enchimento típico é sensível a mudanças em um ambiente de campo de processo. A permissividade ϵ tipicamente varia por aproximadamente 15% sobre faixas típicas de temperatura de um fluido de enchimento em ambientes de campo de processo. O elemento sensoreador com dois capacitores opostos é

configurado de tal modo que a saída é genericamente independente de uma permissividade variável. Os dois capacitores no elemento sensoreador genericamente fornecem uma saída relacionada à relação $C_1 - C_2 / (C_1 + C_2)$, onde C_1 é representativo da capacitância do primeiro capacitor e C_2 é representativo da capacitância do segundo capacitor no elemento sensoreador. A permissividade ϵ no numerador anula a permissividade no denominador desta relação. Consequentemente, o elemento sensoreador é genericamente insensível a mudanças de temperatura de um fluido de enchimento em um ambiente de campo de processo.

Um segundo tipo de elemento sensoreador capacitivo é conhecido, porém diferentemente do primeiro tipo de elemento sensoreador descrito acima, o segundo tipo de elemento sensoreador não é adequado para medir pressão diferencial.

Ao invés disto, o segundo tipo de elemento sensoreador é utilizado para medir pressão absoluta. O segundo tipo de elemento sensoreador tem duas placas capacitores que formam dois capacitores sobre um lado do diafragma, ao invés de sobre lados opostos do diafragma. O segundo tipo de sensor não utiliza um fluido de enchimento. Pressão absoluta de processo é aplicada ao diafragma sensor sobre o lado oposto aos eletrodos.

O segundo tipo de sensor inclui um substrato cerâmico para posicionar dois eletrodos capacitores à mesma distância a partir do diafragma condutor não deflexionado. Os dois eletrodos capacitores são posicionados em um plano sobre um lado do diafragma para compensar movimento indesejado do substrato cerâmico. A saída do sensor está relacionada à diferença das capacitâncias. O sensor detecta a curvatura do diafragma deflexionado de maneira parabólica e a saída do sensor anula ou desconsidera o movimento como pistão do substrato cerâmico que ocorre tipicamente como um resultado de mudanças de temperatura. O segundo tipo de sensor não é adequado para utilização com um fluido de enchimento sobre o lado do eletrodo do

diafragma, uma vez que a função transferência, que compensa o movimento como pistão do substrato, é incapaz de compensar mudanças na permissividade daquele fluido de enchimento quando a temperatura muda.

A capacidade para detectar a curvatura do diafragma deflexionado em um ambiente de processo de campo tem vantagem sobre simplesmente a capacidade de detectar a quantidade de deflexão do diafragma. De maneira ideal, o deslocamento do diafragma é proporcional às diferenças nas pressões aplicadas a ambos os lados do diafragma. Infelizmente o diafragma não deflete em uma maneira ideal. Devido a forças físicas inerentes a membranas esticadas, diafragmas são muito vezes deformados depois que eles tenham sido deflexionados. Esta deformação pode ser descrita como um deslocamento, onde as verdadeiras bordas do diafragma são dobradas de tal maneira que a porção plana do diafragma é espaçada mais próximo a um dos eletrodos do que é em um espaçamento ideal, isto é, as bordas são dobradas de modo que a porção central plana se salienta no sentido de um ou do outro dos eletrodos. O deslocamento não é detectado meramente sensoreando a deflexão do diafragma no elemento sensoreador do primeiro tipo, e este deslocamento provoca leituras imprecisas da pressão de processo. Estas leituras imprecisas se tornaram não compensadas por no mínimo duas razões. Primeiro havia uma falta de apreciação da fonte destes erros e do deslocamento de diafragma resultante. Em segundo lugar, os elementos sensoreadores de transmissores atualmente disponíveis são incapazes de separar curvatura de deslocamento em uma medição de deflexão e ainda compensar permissividade variável devido a mudanças de temperaturas em um ambiente de campo de processo.

Sumário da invenção

A invenção é direcionada para um novo dispositivo e processo que fornecem compensação de erro melhorada na medição de pressão de processo. O novo dispositivo e processo são capazes de compensar

deslocamento de diafragma e permissividade variável presentes em um ambiente de campo de processo. Testes anteriores demonstraram que o novo dispositivo e processo melhoram de maneira significativa a precisão de medição de pressão de processo e pode reduzir alguns erros de deslocamento por no mínimo uma ordem de grandeza.

Um aspecto da invenção está direcionado para um elemento sensoreador melhorado, ou sensor de pressão. O sensor de pressão enchido com um fluido de enchimento dielétrico inclui no mínimo três eletrodos capacitores, colocados ao redor de um diafragma. No mínimo dois eletrodos capacitores são colocados sobre o lado de um diafragma condutor, e são arranjos de uma maneira particular com relação ao diafragma. No mínimo um eletrodo capacitor é colocado sobre o outro lado do diafragma. Por exemplo, o sensor inclui um corpo de célula que tem uma cavidade interior enchida com o fluido de enchimento dielétrico. O diafragma que pode ser defletido com uma porção condutora é esticado através da cavidade interior e separa a cavidade interior em duas cavidades menores. No mínimo dois eletrodos são acoplados à parede da cavidade dentro da primeira das duas cavidades menores. Um dos eletrodos está mais perto do centro da parede da cavidade do que está o outro eletrodo, isto é, um dos eletrodos está em uma região central e outro eletrodo está em uma região de borda. Dentro da segunda das duas cavidades menores, no mínimo um eletrodo é acoplado à parede da cavidade. Em uma configuração deste aspecto, cada uma das duas cavidade menores inclui dois eletrodos acoplados às respectivas paredes da cavidade. Esta configuração faz uso de quatro eletrodos capacitivos.

Um outro aspecto da invenção está direcionado para um transmissor melhorado de pressão de processo. O transmissor de pressão de processo inclui o sensor de pressão acoplado eletricamente a um conversor analógico para digital tal que os eletrodos do sensor de pressão fornecem uma entrada para o conversor analógico para digital. Um tipo de conversor

analógico para digital é um conversor capacitância para digital. Em uma configuração os eletrodos são acoplados juntos, seja diretamente ou através de elementos circuitos, e então fornecidos para o conversor analógico para digital. Esta configuração permite acoplar o sensor a circuitos analógicos para digital existentes. Outras configurações consideram a utilização de circuitos analógicos para digital projetados especialmente. O transmissor é adequado para utilização em um ambiente de campo de processo.

Ainda um outro aspecto da invenção está direcionado para um processo melhorado de medir deflexão de diafragma em sensores de pressão de processo. Especificamente o processo melhorado mede a curvatura do diafragma quando separada de deslocamento e compensa variâncias na permissividade do fluido de enchimento. Uma medição compensada em erro de pressão diferencial é uma função da quantidade da deflexão de diafragma detectada na região de borda subtraída da quantidade da deflexão de diafragma detectada na região central. Um processo mede as mudanças em capacitâncias a partir de dois eletrodos capacitores sobre cada lado do diafragma, e combina estes valores para conseguir uma saída compensada em erro representativa da pressão diferencial aplicada. O processo pode ser realizado com uma função transferência básica. A função transferência básica pode ser implementada em uma variedade de maneiras, e cada maneira inclui uma função transferência mais específica. As funções transferência podem ser implementadas através de hardware e de software.

A presente invenção reduz de maneira significativa erros devidos ao deslocamento de diafragma ou “erros de deslocamento”. Um tipo de erro de deslocamento é chamado de “erro de histerese de pressão”. Por exemplo, quando a pressão de processo se move para cima a partir de um valor mais baixo para um valor mais elevado, o sensor irá fornecer uma saída em pontos ao longo do trajeto. Contudo, quando a pressão de processo se move então para baixo a partir do valor mais elevado, no sentido do valor

mais baixo, a saída pode diferir nos mesmos pontos. A separação entre a saída para cima e a saída para baixo em um ponto é o erro de histerese de pressão. A saída ideal, isto é, uma saída que corresponde de maneira precisa à entrada, é muitas vezes algo entre a saída para cima e a saída para baixo, e a saída real não é muitas vezes uma apresentação precisa da pressão de processo. Sensores da técnica precedente podem gerar uma saída que inclui erros de histerese de pressão de cerca de 0,11% enquanto a presente invenção fornece uma saída com erros de histerese de pressão de menos do que cerca de 0,01%. A presente invenção também reduz significativamente erros de deslocamento conhecidos na técnica, tais como histerese de retorno a zero de sobre-pressão, erro de pressão de linha zero, e erro de histerese de temperatura zero, e melhora desvio de zero de longo prazo.

Breve descrição dos desenhos

A Figura 1 mostra um sistema de medição de processo com um transmissor de processo construído de acordo com a presente invenção.

A Figura 2 mostra uma vista explodida do transmissor de processo da Figura 1.

A Figura 3 mostra um diagrama de blocos funcional do transmissor de processo mostrado na Figura 1.

A Figura 4 mostra uma vista em perspectiva de um módulo sensor seccionado e sensor de pressão que são porções do transmissor da Figura 1.

A Figura 5 mostra uma vista seccionada lateral do sensor de pressão da Figura 4.

A Figura 6 mostra uma vista parcialmente explodida do sensor de pressão da Figura 9.

As Figuras 7 - 9 mostram vistas parcialmente explodidas de outros sensores de pressão construídos de acordo com a presente invenção.

A Figura 10 mostra uma vista lateral seccionada de um outro

sensor de pressão construído de acordo com a presente invenção.

As Figuras 11 - 15 mostram vistas esquemáticas de configurações de transmissor construídas de acordo com a presente invenção e que implementam o sensor de pressão da Figura 4.

5 As Figuras 16 - 18 mostram vistas esquemáticas do sensor de pressão da Figura 4 em operação.

A Figura 19 é uma vista esquemática simplificada do sensor de pressão da Figura 4.

Descrição

10 Na descrição a seguir é feita referencia aos desenhos que acompanham. Os desenhos e a descrição fornecem exemplos ou configurações específicas de como a invenção pode ser feita ou utilizada, ou tornada prática. O escopo da invenção inclui os exemplos específicos e outros exemplos, e não deveria ser limitada aos exemplos dos sensores,
15 transmissores ou processos descritos aqui, ou qualquer característica específica dos sensores, transmissores ou processos. Processos de compensação de erro em medição de pressão de processo são apresentados com referência ao sensor e transmissor. Porém estes processos são independentes dos sensores e transmissores e podem ser utilizados com
20 outros sensores e transmissores ou com sensores e transmissores ainda não conhecidos. Outros exemplos são considerados, e irão cair dentro do escopo da invenção, mesmo se eles forem desenvolvidos depois dos exemplos divulgados. Mudanças podem ser feitas às configurações descritas, sem se afastar do espírito e escopo da invenção protegida, a qual está definida pelas
25 reivindicações anexas.

A Figura 1 mostra genericamente o ambiente de um sistema de medição de processo 32. A Figura 1 mostra tubulação de processo 30 que contém um fluido sob pressão acoplado ao sistema de medição de processo 32 para medir uma pressão de processo. O sistema de medição de processo 32

inclui a tubulação de impulso 34 conectada à tubulação 30. A tubulação de impulso 34 é conectada a um transmissor de pressão de processo 36. Um elemento primário 33 tal como uma placa de orifício, tubo ou venturi, bocal de escoamento, e assim por diante, contata o fluido de processo em uma localização na tubulação de processo 30 entre os tubos da tubulação de impulso 34. O elemento primário 33 provoca uma mudança de pressão no fluido quando ele passa depois do elemento primário 33. O transmissor 36 é um dispositivo de medição de processo que recebe pressões de processo através da tubulação de impulso 34. O transmissor 36 sensoreia as pressões de processo e as converte para um sinal de transmissão padronizado que é uma função da pressão de processo. Transmissores também podem sensorear variáveis múltiplas de processo ou podem ser configurados para fornecer funções de controle de processo. No exemplo, o transmissor 36 é um transmissor de pressão diferencial. Pressão diferencial é a diferença em magnitude entre dois valores de pressão, por exemplo diferença entre duas pressões de processo introduzidas para um transmissor. A medição de pressão diferencial inclui a medição de pressão manométrica onde a pressão de referência introduzida para o transmissor é pressão atmosférica e também inclui a medição de pressão absoluta onde a pressão de referência de entrada para o transmissor é um vácuo. A Figura 1 mostra o transmissor configurado para medir fluxo. Outras utilizações do transmissor para medição de pressão diferencial, contudo, estão consideradas.

Uma malha de processo 38 facilita ao mesmo tempo um sinal de energia para os transmissores 36 de comunicação bidimensional e pode ser construído de acordo com um número de protocolos de comunicação de processo. No exemplo ilustrado, a malha de processo 38 é uma malha de 2 fios. Uma malha de dois fios, como o nome implica, usa somente dois fios para conectar eletricamente o transmissor 36 a uma sala de controle remoto 40. A malha de dois fios é utilizada para transmitir toda a energia para e todas

as comunicações para e do transmissor 36 durante operações normais com um sinal de 4 a 20 mA. Consequentemente, o transmissor 36 como ilustrado, muitas vezes é referido como um transmissor de dois fios, embora outras configurações tais como três fios e quatro fios transmissores, e assim por
5 diante, sejam conhecidas e consideradas. A comunicação pode ser realizada com um sinal analógico de 4 a 20 mA e o protocolo a aberto Hart® (Highway Addressable Remote Transducer) formato de comunicações digitais que fornece comunicações digitais simultâneas com o sinal de 4 a 20 mA. A comunicação também pode ser realizada com o protocolo aberto e
10 interoperacional FOUNDATION™ Fieldbus que fornece um enlace de comunicação digital entre o nível de campo inteligente e dispositivos de controle. O transmissor 36 pode ser configurado para utilização com outros protocolos de processo, inclusive Device Bus, Sensor Bus, Profibus a ethernet, e outros em utilização através de todo o mundo. Um computador 42
15 ou outro sistema de manipulação da informação através de modem 44, ou outra interface de rede, é utilizado para comunicação com o transmissor 36. Um suprimento remoto de energia em voltagem 46 energiza o transmissor 36.

A Figura 2 mostra uma vista explodida do transmissor 36. O flange 50 é ligado ao módulo sensor 52 para interfacear com a tubulação de
20 impulso 34. O módulo sensor 52 inclui uma carcaça rosqueada 53 que é um projeto todo soldado para isolar componentes internos do meio de processo e do ambiente de campo. A Figura 3 mostra um diagrama de blocos do transmissor 36 que corresponde à Figura 2. Uma pressão de processo 54 é aplicada ao módulo sensor 52. Um sensor de pressão 56 isolado
25 mecanicamente, eletricamente, termicamente, do meio de processo, recebe as pressões de processo 54 e fornece um sinal elétrico analógico 58 representativo de pressões diferenciais. O sinal 58 é processado e convertido para um sinal digital na eletrônica de módulo sensor 60 que inclui um conversor analógico para digital 62 e uma memória de módulo sensor 64. A

memória 64 contém informação específica a respeito do módulo sensor e coeficientes de correção para o módulo sensor 52. Um sensor de temperatura 63 fornece um sinal analógico representativo de temperatura ambiente para a eletrônica do sensor 60. O sinal digital é saído sobre um cabo de pinos múltiplos 66. Como indicado na Figura 2, um cabo de pinos múltiplos 66 é implementado como uma fita retrátil envolvida por uma cobertura sobre a tampa 70 do módulo sensor 52.

Uma carcaça de eletrônica 70 carrega componentes transmissores que interfaceiam o módulo sensor 52 e malha 38. O cabo de pinos múltiplos 66 pluga em um painel de eletrônica 72. A Figura 3 mostra que o painel de eletrônica inclui um sistema microprocessador 74 e memória 76 que são utilizados para condicionar ainda mais o sinal digital. Um conversor digital para analógico 78, ou circuitos de comunicação digital 80, é utilizado para gerar e receber seja um sinal de transmissão analógico ou digital sobre a malha 38 e é portanto muitas vezes referido como um “circuito de comunicação”. A malha 38 é conectada ao transmissor através de aberturas 82 como mostrado na Figura 2, um bloco terminal 84 é conectado eletricamente ao painel de eletrônica 72 para fornecer acesso direto aos sinais gerados. A carcaça de eletrônica 71 recebe o módulo sensor 52 e tampas 86 com anéis-O 88 para fornecer uma carcaça à prova de explosão em um transmissor montado 36, adequado para instalação de campo. A carcaça protege a eletrônica do transmissor que está dentro do módulo sensor 52 e a carcaça de eletrônica 71. A Figura 4 mostra uma vista seccionada do módulo sensor 52. Pressões diferenciais de processo 54 tipicamente na forma de um fluido (gás ou líquido) são aplicada ao módulo sensor 52 em diafragmas de isolamento 90. Cada diafragma de isolamento 90 deflexiona em resposta às pressões de processo aplicadas 54 dentro de sua câmara de isolamento 92. As câmaras de isolamento 92 estão em comunicação com tubos de isolamento 94 enchidos com um fluido de enchimento 95 que transfere as pressões de

processo aplicadas 54 para um sensor 56 que está também indicado esquematicamente na Figura 3, no número de referência 56. Os diafragmas de isolamento 90 servem para proteger o sensor 56 do fluido de processo, o qual pode ser corrosivo ou de outra forma nocivo para o sensor 56. O sensor 56 inclui um corpo de célula 98 com uma cavidade interior 100 enchida com o fluido de enchimento 95. Um diafragma 102 muitas vezes referido como um diafragma de sensoreamento, separa a cavidade interior 100 em duas metades de cavidade genericamente iguais e opostas, e deflexiona em resposta à pressão de processo 54 como transferida para a cavidade interior 100. O deslocamento do diafragma defletido 102 é proporcional à diferença em pressão entre as duas metades da cavidade 100. A posição do diafragma 102 com relação à cavidade 100 é detectada com eletrodos capacitores (descritos em detalhe abaixo) dentro da cavidade 100. Fios condutores 104, 106, 108, 110 se estendem através de aberturas 111 e 113 e conectam eletrodos capacitores a um painel de eletrônica de sensor 112 que contém eletrônica de sensor 60. Assim, o sensor 56 converte a pressão de processo diferencial em um sinal elétrico analógico, e a eletrônica de sensor 60 converte o sinal elétrico analógico para um sinal elétrico digital.

A Figura 5 mostra uma vista lateral detalhada do sensor 56 como seccionado na Figura 4 e a Figura 6 mostra uma vista em perspectiva parcialmente explodida do sensor 56. O corpo de célula 98 pode ser feito de quaisquer materiais adequados utilizados para fabricar sensores de pressão do tipo de capacitância. No exemplo mostrado, o corpo de célula 98 inclui uma carcaça metálica 114 que é formada de duas metades como taças 116, 118 antes de montar. As metades como taça 116, 118 são, cada uma, enchida com um isolador rígido 120, tais como cerâmica ou vidro, que é fundido à carcaça metálica 114. O isolador 120 inclui aberturas 122 em comunicação com tubos de isolamento 94. Cada abertura 122 está em comunicação com aberturas 124 em tubos cerâmicos 125 onde as abertura 124 se estendem através do isolador

120 para o interior da cavidade interior 100. Cada uma das metades 116, 118 é usinada de modo a formar uma superfície côncava em no mínimo o isolador 120 e o tubo 125. Uma porção do corpo de célula 98 é também usinada para ser côncava no exemplo mostrado. Esta superfície côncava é referida como
5 uma primeira parede interior 126 na primeira metade 116 e uma segunda parede interior 128 na segunda metade 118. As paredes interiores côncavas 126, 128 no exemplo mostrado, são no mínimo em parte, genericamente esféricas. As paredes interiores côncavas 126, 128 são opostas uma à outra e formam e definem a cavidade interior 100 em um sensor montado 96. Como
10 uma alternativa a uma superfície côncava, o corpo de célula pode incluir um recesso retangular que cria duas paredes interiores genericamente opostas.

O diafragma 102 é colocado entre as duas metades 116, 118, e esticado tenso, e soldado no lugar com um cordão de solda contínuo 130. O cordão de solda 130 une juntas e veda hermeticamente as metades 116, 118
15 para formar o corpo de célula 98. A solda 130 também mantém o diafragma 102 sob uma quantidade desejada de pressão, de modo que ele pode atuar como um elemento mola deflexionável, que quando submetido a uma força, pode ser forçado no sentido de uma ou da outra das primeira e segunda paredes interiores 126, 128. No mínimo uma porção do diafragma 102 inclui
20 um material eletricamente condutor. No exemplo mostrado nas Figuras 5 e 6, o diafragma 102 é uma membrana fina de metal, de modo que todo o diafragma 102 é condutor. Um eixo 99, para referência, é mostrado se estendendo perpendicularmente a partir do centro do diafragma 102 e através do corpo de célula 98.

25 O diafragma 102 separa a cavidade interior 100 em uma primeira cavidade 132 e uma segunda cavidade 134. No exemplo mostrado, o diafragma 102 e a primeira parede interior 126 definem a primeira cavidade 132. O diafragma 102 e a segunda parede interior 128 definem a segunda cavidade 134 que é genericamente oposta ao diafragma 102 a partir da

primeira cavidade 132. As paredes interiores 126, 128 são separadas em regiões bordas 136, 138, respectivamente, e regiões centrais 140, 142 respectivamente. As porções de cada parede interior 126, 128 proximais à região onde a parede interior 126, 128 contata o diafragma 102, são as regiões borda 136, 138. Da mesma maneira, as porções de cada parede interior 126, 128 inclusive a região onde o eixo 99 se estende através das paredes interiores 126, 128 são as regiões centrais 140, 142. As regiões bordas 136, 138 de cada parede interior 126, 128 circundam as respectivas regiões centrais 140, 142. A relação da área das regiões borda 136, 138 e regiões centrais 140, 142 pode variar. No exemplo mostrado o isolador 120 se estende até o diafragma, formando as paredes interiores 126, 128. Em outras versões o isolador 120 não se estende até o diafragma 102 e as paredes interiores 126, 128 incluem uma região formada nas metades como taças 116, 118, esta região proximal ao diafragma 102.

Fluido de enchimento dielétrico 95 enche cada uma das primeira cavidade 132, a segunda cavidade 134, aberturas 122, tubos de isolamento 94 e câmaras de isolamento 92. Durante a fabricação do sensor 96, o fluido de enchimento 95 é injetado para o interior do sensor 96 para encher os tubos de isolamento 94. O fluido de enchimento 95 é compatível com um sensor 56 e exemplos de fluidos dielétricos de enchimento conhecidos incluem a óleo de silicone, halocarboneto inerte, e outros. No exemplo, o mesmo tipo de fluido de enchimento 95 é utilizado em ambas as cavidades 132, 134. O fluido dielétrico de enchimento 95 aumenta substancialmente a capacitância do sensor 96 sobre um dispositivo comparável enchido com ar, porém a constante dielétrica do fluido de enchimento 95 varia como uma função de temperatura e pressão. Genericamente, o volume de fluido de enchimento 95 na primeira cavidade é igual ao volume de fluido de enchimento 95 na segunda cavidade 134. Quando um ou ambos os diafragmas de isolamento 90 deflexionam ou

flexionam, o fluido de enchimento 95 é deslocado nas cavidade 132, 134 e o fluido de enchimento exerce uma força contra o diafragma 102. Esta força genericamente corresponde à força aplicada aos diafragmas de isolamento 90 por meio da pressão variável de processo 54. Diferenças entre as forças exercidas sobre o diafragma a partir de cada cavidade fazem com que o diafragma deflexione ou seja deslocado.

Em uma versão o diafragma 102 irá tocar e repousar contra qualquer das paredes interiores 126, 128 antes que qualquer dos diafragmas de isolamento 90 estejam completamente deflexionados dentro de suas respectivas câmaras de isolamento 92 e antes que dano notável resulte ao diafragma 102. Desta maneira, as paredes interiores 126, 128 atuam como batentes de sobre-pressão e protegem o diafragma 102. De maneira similar, a forma esférica das paredes interiores côncavas 126, 128 é tal que genericamente todo o diafragma 102 irá repousar contra qualquer parede 126 ou 128 para proteger o diafragma 102 de deformações permanentes localizadas.

Um revestimento fino de metal ou um primeiro “eletrodo” 144 é acoplado à primeira parede interior 126. No exemplo mostrado, o primeiro eletrodo 144 é depositado sobre a primeira parede interior 126 e posicionado dentro da primeira cavidade interior 132. Processos de depositar os eletrodos incluem cintilamento, deposição física ou química de vapor, deposição por plasma, pintura em tela, ou outros processos adequados de acoplar o eletrodo à parede de interior. A espessura do eletrodo está exagerada nas Figuras para clareza. O eletrodo 144 está na região central 140 da primeira parede interior 126, é proximal ao tubo cerâmico 125 e é oposto à primeira cavidade interior 126 a partir do diafragma 62. O primeiro eletrodo 144 é conectado diretamente ao fio condutor 104 que é embutido no isolador 140 e se estende através do plugue cerâmico 109 na abertura 111.

Um segundo eletrodo 146 também é acoplado à primeira

parede interior por meio de um processo de deposição adequado. No exemplo mostrado, o segundo eletrodo 146 é cintilado sobre a primeira parede interior 126 dentro da primeira cavidade interior 132 e é oposto à primeira cavidade interior 132 a partir do diafragma 102. A espessura do eletrodo está
5 exageradas nas Figuras para clareza. O segundo eletrodo 146 está na região de borda 136, ou a uma distância mais longe ao longo da parede interior 126 a partir do eixo 99 do que a distância do primeiro eletrodo 114 ao longo da parede interior 126 a partir do eixo 99. Os eletrodos 144, 146 são espaçados separados transversais ao isolador 120 um do outro, e do diafragma, de modo
10 que os eletrodos não contatam diretamente um ao outro ou o diafragma. No exemplo mostrado na Figura 6 o segundo eletrodo 146 se estende ao redor do primeiro eletrodo 144. O segundo eletrodo 146 é conectado diretamente ao fio condutor 106, o qual é espaçado separado de, e não em contato direto com o fio condutor 104, e também se estende através do plugue cerâmico 109 na
15 abertura 111. Um depósito fino de monóxido de silício (não mostrado) ou outro isolador adequado cobre os eletrodos 144, 146 para impedir contato direto com o diafragma 102 em situações de sobre-pressão.

Os eletrodos 144, 146, 148, 150 podem ser de uma variedade de configurações. A Figura 6 mostra que o segundo eletrodo 146 é formado
20 de duas metades de eletrodo 145 e 147 na região de borda 136 que circunda o primeiro eletrodo 144. As metades de eletrodo 145, 147 são espaçadas separadas uma da outra sobre a primeira parede interior 126, porém são acopladas diretamente juntas dentro do isolador 120 do corpo de célula 98 e até o fio condutor 106. As Figuras 7 - 9 mostram outros exemplos do sensor
25 56. Na Figura 7 o eletrodo 1146 é análogo ao eletrodo 146 da Figura 6 e é o “segundo eletrodo”. O eletrodo 1146 se estende somente parcialmente ao redor do primeiro eletrodo 144 e também é acoplado ao fio condutor 106. Na Figura 8 o eletrodo 2146 é o “segundo eletrodo”, e é na forma de um anel que circunda completamente o primeiro eletrodo 144. Na Figura 9 o eletrodo

3146 é o “segundo eletrodo” e é de uma forma arbitrária na região de borda 136. Outras formas ou configurações do segundo eletrodo são consideradas. Por exemplo, o “segundo eletrodo” pode ser simplesmente a extremidade do fio condutor 106 esquerdo exposto à cavidade interior 100 sem nenhum outro revestimento metálico acoplado à primeira parede interior 126. As várias formas para o segundo eletrodo 146 podem também ser utilizadas com o quarto eletrodo 150. De maneira similar, os primeiro e terceiro eletrodos 144, 148 podem ser de uma variedade de formas. Por exemplo, o primeiro e terceiro eletrodos 144, 148 podem ser em forma de torta ou qualquer forma arbitrária.

Os eletrodo 144, 146 operam como elementos capacitores, ou placas capacitores, e cada um é acoplado eletricamente através de um campo elétrico, isto é, acoplado de maneira capacitiva através do fluido de enchimento dielétrico 95 ao diafragma 62. O diafragma 62 também opera como uma outra placa capacitadora e não há conexão direta entre o diafragma 102 e qualquer eletrodo 144 ou 146. Assim, o primeiro eletrodo 144 e o diafragma 102 formam um primeiro capacitor e o segundo eletrodo 146 e o diafragma 102 formam um segundo capacitor. O termo “capacitor” é utilizado para descrever a estrutura, mesmo embora as “placas capacitadoras” (inclusive o diafragma) não estejam sempre carregadas. Assim, por exemplo, o primeiro eletrodo 144 e o diafragma 102 são considerados acoplados de maneira capacitiva mesmo quando não estão carregados. O diafragma 102 opera como uma placa capacitadora comum a ambos ao primeiro e segundo capacitores. Os eletrodos 144, 146 são fixados com relação ao diafragma móvel 102 e assim os primeiro e segundo capacitores são capacitores variáveis. A capacitância de cada capacitor variável irá mudar quando o diafragma é deflexionado. Especificamente, a capacitância de um capacitor é genericamente proporcional ao inverso da distância entre as placas capacitadoras do capacitor.

Durante operação, a eletrônica do sensor 60 fornece um sinal para carregar o diafragma 102. Quando o diafragma 102 deflexiona dentro da cavidade interior 100 em resposta à pressão de processo aplicada, a distância entre o diafragma e cada eletrodo 144, 146 muda. Isto cria uma mudança na capacitância de cada capacitor que é uma função da pressão de processo 54. Os fios condutores 104, 106 e o diafragma 102 são, cada um, acoplados diretamente ao painel de eletrônica de sensor 112. A carga no eletrodo 144 e no fio condutor 104 é uma função da capacitância do primeiro capacitor e a carga no eletrodo 146 e fio condutor 106 é uma função da capacitância do segundo capacitor. A eletrônica de sensor 60 mede as capacitâncias variáveis, o que pode ser utilizado para estabelecer a pressão de processo aplicada. Um terceiro eletrodo 148 é acoplado à segunda parede interior 128 e posicionado dentro da segunda cavidade interior 134. Um processo de acoplar o eletrodo 148 é através de cintilamento. A espessura dos eletrodos está exagerada nas Figuras para clareza. O terceiro eletrodo 148 está na região central 142 da segunda parede interior 128, e é oposto à segunda cavidade interior 128 a partir do diafragma 102, é similar em dimensão e forma ao primeiro eletrodo 144 e é oposto à cavidade interior 100 a partir do primeiro eletrodo. O terceiro eletrodo 148 é fixado com relação ao diafragma 102 e o terceiro eletrodo 148 e o diafragma deflexionável formam um terceiro capacitor variável. O terceiro eletrodo 148 é conectado diretamente ao fio condutor 108 que é embutido no isolador 120 e se estende através do plugue cerâmico 115 na abertura 113.

Um quarto eletrodo 150 é acoplado à segunda parede interior 128 dentro da segunda cavidade interior 134 na região de borda 138 da segunda parede interior 128. Um processo de acoplar o quarto eletrodo 150 é através de cintilamento. A espessura do eletrodo está exagerada nas Figuras para clareza. O quarto eletrodo 150 é oposto à segunda cavidade interior 134 a partir do diafragma 102, é similar em dimensão e forma ao segundo

eletrodo 146, e é posicionado oposto à cavidade interior 100 a partir do segundo eletrodo 146. Os eletrodos 148, 150 são espaçados separados através do isolador 120 um do outro, e do diafragma 102, de modo que os eletrodos 148, 150 não contatam diretamente um com o outro ou o diafragma 102. O quarto eletrodo 150 é conectado diretamente ao fio condutor 110, o qual é espaçado separado de, e não em contato direto com o fio condutor 108, e também se estende através do plugue cerâmico 115 na abertura 113. Alternativamente, o quarto eletrodo 150 pode ser simplesmente a extremidade do fio condutor 110 exposta à cavidade 128.

Os terceiro e quarto eletrodos 148 e 150, cada um serve como placas capacitores para capacitores separados. O terceiro eletrodo 148 é acoplado de maneira capacitiva ao diafragma 102 para formar um terceiro capacitor variável, e o quarto eletrodo 150 é acoplado de maneira capacitiva ao diafragma 102 para formar um quarto capacitor variável. Os terceiro e quarto capacitores são formados de uma maneira similar aos primeiro e segundo capacitores, porém na segunda célula metade 118. Uma falta de simetria entre os eletrodos 144, 146 na primeira parede de interior 126 e os eletrodos 148, 150 sobre a segunda parede interior 128 é também considerada. O exemplo da Figura 10 não inclui um quarto eletrodo e o fio condutor correspondente e, assim, não inclui um quarto capacitor. No exemplo, o terceiro eletrodo 148 é oposto ao primeiro eletrodo 144, embora o terceiro eletrodo nesta configuração possa ser colocado em qualquer lugar sobre a segunda parede interior 128.

A Figura 4 mostra fios condutores 104, 106, 108, 110 conectados ao painel de eletrônica 112, e a Figura 3 indica que o sensor 56 é acoplado operacionalmente a um conversor analógico para digital 62, tal como um conversor capacitância para digital. O conversor analógico para digital 62 é conectado a outra eletrônica dentro do transmissor 36 ou “eletrônica de transmissor”, como descrito acima com referência às Figuras 2

e 3. Diversos conversores analógicos para digital são conhecidos e convertem uma entrada analógica para uma saída digital e são aceitáveis para utilização com o transmissor de pressão de processo 36. Um tipo de conversor analógico para digital 62 é um sigma delta ou conhecido por seu símbolo $\Sigma\Delta$.

- 5 Uma característica que distingue um circuito sigma delta de outros tipos de conversores analógico para digital, é que o conversor sigma delta fornece uma corrente de equilíbrio com uma polaridade controlada por um controlador com relógio acoplado a um integrador. O conversor analógico para digital 62 inclui um circuito sigma delta, e pode ser implementado como
- 10 um circuito integrado específico da aplicação. Em um exemplo, o circuito integrado específico da aplicação está sobre a placa de eletrônica de sensor 112 e proximal ao sensor 56. O circuito integrado específico da aplicação, contudo, pode ser colocado dentro de carcaça à prova de explosão do transmissor 36. Este circuito integrado específico da aplicação pode incluir
- 15 outros elementos de circuito como necessário, ou desejado, para fornecer funções adicionais em adição àquela do circuito sigma delta. Uma tal função pode ser determinar a capacitância dos capacitores sensores e fornecer uma saída que é uma função da pressão de processo.

- As Figuras 11-14 mostram alguns exemplos do sensor 56
- 20 conectado ao conversor analógico para digital 62. Em cada um dos exemplos ilustrados, os fios condutores 104, 106, 108, 110 assim com os eletrodos 114, 146, 148, 150, são acoplados eletricamente ao conversor analógico para digital 62 implementado como um circuito integrado específico da aplicação 151 na Figura 11 e como 152 na Figuras 12-14 que fornecem a saída 44. O
- 25 circuito 151 da Figura 11 inclui o circuito 152 e elementos de circuito adicionais ou conexões elétricas. O circuito integrado específico da aplicação 152 é conhecido na técnica e pode ser utilizado com sensores de técnica relacionada. O circuito 152 é utilizado no Transmissor de Pressão de Processo modelo 3051 C fabricado e vendido por Rosemount Inc., de Eden

Prairie, Minnesota. O circuito 152 nas Figuras 12 - 14 inclui uma saída de excitação de sensor 155 acoplada eletricamente ao diafragma 102, para carregar eletricamente o diafragma e gerar um campo elétrico dentro da cavidade interior 100. O circuito 152 também inclui uma entrada de alta capacitância 153, uma entrada de baixa capacitância 154, que são acopladas eletricamente aos eletrodos 144 – 150, e um terminal de excitação de capacitor de linearização 156.

As Figuras 12 e 13 mostram os primeiro e quarto eletrodos 144, 150 acoplados eletricamente juntos do lado de fora da cavidade interior 100 em um primeiro nó 161 e o segundo e terceiro eletrodos 146, 148 são acoplados eletricamente juntos do lado de fora da cavidade interior 100 em um segundo nó 160. O primeiro e o segundo nós 161, 162 são acoplados eletricamente ao circuito 152. Especificamente, o primeiro nó 161 é conectado eletricamente diretamente à entrada de alta capacitância 153 e o segundo nó é conectado diretamente eletricamente à entrada de baixa capacitância 154. Capacitores de linearização 157, 158 são conectados entre os nós 161, 162, respectivamente, e o nó 159 que é fornecido ao terminal 156. A Figura 12 mostra fios condutores 104 e 110 ligados juntos para formar o nó 161 e os fios condutores 106, 108 ligados juntos para formar o nó 162. Na Figura 13 um primeiro capacitor de ajustamento 165 é conectado eletricamente entre o quarto eletrodo 150 e o primeiro nó 161. Também um segundo capacitor de ajustamento 167 é conectado eletricamente entre o segundo eletrodo 146 e o segundo nó 162.

A Figura 14 mostra o primeiro e segundo eletrodos 144, 146 acoplados eletricamente juntos do lado de fora da cavidade interior 100 em um terceiro nó 163 e o terceiro e o quarto eletrodos 148, 150 acoplados eletricamente juntos do lado de fora da cavidade interior 100 em um quarto nó 164. Um primeiro amplificador de carga de inversão 166 é conectado eletricamente ao segundo eletrodo 146 e sua saída fornecida para o terceiro

nó 163. Um segundo amplificador de carga de inversão 168 é conectado eletricamente ao quarto eletrodo 150 e sua saída fornecida para o quarto nó 164. Amplificadores de carga de inversão são conhecidos na técnica e são genericamente definidos pela sua função de amplificar e inverter a polaridade de um sinal de carga. O terceiro nó e o quarto nó 163, 164 são acoplados eletricamente diretamente às entradas de alta e baixa capacitância 153, 154, respectivamente.

As Figuras 12 - 14 mostram que os elementos de circuito e nós do lado de fora do sensor são também separados do circuito integrado específico da aplicação 152. Estes elementos de circuito podem ser localizados sobre a placa de eletrônica de sensor 112 e então conectados ao circuito 152 também sobre a placa 112. A Figura 11 mostra um exemplo onde um circuito integrado específico de aplicação 151 inclui o circuito 152 e elementos de circuito adicionais em forma monolítica, de tal modo que qualquer das configurações mostradas nas Figuras 12 - 14 pode ser implementada como um chip micro- eletrônico. O circuito 151 pode também incluir outros elementos de circuito como é possível para uma aplicação particular. Fios condutores 104, 106, 108, 110, são conectados diretamente às entradas 170, 172, 174 e 176 do circuito 151. O circuito 151 inclui os nós e capacitores mostrados nas Figuras 12 e 13, respectivamente, ou os nós e amplificador de carga de inversão mostrado na Figura 14.

A Figura 15 mostra fios condutores 104, 106, 108, 110 do sensor conectado ao circuito integrado específico de aplicação 178 nas entradas 180, 182, 184, 186. O circuito 178 também inclui saída de excitação de sensor 181 e saída de circuito 183, análogas àquelas dos circuitos 151 e 152. O circuito 178 é diferente do circuito 151 uma vez que o circuito 178 utiliza um conversor sigma delta particular diferente daquele indicado como circuito 152.

O diafragma 102 é mostrado como o reto e plano na Figura 5,

como indicativo de pressões iguais aplicadas nas primeira e segunda cavidades 132, 134. Quando existe uma diferença de pressão entre as cavidade 132, 134 tal como quando a pressão na cavidade 134 é maior do que a pressão na cavidade 132, o diafragma deflexiona de sua posição original como sugerido na Figura 16. A espessura do eletrodo está exagerada nas Figuras para clareza. De maneira ideal, a forma de um diafragma deflexionado 102 é parabólica, como mostrado na Figura 16. A forma parabólica ideal do diafragma deflexionado genericamente se casa com o contorno esférico da primeira parede interior 126 (de maneira similar se as pressões fossem invertidas, a forma do diafragma deflexionado poderia, genericamente, casar com o contorno da segunda parede interior 128). A deflexão ideal do diafragma como uma percentagem do contorno da primeira parede interior é genericamente a mesma em todas as localizações do diafragma. A mudança de percentagem na capacitância variável também é a mesma quando o diafragma é forçado no sentido da primeira parede interior 126 neste exemplo. Consequentemente, os primeiro e segundo capacitores deveriam medir as mesmas mudanças de relação em capacitância quando o diafragma é forçado no sentido da primeira parede interior 126 e esta capacitância é relacionada à pressão de processo aplicada.

O diafragma 102, contudo, não deflexiona em tal maneira parabólica ideal. Ao invés disso, o diafragma 102 se torna deslocado, porém plano, depois que é deflexionado inicialmente. Por exemplo, a Figura 17 mostra a deformação de diafragma quando as pressões em ambas as cavidade 132, 134 são iguais. O diafragma 102 se estende para uma cavidade ou para a outra quando de maneira ideal ele deveria ser plano através de todo ele. As quantidades de deslocamento mostradas nas Figuras 17 e 18 são meramente ilustrativas e exageram a quantidade real de deformação. Em geral, este deslocamento é provocado por momentos de dobramento de borda que se originam na região 152 onde o diafragma 102 contata fisicamente as primeira

e segunda paredes interiores 126, 128. Os momentos de dobramento de borda incluem momentos de atrito de borda e momentos de escoamento e escorregamento. A quantidade de dobramento ao longo do diafragma está também exagerada para clareza. Por exemplo, todos os eletrodos 144, 146, 148, 150 no sensor real 96 são tipicamente opostos à porção plana do diafragma deslocado 62. A Figura 18 mostra deformação de diafragma quando a pressão na cavidade 134 é maior do que a pressão na cavidade 132. O diafragma 102 deflexiona em uma maneira parabólica, porém deflexiona a partir do estado deslocado e assim inclui um componente de deslocamento. A quantidade de deflexão de diafragma se torna a deflexão parabólica como resultado da pressão diferencial adicionada à quantidade de deslocamento de diafragma como um resultado dos momentos de dobramento de borda.

O processo de compensação de erro é introduzido com referência à Figura 19 que é um diagrama esquemático simplificado do sensor 56. A compensação de erro começa com a medição de duas distâncias de deflexão de diafragma a partir de uma posição selecionada, ou plano de referência, e subtraindo uma distância da outra para chegar a um valor proporcional a uma saída corrigida de erro. Por exemplo, a posição selecionada pode ser um plano de referência 190 representativo de um diafragma ideal em repouso. Neste exemplo, o diafragma inclui uma região central 192 genericamente oposta à região central 140 da primeira parede interior 126 e uma região de borda 194 genericamente oposta à região de borda 136 da primeira parede interior 126. A primeira distância X_1 é a distância da região central do diafragma 192 até o plano 190. A segunda distância X_2 é a distância da região de borda do diafragma 194 até o plano 190. A segunda distância X_2 é subtraída da primeira distância X_1 para fornecer um valor proporcional à uma saída corrigida de erro de uma medição de pressão diferencial, ou R. Especificamente $R = K(X_1 - X_2)$.

O valor K pode ser unitário ou alguma outra constante. O

valor é tipicamente utilizado para escalonar a saída, e é muitas vezes igual a ou entre (-1) e (+1). Em um exemplo, K é igual ao inverso do valor que resulta da distância X_{01} da região central da parede interior 140 até o plano 190 somada à distância X_{02} da região de borda da parede interior 136 até o plano 190. Especificamente, $K = 1/(X_{01} + X_{02})$. Na implementação do sensor 96 X_{01} é obtida medindo a distância entre os eletrodos centrais 144, 148 e dividindo por dois.. Na implementação do sensor 96, X_{02} é obtida medindo a distância entre os eletrodos de borda 146, 150 e dividindo por dois. Consequentemente

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

Se a parede interior é encurvada X_{01} não é igual a X_{02} . Esta função transferência pode ser implementada em uma variedade de sensores que tem um fluido de enchimento dielétrico para compensar deformação de diafragma e mudanças na constante dielétrica do fluido de enchimento. Um sensor que se conduz a si mesmo à implementação desta função transferência é o sensor de quatro eletrodos da Figura 5. Em uma função transferência implementada pelo sensor de três eletrodos da Figura 10, não existe o valor X_{02} . Assim, $K = 1/X_{01}$. igual ao $1/X_{01}$. Consequentemente,

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

Os cálculos e saída podem ser fornecidos por qualquer um de uma variedade de dispositivos de processo de sinal em adição aos circuitos integrados específicos da aplicação descritos acima.

Uma forma básica de uma função transferência utilizada com o transmissor da Figura 2 para fornecer uma saída compensada em erro na medição de pressão de processo faz uso de quatro medições de capacitância fornecidas pelo sensor 56. A capacitância do primeiro capacitor é relacionada a um sinal elétrico no primeiro eletrodo 144 e é descrita como a primeira capacitância ou C_1 . A capacitância do segundo capacitor é relacionada a um sinal elétrico no segundo eletrodo 146 e é descrita como a segunda

capacitância ou C_2 . A capacitância do terceiro capacitor é relacionada a um sinal elétrico no terceiro eletrodo 148 e é descrita como a terceira capacitância ou C_3 . A capacitância do quarto capacitor é relacionada a um sinal elétrico no quarto eletrodo 150 e é descrita como a quarta capacitância ou C_4 .

A saída R da função transferência básica é indicativa de uma medição de pressão diferencial compensada para deformação de diafragma. Uma expressão da função transferência básica está mostrada na equação A:

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

Na equação A a quarta capacitância C_4 é subtraída da segunda capacitância C_2 para obter uma primeira diferença ($C_2 - C_4$). A terceira capacitância C_3 é subtraída da primeira capacitância C_1 para obter uma segunda diferença ($C_1 - C_3$). A primeira diferença é subtraída da segunda diferença para obter um numerador. O denominador inclui a primeira soma da segunda e quarta capacitâncias ($C_2 + C_4$) subtraída de uma segunda soma da primeira e terceira capacitâncias ($C_1 + C_3$). O numerador é dividido pelo denominador para obter a saída R. Estas etapas podem ser realizadas em uma outra ordem, ou diversas etapas podem ser realizadas simultaneamente.

A função transferência básica da equação A está relacionada à compensação de erro baseada na distância de deflexão, descrita acima com referência à Figura 19. A relação da capacitância do eletrodo de borda para a capacitância do eletrodo central é selecionada para melhorar o desempenho do sensor. Por exemplo, se $X_{01}/X_{02} = (C_2 + C_4) / (C_1 + C_3)$, ou $C_2/C_1 = C_4/C_3 = X_{01}/X_{02}$, então $R = (X_1 - X_2) / (X_{01} + X_{02})$. Na prática, isto sugere que a dimensão dos eletrodos na região de borda, isto é, eletrodos 146, 150 seja bastante pequena ou fina no caso de um anel ou configuração de anel parcial. Uma outra maneira de realizar este resultado é se alguma ou todas as quatro capacitâncias relacionadas aos respectivos sinais elétricos são amplificadas, atenuadas ou uma combinação de ambos, antes que a função transferência

seja utilizada para operar sobre as capacitâncias. A atenuação é também amplificação, especificamente é amplificação por um ganho menor do que a unidade. Assim, os sinais elétricos “brutos” realmente presentes nos eletrodos 144, 146, 148, 150, cada um, pode ser multiplicado por um ganho selecionado para fornecer sinais elétricos representativos das quatro capacitâncias adequadas para implementação das funções transferência. No sensor da Figura 5 os sinais elétricos brutos a partir dos eletrodos 146 e 150 são amplificados por um ganho de menos do que a unidade para fornecer sinais utilizados na função transferência.

A Figura 14 mostra uma implementação da função transferência básica. O circuito 152 recebe duas entradas representativas de capacitância na nas entradas de capacitância elevada e baixa 153, 154 que são abreviadas como C_H e C_L . O circuito 152 recebe as entradas e fornece uma saída R_1 como expresso na Equação B:

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

A entrada 153 recebe um sinal C_L que é igual a $(C_1 - C_2)$, e a entrada 154 recebe um sinal C_H que é igual $(C_3 - C_4)$. Consequentemente a saída do circuito 152 é expressa como a Equação C:

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

Muitas vezes capacitâncias parasitas são introduzidas para as medições de capacitância do sensor 96. Como resultado, cada termo capacitância na Equação A pode incluir um termo capacitância principal representativo da capacitância entre o eletrodo e o diafragma 102, e uma capacitância parasita. Por exemplo, a primeira capacitância pode incluir uma primeira capacitância principal e uma primeira capacitância parasita, de tal modo que $C_1 = (C_{1M} + C_{1S})$. De maneira similar, $C_2 = (C_{2M} + C_{2S})$, $C_3 = (C_{3M} + C_{3S})$, e $C_4 = (C_{4M} + C_{4S})$.

A implementação da Figura 14 considera o efeito de capacitâncias parasitas. Quando os ganhos nos amplificadores de carga de

inversão 166, 168 são ajustados para (-1), a função transferência da implementação é independente de capacitância parasita se $C_{1s}=C_{2s}=C_{3s}=C_{4s}$. Em geral, contudo, o primeiro amplificador de carga de inversão 166 inverte a polaridade de C_2 e multiplica o resultado por um ganho A_1 e o segundo amplificador de carga de inversão 168 inverte a polaridade de C_4 e multiplica o resultado por um ganho A_2 . Assim, uma expressão da saída da configuração da Figura 14 consistente com a função transferência básica é:

$$R1 = \frac{((C1M + C1s) - A1(C2M + C2s)) - ((C3M + C3s) - A2(C4M + C4s))}{((C1M + C1s) - A1(C2M + C2s)) - ((C3M + C3s) - A2(C4M + C4s))}$$

A compensação desejada pode ser realizada ajustando os ganhos A_1 e A_2 . O efeito de capacitância parasita pode ser reduzido por um projeto ótimo de um sensor, e os ganhos A_1 e A_2 podem ser ajustados independentemente um outro para compensar por qualquer falta de simetria física.

As Figuras 12 e 13 mostram dois exemplos de uma outra implementação da função transferência básica. Uma expressão da função transferência básica está mostrada como Equação D:

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

A Equação E é consistente com a expressão da equação A. Na equação D a primeira capacitância C_1 é adicionada à quarta capacitância C_4 para obter uma primeira soma $(C_1 + C_4)$. A segunda capacitância C_2 é adicionada à terceira capacitância C_3 para obter uma segunda soma $(C_2 + C_3)$. A primeira soma é adicionada à segunda soma para obter o denominador e a segunda soma é subtraída da primeira soma para obter o numerador. O numerador é dividido pelo denominador para obter a saída R.

Valores de capacitância adicionais são incluídos na implementação da função transferência para o exemplo da Figura 12. A implementação também é suscetível aos efeitos de capacitância parasita. Em um projeto do sensor as quatro capacitâncias parasitas são iguais uma a outra. Em um outro projeto as capacitâncias parasitas são efetivamente eliminadas.

O exemplo também inclui dois capacitores de linearização 157, 158 que introduzem capacitâncias de linearização C_{L1} e C_{L2} , respectivamente que efetuam a função transferência. Assim, uma expressão da saída R_2 da configuração da Figura 12 levando em consideração as capacitâncias de linearização e as capacitâncias parasitas é:

$$R2 = \frac{((C1M + C1s) - (C4M + C4s) - CL1) - ((C2M + C2s) - (C3M + C3s) - CL2)}{((C1M + C1s) - (C4M + C4s) - CL1) - ((C2M + C2s) - (C3M + C3s) - CL2)}$$

A etapa de adicionar a primeira capacitância C_1 à quarta capacitância C_4 na equação D inclui subtrair uma primeira capacitância de linearização C_{L1} relacionada a um sinal elétrico em um primeiro capacitor de linearização 157 a partir da primeira ou quarta capacitâncias para obter a primeira soma. Também a etapa de adicionar a terceira capacitância C_3 à segunda capacitância C_2 na equação D inclui subtrair uma segunda capacitância de linearização C_{L2} relacionada a um sinal elétrico em um segundo capacitor de linearização 158 a partir da segunda ou terceira capacitância, para obter a segunda soma.

Valores de capacitância adicional ainda são incluídos na implementação da função transferência para o exemplo da Figura 13. O exemplo inclui dois capacitores de ajustamento 165, 167 que introduzem capacitâncias de ajustamento C_{A1} e C_{A2} respectivamente que efetuam a função transferência. Assim, uma expressão da saída R_3 da configuração está mostrada na equação E:

$$[E] \\ R3 = \frac{((C1M + C1s) - (C4E) - CL1) - ((C2E) + (C3M + C3s) - CL2)}{((C1M + C1s) - (C4E) - CL1) - ((C2E) + (C3M + C3s) - CL2)}$$

A segunda capacitância C_2 da equação D se torna uma segunda capacitância efetiva C_{2E} na equação E, e é expressa como:

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

A segunda capacitância efetiva C_{2E} inclui a segunda capacitância de ajustamento C_{A2} multiplicada pela soma da segunda capacitância principal C_{2M} e segunda capacitância parasita C_{2S} dividida pela

soma da segunda capacitância de ajustamento C_{A2} , segunda capacitância principal C_{2M} e segunda da capacitância parasita C_{2S}

A quarta capacitância C_4 da equação B se torna uma quarta capacitância efetiva C_{4E} a na Equação E, e é expressa como:

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

5 A quarta capacitância efetiva C_{4E} inclui a primeira capacitância de ajustamento C_{A1} multiplicada pela soma da quarta capacitância principal C_{4M} e quarta capacitância parasita C_{4S} dividida pela soma da primeira capacitância de ajustamento C_{A1} , quarta capacitância principal C_{4M} e quarta capacitância parasita C_{4S} .

10 A Equação A pode ser implementada em diversas formas. Por exemplo, o circuito 178 da Figura 18 recebe sinais elétricos relacionados às quatro capacitâncias a partir de fios condutores 104, 106, 108, 110. O circuito 178 então processa sinais para gerar uma saída consistente com a função transferência básica estabelecida na Equação A.

15 A equação $R = (X_1 - X_2)/X_{01}$ descrita acima pode ser implementada com um sensor que tem três capacitores, similar ao sensor da Figura 10. A capacitância do primeiro capacitor é relacionada a um sinal elétrico no primeiro eletrodo 144 e é descrita como a primeira capacitância, ou C_1 . A capacitância do segundo capacitor é relacionada a um sinal elétrico no segundo eletrodo 146 e é descrita como a segunda capacitância ou C_2 . A capacitância do terceiro capacitor é relacionada a um sinal elétrico no terceiro eletrodo 148 e é descrita como a terceira capacitância ou C_3 .

A saída R da função transferência que utiliza este sensor é:

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

25 Nesta equação a primeira capacitância C_1 é multiplicada pela terceira capacitância C_3 e por uma primeira constante A para obter um primeiro valor (AC_1C_3). O primeiro valor é dividido pela segunda capacitância C_2 e obtém um segundo valor AC_1C_3/C_2 . O segundo valor é

subtraído da terceira capacitância C_3 para obter um quarto valor, o qual é subtraído da primeira capacitância C_1 para obter um numerador. O numerador é dividido pela soma da primeira capacitância C_1 , terceira capacitância C_3 e uma segunda constante B . As constantes A e B são escolhidas de modo que R

$$5 \quad = (X_1 - X_2)/X_{02}.$$

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para medir pressão diferencial, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

5 aplicar uma primeira pressão de processo a uma primeira quantidade de fluido de enchimento sobre um primeiro lado de um diafragma deflexionável;

 aplicar uma segunda pressão de processo a uma segunda quantidade de fluido de enchimento sobre um segundo lado do diafragma deflexionável;

10 medir uma quantidade de deflexão de uma região central do diafragma a partir de uma posição selecionada;

 medir uma quantidade de deflexão de uma região de borda do diafragma a partir da posição selecionada; e,

15 subtrair a quantidade de deflexão na região de borda da quantidade de deflexão na região central.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da posição selecionada ser um plano de diafragma em repouso.

3. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de incluir ainda a etapa de gerar uma saída substancialmente relacionada à
20 quantidade de deflexão na região de borda subtraída da quantidade de deflexão na região central.

4. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o diafragma ser posicionado em oposição a uma parede de cavidade que tem uma região de borda de parede oposta à região de borda do diafragma e uma
25 região central de parede oposta à região central do diafragma, incluindo ainda a etapa de:

 dividir a quantidade de deflexão na região de borda subtraída da quantidade de deflexão na região central, por um valor igual a uma distância da região de borda de parede para a posição selecionada adicionada a uma distância

da região central de parede até a posição selecionada.

5 5. Processo de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de a distância da região de borda de parede da cavidade até a posição selecionada não ser igual à distância da região central da parede da cavidade até a posição selecionada.

6. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o diafragma ser oposto a uma parede de cavidade que tem uma região central de parede oposta à região central do diafragma, incluindo ainda a etapa de:

10 dividir a quantidade de deflexão na região de borda subtraída da quantidade de deflexão na região central por um valor igual a uma distância da região central de parede até a posição selecionada.

7. Processo para compensação de erro na medição de pressão diferencial com um sensor de pressão, cujo sensor tem um diafragma condutor e deflexionável, primeiro e segundo eletrodos sobre um lado do diafragma, e terceiro e quarto eletrodos sobre um outro lado do diafragma, no qual os quatro eletrodos são, cada um, acoplados separadamente ao diafragma para formar quatro capacitores, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

15

20 adicionar um primeiro sinal de capacitância relacionado a um sinal elétrico no primeiro eletrodo a um quarto sinal de capacitância relacionado a um sinal elétrico no quarto eletrodo para obter uma primeira soma;

adicionar um terceiro sinal de capacitância relacionado a um sinal elétrico no terceiro eletrodo a um segundo sinal de capacitância relacionado a um sinal elétrico no segundo eletrodo para obter uma segunda soma;

25 adicionar a primeira soma à segunda soma para obter um denominador;

subtrair a segunda soma da primeira soma para obter um numerador; e,

dividir o numerador pelo denominador.

8. Processo de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo

fato de:

o primeiro sinal de capacitância incluir um primeiro sinal de capacitância principal e um primeiro sinal de capacitância parasita;

o segundo sinal de capacitância incluir um segundo sinal de capacitância principal e um segundo sinal de capacitância parasita;

o terceiro sinal de capacitância incluir um terceiro sinal de capacitância principal e um terceiro sinal de capacitância parasita; e

o quarto sinal de capacitância incluir um quarto sinal de capacitância principal e um quarto sinal de capacitância parasita.

9. Processo de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de os primeiro, segundo, terceiro e quarto sinais elétricos nos eletrodos serem multiplicados por um ganho.

10. Processo de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de os primeiro, segundo, terceiro e quarto sinais de capacitância parasita anularem um ao outro em uma saída.

11. Processo de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de a etapa de adicionar o primeiro sinal de capacitância ao quarto sinal de capacitância incluir subtrair um primeiro sinal de capacitância de linearização relacionado a um sinal elétrico em um primeiro capacitor de linearização a partir dos primeiro ou quarto sinais de capacitância para obter a primeira soma, onde a etapa de adicionar o terceiro sinal de capacitância ao segundo sinal de capacitância inclui subtrair um segundo sinal de capacitância de linearização relacionado a um sinal elétrico em um segundo capacitor de linearização a partir dos segundo ou terceiro sinais de capacitância para obter a segunda soma.

12. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de o segundo sinal de capacitância ser um segundo sinal de capacitância efetiva e incluir um segundo sinal de capacitância de ajustamento relacionado a um sinal elétrico em um segundo capacitor de ajustamento multiplicado pela soma do segundo sinal de capacitância principal e segundo sinal de capacitância parasita

e dividido pela soma do segundo sinal de capacitância de ajustamento, segundo sinal de capacitância principal e segundo sinal de capacitância parasita; e o quarto sinal de capacitância ser um quarto sinal de capacitância efetiva e incluir um primeiro sinal de capacitância de ajustamento relacionado a um sinal elétrico em um primeiro capacitor de ajustamento multiplicado pela soma do quarto sinal de capacitância principal e quarto sinal de capacitância parasita e dividido pela soma do primeiro sinal de capacitância de ajustamento, quarto sinal de capacitância principal e quarto sinal de capacitância parasita.

13. Processo de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de no mínimo uma parte dos sinais elétricos nos primeiro, segundo, terceiro e quarto eletrodos ser amplificada para fornecer sinais representativos dos respectivos primeiro, segundo, terceiro ou quarto sinais de capacitância.

14. Processo de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de os sinais elétricos nos segundo e quarto eletrodos serem amplificados por um ganho de menos do que a unidade.

15. Processo para compensação de erro na medição de pressão de processo com um transmissor de medição de processo, cujo transmissor de medição de processo tem um sensor que gera uma pluralidade de sinais elétricos representativos de um primeiro, segundo, terceiro e quarto sinais de capacitância, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

subtrair o quarto sinal de capacitância do segundo sinal de capacitância para obter uma primeira diferença;

subtrair o terceiro sinal de capacitância do primeiro sinal de capacitância para obter uma segunda diferença;

subtrair a primeira diferença da segunda diferença para obter um numerador; e,

dividir o numerador por um denominador, no qual o denominador inclui uma primeira soma dos segundo e quarto sinais de capacitância subtraída de uma segunda soma dos primeiro e terceiro sinais de capacitância.

16. Processo de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de a primeira soma ser adicionada à segunda soma para obter uma terceira soma, e o denominador incluir uma quarta soma de capacitâncias de linearização subtraída da terceira soma.

5 17. Processo de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de os quatro sinais de capacitância incluírem, cada um, um sinal principal e um sinal de capacitância parasita.

18. Processo para compensação de erro na medição de pressão diferencial com um sensor de pressão, cujo sensor tem um diafragma condutor e deflexionável, primeiro e segundo eletrodos sobre um lado do diafragma, e um
10 terceiro eletrodo sobre um outro lado do diafragma, no qual os três eletrodos são, cada um, acoplados separadamente ao diafragma para formar três capacitores, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

15 multiplicar um primeiro sinal de capacitância relacionado a um primeiro sinal elétrico no primeiro eletrodo por um terceiro sinal de capacitância relacionado a um terceiro sinal elétrico no terceiro eletrodo e por uma primeira constante para obter um primeiro valor;

20 dividir o primeiro valor por um segundo sinal de capacitância relacionado a um segundo sinal elétrico no segundo eletrodo para obter um segundo valor;

subtrair o segundo valor do terceiro sinal de capacitância para obter um quarto valor;

subtrair o quarto valor do primeiro sinal de capacitância para obter um numerador; e,

25 dividir o numerador pela soma do primeiro sinal de capacitância, terceiro sinal de capacitância e uma segunda constante.

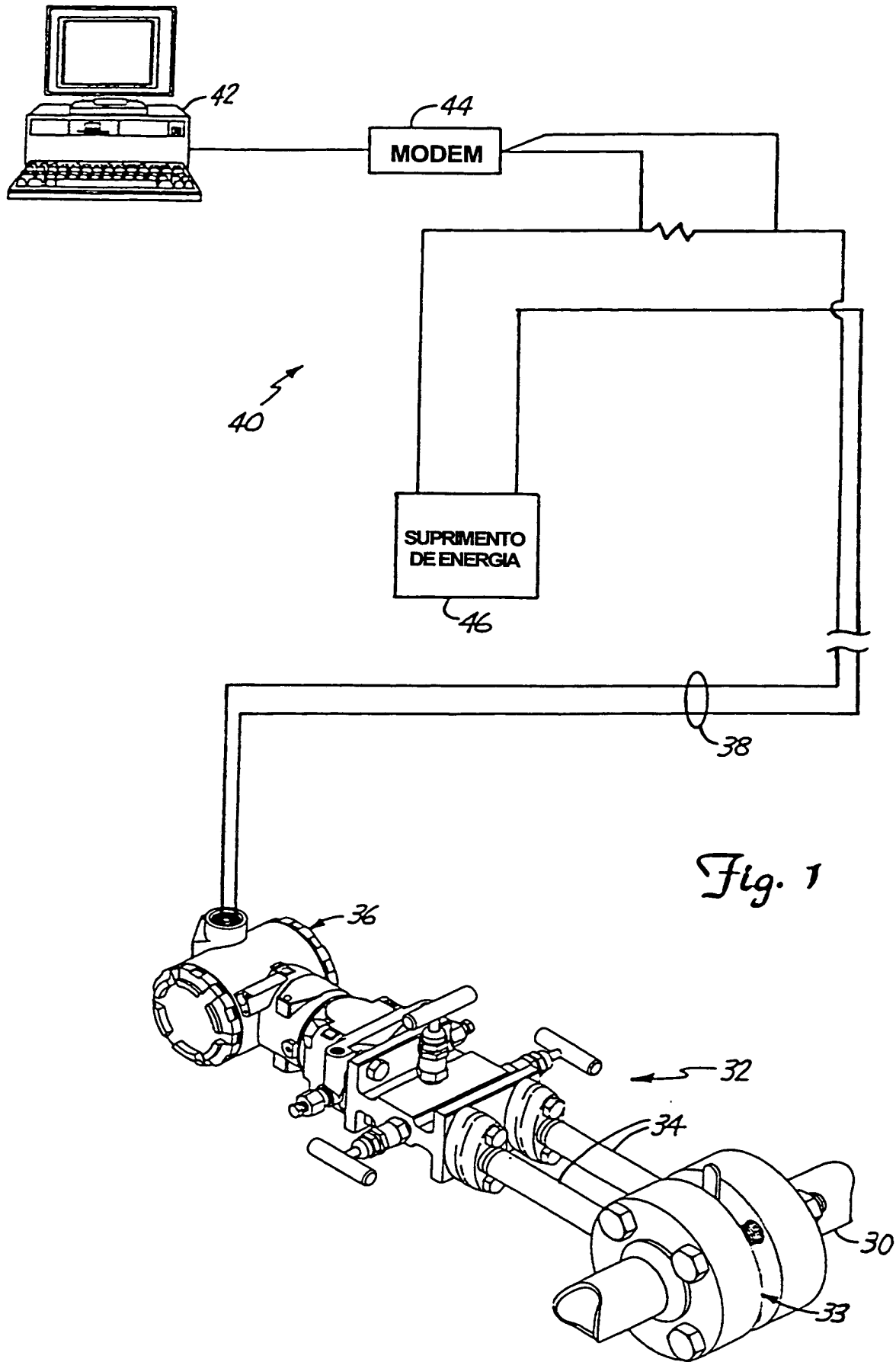


Fig. 1

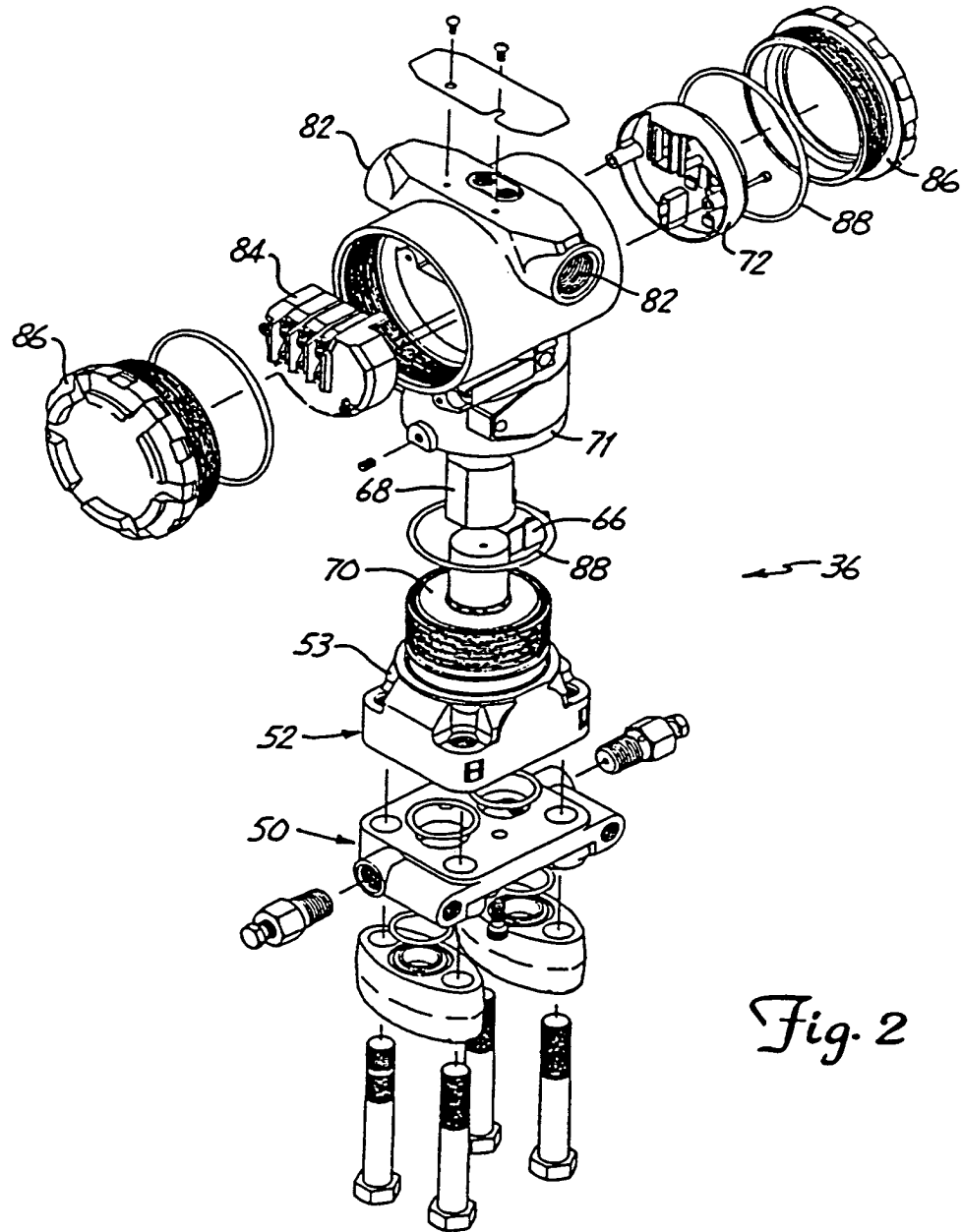


Fig. 2

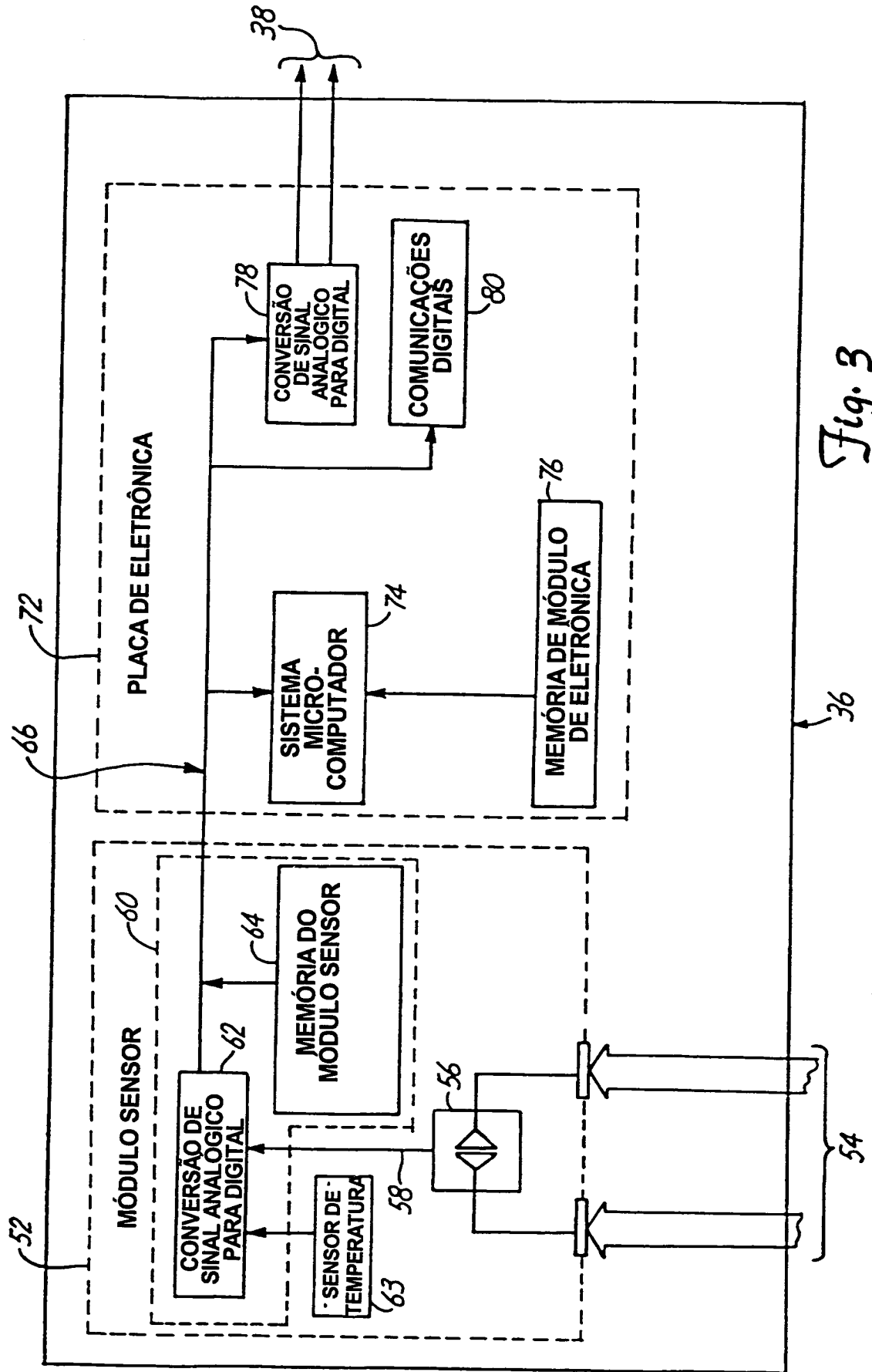
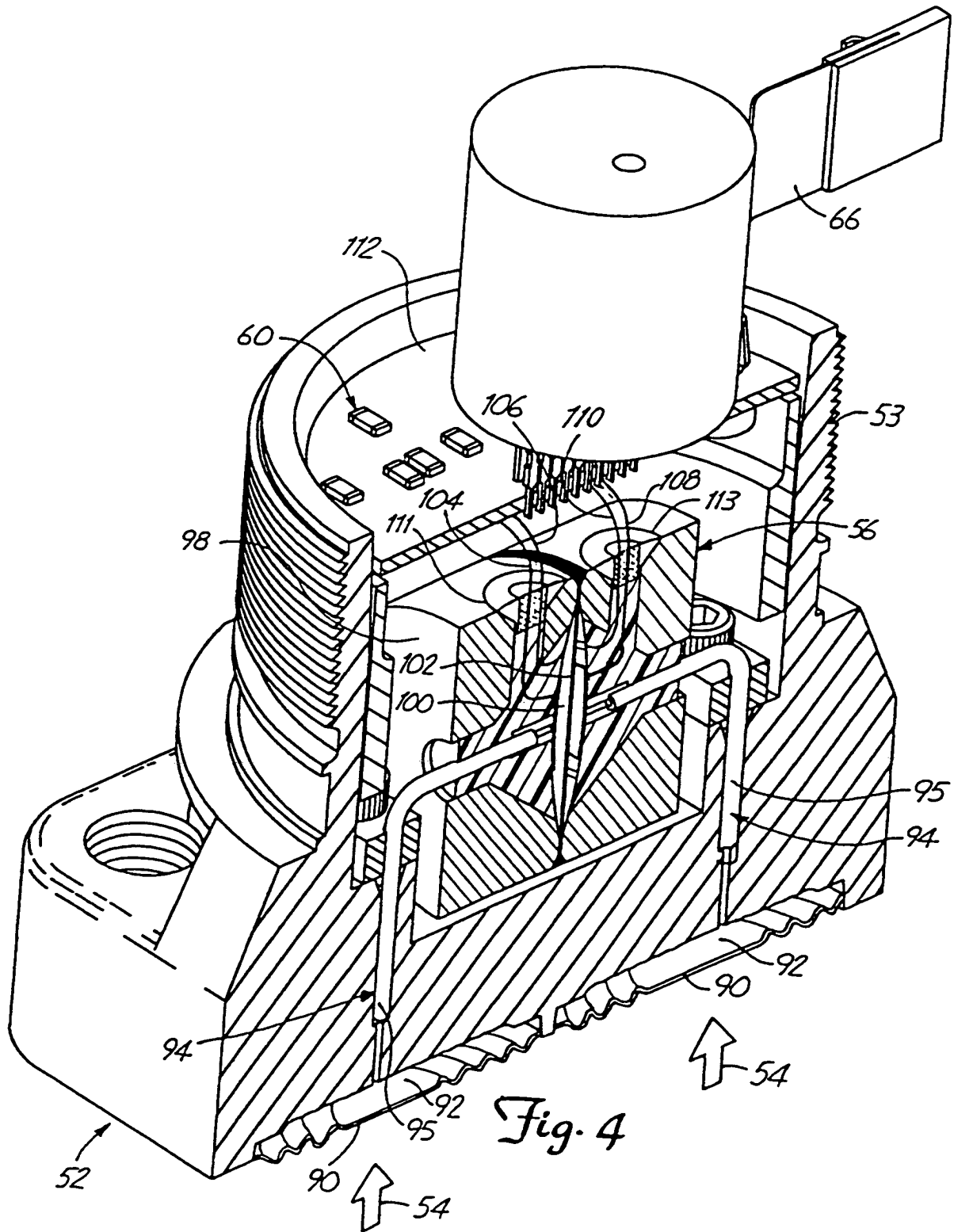
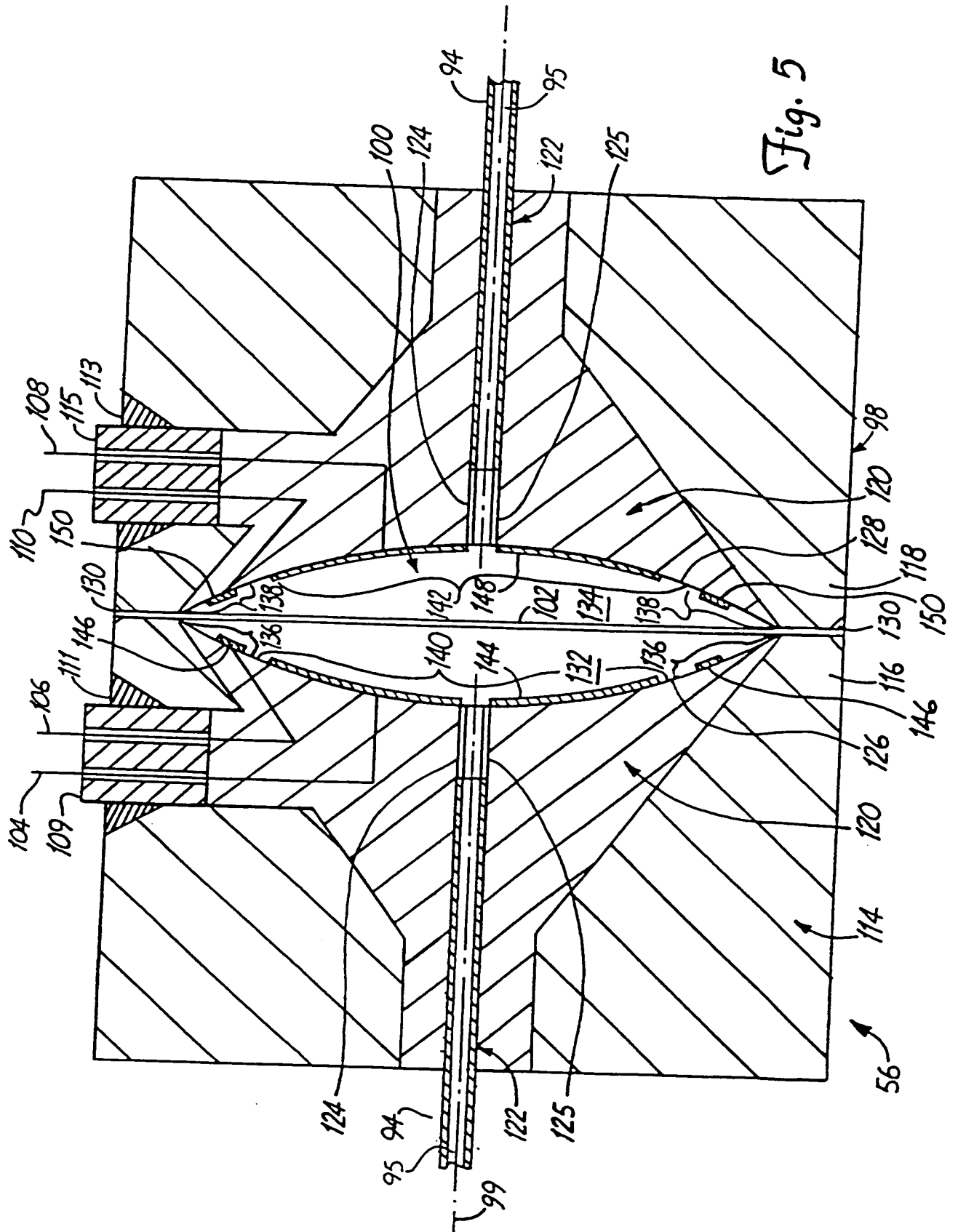
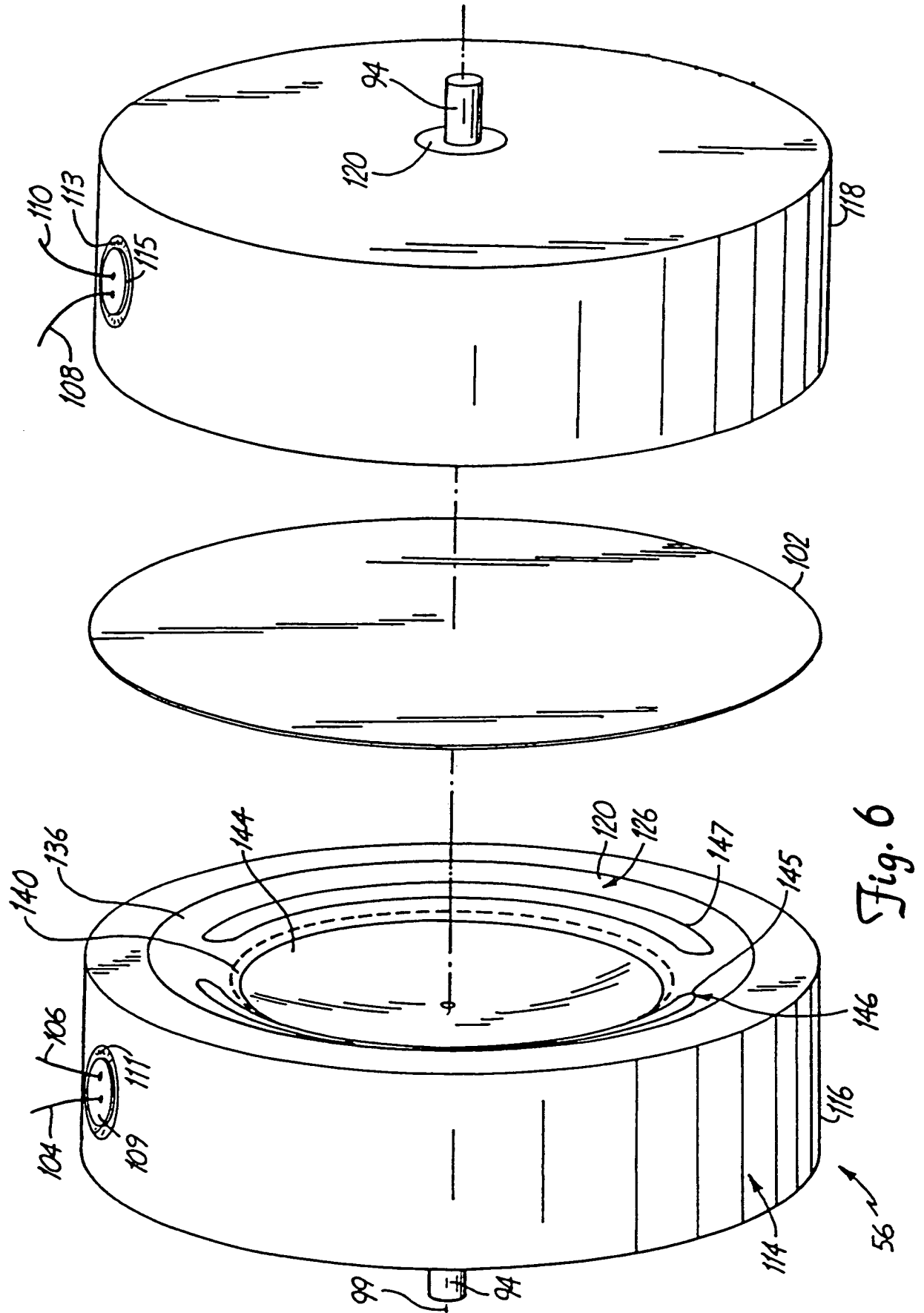


Fig. 3







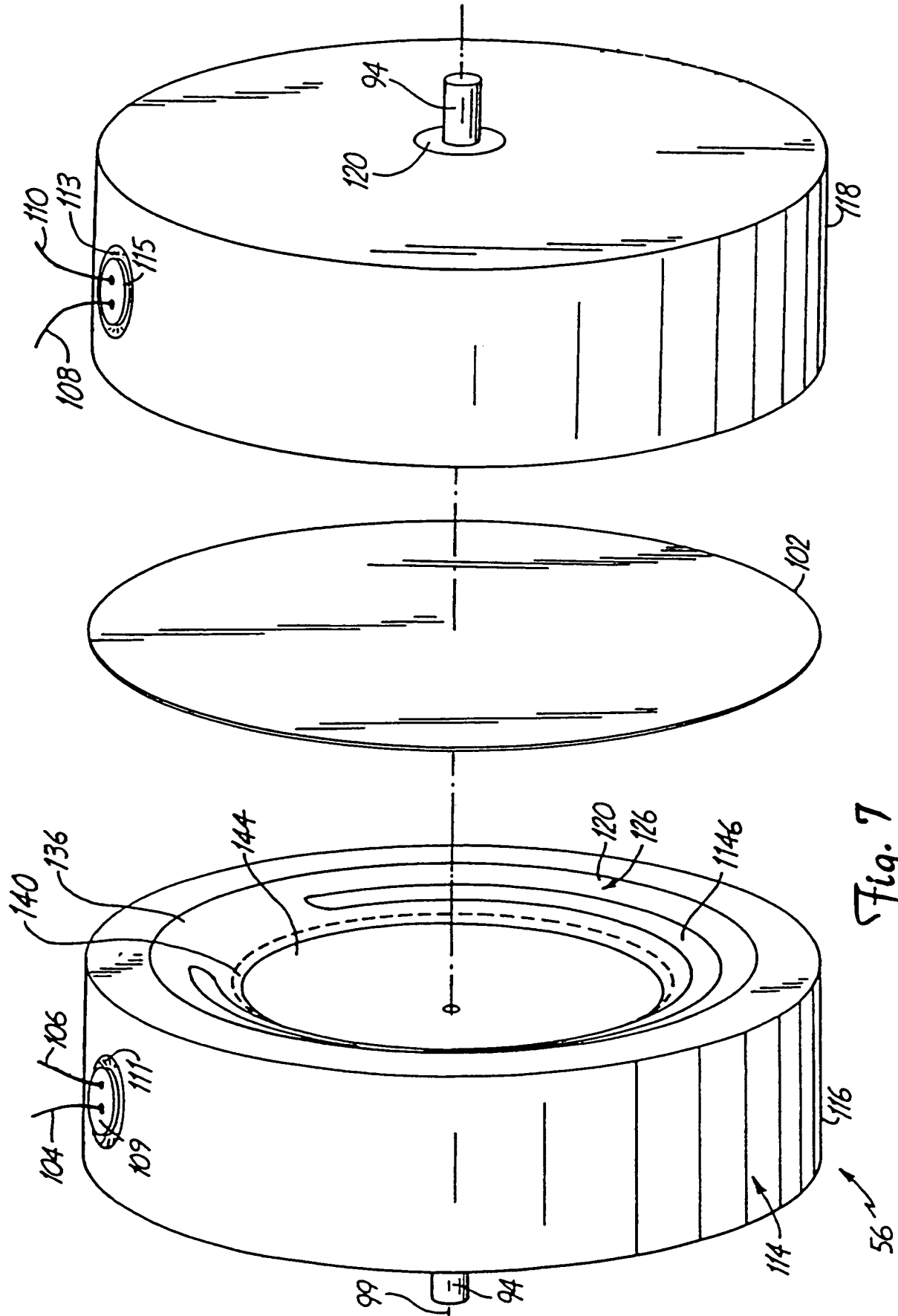


Fig. 7

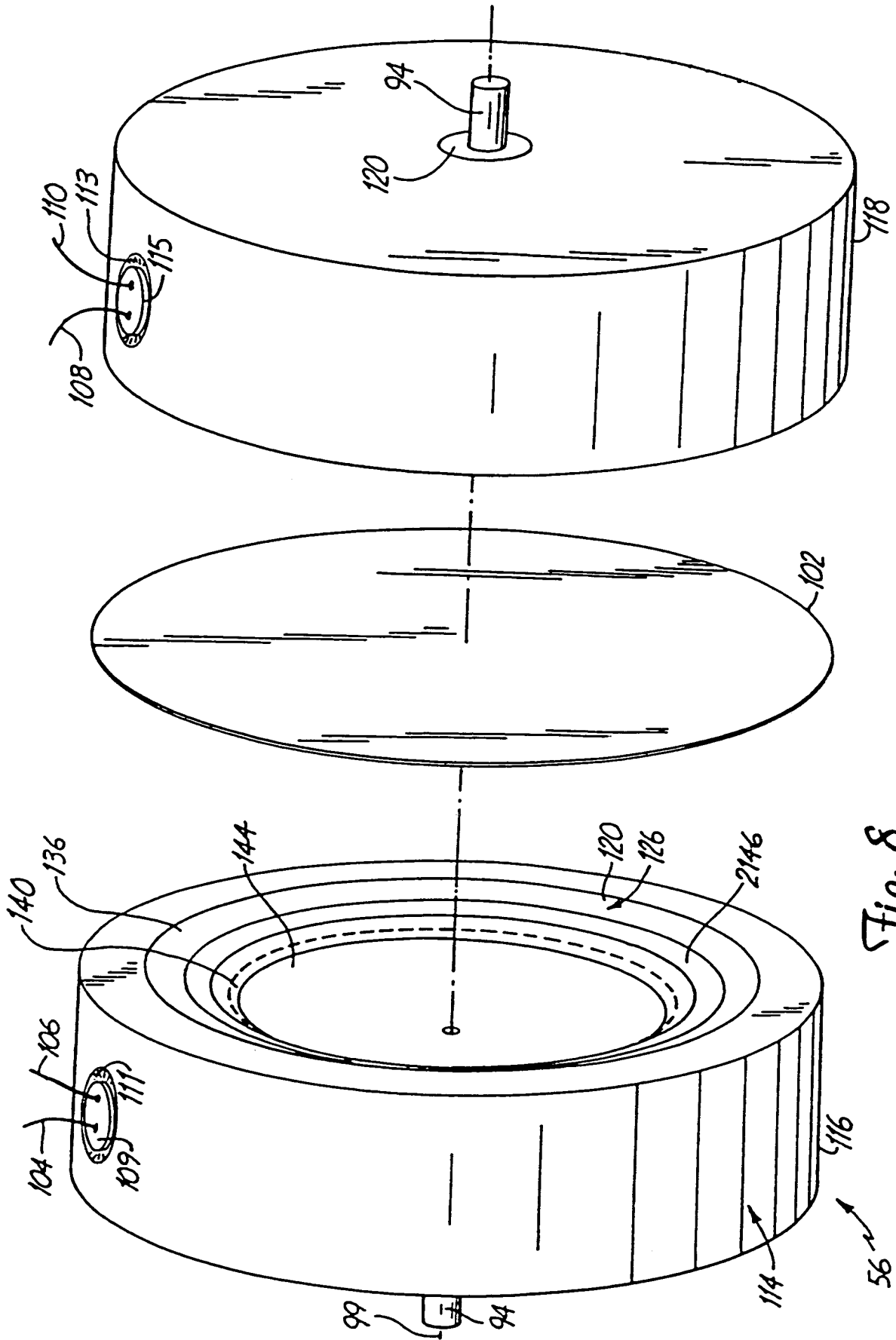


Fig. 8

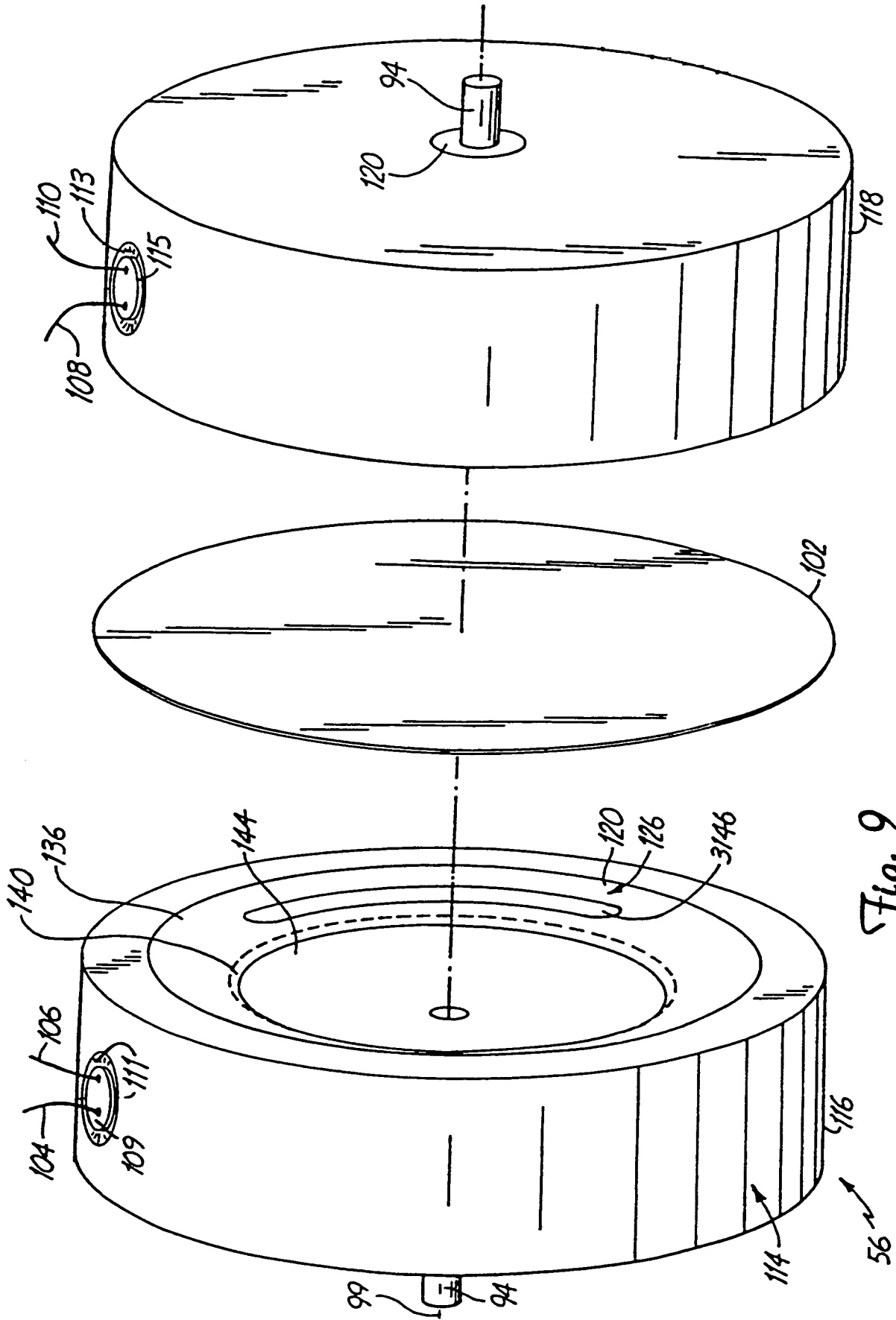


Fig. 9

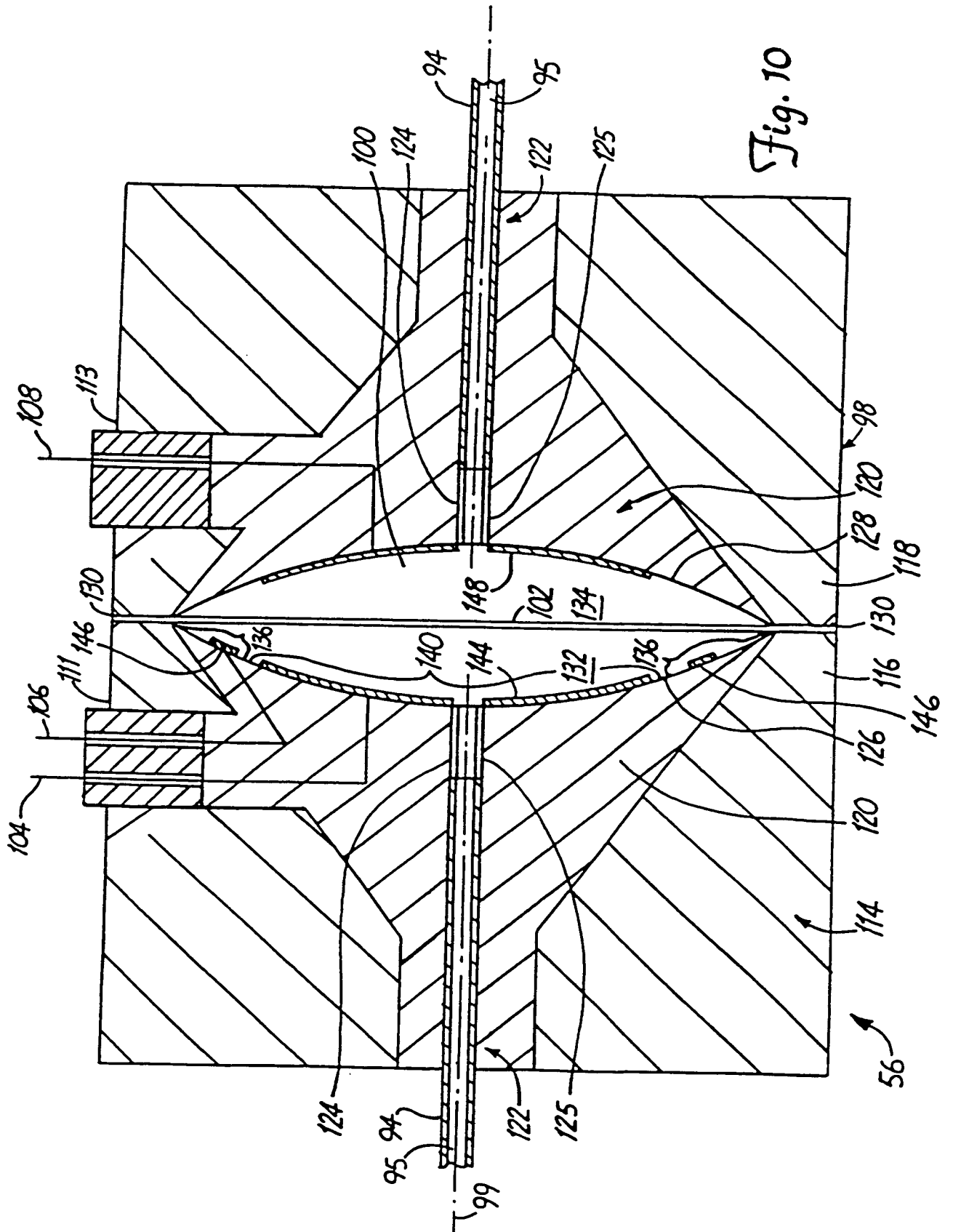


Fig. 10

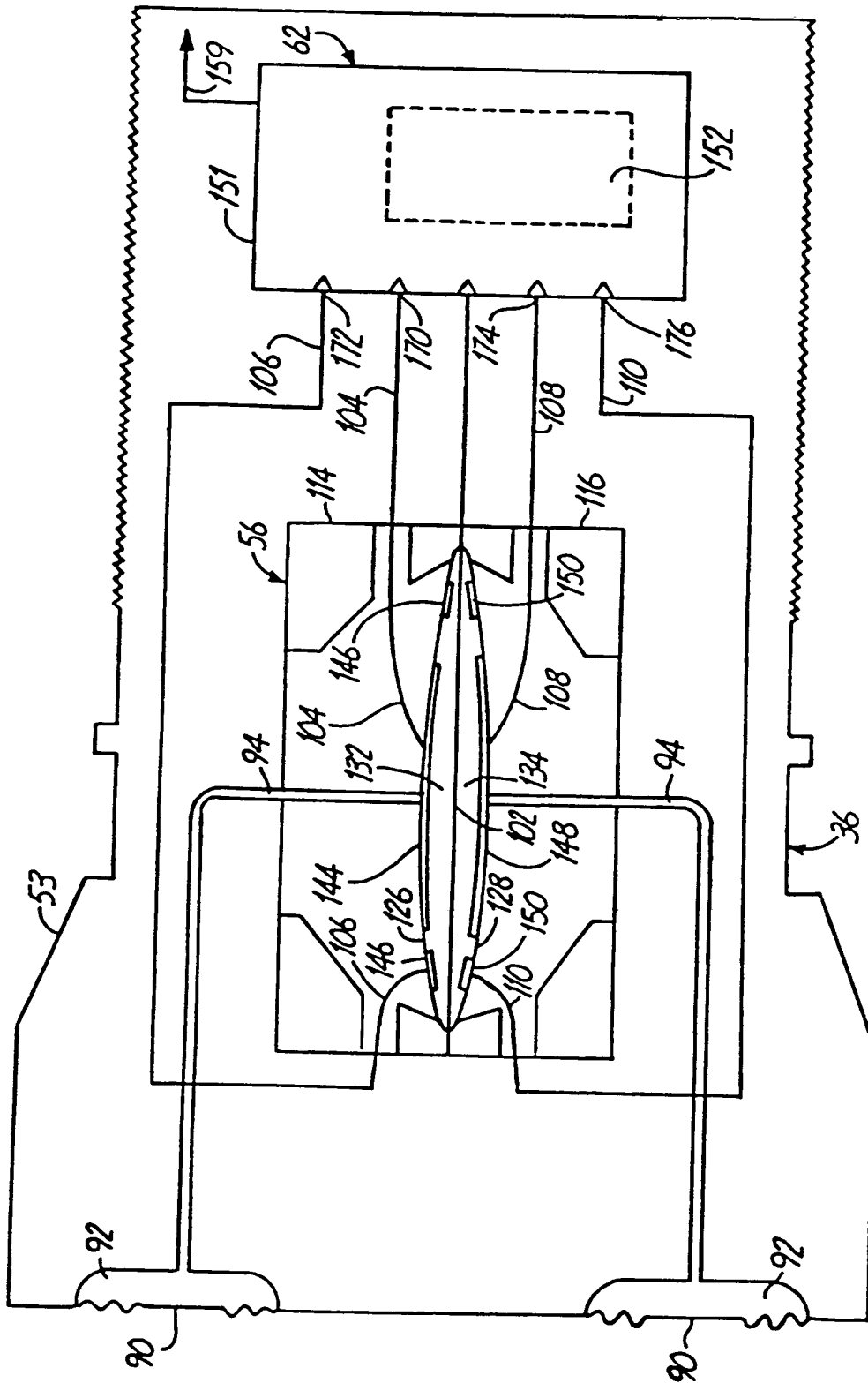


Fig. 11

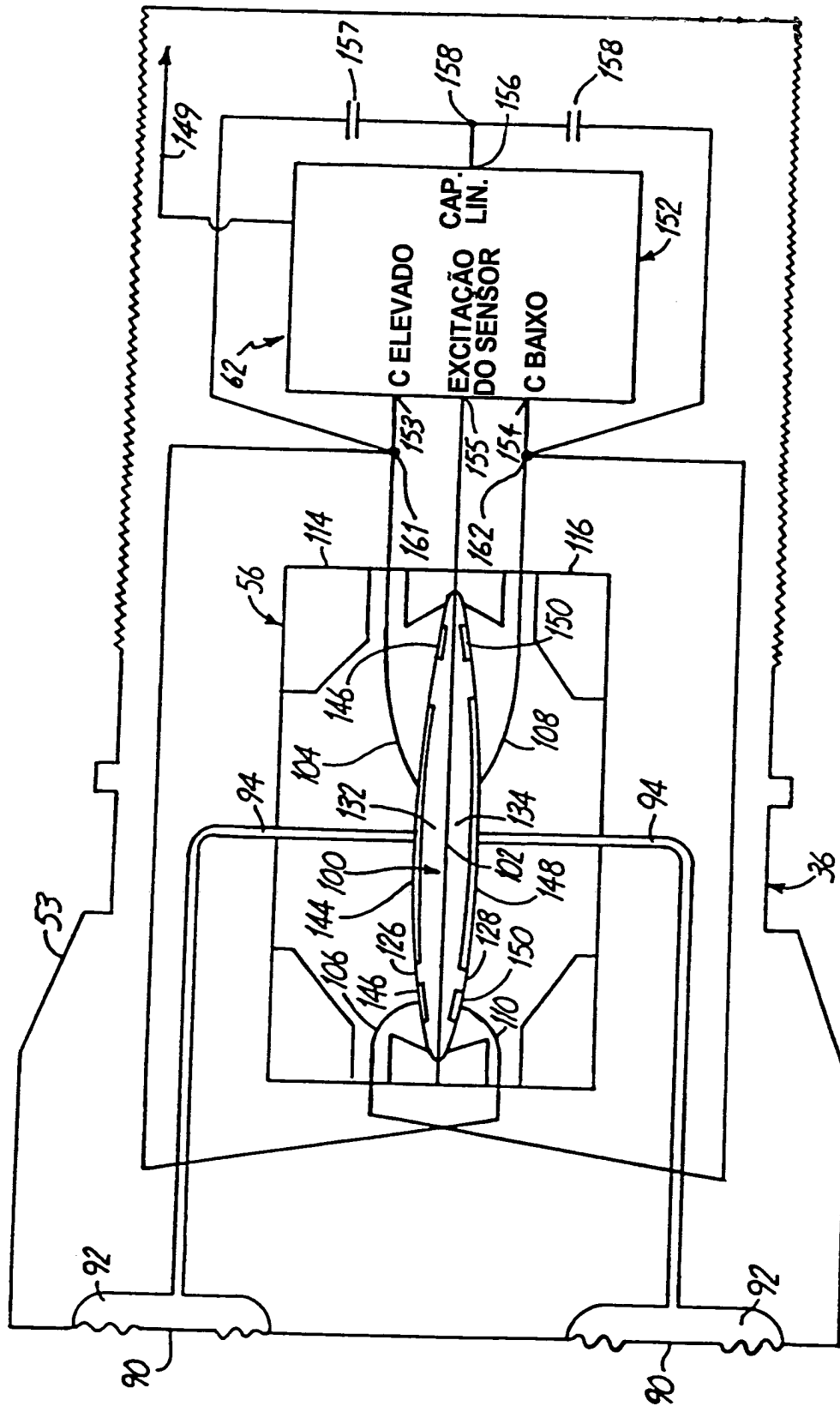


Fig. 12

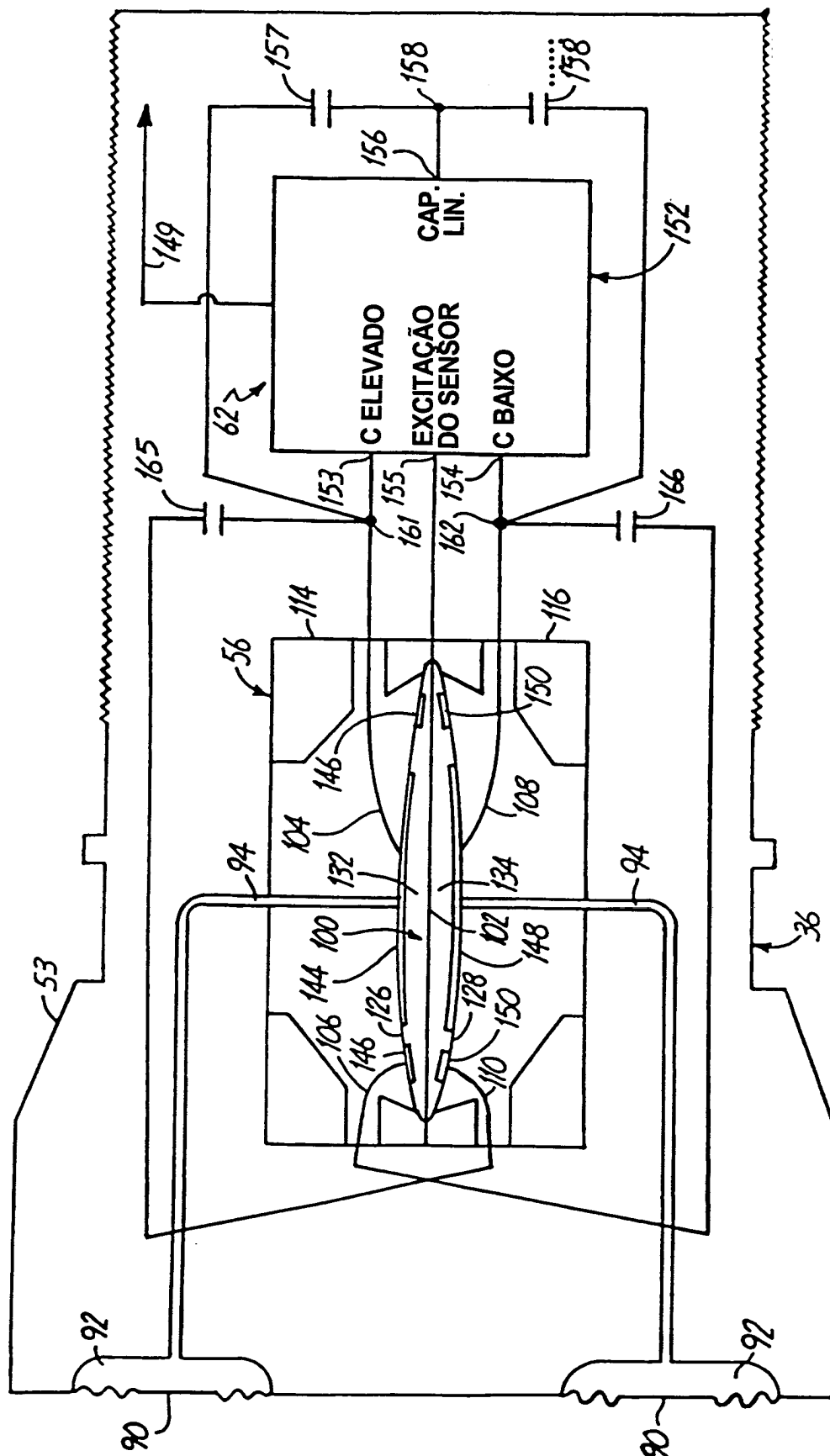


Fig. 13

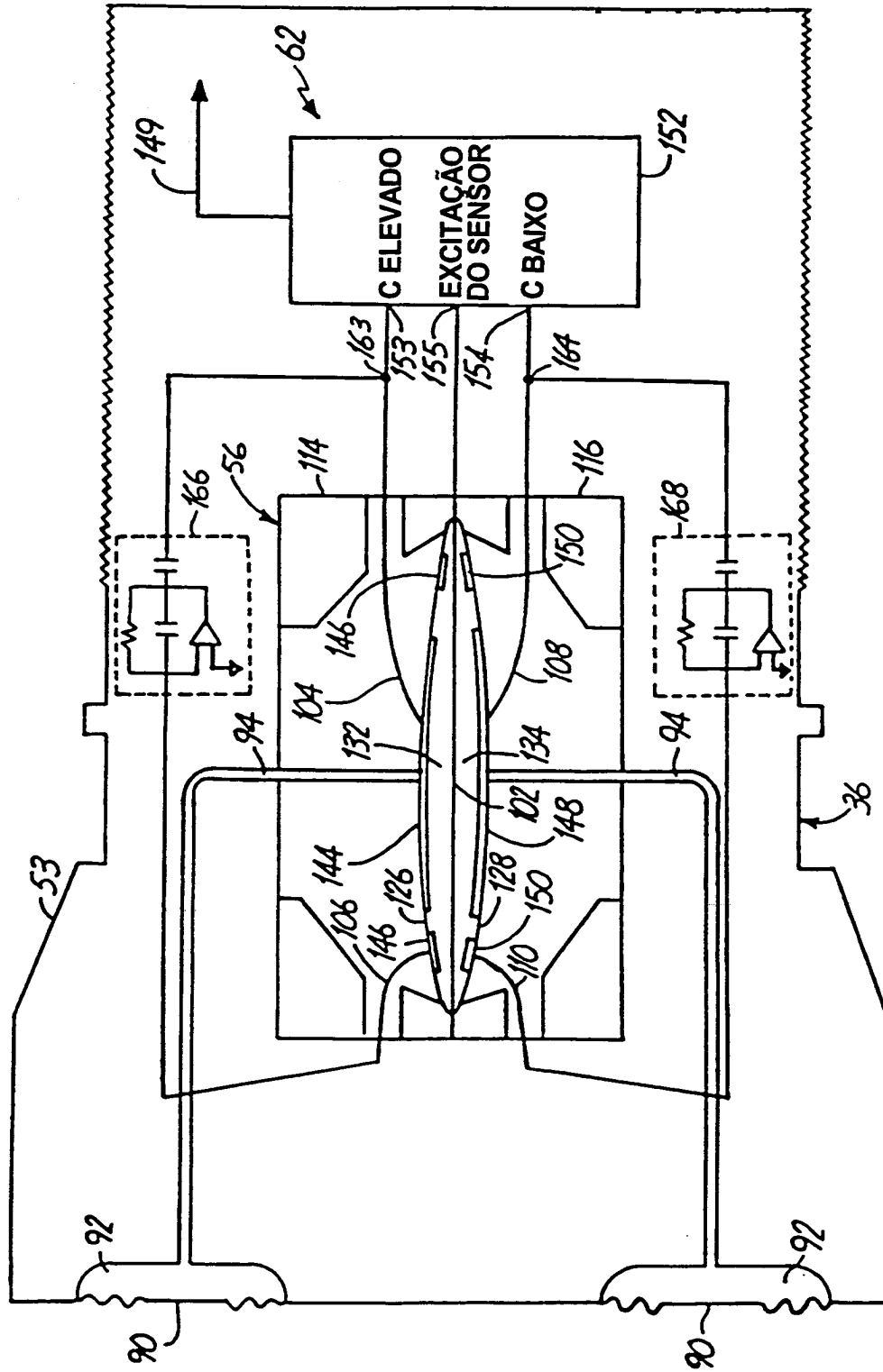


Fig. 14

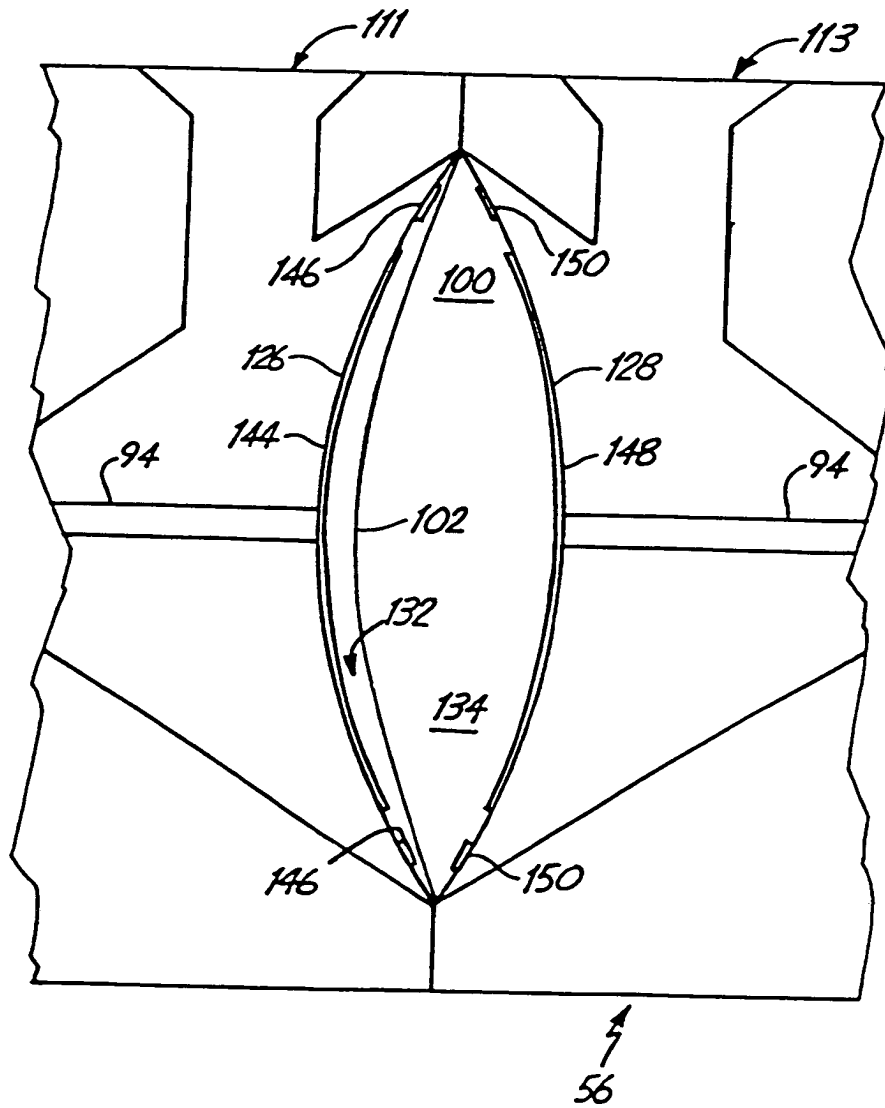
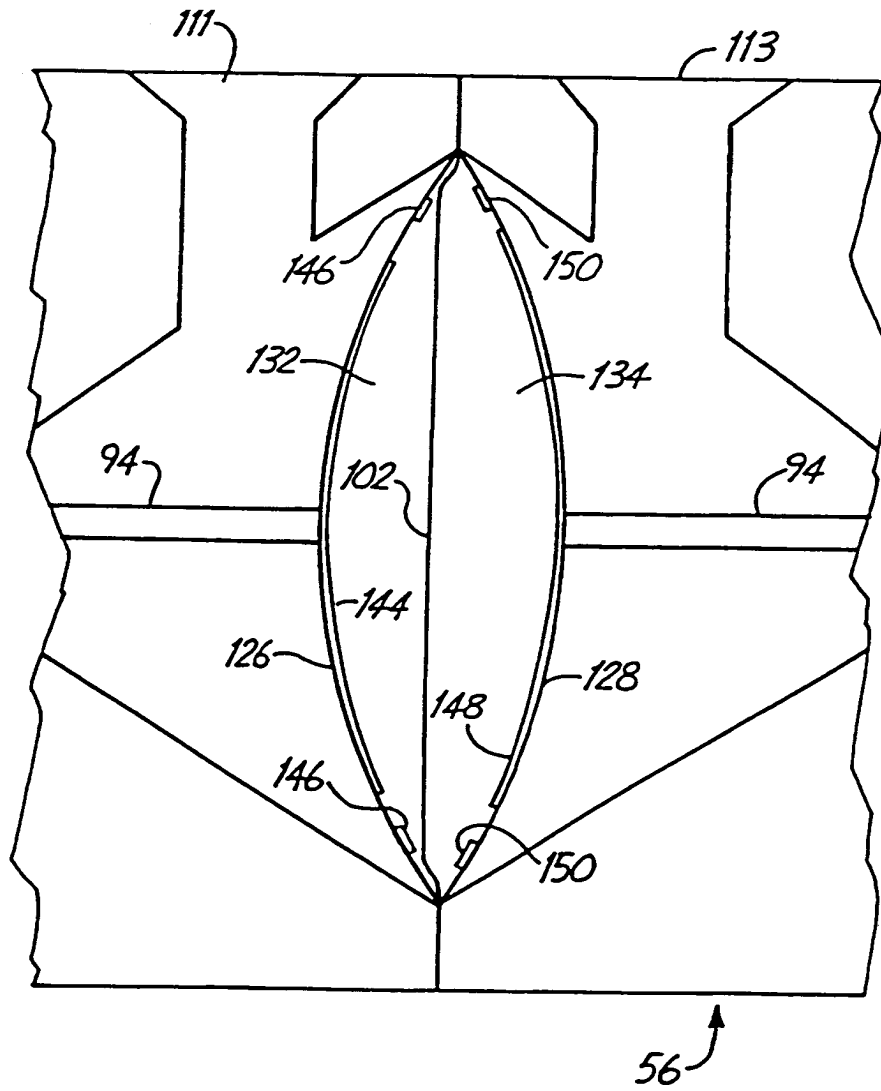


Fig. 16

*Fig. 17*

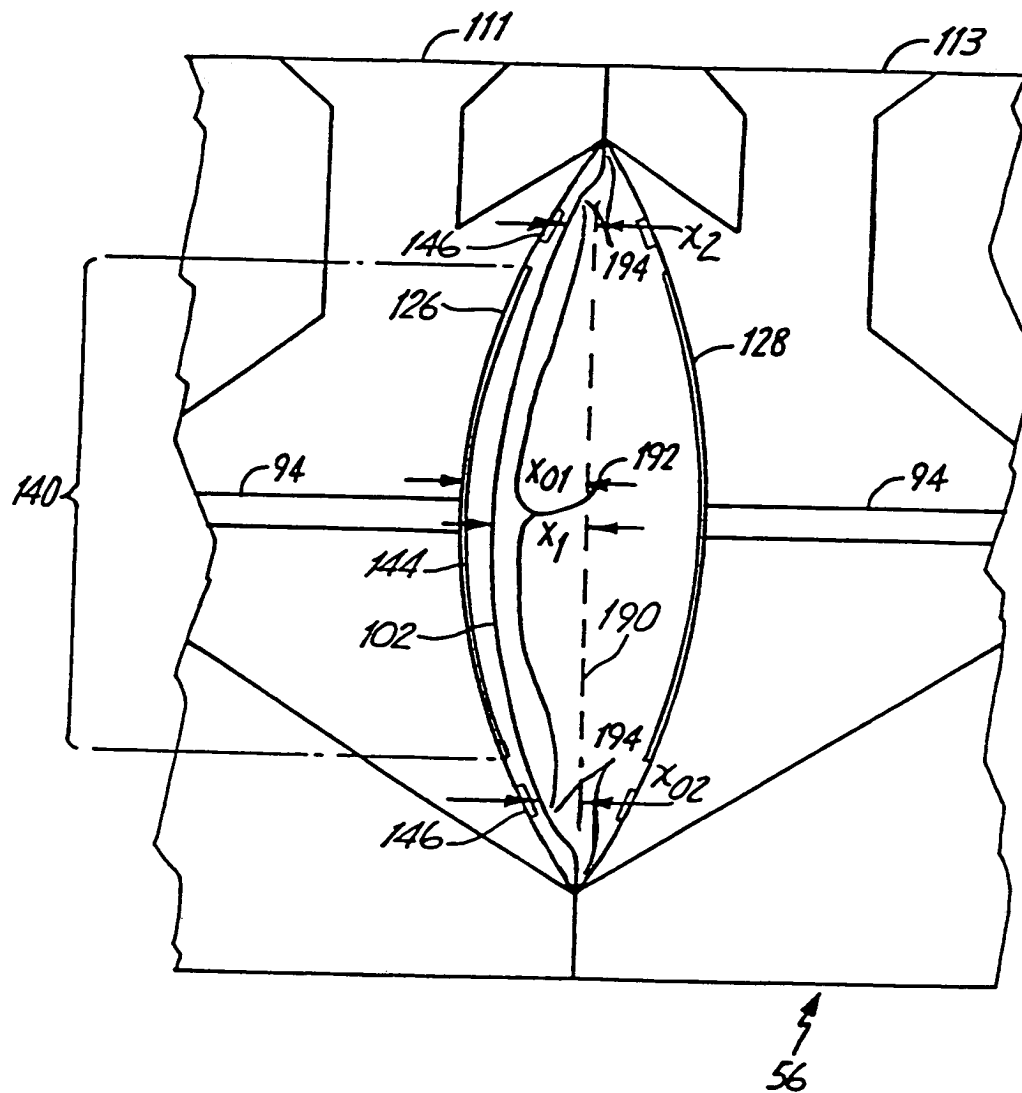


Fig. 19

RESUMO

“PROCESSOS PARA MEDIR PRESSÃO DIFERENCIAL, PARA
COMPENSAÇÃO DE ERRO NA MEDIÇÃO DE PRESSÃO
DIFERENCIAL COM UM SENSOR, E PARA COMPENSAÇÃO DE ERRO
5 NA MEDIÇÃO DE PRESSÃO DE PROCESSO COM UM TRANSMISSOR
DE MEDIÇÃO DE PROCESSO”

Um dispositivo e processo fornecem compensação de erro
melhorada na medição de pressão de processo. O dispositivo e processo são
capazes de compensar deformação de diafragma (deslocamento) e constantes
10 dielétricas variáveis presentes em um ambiente de campo de processo. O
sensor de pressão (56), cheio com um fluido de enchimento dielétrico (95)
inclui no mínimo três placas capacitadoras (144, 146, 148, 150) colocadas ao
redor de um diafragma (102). No mínimo duas placas capacitadoras (144, 146)
são colocadas sobre um lado de um diafragma condutor (102) e uma placa
15 capacitadora (148, 150) é colocada sobre o outro lado do diafragma (102). O
processo compensa ambos, o deslocamento do diafragma e a variância na
constante dielétrica do fluido de enchimento (95). Uma medição de pressão
diferencial compensada em erro é uma função da quantidade de deflexão do
diafragma detectada na região da borda (194) subtraída da quantidade da
20 deflexão do diafragma detectada na região central (140). Uma maneira de
medir a deflexão do diafragma é medir as mudanças em capacitâncias a partir
de dois capacitores de cada lado dos diafragma (102) e combinar estes
valores para alcançar uma saída compensada em erro representativa da
pressão diferencial aplicada.