



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

(11) PI 0911471-8 B1



(22) Data do Depósito: 29/04/2009

(45) Data de Concessão: 26/03/2019

(54) Título: MEDIDOR DE FLUXO VIBRATÓRIO DE FREQUÊNCIA MUITO ELEVADA, E MÉTODOS DE OPERAR, E, DE FORMAR O MESMO

(51) Int.Cl.: G01F 1/84.

(30) Prioridade Unionista: 01/05/2008 US 61/049,664.

(73) Titular(es): MICRO MOTION, INC.

(72) Inventor(es): JOEL WEINSTEIN.

(86) Pedido PCT: PCT US2009042016 de 29/04/2009

(87) Publicação PCT: WO 2009/134827 de 05/11/2009

(85) Data do Início da Fase Nacional: 29/10/2010

(57) Resumo: MEDIDOR DE FLUXO VIBRATÓRIO DE FREQUÊNCIA MUITO ELEVADA, E MÉTODOS DE OPERAR, E, DE FORMAR O MESMO Um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100) é provido. O medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100) inclui um conjunto de medidor de fluxo (10) incluindo um ou mais condutos de fluxo (103A, 103B). O conjunto de medidor de fluxo (10) é configurado para gerar uma resposta de frequência muito elevada que está acima de uma frequência de desacoplamento máxima pré-determinada para o fluido de fluxo independente de um tamanho de material estranho ou de uma composição de material estranho. O medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100) ainda inclui eletrônica do medidor (20) acoplada ao conjunto de medidor de fluxo (10) e configurada para receber uma resposta vibracional de frequência muito elevada e gerar uma ou mais medições de fluxo a partir da mesma.

“MEDIDOR DE FLUXO VIBRATÓRIO DE FREQUÊNCIA MUITO ELEVADA, E MÉTODOS DE OPERAR, E, DE FORMAR O MESMO”

Antecedentes da Invenção

1. Campo da Invenção

5 A presente invenção refere-se a um medidor de fluxo vibratório, e mais particularmente, a um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada.

2. Especificação do problema

10 Medidores de fluxo vibratório, tais como medidores de fluxo de massa Coriolis e densitômetros vibratórios, tipicamente operam detectando movimento de um conduto vibrante que contém um fluido fluente ou não fluente. Propriedades associadas com o material no conduto, tais como fluxo de massa, densidade e semelhantes, podem ser determinadas processando sinais de medição recebidos a partir de transdutores de movimento associados com o
15 conduto. Os modos de vibração do sistema carregado com material vibrante são geralmente afetados pelas características combinadas de massa, rigidez e amortecimento do conduto contendor e do material contido no mesmo.

Um medidor de fluxo vibratório típico inclui um ou mais condutos que são conectados em linha em um duto ou outro sistema de transporte e
20 transportam material, por exemplo, fluidos, pastas fluidas e semelhantes, no sistema. Um conduto pode ser visto como tendo um conjunto de modos de vibração naturais, incluindo, por exemplo, modos simples de flexão, torção, radial e acoplado. Em uma aplicação de medição típica, um conduto é excitado em um ou mais modos de vibração conforme um material flui através do
25 conduto e movimento do conduto é medido em pontos espaçados ao longo do conduto. Excitação é tipicamente provida por um atuador, por exemplo, um dispositivo eletromecânico, tal como um acionador de tipo bobina de voz, que perturba o conduto em uma maneira periódica. Densidade de fluido pode ser

obtida determinando uma frequência ressonante do fluido de fluxo. Taxa de fluxo de massa pode ser determinada medindo-se o atraso de tempo ou diferenças de fase entre movimentos nos locais do transdutor. Dois tais transdutores (ou sensores de desvio) são tipicamente empregados a fim de medir uma resposta vibracional do conduto ou condutos de fluxo, e estão tipicamente localizados em posições à montante e à jusante do atuador. Os dois sensores de desvio são conectados a instrumentação eletrônica por cabeamento, tal como por dois pares independentes de fios. A instrumentação recebe sinais dos dois sensores de desvio e processa os sinais a fim de derivar uma medição da taxa de fluxo de massa.

Medidores de fluxo são usados para efetuar medições de taxa de fluxo de massa e/ou densidade para uma ampla variedade de fluxos de fluido e oferecem uma elevada precisão para fluxos de fase simples. Uma área em que medidores de fluxo vibratório são usados é na medição de produções de poço de óleo e gás. O produto de tais poços pode compreender um fluxo multifásico, incluindo líquidos, mas também incluindo gases e/ou sólidos que podem ser arrastados no fluido de fluxo. Um fluido de fluxo do campo petrolífero, portanto, pode incluir óleo, água, ar ou outros gases, e/ou areia ou outros particulados sólidos, por exemplo. No entanto, quando um medidor de fluxo vibratório é usado para medir fluidos de fluxo incluindo gases e/ou sólidos arrastados, a precisão do medidor pode ser significativamente degradada. É altamente desejável que a medição resultante seja tão precisa quanto possível, mesmo para tais fluxos multifásicos.

Os fluidos de fluxo multifásico podem incluir gases arrastados, especialmente fluxos de gás borbulhante. Os fluxos multifásicos podem incluir sólidos arrastados ou partículas sólidas arrastadas, misturas tais como concreto, etc. Além disso, fluxos multifásicos podem incluir líquidos de densidades diferentes, tais como água e componentes de petróleo, por exemplo. As fases

podem ter diferentes densidades, viscosidades, ou outras propriedades.

Em um fluxo multifásico, a vibração de um conduto de fluxo não necessariamente move os gases/sólidos arrastados completamente em fase com o fluido de fluxo. Esta anomalia vibracional é referida como de desacoplamento ou deslizamento. Bolhas de gás, por exemplo, podem tornar-se desacopladas do fluido de fluxo, afetando a resposta vibracional e quaisquer características de fluxo subsequentemente derivadas. Bolhas pequenas tipicamente movem com o fluido de fluxo conforme o medidor de fluxo é vibrado. No entanto, bolhas maiores não movem com o fluido de fluxo durante vibração do conduto de fluxo. Ao contrário, as bolhas podem ser desacopladas do fluido de fluxo e podem mover-se independentemente, com bolhas de gases arrastados movendo-se mais longe e mais rápido do que o fluido de fluxo durante cada movimento vibracional. Isso adversamente afeta a resposta vibracional do medidor de vazão. Isto também acontece com partículas sólidas arrastadas no fluido de fluxo, onde as partículas de sólido são cada vez mais prováveis de dissociar do movimento do fluido de fluxo em tamanhos de partícula ou frequências vibracionais crescentes. O desacoplamento pode ainda ocorrer ainda onde o fluxo multifásico inclui líquidos de diferentes densidades e/ou viscosidades. A ação de desacoplamento foi verificada como sendo afetada por vários fatores, tais como a viscosidade do fluido de fluxo e a diferença em densidade entre o fluido de fluxo e o material estranho, por exemplo.

Além dos problemas causados pelo movimento relativo de bolhas e partículas, medidores Coriolis podem experimentar degradação de precisão a partir da velocidade de som (SOS), ou compressibilidade, efeitos quando a velocidade sônica do fluido de medição é baixa ou a frequência de oscilação do medidor é elevada. Líquidos têm velocidades sônicas maiores que gases, mas as velocidades mais baixas resultam de uma mistura dos dois. Mesmo uma pequena quantidade de gás arrastada em um líquido resulta em uma redução

dramática na velocidade de som da mistura; abaixo da de ambas as fases.

A oscilação do tubo de fluxo produz ondas de som que oscilam na direção transversal na frequência de acionamento do medidor. Quando a velocidade de som do fluido é elevada, como em um fluido de fase simples, o primeiro modo acústico para ondas de som transversais através do conduto circular é em uma frequência muito maior que uma frequência de acionamento. No entanto, quando a velocidade de som cai devido à adição de gás para um líquido, uma frequência do modo acústico também cai. Quando a frequência do modo acústico e do modo de acionamento está próxima, erros do medidor resultam devido à excitação fora de ressonância do modo acústico pelo modo de acionamento.

Para medidores de frequência baixa e pressões de processo típicas, velocidades de efeitos de som estão presentes em fluxos multifásicos, mas são geralmente negligenciáveis com relação à precisão especificada do medidor. No entanto, para medidores Coriolis de frequência elevada operando em baixas pressões com fluidos borbulhantes, a velocidade de som pode ser baixa o suficiente para causar significantes erros de medição devido à interação entre modos de acionamento e vibração de fluido.

O tamanho das bolhas pode variar, dependendo da quantidade de gás presente, a pressão do fluido de fluxo, temperatura, e o grau de mistura do gás no fluido de fluxo. A extensão da diminuição em desempenho não está apenas relacionada a quanto gás total está presente, mas também ao tamanho das bolhas de gás individuais no fluxo. O tamanho das bolhas afeta a precisão da medição. Bolhas maiores ocupam mais volume e desacoplam em uma extensão maior, conduzindo a flutuações na densidade de fluido de fluxo medida. Devido à compressibilidade de um gás, as bolhas podem mudar em quantidade de gás, ou massa, ainda não necessariamente mudam em tamanho. Inversamente, se a pressão muda, o tamanho de bolha pode

correspondentemente mudar, expandindo à medida que a pressão cai ou contraindo à medida que a pressão aumenta. Isso pode também causar variações na frequência natural ou ressonante do medidor de fluxo.

Medidores de fluxo vibratório de técnica anterior são tipicamente projetados para operar frequências em torno de 100 a 300 Hertz (Hz), com alguns medidores operando em frequências entre 500 e 1.000 Hz. Alguns medidores de técnica anterior são projetados para operar em frequências mais elevadas. A frequência de operação em um medidor de fluxo vibratório de técnica anterior é tipicamente escolhida a fim de facilitar o projeto de medidor de fluxo, produção, e operação. Por exemplo, um medidor de fluxo vibratório ou Coriolis de técnica anterior é configurado para ser fisicamente compacto e substancialmente uniforme em dimensões. Por exemplo, uma altura de um medidor de fluxo de técnica anterior é tipicamente menor que o comprimento, dando uma razão de aspecto de altura-para-comprimento baixa (H/L) e uma correspondente frequência de acionamento elevada. Usuários de medidor de fluxo preferem um tamanho global pequeno de modo que instalação é simplificada. Além disso, projeto de medidor de fluxo comumente assume um fluxo de fluido de fase simples uniforme e é projetado para otimamente operar com tal fluido de fluxo uniforme.

Um medidor de fluxo de conduto reto tem uma razão de aspecto de altura-para-comprimento de zero, que tipicamente produz uma frequência de acionamento elevada. Condutos de fluxo curvados são frequentemente usados para evitar que o comprimento seja a dimensão dominante e aumentar a razão de aspecto de altura-para-comprimento (H/L). Um medidor de fluxo de conduto encurvado ou arqueado na técnica anterior pode ter uma razão de aspecto de altura-para-comprimento se aproximando de 1,3, por exemplo.

Permanece uma necessidade na técnica para um medidor de fluxo vibratório que é capaz de medir de modo preciso e confiável fluidos de fluxos

multifásicos.

Aspectos da invenção

Em um aspecto da invenção, um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada compreende:

- 5 um conjunto de medidor de fluxo incluindo um ou mais condutos de fluxo, com o conjunto de medidor de fluxo sendo configurado para gerar uma resposta de frequência muito elevada que está acima da frequência de desacoplamento máxima pré-determinada para o fluido de fluxo independente de um tamanho de material estranho ou de uma composição de material
- 10 estranho; e

eletrônica do medidor acoplada ao conjunto de medidor de fluxo e configurada para receber uma resposta vibracional de frequência muito elevada e gerar uma ou mais medições de fluxo a partir da mesma.

- 15 Preferivelmente, a eletrônica do medidor é configurada de modo que uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) é cerca de 3:1 para gás arrastado na frequência muito elevada.

Preferivelmente, a eletrônica do medidor é configurada de modo que uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) é cerca de igual à quantidade $3/(1+(2*\rho_p/\rho_f))$ para sólidos arrastados na frequência muito elevada.

- 20 Preferivelmente, a eletrônica do medidor é configurada de modo que uma viscosidade é efetivamente zero com relação ao movimento da partícula para o fluido de fluxo na frequência muito elevada.

Preferivelmente, a frequência muito elevada está acima de cerca de 1.500 Hertz (Hz).

- 25 Preferivelmente, a resposta vibracional de frequência muito elevada corresponde a um número Stokes inverso (δ) que é menor do que cerca de 0,1.

Preferivelmente, a frequência muito elevada está acima de cerca de

2.000 Hertz (Hz).

Preferivelmente, o um ou mais condutos de fluxo são configurados para alcançar uma frequência muito elevada por configuração de um ou mais dentre rigidez do conduto de fluxo, comprimento do conduto de fluxo, razão de aspecto do conduto de fluxo, material de conduto de fluxo, espessura do conduto de fluxo, formato do conduto de fluxo, geometria do conduto de fluxo, ou uma ou mais posições do nó vibracional.

Preferivelmente, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado para operar em um primeiro modo de flexão.

Preferivelmente, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado para operar em frequências de modo de flexão maiores.

Em um aspecto da invenção, um método de operar um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada compreende:

vibrar um ou mais condutos de fluxo do medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada em uma frequência muito elevada, em que a frequência muito elevada está acima de uma frequência de desacoplamento máxima pré-determinada para o fluido de fluxo independente de um tamanho de material estranho ou de uma composição de material estranho;

receber uma resposta vibracional de frequência muito elevada; e
gerar uma ou mais medições de fluxo a partir de uma resposta vibracional de frequência muito elevada.

Preferivelmente, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado de modo que uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) é cerca de 3:1 para gás arrastado na frequência muito elevada.

Preferivelmente, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado de modo que uma razão de desacoplamento

(A_p/A_f) é cerca de igual à quantidade $3/(1+(2*\rho_p/\rho_f))$ para sólidos arrastados na frequência muito elevada.

Preferivelmente, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado de modo que uma viscosidade é efetivamente zero com relação ao movimento da partícula para o fluido de fluxo na frequência muito elevada.

Preferivelmente, a frequência muito elevada está acima de cerca de 1.500 Hertz (Hz).

Preferivelmente, a resposta vibracional de frequência muito elevada corresponde a um número Stokes inverso (δ) que é menor do que cerca de 0,1.

Preferivelmente, a frequência muito elevada está acima de cerca de 2.000 Hertz (Hz).

Preferivelmente, um ou mais condutos de fluxo do medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada são configurados para alcançar uma frequência muito elevada por configuração de um ou mais dentre rigidez do conduto de fluxo, comprimento do conduto de fluxo, razão de aspecto do conduto de fluxo, material de conduto de fluxo, espessura do conduto de fluxo, formato do conduto de fluxo, geometria do conduto de fluxo, ou uma ou mais posições do nó vibracional.

Preferivelmente, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado para operar em um primeiro modo de flexão.

Preferivelmente, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado para operar em frequências de modo de flexão maiores.

Em um aspecto da invenção, um método de formar um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada compreende:

determinar uma frequência muito elevada pré-determinada para o

medidor de fluxo vibratório com base em pelo menos um fluido de fluxo esperado, em que a frequência muito elevada está acima de uma frequência de desacoplamento máxima pré-determinada para o fluido de fluxo independente de um tamanho de material estranho ou de uma composição de material estranho;

configurar o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada para operar na frequência muito elevada; e

construir o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada.

10 Preferivelmente, a eletrônica do medidor é configurada de modo que uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) é cerca de 3:1 para gás arrastado na frequência muito elevada.

15 Preferivelmente, a eletrônica do medidor é configurada de modo que uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) é cerca de igual à quantidade $3/(1+(2*\rho_p/\rho_f))$ para sólidos arrastados na frequência muito elevada.

Preferivelmente, a eletrônica do medidor é configurada de modo que uma viscosidade é efetivamente zero com relação ao movimento da partícula para o fluido de fluxo na frequência muito elevada.

20 Preferivelmente, a frequência muito elevada está acima de cerca de 1.500 Hertz (Hz).

Preferivelmente, a resposta vibracional de frequência muito elevada corresponde a um número Stokes inverso (δ) que é menor do que cerca de 0,1.

25 Preferivelmente, a frequência muito elevada está acima de cerca de 2.000 Hertz (Hz).

Preferivelmente, o um ou mais condutos de fluxo são configurados para alcançar uma frequência muito elevada por configuração de um ou mais dentre rigidez do conduto de fluxo, comprimento do conduto de fluxo, razão de

aspecto do conduto de fluxo, material de conduto de fluxo, espessura do conduto de fluxo, formato do conduto de fluxo, geometria do conduto de fluxo, ou uma ou mais posições do nó vibracional.

5 Preferivelmente, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado para operar em um primeiro modo de flexão.

Preferivelmente, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado para operar em frequências de modo de flexão maiores.

Descrição dos desenhos

10 O mesmo número de referência representa o mesmo elemento em todos os desenhos. Deve ser entendido que os desenhos não estão necessariamente em escala.

FIG. 1 mostra um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada de acordo com a invenção.

15 FIG. 2 é um gráfico que mostra resultados de simulação de erro de densidade total de um modo de frequência muito baixa e um modo de frequência muito elevada de um medidor de fluxo Coriolis modelo E200 Micro Motion.

20 FIG. 3 mostra um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada de acordo com uma forma de realização da invenção.

FIG. 4 é um fluxograma de um método de operar um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada de acordo com a invenção.

Descrição Detalhada da Invenção

25 FIGS. 1-4 e a seguinte descrição descrevem exemplos específicos para ensinar os versados na técnica como fazer e usar o melhor modo da invenção. Para o propósito de ensinar princípios inventivos, alguns aspectos convencionais foram simplificados ou omitidos. Os versados na técnica apreciarão variações a partir desses exemplos que estão dentro do escopo da

invenção. Os versados na técnica apreciarão que os aspectos descritos abaixo podem ser combinados de várias formas para formar variações múltiplas da invenção. Como um resultado, a invenção não é limitada aos exemplos específicos descritos abaixo, mas apenas pelas reivindicações e seus equivalentes.

FIG. 1 mostra um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 de acordo com a invenção. O medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 em uma forma de realização compreende um medidor de vazão Coriolis. Em outra forma de realização, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 compreende um densitômetro vibratório.

O medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 é projetado para medir características de fluido de um fluido de fluxo, incluindo medir quer um fluido de fluxo fluindo ou estacionário. O medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 é ainda projetado para medir de modo preciso e confiável o fluido de fluxo quando o fluido de fluxo compreende múltiplas fases. O fluido de fluxo multifásico pode incluir gases arrastados em algumas formas de realização, em que os gases arrastados podem compreender um fluxo borbulhante. Os gases arrastados podem incluir bolhas de ar ou bolhas de vários tamanhos. Gás arrastado é problemático em medidores de fluxo vibratório de técnica anterior. O gás arrastado, especialmente para bolhas moderadas a grandes, pode se mover independentemente do fluido de fluxo e causar erros de medição ou incertezas. Além disso, os gases arrastados podem causar efeitos de medição variantes devido à compressibilidade do gás variando com a pressão de operação do fluido de fluxo.

O fluido de fluxo multifásico pode incluir sólidos arrastados em algumas formas de realização, em que os sólidos arrastados podem compreender uma pasta fluida. Um exemplo compreende partículas de areia e

sujeira em um fluxo de petróleo. Os sólidos arrastados podem mover-se independentemente do fluido de fluxo e causar erros de medição e/ou incertezas. Outro exemplo é concreto. Outras pastas fluidas ou emulsões são contempladas e estão dentro do escopo da descrição e reivindicações.

5 Em algumas formas de realização, o fluxo multifásico pode incluir líquidos diferentes, tais como líquidos imiscíveis que não podem ser misturados juntos. Por exemplo, o fluido de fluxo pode incluir ambos, água e óleo. Onde os componentes de fluxo de fluido têm densidades diferindo, os componentes de fluxo de fluido podem experimentar algum desacoplamento durante
10 vibração do medidor de fluxo. Os objetos estranhos podem ser menos densos que o fluido de fluxo. Os objetos estranhos podem ser mais densos que o fluido de fluxo.

Em operação, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 é vibrado em uma frequência muito elevada. A frequência muito
15 elevada pode compreender uma primeira vibração de modo de flexão. Alternativamente, uma frequência muito elevada pode compreender uma segunda, terceira, ou maior vibração de modo de flexão. No entanto, outras vibrações, tal como vibrações fora de ressonância, são contempladas e estão dentro do escopo da descrição e reivindicações. Como um resultado, o medidor
20 de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 produz uma resposta vibracional de frequência muito elevada. Uma resposta vibracional de frequência muito elevada é processada a fim de determinar um ou ambas de uma frequência de resposta e uma amplitude de resposta. A frequência de resposta muito elevada pode ser usada para determinar uma ou mais
25 características do fluido de fluxo, incluindo a taxa de fluxo de massa, densidade, viscosidade, etc. A natureza de frequência muito elevada do medidor de fluxo 5 é ainda discutida abaixo.

O medidor de fluxo 5 inclui um conjunto de medidor de fluxo 10 e

eletrônica do medidor 20. Uma eletrônica do medidor 20 é conectada ao conjunto de medidor 10 através de fios condutores 100 e é configurada para prover medições de uma ou mais dentre densidade, taxa de fluxo de massa, taxa de fluxo de volume, fluxo de massa totalizado, temperatura, e outra informação sobre uma via de comunicação 26. Deve estar aparente para os versados na técnica que a presente invenção pode ser usada em qualquer tipo de medidor de fluxo vibratório independentemente do número de acionadores, sensores de desvio, condutos de fluxo, ou o modo de operação de vibração. Deve ser reconhecido que o medidor de fluxo 5 pode compreender um densitômetro vibratório e/ou um medidor de fluxo de massa Coriolis.

O conjunto de medidor de fluxo 10 inclui um par de flanges 101 e 101', coletores 102 e 102', um acionador 104, sensores de desvio 105 e 105', e condutos de fluxo 103A e 103B. O acionador 104 e os sensores de desvio 105 e 105' são conectados aos condutos de fluxo 103A e 103B.

Em uma forma de realização, os condutos de fluxo 103A e 103B compreendem substancialmente condutos de fluxo em formato em U, como mostrado. Alternativamente, em outras formas de realização, os condutos de fluxo podem compreender substancialmente condutos de fluxo retos. No entanto, outros formatos podem ser usados e estão dentro do escopo da descrição e reivindicações.

Os flanges 101 e 101' são presos nos coletores 102 e 102' (*manifold*). Os coletores 102 e 102' podem ser presos às extremidades opostas de um espaçador 106. O espaçador 106 mantém o espaçamento entre os coletores 102 e 102' a fim de prevenir vibrações indesejadas nos condutos de fluxo 103A e 103B. Quando o conjunto de medidor de fluxo 10 é inserido em um sistema de conduto (não mostrado) que carrega o fluido de fluxo sendo medido, o fluido de fluxo entra o conjunto de medidor de fluxo 10 através do flange 101, passa através do coletor de entrada 102 onde a quantidade total de

fluido de fluxo é direcionada para entrar nos condutos de fluxo 103A e 103B, flui através dos condutos de fluxo 103A e 103B e volta para o coletor de saída 102', onde ela sai do conjunto de medidor 10 através do flange 101'.

Os condutos de fluxo 103A e 103B são selecionados e apropriadamente montados para o coletor de entrada 102 e para o coletor de saída 102' de modo a ter substancialmente a mesma distribuição de massa, momentos de inércia, e módulos elásticos sobre os eixos de flexão W--W e W'--W' respectivamente. Os condutos de fluxo 103A e 103B estendem-se para fora a partir dos coletores 102 e 102' em uma maneira essencialmente paralela.

Os condutos de fluxo 103A e 103B são acionados pelo acionador 104 em direções opostas em torno dos respectivos eixos de flexão W e W' e no qual é chamado o primeiro modo de flexão fora de fase do medidor de fluxo 5. No entanto, os condutos de fluxo 103A e 103B podem alternativamente ser vibrados em um segundo modo de flexão ou maior, se desejado. O acionador 104 pode compreender uma de muitas disposições bem conhecidas, tal como um magneto montado ao conduto de fluxo 103A e uma bobina oposta montada ao conduto de fluxo 103B. Uma corrente alternada é passada através da bobina oposta para levar ambos os condutos a oscilar. Um sinal de acionamento apropriado é aplicado por uma eletrônica do medidor 20 ao acionador 104 através do fio condutor 110.

A eletrônica do medidor 20 recebe sinais de sensor nos fios condutores 111 e 111', respectivamente. A eletrônica do medidor 20 produz um sinal de acionamento no fio condutor 110 que leva o acionador 104 a oscilar os condutos de fluxo 103A e 103B. A eletrônica do medidor 20 processa os sinais de velocidade de esquerda e direita a partir dos sensores de desvio de desvio 105 e 105' a fim de computar uma taxa de fluxo de massa. A via de comunicação 26 provê uma entrada e uma saída que permite uma eletrônica de medidor 20 interfacear com um operador ou com outros sistemas eletrônicos. A

descrição de FIG. 1 é provida meramente como um exemplo da operação de um medidor de fluxo vibratório e não é destinada a limitar o ensinamento da presente invenção.

FIG. 2 é um gráfico que mostra resultados de simulação de erro de densidade total a partir de um modo de frequência muito baixa e um modo de frequência muito elevada de um medidor de fluxo Coriolis modelo E200 Micro Motion. Deve ser visto que em tamanhos de partícula muito pequenos, qualquer desacoplamento é insignificante, tal como a razão de desacoplamento (A_p/A_f) é aproximadamente um e o erro de densidade é correspondentemente insignificante. Nesse cenário de partícula pequena, efeitos de velocidade de som (SOS)/compressibilidade dominam. Como um resultado, o modo de frequência elevada tem um erro positivo e o modo de frequência baixa não tem muitos erros absolutamente.

No entanto, quando bolhas ficam maiores que alguns décimos de um milímetro em diâmetro, efeitos de desacoplamento começam a dominar os efeitos de SOS/compressibilidade e o erro se torna negativo. Note-se que conforme o tamanho de partícula aumenta, o erro observado irá assintoticamente convergir para os resultados de modelo invíscido, isto é, em uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) de cerca de 3:1. Esta assíntota acontece mais cedo em termos de tamanho da bolha quando a frequência de oscilação é elevada. Portanto, se um medidor é vibrado em uma frequência elevada o suficiente, então equação (14) pode ser empregada (ver abaixo). Equação (14) é independente de tamanho de bolha e viscosidade de fluido de fluxo.

FIG. 3 mostra um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada de acordo com uma forma de realização da invenção. A frequência muito elevada pode ser baseada em um comprimento efetivo do um ou mais condutos de fluxo 103A, 103B e a geometria do medidor de fluxo 5, como previamente discutido. O comprimento efetivo em algumas formas de

realização pode ser controlado pela geometria do conduto de fluxo. Além disso, a frequência de acionamento pode ainda ser afetada por uma ou mais massas de balanço que podem ser opcionalmente fixadas ao um ou mais condutos de fluxo 103A, 103B, conforme necessário.

5 Na figura, o medidor de fluxo 5 tem um grande comprimento L em proporção a uma altura H relativamente pequena. O medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5, portanto pode ter uma razão (H/L) de aspecto de altura-para-comprimento baixa. Por exemplo, uma razão (H/L) de aspecto de altura-para-comprimento pode ser menor que ou maior que um. 10 Portanto, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 de acordo com a invenção é relativamente pequeno e, portanto, fácil de acomodar na maioria das aplicações de medição.

Em algumas formas de realização, a frequência muito elevada compreende uma frequência de vibração acima de 1.500 Hz. Em algumas 15 formas de realização, a frequência muito elevada compreende uma frequência de vibração acima de 2.000 Hz. Em algumas formas de realização, a frequência muito elevada compreende uma frequência de vibração acima de 3.000 Hz e além. No entanto, deve ser entendido que a frequência de vibração pode estar em qualquer frequência acima desses limiares, como requerido frequência 20 muito elevada dependerá enfim de vários fatores, incluindo a composição de fluido de fluxo e a natureza do material estranho arrastado, por exemplo.

FIG. 4 é um fluxograma 400 de um método de operar um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada de acordo com a invenção. Em etapa 401, o medidor de fluxo é vibrado em uma frequência muito elevada. A 25 frequência muito elevada pode incluir uma frequência onde uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) de cerca de 3:1 para gases arrastados é alcançada. A frequência muito elevada pode incluir uma frequência onde uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) de cerca de 0:1 para sólidos arrastados na frequência

muito elevada. A frequência muito elevada pode incluir uma frequência onde
 uma viscosidade efetiva de cerca de zero é alcançada para o fluido de fluxo. A
 frequência muito elevada pode incluir uma frequência onde a frequência muito
 elevada está acima de uma frequência de desacoplamento máxima pré-
 determinada, independente de um tamanho de material estranho ou de uma
 5 composição de material estranho. A frequência muito elevada pode incluir uma
 frequência onde a frequência muito elevada está acima de um limiar de
 SOS/compressibilidade máximo pré-determinado, independente de um
 tamanho de material estranho ou de uma composição de material estranho. A
 10 frequência muito elevada pode incluir uma frequência acima de cerca de 1.500
 Hertz (Hz). A frequência muito elevada pode incluir uma frequência acima de
 cerca de 2.000 Hertz (Hz).

Um ou mais condutos de fluxo do medidor de fluxo vibratório de
 frequência muito elevada são configurados para alcançar uma frequência muito
 elevada por configuração de um ou mais dentre rigidez do conduto de fluxo,
 15 comprimento do conduto de fluxo, razão de aspecto do conduto de fluxo,
 material de conduto de fluxo, espessura do conduto de fluxo, formato do
 conduto de fluxo, geometria do conduto de fluxo, ou uma ou mais posições do
 nó vibracional, como previamente discutido.

20 O medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada pode
 ser configurado para operar em um primeiro modo de flexão. O medidor de
 fluxo vibratório de frequência muito elevada pode ser configurado para operar
 em um ou mais modos de flexão, tal como um segundo ou terceiro modo de
 flexão ou maior.

25 Em etapa 402, uma resposta vibracional do conjunto de medidor
 de fluxo é recebida. A resposta vibracional pode ser usada para determinar uma
 frequência e amplitude resultantes, incluindo uma frequência que pode
 compreender uma frequência ressonante para o fluido de fluxo ou uma

frequência fora de ressonância.

Em etapa 403, uma ou mais medições de fluxo podem ser geradas a partir de uma resposta vibracional de frequência muito elevada. A uma ou mais medições de fluxo podem incluir uma taxa de fluxo de massa. A uma ou mais medições de fluxo podem incluir uma densidade. Uma medição de densidade alcançada com uma frequência muito elevada pode ser determinada usando suposições como para a razão de desacoplamento e a viscosidade de fluido. Outras medições de fluxo são contempladas e estão dentro do escopo da descrição e reivindicações.

10 A frequência de acionamento é uma frequência em que o um ou mais condutos de fluxo 103A e 103B são vibrados a fim de medir características de fluxo do fluido de fluxo. A frequência de acionamento pode ser selecionada para estar em uma frequência ressonante de fluido de fluxo, por exemplo, ou pode compreender um ou mais harmônicos de frequência
15 ressonante, frequências de modo de flexão mais elevadas, ou ainda frequências fora de ressonância. Portanto, a frequência de acionamento pode diferir de uma frequência de resposta vibracional recebida a partir de um conjunto de medidor de fluxo 10 e pode variar de acordo com a composição do fluido de fluxo. Além disso, a frequência de acionamento é afetada pela característica de rigidez
20 do medidor de vazão. À medida que a característica de rigidez aumenta, a frequência de acionamento irá aumentar. Como um resultado, aumentar a rigidez do conduto de fluxo resultará em uma frequência ressonante de conduto de fluxo maior e, portanto uma frequência do medidor de fluxo aumentada. A rigidez do conduto de fluxo pode ser aumentada em uma variedade de formas,
25 como discutido abaixo.

Uma frequência vibracional muito elevada pode ser alcançada vibrando o conjunto de medidor de fluxo 10 em um primeiro modo de flexão. O primeiro modo de flexão compreende uma frequência ressonante do conjunto

de medidor de fluxo 10, em que o comprimento de um conduto de fluxo move-se em uma direção única. Alternativamente, a frequência vibracional muito elevada pode compreender vibrar o conjunto de medidor de fluxo 10 em um segundo modo de flexão. No segundo modo de flexão, um nó de vibração adicional existe em um conduto de fluxo em torno do centro de porções de conduto vibrante. As porções de conduto em qualquer lado desse nó vibracional movem-se em direções opostas.

Em algumas formas de realização, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 pode operar em uma frequência muito elevada como um resultado de projeto de medidor de fluxo. Em algumas formas de realização, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 pode operar em uma frequência muito elevada como um resultado da configuração de um sinal de acionamento.

Uma consequência de um fluido de fluxo multifásico é que medições de fluido precisas são afetadas e impedidas durante tais períodos de multifase. Os efeitos de multifase podem estar presentes mesmo na presença de condições de fluxo multifásico de moderadas a brandas. A natureza do fluido de fluxo multifásico pode manifestar-se em efeitos de compressibilidade/velocidade de som (SOS) e em efeitos de desacoplamento entre componentes do fluido de fluxo multifásico. Os dois efeitos podem ser controlados ou eliminados pela seleção própria de frequência vibracional e amplitude.

Os fluidos de fluxo multifásico podem incluir gases arrastados, especialmente fluxos de gás borbulhante. Os fluxos multifásicos podem incluir sólidos arrastados ou partículas sólidas arrastadas, misturas tais como concreto, pastas fluidas, etc. Além disso, fluxos multifásicos podem incluir líquidos de densidades diferentes, tais como água e componentes de petróleo, por exemplo. As fases podem ter diferentes massas, densidades, e/ou viscosidades.

Em um fluxo multifásico, a vibração de um conduto de fluxo não

necessariamente move os gases/sólidos arrastados completamente em fase com o fluido de fluxo. Esta anomalia vibracional é referida como desacoplamento ou deslizamento. Bolhas de gás, por exemplo, podem tornar-se desacopladas do fluido de fluxo, afetando a resposta vibracional e quaisquer características de fluxo subsequentemente derivadas. Bolhas pequenas tipicamente movem-se com o fluido de fluxo conforme o medidor de fluxo é vibrado. No entanto, bolhas maiores não movem com o fluido de fluxo durante vibração do conduto de fluxo. Ao contrário, as bolhas podem ser desacopladas do fluido de fluxo e podem mover-se independentemente, com bolhas de gases arrastados movendo-se mais longe e mais rápido do que o fluido de fluxo durante cada movimento vibracional. Isso adversamente afeta a resposta vibracional do medidor de vazão. Isto também acontece com partículas sólidas arrastadas no fluido de fluxo, onde as partículas de sólido são cada vez mais prováveis de dissociar do movimento do fluido de fluxo em frequências vibracionais crescentes. O desacoplamento pode ainda ocorrer onde o fluxo multifásico inclui líquidos de diferentes densidades e/ou viscosidades. A ação de desacoplamento foi verificada como sendo afetada por vários fatores, tais como a viscosidade do fluido de fluxo e a diferença em densidade entre o fluido de fluxo e o material estranho, por exemplo.

O tamanho das bolhas pode variar, dependendo da quantidade de gás presente, a pressão do fluido de fluxo, temperatura, o grau de mistura do gás no fluido de fluxo, e outras propriedades de fluxo. A extensão da diminuição em desempenho não está apenas relacionada a quanto gás total está presente, mas também ao tamanho das bolhas de gás individuais no fluxo. O tamanho das bolhas afeta a precisão da medição. Bolhas maiores ocupam mais volume, conduzindo a flutuações na densidade e densidade medida do fluido de fluxo. Devido à compressibilidade de um gás, as bolhas podem mudar em massa, ainda não necessariamente mudam em tamanho. Inversamente, se a

pressão muda, o tamanho de bolha pode correspondentemente mudar, expandindo à medida que a pressão cai ou contraindo à medida que a pressão aumenta. Isso pode também causar variações na frequência natural ou ressonante do medidor de fluxo.

5 Em um conduto vibrando, a aceleração do conduto vibrante leva as bolhas a se moverem. A aceleração de conduto é determinada por uma frequência vibracional e a amplitude vibracional. No caso de gás arrastado, as bolhas são aceleradas na mesma direção como a aceleração do conduto. As bolhas movem-se mais rápido e mais longe que o conduto de fluxo e o movimento de bolha mais rápido e deslocamento de fluido resultante levam um pouco do fluido a se mover mais lentamente que o conduto de fluxo, causando um deslocamento claro no centro de gravidade da mistura de fluido longe do centro do conduto vibrante. Esta é a base do problema de desacoplamento. Como um resultado, taxa de fluxo e características de densidade são subnotificadas (fluxo negativo e erros de densidade) quando ar arrastado está presente.

20 Pastas fluidas apresentam um problema similar. No caso de pastas fluidas, entretanto, as partículas sólidas são frequentemente mais pesadas que o componente líquido. Abaixo da aceleração do conduto vibrante, as partículas mais pesadas movem-se menos do que o líquido. Mas devido a essas partículas pesadas moverem-se menos, o centro de gravidade da mistura de fluido ainda se move ligeiramente para trás a partir do centro do conduto. Isso novamente resulta em fluxo negativo e erros de densidade.

25 Nos casos gás-líquido, sólido-líquido, e líquido-líquido, o movimento diferencial da fase arrastada é acionado pela diferença em densidade entre a fase arrastada e o componente líquido. Se a compressibilidade do gás é negligenciada, então as mesmas equações podem ser usadas para descrever o comportamento de todos três cenários.

A compensação para o desacoplamento de fluido foi difícil devido a existir vários fatores que determinam quantas bolhas movem-se com relação ao fluido. Viscosidade de fluido é um fator óbvio. Em um fluido muito viscoso, bolhas (ou partículas) são efetivamente congeladas no lugar no fluido e erro de fluxo pequeno resulta. Em uma frequência vibracional muito baixa, o fluido de fluxo agirá como um fluido muito viscoso, isto é, como se a viscosidade fosse infinita. Em uma frequência vibracional muito elevada, o fluido de fluxo vai atuar como um fluido não viscoso, isto é, como se a viscosidade fosse aproximadamente zero.

Viscosidade é uma medida da resistência de um fluido que está sendo deformado por, quer tensão de cisalhamento ou tensão extensional. Em geral, é a resistência de um líquido para fluir, uma quantificação da espessura do fluido. Viscosidade pode ser pensada como uma medida de atrito de fluido. Todos fluidos reais têm alguma resistência à tensão, mas um fluido que não tem resistência a tensão de cisalhamento é conhecido como um fluido ideal ou fluido invíscido.

Outra influência em mobilidade de bolha é o tamanho de bolha. O arrasto em uma bolha é proporcional à área de superfície, considerando que a força flutuante é proporcional ao volume. Portanto, bolhas muito pequenas têm um arrasto elevado para a razão de flutuabilidade e tendem a mover-se com o fluido. Bolhas pequenas subsequentemente causam erros pequenos. Inversamente, bolhas grandes tendem a não mover-se com o fluido e resultam em erros grandes. O mesmo vale para partículas sólidas, como partículas pequenas tendem a mover-se com o fluido e causam erros pequenos.

Outro problema causado por vibração são os efeitos de velocidade de som (SOS) ou compressibilidade. Esses efeitos tornam as medições de fluxo de massa e densidade cada vez mais imprecisas para fluxos gasosos à medida que a frequência vibracional aumenta.

A diferença de densidade é outro fator. Uma força flutuante é proporcional à diferença em densidade entre o fluido e o gás. Uma pressão elevada pode ter uma densidade elevada o suficiente para afetar a força flutuante e reduzir o efeito desacoplante. Além disso, bolhas grandes ocupam mais volume, levando a flutuações verdadeiras na densidade do fluido de fluxo. Devido à compressibilidade de um gás, as bolhas podem mudar em quantidade de gás e ainda não necessariamente mudar em tamanho. Inversamente, se a pressão muda, o tamanho de bolha pode correspondentemente mudar, expandindo à medida que a pressão cai ou contraindo à medida que a pressão aumenta. Isso pode também causar variações na frequência natural ou ressonante do medidor de fluxo e deste modo variações na densidade de duas fases real.

Fatores de segunda ordem podem também ter um efeito em mobilidade de bolha e partícula. A turbulência em um fluido de taxa de fluxo elevada pode quebrar bolhas de gás grandes em menores, deste modo reduzindo erro de desacoplamento. Tensoativos reduzem tensão de superfície de bolhas e diminuem sua tendência a coalescer. Válvulas podem diminuir tamanho de bolha através de turbulência aumentada enquanto os cotovelos dos dutos aumentam o tamanho de bolha forçando-as juntas através de força centrífuga.

Deve ser entendido que a mais abordagem comum e menos difícil e menos cara é evitar fluidos de fluxos multifásicos. No entanto, isso não é sempre prático ou possível. A abordagem discutida aqui não é evitar desacoplamento de multifase e efeitos de SOS/compressibilidade, mas ao contrário operar um medidor de fluxo de tal forma como para gerar um efeito de erro conhecido e substancialmente constante. Como um resultado, derivações de medições de fluxo são simplificadas. Erros em medição podem então ser removidos.

Foi descoberto que os efeitos de desacoplamento podem alcançar

um limite superior. Este limite superior proporciona benefícios até então não reconhecidos. Por exemplo, se o fluido de fluxo é vibrado em uma frequência elevada o suficiente, então o efeito desacoplante alcançará um limite previsível superior. Foi verificado que para gases arrastados em frequências vibracionais muito elevadas, o efeito desacoplante não será mais do que cerca de 3:1, isto é, uma bolha de gás moverá cerca de três vezes tão longe quanto o componente líquido move-se. Foi verificado que para sólidos arrastados em frequências vibracionais muito elevadas, o efeito desacoplante será cerca de igual à quantidade $3/(1+(2*\rho_p/\rho_f))$. Se a densidade da partícula sólida é muito maior do que da líquida, então as partículas sólidas arrastadas permanecerão substancialmente estacionárias enquanto o componente líquido move-se com a vibração do conduto de fluxo.

Compressibilidade não se aplicará a sólidos arrastados. Consequentemente, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada pode ser vibrado a uma frequência igual a ou maior do que a frequência de limite superior para o desacoplamento. Quaisquer efeitos resultantes de SOS/compressibilidade podem ser compensados pelo uso de técnicas convencionais.

O limite superior pode ser independente de tamanho de conduto de fluxo, formato, ou geometria. O limite superior pode ser independente do componente líquido. O limite superior pode ser primariamente dependente de uma razão de densidade entre o componente líquido e o material estranho.

Uma capacidade de frequência muito elevada do medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada pode ser alcançada através de parâmetros de projeto apropriados. Uma abordagem para produzir o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é aumentar uma frequência de sinal de acionamento. Isso pode ser feito independentemente a partir de uma frequência ressonante do medidor de fluxo. Por exemplo, o medidor de fluxo

5 pode ser operado em modos de flexão maiores.

Outra abordagem para produzir o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 é que a rigidez do medidor deve ser aumentada a fim de aumentar a frequência de operação e/ou a frequência ressonante (ou natural), junto com uma amplitude de conduto. A rigidez do medidor pode ser aumentada de qualquer maneira. No entanto, várias formas prováveis estão discutidas abaixo.

Um fator em rigidez de medidor é um comprimento do conduto de fluxo. O comprimento de medidor de fluxo está substancialmente correlacionado com a rigidez do medidor, em que diminuir o comprimento de medidor será traduzido a algum aumento em rigidez de medidor e frequência operacional. Consequentemente, o comprimento de medidor de fluxo pode ser escolhido a fim de alcançar pelo menos algum aumento da rigidez do medidor.

Um fator em rigidez de medidor é a razão de aspecto do conduto de fluxo. Para propósitos dessa discussão, a razão de aspecto de medidor de fluxo é definida como uma altura (h) de medidor de fluxo dividida pelo comprimento de medidor de fluxo (L), onde a razão de aspecto = (H/L) (ver FIG. 3). Onde a altura (H) é menor que o comprimento (L), a razão de aspecto de altura-para-comprimento (H/L) será menor que um. Onde o medidor de fluxo é medidor de fluxo direto, a razão de aspecto de altura-para-comprimento (H/L) será efetivamente zero. Onde a altura (H) é maior do que o comprimento (L), a razão de aspecto de altura-para-comprimento (H/L) será maior do que um. Por exemplo, no medidor de fluxo 5 de FIG. 2, a razão de aspecto de altura-para-comprimento (H/L) será significativamente maior que um e pode alcançar um número relativamente elevado. Diminuir a razão de aspecto de altura-para-comprimento (H/L) aumentará a rigidez do medidor e a frequência ressonante de medidor. Como uma consequência, a razão de aspecto de altura-para-comprimento (H/L) pode ser escolhida a fim de alcançar pelo menos

algum aumento da rigidez do medidor.

Um fator em rigidez de medidor é um material de conduto de fluxo. O material de conduto de fluxo pode ser selecionado a fim de alcançar pelo menos um pouco de aumento de rigidez de medidor e um correspondente aumento de frequência vibracional.

Um fator em rigidez de medidor é espessura do conduto de fluxo. A espessura do conduto de fluxo pode ser aumentada a fim de alcançar pelo menos um pouco de aumento de rigidez de medidor. A espessura do conduto de fluxo pode ser aumentada por qualquer quantidade apropriada. No entanto, como uma matéria prática, aumentos substanciais em espessura do conduto de fluxo podem resultar em um peso aumentado.

Um fator em rigidez de medidor é um formato do conduto de fluxo. O formato do conduto de fluxo pode ser projetado a fim de alcançar pelo menos um pouco de aumento de rigidez de medidor. O formato do conduto de fluxo pode ser modificado de qualquer maneira desejável, incluindo usando condutos de substancialmente redondos, elípticos, retangulares, irregulares, ou outros formatos apropriados.

Um fator em rigidez de medidor é a geometria do conduto de fluxo. A geometria do conduto de fluxo pode ser projetada a fim de alcançar pelo menos um pouco de aumento de rigidez de medidor. A geometria do conduto de fluxo pode ser afetada de qualquer maneira desejável, incluindo o uso de seções retas e curvadas apropriadas, por exemplo. Por exemplo, um conduto de fluxo reto tem uma maior rigidez que um medidor de fluxo de conduto em formato de U do mesmo comprimento.

Um fator em frequência de medidor é uma massa de conduto de fluxo. A frequência ressonante do conjunto de medidor de fluxo se elevará conforme a massa do conduto de fluxo é diminuída. A massa do conduto de fluxo pode ser diminuída de qualquer maneira desejável, incluindo através do

uso de condutos de fluxo mais leves.

Um fator em rigidez de medidor é um limitador nodal de conduto de fluxo e localidades de nó vibracional. O conjunto de medidor de fluxo 10 pode incluir um ou mais limitadores nodais que controlam a posição de nó de 5 vibração e, portanto, afetam o eixo de flexão e a resposta vibracional. Um limitador nodal comum na forma de realização mostrada compreende o espaçador 106 em combinação com os coletores 102 e 102'. Alternativamente, em outras formas de realização o limitador nodal pode compreender uma ou mais barras de suporte que se estendem rigidamente entre os dois condutos de 10 fluxo em um ponto definido substancialmente próximo aos flanges 101 e 101', isto é, substancialmente nas duas extremidades do medidor de fluxo 5 (não mostrado). O um ou mais limitadores nodais são incluídos a fim de fixar os nós vibracionais dos condutos de fluxo curvados 103A e 103B, criando eixos de flexão desejados. O um ou mais limitadores nodais podem ser posicionados a 15 fim de diminuir o comprimento dos condutos de fluxo que experimentam a vibração, por meio disso aumentando uma frequência ressonante do medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5.

Como um resultado de projeto de medidor cuidadoso, o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 pode ser operado em 20 frequências muito elevadas. A operação em frequência muito elevada resultará no desacoplamento sendo mantido em ou próximo de uma razão de desacoplamento de 3:1 para gases arrastados ou cerca de $3/(1+(2*\rho_p/\rho_f))$ para sólidos arrastados. Além disso, a operação em frequência muito elevada resultará em características de fluxo similares a um fluxo cuja viscosidade é 25 efetivamente zero. Como uma consequência, o material estranho no fluido de fluxo multifásico move-se previsivelmente com relação ao fluido de fluxo componente líquido. Isso é verdade se o material estranho compreende gás ou componentes sólidos. Isso é verdade se o material estranho é de uma densidade

moderadamente diferente que o fluido de fluxo ou se o material estranho tem uma densidade muito diferente. Como uma consequência, o material estranho arrastado não afetará substancialmente as medições realizadas pelo medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada 5 após os erros previsíveis devido a desacoplamento e efeitos de SOS/compressibilidade serem removidos. Além disso, o medidor de fluxo 5 irá operar de forma consistente e previsível, independentemente de variações na fração vazia de gás (GVF) e/ou fração de sólidos, enquanto estando apto a satisfatoriamente medir o fluido de fluxo mesmo à medida que a composição do fluido de fluxo multifásico varia, como discutido abaixo em conjunto com equações (13-19).

A eletrônica do medidor 20 gera um sinal de acionamento para o acionador 104 e assim pode ser configurada para acionar/vibrar o conjunto de medidor de fluxo 10 na frequência muito elevada. Como é uma prática comum em medidores de fluxo vibratório, isso implica uma eletrônica do medidor 20 gerar um sinal de acionamento de uma frequência pré-determinada, em que a frequência pré-determinada pode ser afetada e modificada por realimentação tomada a partir dos sinais de desvio. Por exemplo, o sinal de acionamento pode ser controlado de acordo com a realimentação a fim de alcançar uma frequência ressonante (isto é, natural) em uma resposta vibracional como medida pelos sensores de desvio 105 e 105'. A eletrônica do medidor 20 pode ser configurada para operar em maiores modos de flexão.

A eletrônica do medidor 20 pode ser configurada para gerar a frequência muito elevada de várias formas. Uma eletrônica do medidor 20 pode ser configurada durante fabricação, tal como programando apropriadamente uma memória de uma eletrônica do medidor 20. Alternativamente, a eletrônica do medidor 20 pode ser configurada com uma frequência muito elevada durante um processo de calibração, por exemplo, onde uma programação de frequência muito elevada em algumas formas de realização pode depender da

rigidez de medidor medida ou determinada como determinado pelo processo de calibração. Em alternativa, a frequência muito elevada pode ser derivada ou determinada durante uma operação de partida de medidor. Por exemplo, a frequência muito elevada pode ser baseada em valores pré-armazenados ou inseridos pelo usuário. Isso pode incluir, por exemplo, uma frequência muito elevada que é baseada em informação pré-armazenada ou inserida pelo usuário com relação à natureza do fluido de fluxo multifásico.

Medidores de fluxo de massa Coriolis e densitômetros vibratórios requerem que o fluido de fluxo mova-se com os condutos de fluxo durante oscilação na frequência natural do medidor. Quando material estranho é introduzido, essa suposição não é mais válida, conforme existe movimento relativo ou desacoplamento entre as duas ou mais fases. Um modelo foi desenvolvido para prever as condições que são necessárias para uma boa medição de densidade de mistura, dadas as condições de operação de medidor específicas. O modelo de fluidos, que foi validado experimentalmente, pode prever efeitos de desacoplamento. As equações para encontrar uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) e um ângulo de fase de desacoplamento (φ) são:

$$m_p \frac{dv}{dt} = F_{arrastar} + F_{história} + F_{massaadicionada} + F_{flutuante} \quad (1)$$

A razão de desacoplamento (A_p/A_f) compreende a razão da amplitude de partícula (A_p) contra a amplitude de conduto de fluxo (A_f). A partícula pode compreender qualquer material estranho, incluindo bolhas de gás, partículas sólidas, ou ainda porções de um fluido diferentes arrastadas dentro do fluido de fluxo. Os termos individuais de equação (1) são definidos como:

$$F_{arrastar} = 6\pi\mu_f a(u-v)\phi(Re) \quad (2)$$

$$F_{história} = 6\pi\mu_f a \left(\frac{u-v}{\delta} + \frac{\delta}{2} \frac{d(u-v)}{dt} \right) \quad (3)$$

$$F_{massaadicionada} = \frac{2}{3} \pi \rho_f a^3 \left(\frac{du}{dt} - \frac{dv}{dt} \right) \quad (4)$$

$$F_{\text{flutuabilidade}} = \frac{4}{3} \pi \rho_f a^3 \frac{du}{dt} \quad (5)$$

O movimento do fluido de fluxo é assumido para corresponder ao movimento do conduto de fluxo. O movimento da bolha ou partícula é calculado como:

$$5 \quad \text{Velocidade de fluido} = u = A_f \cos(\omega t) \quad (6)$$

$$\text{Velocidade de partícula} = v = A_p \cos(\omega t + \phi) \quad (7)$$

O número de Stokes inverso (δ) compreende:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\eta}{\omega a^2}} \quad (8)$$

O número de Stokes inverso (δ) considera a viscosidade cinemática de fluido de fluxo (η), a frequência vibracional angular (ω), e o raio de partícula ou bolha (a) do material estranho. A viscosidade cinemática (η) compreende a viscosidade dinâmica (μ) dividida pela densidade (ρ) do fluido, isto é, $\eta = \mu/\rho$. O material estranho pode incluir gases arrastados ou sólidos arrastados, como previamente discutido. O número de Stokes inverso (δ)
10 portanto, pode ser usado para mais completamente e precisamente determinar um limite de frequência vibracional superior que é possível através apenas de uma especificação de frequência.

Conforme a razão de densidade aumenta além de cerca de 50, a razão de desacoplamento é primariamente dependente do número de Stokes inverso (δ). Isso é especialmente importante porque todas as misturas gás/líquido têm razões de densidade elevadas, geralmente acima de 100. Deste modo, para as condições de fluxo multifase mais comuns em um medidor de fluxo vibratório, a extensão do erro de medição depende primariamente do número de Stokes inverso (δ). Portanto, se o número de Stokes inverso (δ) é
20 muito pequeno, o resultado se aproxima do caso invíscido de uma razão de desacoplamento de 3:1, enquanto se o parâmetro for grande, movimento relativo é restrito e a razão de desacoplamento se aproxima de 1:1. O número
25

de Stokes inverso (δ) ilustra que o equilíbrio entre viscosidade cinemática de fluido, tamanho de partícula, e frequência é importante, não qualquer uma dessas variáveis sozinhas. No entanto, frequência é controlada por características de projeto de medidor, enquanto viscosidade e tamanho de partícula ou bolha dependem de condições de processo complexas e frequentemente incontroláveis.

Para o propósito de operar um medidor de fluxo vibratório em uma frequência vibracional elevada a fim de operar em um regime multifase previsível e esperado, o número de Stokes inverso (δ) pode ser usado para determinar se uma frequência vibracional é elevada o suficiente. O número de Stokes inverso (δ) em algumas formas de realização compreende um número menor que cerca de 0,1. O número de Stokes inverso (δ) em algumas formas de realização compreende um número menor que cerca de 0,01.

As equações acima podem ser usadas para encontrar movimento de partícula no meio oscilante de um medidor de fluxo vibratório dentro de cerca de mais ou menos dez por cento de precisão para a amplitude vibracional e diferença de fase na maioria das situações.

As seis entradas necessárias para resolver as equações acima para movimento de bolha são: uma frequência de resposta vibracional (f), a amplitude de resposta vibracional (A_f), a densidade de fluido (ρ_f), a densidade de partícula (ρ_p) das partículas de material estranho arrastado no fluido de fluxo, a viscosidade do fluido de fluxo, e a distribuição de tamanho de partícula (a) do material estranho arrastado no fluido de fluxo. A frequência de resposta vibracional (f) e a amplitude de resposta vibracional (A_f) podem ser determinadas a partir de uma resposta vibracional do um ou mais condutos de fluxo (103A, 103B), tais como a partir de um sinal de resposta vibracional gerado pelos desvios (105, 105'). A densidade de fluido (ρ_f) pode ser especificada por um usuário, tal como no caso de um fluido de fluxo

conhecido, ou pode ser obtida por medição. A densidade de partícula (ρ_p) pode ser especificada por um cliente ou alternativamente pode ser determinável a partir da lei de gases ideais no caso de gás arrastado, dada uma temperatura e pressão medidas do fluido de fluxo. A viscosidade pode ser especificada por um cliente, tal como no caso de um fluido de fluxo conhecido, ou pode ser obtida por medição. A distribuição de tamanho de partícula (a) pode ser especificada por um cliente, tal como no caso de um fluido de fluxo conhecido, ou pode ser obtida por medição, incluindo medições acústicas ou de radiação de bolhas ou partículas de material estranho no fluido de fluxo.

Medidores de frequência elevada tipicamente não funcionaram bem para aplicações de gases arrastados. A razão principal para o desempenho fraco é que a razão de desacoplamento é muito elevada, geralmente mais do que 2:1. Também, os efeitos de velocidade de som causam erros adicionais, que são previstos pelo modelo:

$$\rho_{\text{vos, erro}} = \frac{1}{4} \left(\frac{\omega d}{2c_{\text{mis}}} \right)^2 \times 100 \quad (9)$$

$$\dot{m}_{\text{vos, erro}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega d}{2c_{\text{mis}}} \right)^2 \times 100 \quad (10)$$

A frequência angular de vibração (ω) é relacionada a uma frequência vibracional por $\omega = 2\pi f$. A velocidade de som da mistura (c_m) pode ser calculada com uma equação bem conhecida (ver abaixo). O diâmetro do tubo de fluxo (d) é conhecido.

A razão de amplitude e o atraso de fase entre o fluido de fluxo e material estranho arrastado na mesma são, em geral, funções extremamente complexas de tamanho de partícula, densidade de partícula, densidade de fluido, frequência, amplitude de oscilação de fluido, e viscosidade de fluido. Alguns desses parâmetros são difíceis de medir, incluindo tamanho de partícula, conforme elas dependem de muitos outros fatores, incluindo configuração de dutos, por exemplo.

Ao contrário do modelo viscoso, um modelo invíscido para movimento de partícula é dependente apenas das densidades de ambas as fases, que são frequentemente conhecidas para precisão razoável. Além disso, no modelo invíscido, movimento é independente de tamanho de partícula e pode ser representado como:

$$\left(1 + \frac{2\rho_p}{\rho_f}\right) \frac{dv}{dt} = 3 \frac{du}{dt} \quad (11)$$

Em geral, o modelo invíscido (isto é, um fluido que não exibe viscosidade) não é aplicável a um medidor de fluxo vibratório, como um medidor de fluxo vibratório é comumente usado para medir fluidos viscosos.

Mesmo água tem viscosidade suficiente para significativamente afetar os resultados. No entanto, acontece que conforme uma frequência vibracional é aumentada, as propriedades físicas do fluxo oscilatório são cada vez mais similares ao caso invíscido, mesmo para um fluido com alguma viscosidade. Se frequência de oscilação é muito elevada, por exemplo 2.000 Hz, então o modelo invíscido aplica-se e uma bolha de gás move-se cerca de 3 vezes mais que o fluido, sem atraso de fase. Em geral, isso é uma coisa ruim para medições. Maior desacoplamento significa mais erros de densidade e fluxo de massa. No entanto, a vantagem significativa de operar nessa elevada frequência é que movimentos de bolhas e partículas apenas dependem da razão de densidade. O movimento de material estranho, quer gás ou sólido, não depende da distribuição de tamanho, que é geralmente desconhecida, e pode ser impossível de determinar.

O erro de densidade devido ao desacoplamento para razões de desacoplamento arbitrárias pode ser previsto de acordo com:

$$\rho_{\text{erro}} = \rho_{\text{medidor}} - \rho_{\text{mis}} = -(\rho_f - \rho_p) \phi_p \left(\frac{A_p}{A_f} - 1 \right) \quad (12)$$

Em elevadas frequências, os efeitos de SOS/compressibilidade serão importante e são adicionados, dando:

$$\rho_{medidor} - \rho_{mis} = \frac{\rho_{mis}}{4} \left(\frac{\omega(d/2)}{c_{mis}} \right)^2 - (\rho_f - \rho_p) \phi_p \left[\left(\frac{A_p}{A_f} \right) - 1 \right] \quad (13)$$

A equação acima descreve o erro de densidade como um desvio a partir de uma densidade de mistura verdadeira devido aos efeitos combinados de SOS/compressibilidade e desacoplamento. Se todos seis parâmetros de entrada para as equações de movimento de partícula são conhecidos, a razão de desacoplamento (A_p/A_f) pode ser calculada geralmente para qualquer frequência. No entanto, se o medidor é operante em uma frequência muito elevada, então a razão de desacoplamento (A_p/A_f) é conhecida como sendo cerca de três para bolhas de gás em um líquido, isto é, uma bolha se moverá cerca de três vezes a distância que o fluido de fluxo, ainda que sem qualquer atraso de fase. Consequentemente, para uma frequência vibracional satisfatoriamente elevada, equação (13) torna-se:

$$\rho_{medido} - \rho_{mix} = \frac{\rho_{mix}}{4} \left(\frac{\omega(d/2)}{c_{mix}} \right)^2 - 2(\rho_f - \rho_p) \phi_p \quad (14)$$

Agora a equação depende apenas das quantidades que são geralmente conhecidas em muitos processos. Três outras equações são necessárias a fim de simultaneamente resolver e determinar as quatro incógnitas (ϕ_f , ϕ_p , ρ_{mis} , c_{mis}), onde o termo (ϕ_f) é a fração de líquido, o termo (ϕ_p) é a fração de partícula/gás, o termo (ρ_{mis}) é a densidade de fluido de fluxo multifásico (isto é, mistura), e o termo (c_{mis}) é a velocidade de som na mistura.

$$\rho_{mix} = \rho_f \phi_f + \rho_p \phi_p \quad (15)$$

$$\phi_f + \phi_p = 1 \quad (16)$$

$$\frac{1}{\rho_{mix} c_{mix}^2} = \frac{\phi_f}{\rho_f c_f^2} + \frac{\phi_p}{\rho_p c_p^2} \quad (17)$$

Equações (14-17) podem ser resolvidas simultaneamente para as frações de volume, a densidade de mistura, e a velocidade de som de mistura. Deste modo, uma frequência vibracional elevada, a fração de gás e a fração de líquido podem ser determinadas. A partir das frações de gás e de líquido determinadas, a taxa de fluxos dos dois componentes pode ser estimada, quer

em massa ou volume (isto assumindo sem deslizamento de bolhas e ao contrário assumindo que a bolha move-se na mesma velocidade para baixo no duto como o líquido). Essas taxas de fluxos de outra forma seriam incógnitas porque um medidor Coriolis ou densitômetro mede uma densidade de mistura, mesmo quando nenhum desacoplamento ou efeitos de SOS/compressibilidade estão presentes. Cálculo de uma taxa de massa de líquido ou de fluxo de volume é desejável porque o usuário tipicamente apenas preocupa-se acerca da medição de líquido. Esse cálculo de taxa é proveniente de resolver simultaneamente duas mais equações linearmente independentes:

$$\dot{m}_{mix} = \dot{m}_f + \dot{m}_p \quad (18)$$

$$\frac{\dot{m}_{mix}}{\rho_{mix}} = \frac{\dot{m}_f}{\rho_f} + \frac{\dot{m}_p}{\rho_p} \quad (19)$$

Onde $(\dot{m}_f)$ é a taxa de fluxo de massa de fluido de fluxo, o termo $(\dot{m}_p)$ é o taxa de fluxo de massa de partícula de material estranho, e o termo $(\dot{m}_{mix})$ é a taxa de fluxo de massa de mistura multifase. A equação acima não assume deslizamento entre o material estranho e o fluido de fluxo.

É possível vibrar o conduto de fluxo em frequências ressonantes adicionais de modo de flexão para determinar as frações de fase para uma mistura que inclui mais do que dois componentes. Por exemplo, considerar a seguinte mistura de óleo, água, e gás. O sistema de equações a ser resolvido, com cinco incógnitas, $(\phi_g, \phi_w, \phi_o, \rho_{mix}, c_{mix})$, compreende:

$$\phi_g + \phi_w + \phi_o = 1 \quad (20)$$

$$\phi_g \rho_g + \phi_w \rho_w + \phi_o \rho_o = \rho_{mistura} \quad (21)$$

$$\frac{1}{\rho_{mix} c_{mix}^2} = \frac{\phi_g}{\rho_g c_g^2} + \frac{\phi_w}{\rho_w c_w^2} + \frac{\phi_o}{\rho_o c_o^2} \quad (22)$$

$$\frac{\rho_{baixa,elevada} - \rho_{mistura}}{\rho_{mistura}} = \frac{1}{4} \left(\frac{\omega_{baixa,elevada} (d/2)}{c_m} \right)^2 \quad (23)$$

Existem realmente cinco equações, como a última está sendo aplicada em ambos, modo de flexão de baixa frequência e um modo de flexão de alta frequência. Os índices representam óleo (o), água (w), e gás (g).

Nesse caso, porque se vibra em uma frequência baixa e uma elevada, tamanho de bolha de gás deve ser muito pequeno para evitar deslizamento e desacoplamento de bolha. Alternativamente, o medidor poderia ser vibrado em um modo de flexão de frequência muito baixa e muito elevada simultaneamente, em cujo caso o sistema de equações pode ser resolvido com consideração própria das várias formas de equação (23).

Em muitos casos, tamanho de bolha não é pequeno o suficiente para fazer essas suposições (especialmente em um medidor empregando uma frequência vibracional moderada a elevada). No entanto, desacoplamento pode ser adicionado de volta na equação de modo que o método funciona em geral aplicando equação (13) em modos elevados e baixos. Como sempre, o problema é que para usar a razão de desacoplamento (A_p/A_f), assumir isso não poderia ser explicitamente calculado. Pelo menos no modo elevado, a razão de desacoplamento (A_p/A_f) será quase ou aproximadamente três. Em um modo de frequência baixa, pode ser assumido que uma frequência foi baixa o suficiente para negligenciar desacoplamento, isto é, onde a razão de desacoplamento (A_p/A_f) é aproximadamente um. Alternativamente, um valor intermediário pode ser assumido e usado.

REIVINDICAÇÕES

1. Medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100), caracterizado pelo fato de compreender:

um conjunto de medidor de fluxo (10) incluindo um ou mais
5 condutos de fluxo (103A, 103B), com o conjunto de medidor de fluxo (10) sendo configurado para gerar uma resposta de frequência muito elevada que está acima da frequência de desacoplamento máxima pré-determinada para o fluido de fluxo independente de um tamanho de material estranho ou de uma composição de material estranho; e
10 eletrônica do medidor (20) acoplada ao conjunto de medidor de fluxo (10) e configurada para receber uma resposta vibracional de frequência muito elevada e gerar uma ou mais medições de fluxo a partir da mesma.

2. Medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a eletrônica do
15 medidor (20) é configurada de modo que uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) é cerca de 3:1 para gás arrastado na frequência muito elevada.

3. Medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a eletrônica do medidor (20) é configurada de modo que uma razão de desacoplamento (A_p/A_f)
20 é cerca de igual à quantidade $3/(1+(2*\rho_p/\rho_f))$ para sólidos arrastados na frequência muito elevada.

4. Medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a eletrônica do medidor (20) é configurada de modo que uma viscosidade é efetivamente zero
25 com relação ao movimento da partícula para o fluido de fluxo na frequência muito elevada.

5. Medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a resposta

vibracional de frequência muito elevada corresponde a um número de Stokes inverso (δ) que é menor do que cerca de 0,1.

6. Medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a frequência muito elevada está acima de cerca de 1.500 Hertz (Hz).

7. Medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a frequência muito elevada está acima de cerca de 2.000 Hertz (Hz).

8. Medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o um ou mais condutos de fluxo (103A, 103B) são configurados para alcançar uma frequência muito elevada por configuração de um ou mais dentre rigidez do conduto de fluxo, comprimento do conduto de fluxo, razão de aspecto do conduto de fluxo, material de conduto de fluxo, espessura do conduto de fluxo, formato do conduto de fluxo, geometria do conduto de fluxo, ou uma ou mais posições do nó vibracional.

9. Medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado para operar em um primeiro modo de flexão.

10. Medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada (100) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado para operar em frequências de modo de flexão maiores.

11. Método de operar um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada, o método caracterizado pelo fato de compreender:

vibrar um ou mais condutos de fluxo do medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada em uma frequência muito elevada, em

que a frequência muito elevada está acima de uma frequência de desacoplamento máxima pré-determinada para o fluido de fluxo independente de um tamanho de material estranho ou de uma composição de material estranho;

- 5 receber uma resposta vibracional de frequência muito elevada; e
gerar uma ou mais medições de fluxo a partir de uma resposta vibracional de frequência muito elevada.

12. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é
10 configurado de modo que uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) é cerca de 3:1 para gás arrastado na frequência muito elevada.

13. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado de modo que uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) é cerca de
15 igual à quantidade $3/(1+(2*\rho_p/\rho_f))$ para sólidos arrastados na frequência muito elevada.

14. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado de modo que uma viscosidade é efetivamente zero com relação ao
20 movimento da partícula para o fluido de fluxo na frequência muito elevada.

15. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que a resposta vibracional de frequência muito elevada corresponde a um número de Stokes inverso (δ) que é menor do que cerca de 0,1.

16. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que a frequência muito elevada está acima de cerca de 1.500 Hertz (Hz).
25

17. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que a frequência muito elevada está acima de cerca de 2.000 Hertz (Hz).

18. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo

fato de que um ou mais condutos de fluxo do medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada são configurados para alcançar uma frequência muito elevada por configuração de um ou mais dentre rigidez do conduto de fluxo, comprimento do conduto de fluxo, razão de aspecto do conduto de fluxo, material de conduto de fluxo, espessura do conduto de fluxo, formato do conduto de fluxo, geometria do conduto de fluxo, ou uma ou mais posições do nó vibracional.

19. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado para operar em um primeiro modo de flexão.

20. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado para operar em frequências de modo de flexão maiores.

21. Método de formar um medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada, o método caracterizado pelo fato de compreender:

determinar uma frequência muito elevada pré-determinada para o medidor de fluxo vibratório com base em pelo menos um fluido de fluxo esperado, em que a frequência muito elevada está acima de uma frequência de desacoplamento máxima pré-determinada para o fluido de fluxo independente do tamanho de material estranho ou de uma composição de material estranho;

configurar o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada para operar na frequência muito elevada; e

construir o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada.

22. Método de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que a eletrônica do medidor é configurada de modo que uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) é cerca de 3:1 para gás arrastado na frequência muito elevada.

23. Método de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que a eletrônica do medidor é configurada de modo que uma razão de desacoplamento (A_p/A_f) é cerca de igual à quantidade $3/(1+(2*\rho_p/\rho_f))$ para sólidos arrastados na frequência muito elevada.

24. Método de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que a eletrônica do medidor é configurada de modo que uma viscosidade é efetivamente zero com relação ao movimento da partícula para o fluido de fluxo na frequência muito elevada.

25. Método de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que a resposta vibracional de frequência muito elevada corresponde a um número de Stokes inverso (δ) que é menor do que cerca de 0,1.

26. Método de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que a frequência muito elevada está acima de cerca de 1.500 Hertz (Hz).

27. Método de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que a frequência muito elevada está acima de cerca de 2.000 Hertz (Hz).

28. Método de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o um ou mais condutos de fluxo são configurados para alcançar uma frequência muito elevada por configuração de um ou mais dentre rigidez do conduto de fluxo, comprimento do conduto de fluxo, razão de aspecto do conduto de fluxo, material de conduto de fluxo, espessura do conduto de fluxo, formato do conduto de fluxo, geometria do conduto de fluxo, ou uma ou mais posições do nó vibracional.

29. Método de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado para operar em um primeiro modo de flexão.

30. Método de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o medidor de fluxo vibratório de frequência muito elevada é configurado para operar em frequências de modo de flexão maiores.

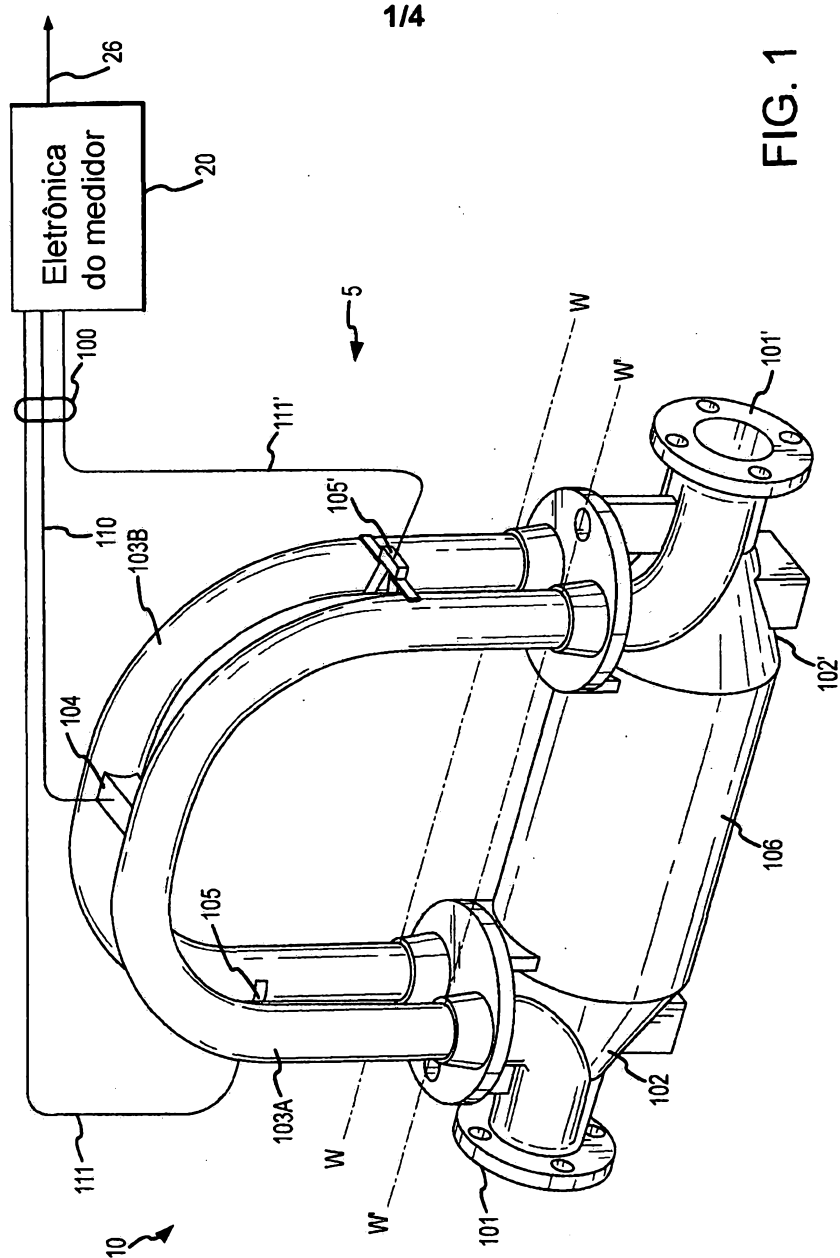


FIG. 1

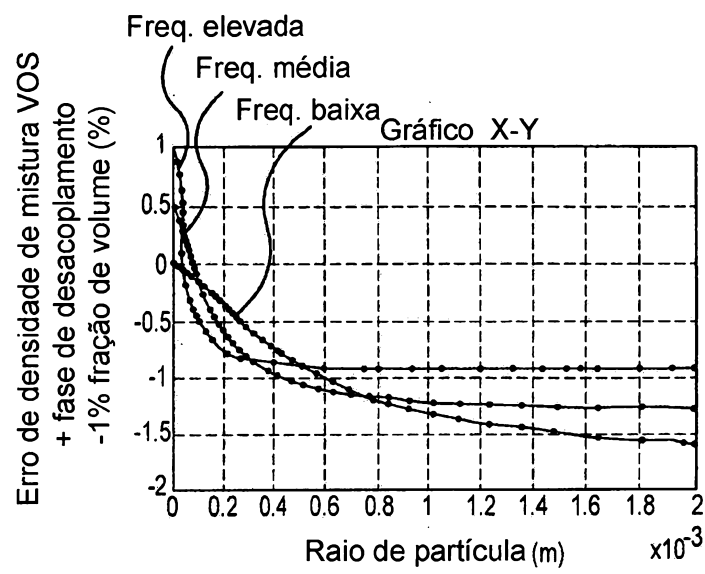


FIG. 2

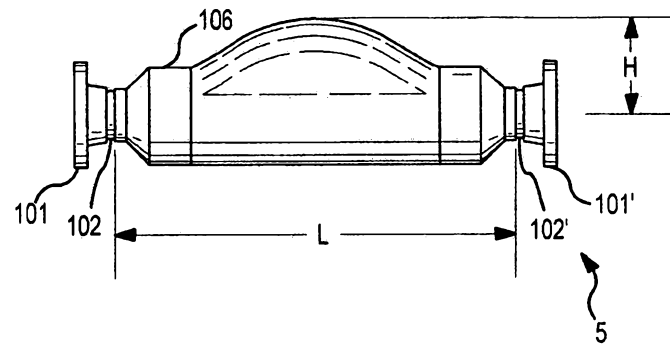


FIG. 3

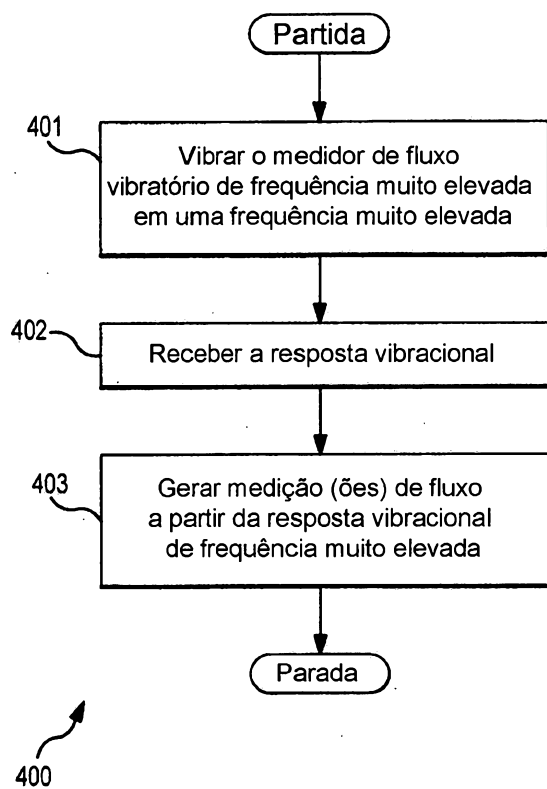


FIG. 4