República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1104088-2 B1

(22) Data do Depósito: 05/08/2011

(45) Data de Concessão: 13/10/2020

(54) Título: CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO

(51) Int.Cl.: G01F 1/66; G01F 1/74; G01P 5/24.

(30) Prioridade Unionista: 18/08/2010 US 12/858,886.

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY.

(72) Inventor(es): EDWARD RANDALL FURLONG.

(57) Resumo: CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO.Um conjunto de transdutor ultrassônico (2, 102) inclui uma extremidade proximal e uma extremidade distal oposta. O conjunto do transdutor (2, 102) inclui um alojamento externo (8) e um elemento gerador de sinal eletroacústico (18, 118) preso dentro do alojamento externo (8). O elemento gerador de sinal (18, 118) transmite um sinal ultrassônico a uma frequência característica ao longo de uma trajetória ultrassônica (20, 120) que é perpendicular a face do elemento gerador (18, 118). Um diafragma de isolamento (26, 126) é acoplado à extremidade proximal do alojamento externo (8). O diafragma de isolamento (26, 126) é fino relativo a um comprimento de onda característico do material do diafragma. Uma camada de transmissão fluídica (28, 128) é disposta entre o elemento gerador de sinal eletroacústico (18, 118) e o diafragma de isolamento (26, 126). Em uma realização, o diafragma de isolamento (26, 126) é a um ângulo relativo à face proximal do elemento gerador de' sinal eletroacústico (18, 118). Em outra realização, um medidor de fluxo (138) inclui o conjunto de transdutor ultrassônico(2, 102), e o diafragma de isolamento (26, 126) corresponde substancialmente ao contorno da passagem de fluxo (144) dentro do corpo do medidor de fluxo (142).

“CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO”

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção refere-se a transdutores ultrassônicos, e mais particularmente a um transdutor ultrassônico que tenha uma melhor precisão na medição da taxa de fluxo.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] Medidores de fluxo ultrassônico são usados para determinar a taxa de fluxo média de um tubo (*Vm*) de uma variedade de fluidos (por exemplo, líquidos, gases, multifásico, etc.). O conhecimento da taxa de fluxo do fluido pode permitir outras propriedades ou qualidades físicas do fluido a ser determinado. Por exemplo, em algumas aplicações de transferência de custódia, a taxa de fluxo pode ser usada para determinar o volume (*Q*) de um fluido (por exemplo, óleo ou gás) a ser transferido de um vendedor para um comprador através de um tubo, a fim de determinar os custos para a transação, em que o volume é igual à taxa de fluxo multiplicada pela área transversal (A) do tubo.

[003] Um transdutor ultrassônico convencional tipicamente inclui um alojamento cilíndrico com o transdutor ultrassônico aposto dentro de uma extremidade (geralmente a ponta) e um pacote de eletrônica montado dentro da extremidade oposta. Um material de amortecimento acústico tipicamente separa os dois a fim de prevenir que ondas sonoras reverberem dentro do alojamento. O cristal do transdutor é frágil e, portanto, não é normalmente exposto ao meio a ser calculado. Portanto, a ponta do alojamento é tipicamente hermeticamente selada a fim de prevenir que a umidade e contaminantes de entrarem na cavidade interior em que o transdutor é localizado. Dentro da cavidade interior, o transdutor limita a ponta e propaga um sinal ultrassônico através do material da ponta para o meio a ser calculado. A face plana do cristal do transdutor é perpendicular à (por exemplo, normal a) direção da

propagação da onda ultrassônica. Para aplicações em que o transdutor é utilizado como um medidor de fluxo, o transdutor ultrassônico é então montado através de uma abertura de acesso no condutor do fluido.

[004] Uma desvantagem observada para essa abordagem é que o sinal ultrassônico deve primeiro passar através do material da ponta do transdutor antes de entrar no meio para ser calculado. O material da ponta pode ser bastante espesso para resistir à pressão do fluido no condutor, que em um exemplo é milhares de libras por polegadas quadradas (psi). O material de ponta espesso pode absorver ou, caso contrário, atenuar o sinal ultrassônico, causando um desempenho degradado como uma proporção sinal-para-ruído diminuída. Além disso, devido à espessura da ponta, a ponta da sonda ou face deve ser perpendicular à direção da propagação. Caso contrário, a espessura do material da ponta irá inclinar a trajetória da onda de propagação, levando a erros de medição.

[005] Em um tipo de medidor de fluxo ultrassônico que emprega a medição do tempo de trânsito do fluxo, um ou mais pares de transdutor ultrassônicos podem ser montados em um tubo (ou compressor fixado em uma tubulação). Cada par pode conter transdutores localizados à montante e à jusante entre si formando uma trajetória ultrassônica entre os mesmos. Cada transdutor, quando energizado, transmite um sinal ultrassônico (por exemplo, uma onda sonora) ao longo de uma trajetória ultrassônica, através do fluido corrente que é recebido por e detectado por outro transdutor. A velocidade da trajetória (ou seja, velocidade de trajetória ou corda (Vp)) do fluido, da qual se obteve a média ao longo de uma trajetória ultrassônica, pode ser determinada como uma função do diferencial entre (i) o tempo de trânsito de um sinal ultrassônico viajando ao longo da trajetória ultrassônica a partir do transdutor à jusante em direção à montante para o transdutor à montante contra a direção do fluxo do fluido, e (ii) o tempo de trânsito de um sinal ultrassônico viajando ao

longo da trajetória ultrassônica a partir do transdutor à montante em direção à jusante para o transdutor à jusante com a direção do fluxo do fluido.

[006] Um tipo de medidor de tempo de trânsito do fluxo usado em aplicações industriais e comerciais é um medidor de fluxo de gases queimados, que mede a taxa de fluxo em um gás combustível que é ventilado para a atmosfera e subsequentemente queimado. Gases combustíveis são subprodutos comuns em operações de refinaria de óleo, perfuração e exploração de óleo, e processos industriais, por exemplo. A maneira mais segura de se dispor do combustível gás é ventilar o mesmo para a atmosfera e acendê-lo. Entretanto, regulamentações ambientais algumas vezes requerem que o operador de gases queimados documente a quantidade de gás combustível queimado na atmosfera após um dado período de tempo. O medidor de fluxo de gases queimados permite que o operador meça e documente o fluxo de gás a fim de manter-se em conformidade com as regulamentações.

[007] A medição do fluxo ultrassônico de gases queimados tipicamente utiliza pelo menos um par de transdutores conforme descrito acima, sendo cada transdutor ajustado dentro a sonda. Como os gases queimados tipicamente fluem através do tubo em uma velocidade muito alta (por exemplo, 150 m/s), medições precisas podem ser difíceis se as sondas estão muito afastadas, como pode ser o caso em tubos com grandes diâmetros. Portanto, em algumas aplicações cada sonda de transdutor projeta-se no tubo de gases queimados aproximadamente um quarto do diâmetro do tubo. Cada sonda que se projeta dentro do tubo reduz a distância que separa o par de sondas, o que permite uma medição mais precisa.

[008] Muitos problemas surgem com essa abordagem. Um problema notado é que as sondas são obstruções grandes e presentes no fluxo. Devido às forças dinâmicas do fluxo de alta velocidade, as sondas

podem começar a tremer ou vibrar. A vibração pode induzir a estresse por fadiga. Além disso, a velocidade do fluido pode tender a curvar a sonda, seja elasticamente ou permanentemente. Em qualquer um dos casos, a sonda pode eventualmente falhar.

[009] Outro tipo de medidor de tempo de trânsito do fluxo é um medidor de fluxo multi-fase, que mede a taxa de fluxo em tubos que contem mais de uma fase, como líquida e sólida. Um exemplo de um fluxo multi-fase pode ser encontrado em operações de perfuração de óleo, em que partículas de areia são misturadas com a corrente líquida de óleo no tubo. As partículas de areia tendem a interferir com as ondas ultrassônicas que são transmitidas entre sensores. Uma solução para esse problema é inserir as sondas no tubo a fim de minimizar a distância entre os transdutores, similar à aplicação dos gases queimados. Uma desvantagem a esta abordagem é que as partículas de areia erodem as pontas da sonda e, com tempo, causam a falha da sonda.

[010] Outro tipo de medidor de fluxo é um medidor de fluxo de transferência custodiada, o que necessita de um fluxo de medição muito preciso. O medidor de fluxos de transferência custodiada muitas vezes mede fluidos caros (e às vezes voláteis) como a gasolina. Regulamentações de segurança proíbem obstruções no tubo de trajetória de fluxo (como as sondas) o que pode representar um perigo de ignição. Portanto, os transdutores são tipicamente montados em reentrâncias no tubo. Devido à geometria envolvida (por exemplo, a montagem cruzada à montante e à jusante) e a necessidade de que a face da sonda seja perpendicular à propagação da onda, o transdutor montado em reentrância irá formar reentrâncias ou cavidades na parede condutora. Uma desvantagem a esta abordagem é que o medidor de fluxos com transdutores em reentrância, como aqueles encontrados em transferência custodiada líquida ou em medidor de fluxos multifásico, pode experimentar erosão e bloqueio nas cavidades formadas pela reentrância. Em algumas

configurações, a velocidade de fluxo passando sobre a reentrância forma redemoinhos que, se partículas sólidas como areia estiverem presentes no fluxo, erode a cavidade e o condutor. Em outras configurações, partículas sólidas podem se acomodar nas cavidades e obstruir a trajetória ultrassônica, levando a leituras errôneas.

[011] Seria vantajoso melhorar a precisão da medição da taxa de fluxo sem inserir a sonda de transdutor na corrente do fluido, ou sem rebaixar a sonda a partir da parede interior do condutor do fluido.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[012] Em um aspecto da invenção, um transdutor ultrassônico é munido de forma a melhorar a precisão ao aumentar a relação sinal-para-ruído. O conjunto do transdutor inclui uma extremidade proximal orientada para um meio para ser calculado, e uma extremidade distal oposta. O conjunto do transdutor inclui um alojamento externo e um pacote de eletrônica acoplado à extremidade distal do alojamento externo. Um elemento gerador de sinal eletroacústico é preso dentro do alojamento externo. O elemento gerador transmite um sinal ultrassônico em uma frequência característica ao longo de uma trajetória ultrassônica que é perpendicular à face do elemento gerador. Um diafragma de isolamento é acoplado na extremidade proximal do alojamento externo. O diafragma de isolamento é fino relativo a um comprimento de onda característico do material do diafragma. Uma camada de transmissão fluídica é disposta entre o elemento gerador de sinal eletroacústico e o diafragma de isolamento.

[013] Em outro aspecto da invenção, um medidor de fluxo é munido de um corpo de medidor de fluxo com uma passagem de fluxo através do mesmo. O corpo do medidor de fluxo inclui uma abertura que se estende de uma superfície externa para a passagem do fluxo. Um conjunto do transdutor é disposto na abertura. O conjunto do transdutor inclui um alojamento externo,

um elemento gerador de sinal eletroacústico preso dentro do alojamento externo, um diafragma de isolamento acoplado a uma extremidade proximal do alojamento externo, e uma camada de transmissão fluídica disposta entre o elemento gerador de sinal eletroacústico e o diafragma de isolamento. O diafragma de isolamento corresponde substancialmente ao contorno da passagem do fluxo no corpo do medidor de fluxo, e uma espessura do diafragma de isolamento é pelo menos uma ordem de magnitude menor do que um comprimento de onda característico do material do diafragma.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[014] De maneira que as feições da invenção possam ser entendidas, uma descrição detalhada da invenção pode ser tida remetendo-se a certas realizações, algumas da quais são ilustradas nos desenhos que acompanham. Deve ser notado, entretanto, que os desenhos ilustram somente certas realizações desta invenção e, portanto não devem ser considerados como limitantes deste escopo, pois o escopo da invenção abrange outras realizações igualmente eficazes. Os desenhos não estão necessariamente em escala, à ênfase é geralmente posta sobre ilustrar as feições de certas realizações da invenção. Assim, para maior entendimento da invenção, referências podem ser feitas para as seguintes descrições detalhadas, lidas em ligação aos desenhos nas quais:

A FIG. 1 é uma seção transversal esquemática de um conjunto do transdutor de acordo com uma realização exemplar da invenção;

A FIG. 2 é uma visão em perspectiva de um medidor de fluxo de transferência custodiada utilizando um conjunto do transdutor de acordo com outra realização da invenção exemplar; e

A FIG. 3 é uma visão esquemática da seção transversal do medidor de fluxo de transferência custodiada e do conjunto do transdutor da FIG. 2.

DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO

[015] Referindo-se a FIG. 1, que mostra uma seção transversal esquemática de um conjunto do transdutor de acordo com uma realização da invenção exemplar, um conjunto de transdutor ultrassônico 2 inclui uma extremidade proximal 4 orientada para um meio a ser calculado e uma extremidade distal oposta 6. O conjunto do transdutor 2 ainda inclui um alojamento externo 8 que pode ser em formato cilíndrico. O alojamento externo 8 do conjunto do transdutor 2 pode ser metálico, por exemplo, alumínio, aço inoxidável ou titânio, ou pode ser plástico. Se for plástico, o mesmo é preferencialmente protegido eletricamente na parte interna. Um tampa da extremidade 10 presa à extremidade distal 6 do alojamento externo 8 inclui um orifício rosqueado 12 para fixar de maneira removível um pacote de eletrônica 14 no conjunto do transdutor 2. Por exemplo, o alojamento externo 8 e a tampa da extremidade 10 podem ser fabricados em aço inoxidável e soldados em feixes de elétrons para formar uma construção unitária.

[016] Dentro do alojamento 8, um condutor elétrico 16 leva sinais elétricos do pacote de eletrônica 14 para um elemento gerador de sinal eletroacústico 18, que na realização divulgada é um cristal piezoelétrico. O cristal em formato de pastilha 18 transmite e recebe sinais ultrassônicos ao longo de uma trajetória ultrassônica 20 perpendicular à face planar do cristal 18. A transmissão de sinais ultrassônicos é responsivo a uma voltagem aplicada no cristal 18, enquanto a voltagem é gerada no cristal 18 ao receber sinais ultrassônicos.

[017] O elemento gerador de sinal eletroacústico 18 pode alternativamente incluir um tipo conhecido como transdutor ultrassônico microusinado (MUTs), que pode ser de variedade capacitiva (cMUT) ou piezoelétrico (pMUT). cMUTs são pequenos dispositivos do tipo diafragma com eletrodos que convertem a vibração sonora de um sinal ultrassom recebido em

uma capacitância modulada. Para transmissão, a carga capacitiva é modulada para vibrar o diafragma do dispositivo e desta forma transmitir uma onda sonora.

[018] O conjunto do transdutor 2 pode ainda incluir um composto amortecimento acústico 22 disposto no lado de trás do elemento gerador de sinal eletroacústico 18. O composto amortecimento acústico 22 minimiza a reverberação do sinal do ultrassom dentro da câmara interior 24 do conjunto do transdutor 2, aumentando assim o desempenho do transdutor. O composto amortecimento acústico 22 pode ser composto de epóxi carregado com tungstênio, ou grafite. Em algumas construções, o composto amortecimento acústico 22 pode servir como um amortecedor para isolar componentes internos delicados de extremos ambientais, como aplicações em altas temperaturas.

[019] O conjunto do transdutor 2 ainda inclui um diafragma de isolamento 26 acoplado à extremidade proximal 4 do alojamento externo 8. Em um exemplo, o acoplamento é implementado por soldagem. O diafragma 26 isola o meio a ser calculado, assim como o fluxo de fluido, de componentes internos do transdutor. Em algumas aplicações de medição de fluxo de fluido, a pressão do fluido pode ser milhares de libras por polegadas quadradas. Portanto, transdutores ultrassônicos do estado da técnica tipicamente são fabricados de metais de alta resistência como o aço inoxidável ou titânio, e o diafragma com espessura tipicamente calculada de 0,080 a 0,100 polegadas para resistir o grande diferencial de pressão.

[020] Em contraste, o diafragma de isolamento 26 do conjunto do transdutor divulgado 2 é bastante fino. A espessura mínima do diafragma de isolamento 26 pode ser limitada somente por praticabilidades de produção. Assim, em um exemplo, a espessura do diafragma de isolamento 26 é de 0,02 a 0,50 milímetros (0,001 a 0,020 polegadas). Em outro exemplo, a

espessura do diafragma de isolamento 26 pode ser na faixa de 0,07 a 0,13 milímetros (0,003 a 0,005 polegadas). Materiais Candidatos para o diafragma de isolamento 26 incluem folhas metálicas, como aço inoxidável, titânio ou alumínio. A espessura máxima do diafragma de isolamento 26 é limitada pelo comprimento de onda característica do material do diafragma. Em uma realização, a espessura do diafragma 26 pode ser fino relativo ao comprimento de onda característico do material do diafragma, de forma que a energia acústica a ser transmitida e recebida pelo elemento gerador de sinal eletroacústico 18 não seja atenuada ou refletida de volta ao alojamento ou fora em um ângulo. O comprimento de onda característico λc do material do diafragma de isolamento pode ser definido como a distância uma configuração de onda sonora viaja entre seus picos, ou

$$\lambda_c = {}^{c}\!/_{f} \qquad (1),$$

em que *c* é a velocidade sonora do material e *f* é a frequência característica do sinal ultrassônico. Em um exemplo, a velocidade sonora em alumínio é de 5960 medidores por segundo e a frequência do pulso ultrassônico é de 1 MHz. O comprimento de onda característico é então 5,969 milímetros (0,235 polegadas). A espessura do diafragma de isolamento 26 pode ser expressa como uma relação ou fração do comprimento de onda característico. Em um exemplo, a espessura é um décimo, ou uma ordem de magnitude, menor do que o comprimento de onda característico. Em outro exemplo, a espessura é um centésimo, ou duas ordens de magnitude, menores do que o comprimento de onda característico. Em qualquer evento, a espessura do diafragma de isolamento 26 é muito menor do que o comprimento de onda característico.

[021] A fim de eliminar o diferencial da pressão sobre o diafragma de isolamento 26, a camada de transmissão fluídica 28 é disposta entre o lado distal do diafragma de isolamento 26 e a face proximal do elemento gerador de sinal eletroacústico 18. A camada de transmissão fluídica

28 pode ser líquido ou gel, mas não sólido. Por exemplo, se a camada de transmissão fluídica 28 é líquida, candidatos líquidos podem incluir água, óleo, óleo de silicone, ou glicerol. Se a camada de transmissão fluídica 28 é gel, géis candidatos podem incluir vaselina, graxa, gel polimérico, gel poliuretano, ou gel de silicone. A camada de transmissão fluídica 28 pode encher todo o interior da câmara interior 24 do conjunto do transdutor 2.

[022] A camada de transmissão fluídica 28 serve pelo menos dois propósitos benéficos. Em um aspecto, a camada 28 age como uma camada compatível com o fluido para melhor acoplar o sinal ultrassônico ao meio a ser calculado. Por exemplo, se o conjunto do transdutor 2 formar parte de um medidor de fluxo ultrassônico calculando o fluxo de óleo cru, a camada de transmissão fluídica 28 pode compreender óleo de silicone. Desta maneira, a onda sonora do elemento gerador de sinal eletroacústico 18 viaja através do óleo de silicone, através do diafragma de isolamento 26, e através da corrente de óleo cru. Porque a espessura do diafragma de isolamento 26 é muito menor do que o comprimento de onda característico, muito pouca integridade do sinal é perdida através da camada de transmissão. E, porque as características do fluido da camada de transmissão 28 estão próximo de corresponder ao fluxo calculado, muito pouca integridade do sinal é perdida. Assim, o conjunto do transdutor divulgado 2 fornece relação sinal-para-ruído superior aos transdutores do estado da técnica.

[023] Em outro benéfico aspecto, o limite umidificado 30 do conjunto do transdutor 2 mantém no mesmo local, por exemplo, contra o fluido a ser calculado, mas a limite da pressão 32 (por exemplo, as superfícies reagindo à pressão do fluido) é realocada para longe do limite umedecido 30. No exemplo divulgado, o limite da pressão 32 é realocado atrás do elemento gerador de sinal eletroacústico 18 para uma contraplaca 34. A contraplaca 34 pode ser de qualquer construção e espessura adequada para resistir às forças

de pressão. Em um exemplo, a contraplaca 34 é de aço inoxidável, com 2,54 milímetros (0,100 polegadas) de espessura, e soldada ao alojamento externo 8. Em outro exemplo (não mostrado), o limite da pressão 32 é contrário à face proximal do elemento gerador de sinal eletroacústico 18. Em qualquer um dos casos, a pressão cai ou a pressão diferencial sobre o diafragma de isolamento 26 é elimininada porque a camada de transmissão fluídica 28 transfere as forças de reação para outro local dentro do transdutor.

[024] A relocação do limite da pressão 32 permite ao diafragma de isolamento 26 ser posicionado em um ângulo α relativo à face proximal do elemento gerador de sinal eletroacústico 18 sem desviar o sinal ultrassônico da trajetória ultrassônica 20. Desta maneira, o diafragma de isolamento 26 pode ser fabricado para substancialmente corresponder o contorno interior da superfície de um tubo. Por exemplo, se o conjunto do transdutor divulgado 2 forma parte de um medidor de fluxo ultrassônico que é montado através de uma abertura de acesso em um condutor de fluido, o diafragma 26 pode ter uma curvatura compatível com o diâmetro interior do condutor.

[025] Em algumas construções, trechos do condutor elétrico 16 serão expostos à pressão na camada de transmissão fluídica 28. Conforme ilustrado na FIG. 1, o limite da pressão 32 exerce pressão do fluido na contraplaca 34, que pode ser milhares de libras por polegadas quadradas. Para prevenir que o fluido vaze (por exemplo, feltro) ao longo de um condutor central 35 para uma zona não pressurizada como a cavidade 37, o conjunto do transdutor 2 pode incluir uma vedação metal-para-vidro 36.

[026] Em referência a FIG. 2, na qual números similares indicam elementos similares da FIG. 1, uma visão em perspectiva de um medidor de fluxo de transferência custodiada que utiliza um conjunto do transdutor de acordo com outra realização exemplar da invenção é mostrada. Um conjunto do transdutor 102 de acordo com a presente divulgação é mostrado como parte

de um medidor de fluxo ultrassônico de uma transferência custodiada líquida (LCT) 138 que é montado em uma configuração de compressor. O medidor de fluxos LCT tipicamente mede óleo cru, destilados, gasolina, combustível Diesel ou similares de uma operação de refinaria. O medidor de fluxos LCT requer 0,15% de precisão ou mais, devido ao alto volume do fluxo e alto preço de varejo da mercadoria.

[027] O medidor de fluxo 138 inclui uma flange à montante 140 que se encaixa com um trecho de um condutor de transferência custodiada à montante, um corpo principal 142 para fornecer uma passagem de fluxo 144 e uma medição ultrassônica de um fluido de transferência custodiada, uma flange à jusante 146 que se encaixa com um trecho à jusante do condutor de transferência custodiada, e um módulo eletrônico 148 para encaminhar a fiação elétrica dos transdutores. O corpo 142 é posicionado em um ângulo oblíquo (por exemplo, em um ângulo de 45°) relativo à direção da transferência custodiada do fluxo do fluido 150 de maneira a fornecer velocidade à montante e à jusante para as trajetórias do transdutor ultrassônico, conforme será explicado abaixo. Montado no corpo principal 142 está uma cobertura à montante (não mostrado) e uma cobertura à jusante 152 para fechar e vedar os conjuntos do transdutor 102 a fim de permitir que a fiação seja encaminhada através do módulo eletrônico 148 montado sobre o medidor de fluxo 138.

[028] Passando para a FIG. 3, em que os números similares indicam elementos similares da FIG. 1, a visão esquemática da seção transversal do medidor de fluxo de transferência custodiada e conjunto do transdutor da FIG. 2 é mostrado. O medidor de fluxo 138 é mostrado em seção transversal ao longo do corpo do medidor de fluxo 142 com o módulo eletrônico 148 removido para dar claridade. Porque o medidor de fluxo 138 é instalado obliquamente ao eixo geométrico do fluxo do compressor, a visão da seção

transversal da passagem do fluxo 144 parece ser elíptica quando na verdade é redonda.

[029] O medidor de fluxo 138 inclui quatro pares de conjuntos de transdutores ultrassônicos 102, sendo a extremidade proximal 104 de cada transdutor relativo facial entre si em lados opostos do corpo 142. Os quatro pares de transdutores testam o perfil do fluxo no medidor de fluxo e determinam a taxa efetiva de fluxo ao interpolar através das quatro seções. Cada conjunto do transdutor 102 inclui um elemento gerador de sinal eletroacústico 118 que emite um pulso ultrassônico através da trajetória de transferência custodiada do fluxo de fluido para o transdutor oposto no par. Na realização ilustrada, os conjuntos de quatro transdutores 102 no lado esquerdo do desenho emitem pulsos no fluxo de direção à jusante, e os conjuntos de quatro transdutores 102 no lado direito do desenho emitem pulsos no fluxo de direção à montante.

[030] Cada conjunto do transdutor 102 inclui um diafragma de isolamento 126 que substancialmente corresponde ao contorno da parede interior da galeria do fluxo. Uma camada de transmissão fluídica 128 é disposta entre o lado distal do diafragma de isolamento 126 e da face proximal de um elemento gerador de sinal eletroacústico 118. Como pode ser apreciado, com respeito às várias instalações e geometria mostrado na FIG. 3, o ângulo α do diafragma de isolamento 126 relativo à face proximal do elemento gerador de sinal eletroacústico 118 varia de acordo com o local dentro do tubo. Em um exemplo, o par de conjuntos de transdutores 102 pode ser localizado de tal forma que a trajetória ultrassônica 120 passe através da linha central da passagem de fluxo. Neste exemplo, o ângulo α seria zero, por exemplo, o diafragma de isolamento 126 seria paralelo à face do elemento gerador 118. Em outro exemplo, o par de conjuntos de transdutores 102 pode ser posicionado para bifurcar aproximadamente um quarto da corda da passagem

de fluxo, conforme ilustrado pela linha tracejada na FIG. 3. Neste exemplo particular, o ângulo α do diafragma de isolamento 126 relativo à face do elemento gerador 118 pode ser em uma faixa de aproximadamente 30 a 45 graus. Em ainda outro exemplo, em que o par dos conjuntos de transdutores 102 pode ser posicionados a fim de bifurcar somente um pequeno trecho da galeria de fluxo, o ângulo α do diafragma de isolamento 126 relativo à face do elemento gerador 118 pode ser aproximadamente 60 graus. Este exemplo é ilustrado pelo par de transdutores do topo e base na FIG. 3.

[031] Uma vantagem que pode ser percebida na prática de algumas realizações conjunto do transdutor descrito é que o diafragma de isolamento pode ser configurado para substancialmente corresponder ao contorno da parede interior da passagem de fluxo. Assim, um conjunto do transdutor de acordo com uma realização da presente invenção, quando instalado em um medidor de fluxo de gases queimados, não encontraria os problemas associados à erosão e vibração da sonda do transdutor.

[032] Outra vantagem que pode ser percebida quando o diafragma de isolamento substancialmente corresponde ao contorno da parede interior da passagem de fluxo é que, quando instalado em uma transferência custodiada líquida ou em um medidor de fluxo multifásico, os problemas associados à erosão e obstrução nas cavidades em reentrância são eliminados.

[033] Outra vantagem que pode ser percebida na prática de algumas realizações do conjunto do transdutor descrito é que o conjunto do transdutor divulgado não irá induzir perturbações no fluxo local na proximidade da abertura de acesso. Perturbações no fluxo local surgem porque um objeto estranho (por exemplo, o transdutor) é introduzido na corrente do fluxo. Apesar de não ser prejudicial à integridade estrutural do conjunto do transdutor, as perturbações no fluxo precisa de modificações no software para compensar

pela relação sinal-para-ruído diminuída. A compensação do software consome tempo e é baseada em tentativa e erro.

[034] Outra vantagem que pode ser percebida na prática de algumas realizações do conjunto do transdutor descrito é que o conjunto do transdutor não transmite som ultrassônico nas superfícies estruturais do tubo ou condutor. Assim, o fenômeno de diafonia ou o ruído de curto-circuito entre transdutores é minimizado, o que melhora a precisão temporal e a relação sinal-para-ruído.

[035] Esta descrição escrita usa exemplos para divulgar a invenção, incluindo o melhor modo, e também para permitir que um técnico no assunto pratique a invenção, inclusive fazer e usar quaisquer dispositivos ou sistemas e executar quaisquer métodos incorporados. O escopo patenteável da invenção é definido nas reivindicações, e pode incluir outros exemplos que ocorram aos técnicos o assunto. Pretende-se que tais outros exemplos estejam dentro do escopo das reivindicações se os mesmos tem elementos estruturais que não diferem da linguagem literal das reivindicações, ou se os mesmos incluem elementos estruturais equivalentes com diferenças insubstanciais da linguagem literal das reivindicações.

[036] Por exemplo, o conjunto do transdutor divulgado pode ser utilizado em um medidor de fluxo Doppler. Na realização que utiliza o efeito Doppler, a taxa de fluxo é determinada calculando a taxa da partícula ou bolha corrente com o fluido, com o pressuposto de que a partícula ou bolha move-se a uma taxa igual a do fluido que se move. A taxa de mobilidade da partícula ou bolha pode ser determinada ao detectar a variação da frequência ultrassônica de uma onda ultrassônica aplicada à partícula ou bolha que se move para aquela de uma onda ultrassônica refletida na partícula ou bolha que se move.

[037] Em outro exemplo, o conjunto do transdutor pode ser utilizado não para determinar a taxa de fluxo, mas para detectar a presença de material estranho em uma corrente de fluxo, como a areia.

REIVINDICAÇÕES

1. CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO (2, 102), que tem uma extremidade proximal (4) e uma extremidade distal oposta (6), sendo que a extremidade proximal (4) é orientada em direção a um meio a ser calculado, em que o conjunto de transdutor (2, 102) compreende:

um alojamento externo (8);

um pacote de eletrônica (14) acoplado à extremidade distal do alojamento externo (8);

um elemento gerador de sinal eletroacústico (18, 118) preso dentro do alojamento externo (8), sendo o elemento gerador de sinal eletroacústico (18, 118) moldado a partir de um material e que compreende uma face proximal definindo uma trajetória ultrassônica (20, 120) para transmissão de um sinal ultrassônico, sendo a trajetória ultrassônica (20, 120) perpendicular à face proximal, o sinal ultrassônico tendo uma frequência característica;

um condutor elétrico (16) para conduzir sinais elétricos do pacote de eletrônica (14) ao elemento gerador de sinal eletroacústico (18, 118);

um composto de amortecimento acústico (22) disposto dentro do alojamento externo (8) no lado distal do elemento gerador de sinal eletroacústico (18, 118);

um diafragma de isolamento (26, 126) acoplado a extremidade proximal do alojamento externo (8), sendo o diafragma de isolamento (26, 126) caracterizado por um material tendo uma espessura, sendo que a espessura do diafragma (26, 126) é pelo menos uma ordem de magnitude menor que um comprimento de onda característico (λc) do material do diafragma (26, 126); em que o comprimento de onda característico (λc) do material do diafragma de isolamento (26, 126) é a distância em que uma onda sonora viaja entre seus picos e é definido por $\lambda c = c/f$, em que c é a velocidade sonora do material e f é

a frequência característica do sinal ultrassônico; e em que o diafragma de isolamento (26, 126) fica em um ângulo relativo à face proximal do elemento gerador de sinal eletroacústico (18, 118); e

uma camada de transmissão fluídica (28, 128) disposta entre a face proximal do elemento gerador de sinal eletroacústico (18, 118) e a superfície distal do diafragma de isolamento (26, 126).

2. CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO (2, 102), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo ângulo ficar dentro de uma faixa de 0 a 60 graus.

3. CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO (2, 102), de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo ângulo ficar dentro de uma faixa de 30 a 45 graus.

4. CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO (2, 102), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela camada de transmissão fluídica (28, 128) ser um óleo.

5. CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO (2, 102), de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pela camada de transmissão fluídica (28, 128) ser óleo de silicone.

6. CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO (2, 102), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela camada de transmissão fluídica (28, 128) ser um gel.

7. CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO (2, 102), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela espessura do diafragma de isolamento (26, 126) ser pelo menos duas ordens de magnitude menor do que o comprimento de onda característico (λc).

8. CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO (2, 102), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela espessura do diafragma de isolamento (26, 126) ser na faixa de 0,02 a 0,50 milímetros.

9. CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO (2, 102), de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pela espessura do diafragma de isolamento (26, 126) ser na faixa de 0,07 a 0,13 milímetros.

10. CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO (2, 102), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo material do diafragma de isolamento (26, 126) ser aço inoxidável.

11. CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO (2, 102), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo composto de amortecimento acústico (22) ser um amortecedor para isolar componentes dentro do alojamento externo (8) de extremos ambientais.

12. CONJUNTO DE TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO (2, 102), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo condutor elétrico (16) ser preso em uma vedação metal-para-vidro (36).

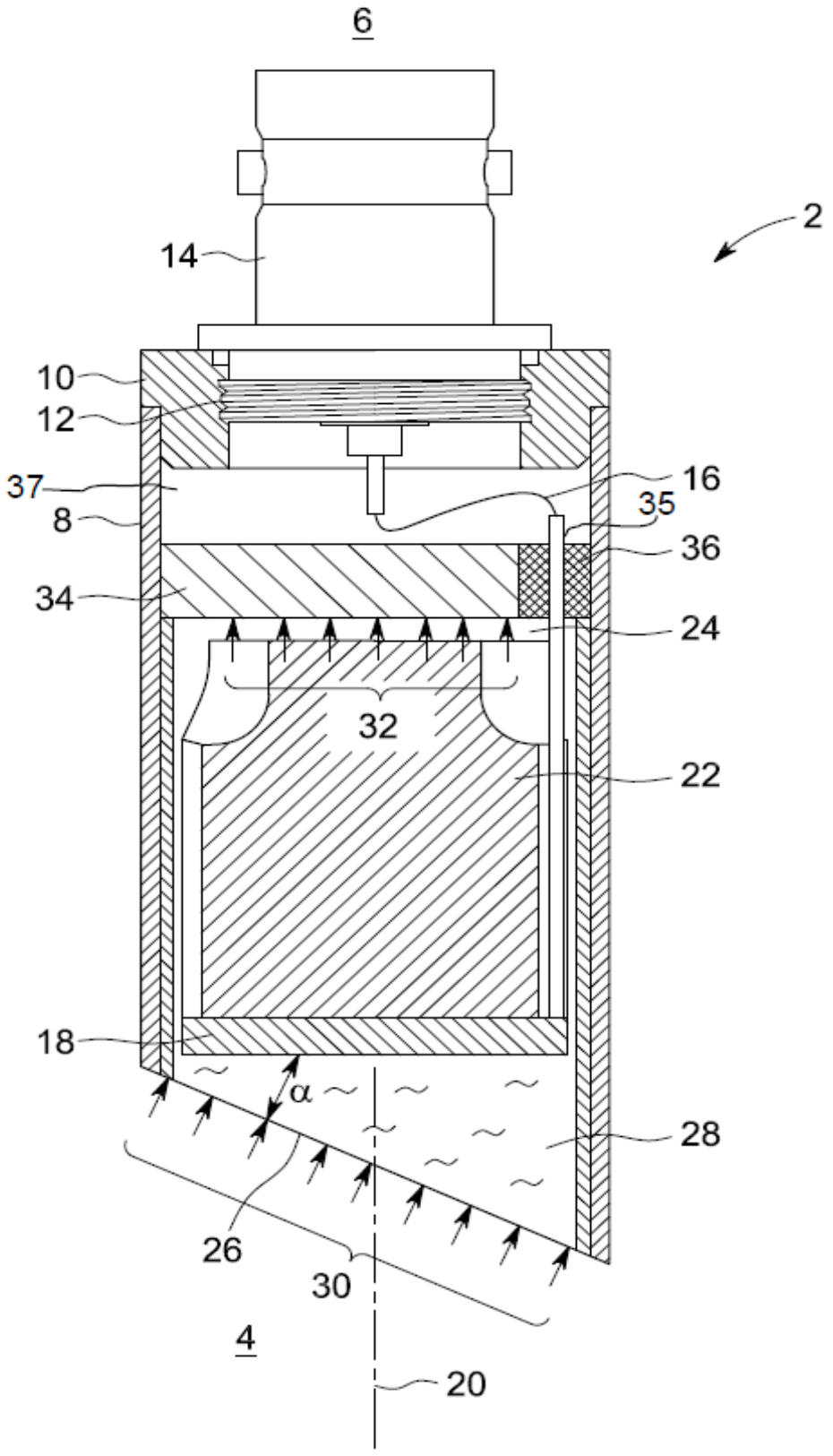


Fig. 1

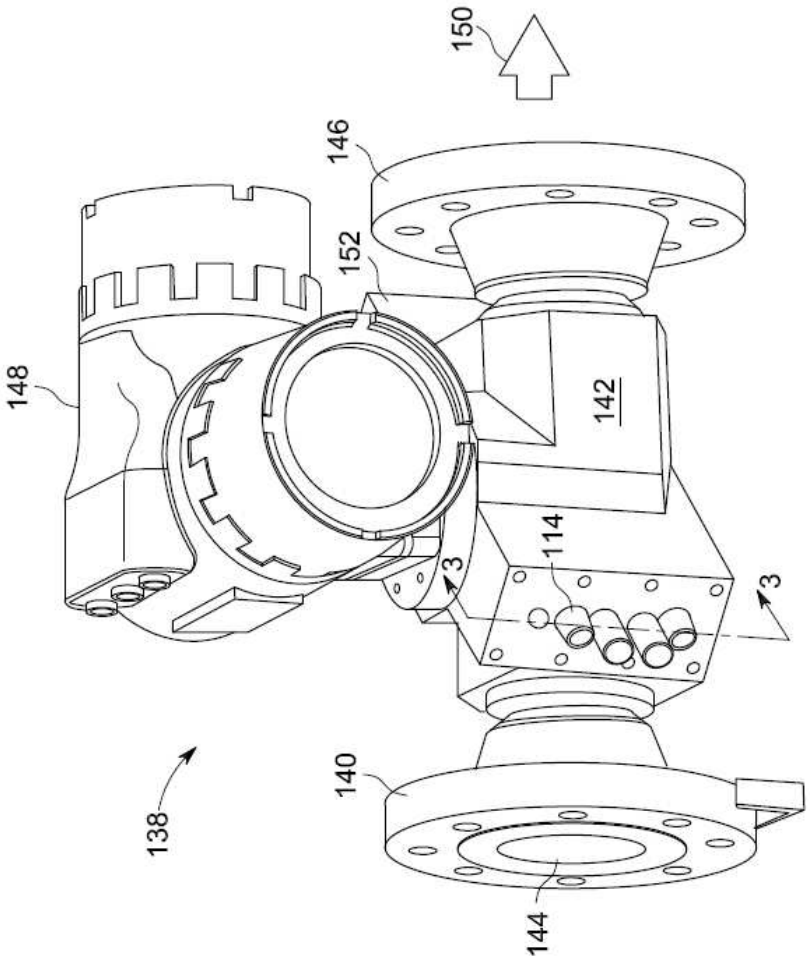


Fig. 2

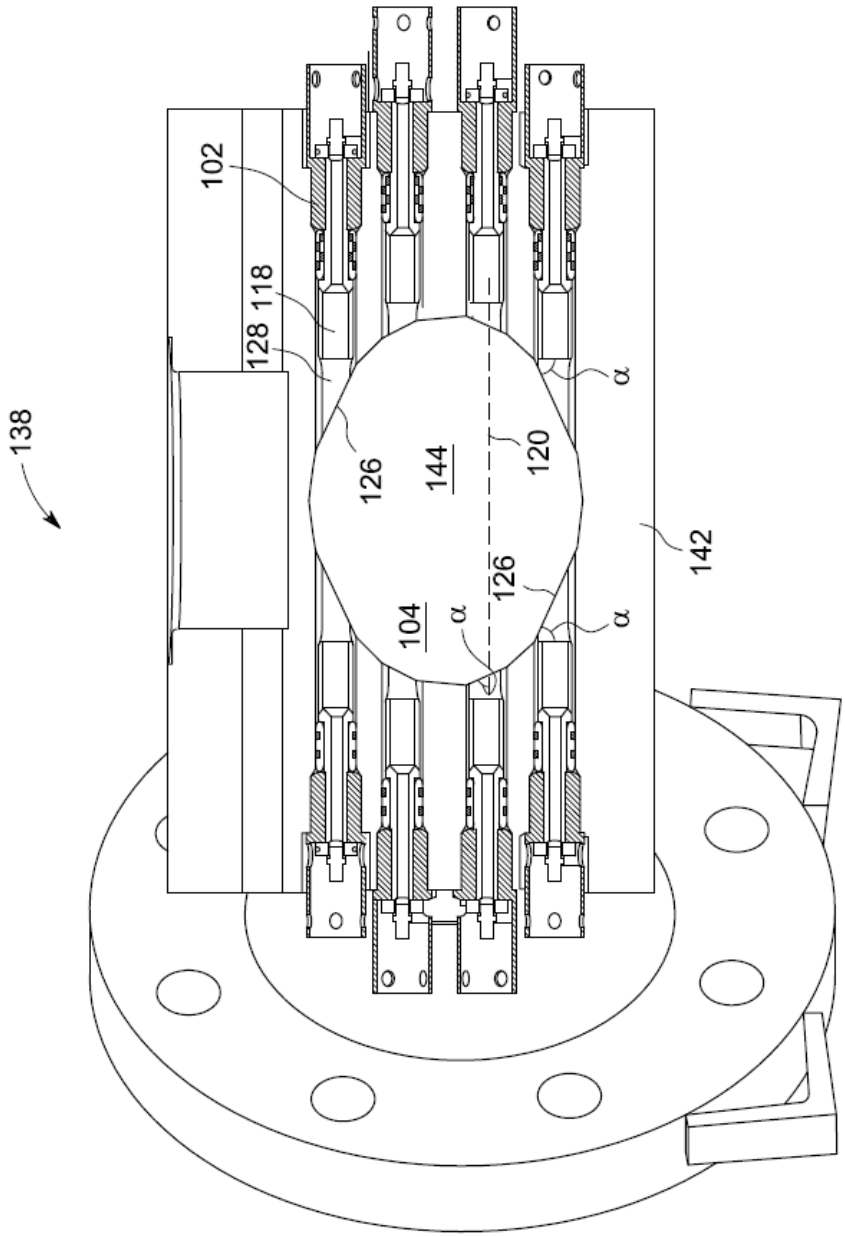


Fig. 3