



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

**(11) BR 112012003654-8 B1**



**(22) Data do Depósito: 26/05/2009**

**(45) Data de Concessão: 11/10/2022**

**(54) Título:** MEDIDOR DE FLUXO, E, MÉTODO DE FORMAR O MESMO

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

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

**(72) Inventor(es):** CHRISTOPHER A. WERBACH; GREGORY TREAT LANHAM; ANDREW TIMOTHY PATTEN.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2009045165 de 26/05/2009

**(87) Publicação PCT:** WO 2010/138111 de 02/12/2010

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 17/02/2012

**(57) Resumo:** MEDIDOR DE FLUXO, E, MÉTODO DE FORMAR O MESMO. Um medidor de fluxo (200) é provido que compreende um tubo de fluxo curvado (203) e um membro de equilíbrio (250). O membro de equilíbrio (250) está posicionado de modo que uma linha de centro (341) do membro de equilíbrio (250) repousa sobre um plano de uma linha de centro (340) do tubo de fluxo curvado (203). O medidor de fluxo (200) também inclui um acionador (104) incluindo um primeiro componente de acionador (104a) e um segundo componente de acionador (104b). O primeiro componente de acionador (104a) é acoplado ao tubo de fluxo curvado (203) enquanto o segundo componente de acionador (104b) é acoplado ao membro de equilíbrio (250) próximo ao primeiro componente de acionador (104a). O medidor de fluxo (200) também inclui pelo menos um primeiro sensor de desvio (105). O primeiro sensor de desvio (105) inclui um primeiro componente de desvio (105a) e um segundo componente de desvio (105b). O primeiro componente de desvio (105a) é acoplado ao tubo de fluxo curvado (203) enquanto o segundo componente de desvio (105b) é acoplado ao membro de equilíbrio (250) próximo ao primeiro componente de desvio (105a).

“MEDIDOR DE FLUXO, E, MÉTODO DE FORMAR O MESMO”

CAMPO TÉCNICO

A presente invenção refere-se a um medidor de fluxo e, mais particularmente, a um medidor de fluxo incluindo um membro de equilíbrio.

CONHECIMENTO DA INVENÇÃO

É geralmente conhecido usar medidores de fluxo de massa de efeito Coriolis para medir fluxo de massa e outra informação para materiais fluindo através de um conduto no medidor de fluxo. Medidores de fluxo Coriolis exemplares são descritos em patente U.S 4.109.524, patente U.S 4.491.025, e Re. 31.450 todos para J.E. Smith *et al.* Esses medidores de fluxo têm um ou mais condutos de configuração reta ou curvada. Cada configuração de conduto em um medidor de fluxo de massa de Coriolis tem um conjunto de modos de vibração naturais, que podem ser de tipo de flexão simples, torcional, ou acoplado. Cada conduto pode ser acionado para oscilar em um modo preferido.

Material flui no medidor de fluxo a partir de uma tubulação conectada no lado de entrada do medidor de fluxo, é direcionado através do(s) conduto(s), e sai do medidor de fluxo através do lado de saída do medidor de fluxo. Os modos de vibração naturais do sistema cheio com material vibrante são definidos em parte pela massa combinada dos condutos e do material fluindo dentro dos condutos.

Quando não há fluxo através do medidor de fluxo, uma força de acionamento aplicada ao(s) conduto(s) leva todos os pontos ao longo do(s) conduto(s) a oscilar com fase idêntica ou desvio de fase fixado inicial pequeno, que pode ser corrigido. À medida que o material começa a fluir através do medidor de fluxo, forças de Coriolis levam cada ponto ao longo do(s) conduto(s) a ter uma diferente fase. Por exemplo, a fase na extremidade de entrada do medidor de fluxo atrasa a fase na posição de acionador centralizada,

enquanto a fase na saída conduz a fase na posição de acionador centralizada. Sensores de desvio no(s) conduto(s) produzem sinais senoidais representativos do movimento do(s) conduto(s). Os sinais que saem dos sensores de desvio são processados para determinar a diferença de fase entre os sensores de desvio. A diferença de fase entre dois ou mais sensores de desvio é proporcional à taxa de fluxo de massa de material fluindo através do(s) conduto(s).

Eletrônica de medidor conectada ao acionador gera um sinal de acionamento para operar o acionador e determinar uma taxa de fluxo de massa e outras propriedades de um material de sinais recebidos dos sensores de desvio. O acionador pode compreender uma dentre muitas disposições conhecidas; entretanto, um magneto e uma bobina de acionamento oposta receberam grande sucesso na indústria de medidores de fluxo. Uma corrente alternada é passada para a bobina de acionamento para vibrar o(s) conduto(s) em uma amplitude e frequência de tubo de fluxo desejadas. É também conhecido na técnica prover os sensores de desvio como uma disposição de magneto e de bobina muito similar à disposição de acionador. No entanto, enquanto o acionador recebe uma corrente que induz um movimento, os sensores de desvio podem usar o movimento provido pelo acionador para induzir uma tensão.

A magnitude do atraso de tempo medido pelos sensores de desvio é muito pequena; ela é frequentemente medida em nanosegundos. Portanto, é necessário que a saída de transdutor seja muito precisa. A precisão de transdutor pode ser comprometida por não linearidades e assimetrias na estrutura de medidor ou de movimento resultando de forças externas. Por exemplo, um medidor de fluxo de massa de Coriolis tendo componentes desequilibrados pode vibrar sua caixa, flanges, e a tubulação na frequência de acionamento do medidor. Essa vibração perturba o sinal de atraso de tempo em uma quantidade que depende da rigidez da montagem. Uma vez que a rigidez

da montagem é geralmente desconhecida e pode mudar com o tempo e temperatura, os efeitos dos componentes desequilibrados geralmente não podem ser compensados e podem significativamente afetar o desempenho de medidor. Os efeitos dessas vibrações desequilibradas e variações de montagem podem ser reduzidos usando projetos de medidor de fluxo que são equilibrados e usando técnicas de processamento de sinal para compensar para movimento de componente não desejado.

Projetos de medidor de fluxo Coriolis de tubo duplo típicos dividem o fluxo de material em duas correntes usando coletores “manifold” e enviam as duas correntes de material nos dois tubos de fluxo separados. Os dois tubos são tipicamente de formato simétrico e montados paralelos entre si. Os dois tubos tipicamente vibram na mesma frequência, mas em fase oposta. Devido aos tubos serem simétricos e vibrados opostos entre si, as vibrações tipicamente são canceladas onde os dois tubos se unem. Isso cria um medidor de fluxo equilibrado (isto é, pequena ou nenhuma vibração do medidor nos coletores). Uma mudança em densidade no material fluindo através dos dois tubos muda a massa de ambos os tubos subsequentemente igualmente e, portanto, os dois tubos permanecem equilibrados através de uma ampla faixa de densidades de material.

Existem algumas aplicações onde os medidores de tubo duplo não são desejados devido à queda de pressão e/ou problemas de entupimento criados pelo coletor “manifold”, por exemplo. Nessas situações, um medidor de tubo único é frequentemente desejado. Um problema com medidores de fluxo Coriolis de tubo único é que eles podem tornar-se desequilibrados com densidades de fluido variantes. À medida que a densidade do fluido fluindo através do medidor de fluxo muda, o centro de massa do medidor de fluxo também muda. Esta falta de equilíbrio pode adversamente afetar o desempenho e a confiabilidade do medidor.

Portanto, há uma necessidade na técnica para um medidor de fluxo de tubo único que é capaz de permanecer equilibrado sobre uma ampla faixa de densidades de material. Encontram-se várias tentativas de técnica anterior, nenhuma das quais proveram resultados satisfatórios sobre uma ampla faixa de densidades de fluido. Por exemplo, alguns medidores de fluxo de tubo único incorporaram uma barra de contrabalanço separada. Enquanto tal solução pode proporcionar resultados aceitáveis para faixas de densidade de fluido limitadas, se ambos, os componentes de acionador e os componentes de desvio não estão conectados à barra de equilíbrio, a solução é incompleta. Outra solução de técnica anterior foi para referenciar a vibração do tubo de fluxo contra uma placa de montagem rígida. Embora isso proveja resultados adequados em uma situação ideal, é frequentemente difícil criar uma placa de montagem absolutamente estável. Portanto, vibrações externas que são transladadas à placa de montagem podem adversamente afetar o desempenho do medidor.

Outra solução de técnica anterior é introduzida em patente US 6.666.098, que descreve o uso de um contratubo que corre paralelo ao tubo de fluxo. Um problema potencial com esse projeto repousa no fato que o tubo de fluxo e o contratubo devem ser feitos de substancialmente o mesmo material e ter aproximadamente a mesma distribuição de massa. A mesma distribuição de massa é essencial para manter um sistema equilibrado nessa abordagem de técnica anterior. Além disso, devido ao tubo de fluxo e o contratubo estenderem-se paralelos um ao outro e terem, portanto, aproximadamente o mesmo comprimento, os dois devem ser feitos do mesmo material. Se o tubo de fluxo e o contratubo compreendem diferentes materiais tendo diferentes coeficientes térmicos de expansão, mudanças em temperatura podem criar tensões axiais no tubo de fluxo resultando em medições errôneas. Enquanto isso pode não ser visto como sendo um problema significativo, deve ser apreciado que em muitas circunstâncias é desejável prover um tubo de fluxo

tendo um coeficiente térmico de expansão relativamente baixo, tal como titânio ou zircônio. No entanto, tais materiais são frequentemente caros. Requerendo que ambos, o tubo de fluxo e o contratubo, sejam formados de um material caro, o custo de fabricação do medidor de fluxo é significativamente aumentado.

A presente invenção supera este e outros problemas e um avanço na técnica é alcançado. Deve ser apreciado, entretanto, que enquanto a presente invenção supera dificuldades que são particularmente predominantes com projetos de tubo único, a invenção é igualmente aplicável a medidores de tubo duplo. Embora a descrição que segue seja direcionada principalmente aos medidores de fluxo Coriolis, deve ser apreciado que a invenção é igualmente aplicável a outras estruturas vibratórias que não apresentam as capacidades de medição de medidores de fluxo Coriolis, tal como densitômetros vibratórios.

#### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Um medidor de fluxo é provido de acordo com uma forma de realização da invenção. O medidor de fluxo compreende um tubo de fluxo curvado e um membro de equilíbrio. De acordo com uma forma de realização da invenção, o membro de equilíbrio está posicionado de modo que uma linha de centro do membro de equilíbrio repousa sobre um plano da linha de centro do tubo de fluxo. Um acionador é provido incluindo um primeiro componente de acionador acoplado ao tubo de fluxo e um segundo componente de acionador acoplado ao membro de equilíbrio próximo ao primeiro componente de acionador. De acordo com uma forma de realização da invenção, o medidor de fluxo também inclui um sensor de desvio incluindo um primeiro componente de desvio acoplado ao tubo de fluxo e um segundo componente de desvio acoplado ao membro de equilíbrio próximo ao primeiro componente de desvio.

De acordo com uma forma de realização da invenção, um método

de formar um medidor de fluxo incluindo um tubo de fluxo curvado e um membro de equilíbrio é provido. O método compreende a etapa de posicionar o membro de equilíbrio próximo ao tubo de fluxo de modo que uma linha de centro do membro de equilíbrio está localizada em um plano de uma linha de centro do tubo de fluxo. O método também compreende a etapa de acoplar um primeiro componente de acionador ao tubo de fluxo e um segundo componente de acionador ao membro de equilíbrio próximo ao primeiro componente de acionador. De acordo com uma forma de realização da invenção, o método também inclui a etapa de acoplar um primeiro componente de desvio ao tubo de fluxo e um segundo componente de desvio ao membro de equilíbrio próximo ao primeiro componente de desvio.

#### ASPECTOS

De acordo com um aspecto da invenção, um medidor de fluxo compreende:

um tubo de fluxo curvado;

um membro de equilíbrio posicionado de modo que uma linha de centro do membro de equilíbrio repousa sobre um plano de uma linha de centro do tubo de fluxo curvado;

um acionador incluindo um primeiro componente de acionador acoplado ao tubo de fluxo e um segundo componente de acionador acoplado ao membro de equilíbrio próximo ao primeiro componente de acionador; e

pelo menos um primeiro sensor de desvio incluindo um primeiro componente de desvio acoplado ao tubo de fluxo e um segundo componente de desvio acoplado ao membro de equilíbrio próximo ao primeiro componente de desvio.

Preferivelmente, o medidor de fluxo ainda compreende um contrapeso acoplado ao tubo de fluxo oposto ao primeiro componente de acionador.

Preferivelmente, o contrapeso é dimensionado e localizado de modo que um centro de massa combinado do contrapeso e do primeiro componente de acionador está localizado em um plano da linha de centro do tubo de fluxo.

5 Preferivelmente, o medidor de fluxo ainda compreende um contrapeso acoplado ao membro de equilíbrio oposto ao segundo componente de acionador.

10 Preferivelmente, o contrapeso é dimensionado e localizado de modo que um centro de massa combinado do contrapeso, do segundo componente de acionador, e de um suporte está localizado em um plano da linha de centro do membro de equilíbrio.

Preferivelmente, o medidor de fluxo ainda compreende um contrapeso acoplado ao tubo de fluxo oposto ao primeiro componente de desvio.

15 Preferivelmente, o contrapeso é dimensionado e localizado de modo que um centro de massa combinado do contrapeso e do primeiro componente de desvio está localizado em um plano da linha de centro do tubo de fluxo.

20 Preferivelmente, o medidor de fluxo ainda compreende um contrapeso acoplado ao membro de equilíbrio oposto ao segundo componente de desvio.

25 Preferivelmente, o contrapeso é dimensionado e localizado de modo que um centro de massa combinado do contrapeso, do segundo componente de desvio, e de um suporte está localizado em um plano da linha de centro do membro de equilíbrio.

Preferivelmente, o membro de equilíbrio está posicionado dentro de uma região de curva interna do tubo de fluxo curvado.

Preferivelmente, o medidor de fluxo ainda compreende uma

pluralidade de barras de reforço acopladas ao tubo de fluxo e o membro de equilíbrio para pelo menos parcialmente definir um eixo de flexão de tubo de fluxo e um eixo de flexão de membro de equilíbrio.

De acordo com outro aspecto da invenção, um método de formar um medidor de fluxo incluindo um tubo de fluxo curvado e um membro de equilíbrio, compreende as etapas de:

posicionar o membro de equilíbrio próximo ao tubo de fluxo de modo que uma linha de centro do membro de equilíbrio está localizada em um plano de uma linha de centro do tubo de fluxo curvado;

10 acoplar um primeiro componente de acionador ao tubo de fluxo e um segundo componente de acionador ao membro de equilíbrio próximo ao primeiro componente de acionador; e

15 acoplar um primeiro componente de desvio ao tubo de fluxo e um segundo componente de desvio ao membro de equilíbrio próximo ao primeiro componente de desvio.

Preferivelmente, o método ainda compreende a etapa de acoplar um contrapeso ao tubo de fluxo oposto a um primeiro componente de acionador.

20 Preferivelmente, o método ainda compreende a etapa de dimensionar e localizar o contrapeso de modo que um centro de massa combinado do contrapeso e do primeiro componente de acionador está localizado em um plano da linha de centro do tubo de fluxo curvado.

25 Preferivelmente, o método ainda compreende a etapa de acoplar um contrapeso ao membro de equilíbrio oposto ao segundo componente de acionador.

Preferivelmente, o método ainda compreende a etapa de dimensionar e localizar o contrapeso de modo que um centro de massa combinado do contrapeso e do segundo componente de acionador está

localizado em um plano da linha de centro do membro de equilíbrio.

Preferivelmente, o método ainda compreende a etapa de acoplar um contrapeso ao tubo de fluxo oposto ao primeiro componente de desvio.

5 Preferivelmente, o método ainda compreende a etapa de dimensionar e localizar o contrapeso de modo que um centro de massa combinado do contrapeso e do primeiro componente de desvio está localizado em um plano da linha de centro do tubo de fluxo.

10 Preferivelmente, o método ainda compreende a etapa de acoplar um contrapeso ao membro de equilíbrio oposto ao segundo componente de desvio.

Preferivelmente, o método ainda compreende a etapa de dimensionar e localizar o contrapeso de modo que um centro de massa combinado do contrapeso, do segundo componente de desvio, e de um suporte está localizado em um plano da linha de centro do membro de equilíbrio.

15 Preferivelmente, a etapa de posicionar o membro de equilíbrio próximo ao tubo de fluxo compreende posicionar o membro de equilíbrio dentro de uma região de curva interna do tubo de fluxo.

20 Preferivelmente, o método ainda compreende a etapa de acoplar a pluralidade de barras de reforço ao tubo de fluxo e ao membro de equilíbrio para pelo menos parcialmente definir um eixo de flexão de tubo de fluxo e um eixo de flexão de membro de equilíbrio.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Figura 1 mostra um conjunto de sensor vibratório de técnica anterior.

25 Figura 2 mostra um medidor de fluxo de tubo único de acordo com uma forma de realização da invenção.

Figura 3 mostra uma vista de seção transversal de um medidor de fluxo de tubo único de acordo com uma forma de realização da invenção.

Figura 4 mostra um medidor de fluxo de tubo único de acordo com outra forma de realização da invenção.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Figuras 1 - 4 e a descrição seguinte descrevem exemplos específicos para ensinar aos 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 desses exemplos que estão dentro do escopo da invenção. Os versados na técnica apreciarão que as características descritas abaixo podem ser combinadas de vários modos para formar múltiplas variações da invenção. Como um resultado, a invenção não é limitada aos exemplos específicos descritos abaixo, mas apenas pelas reivindicações e seus equivalentes.

Figura 1 ilustra um exemplo de um conjunto de sensor vibratório de técnica anterior na forma de um medidor de fluxo Coriolis compreendendo um medidor de fluxo e uma ou mais eletrônica de medidor. A uma ou mais eletrônica de medidor são conectadas ao medidor de fluxo para medir uma característica de um material fluente, tal como, por exemplo, densidade, taxa de fluxo de massa, taxa de fluxo de volume, fluxo de massa totalizado, temperatura, e outra informação.

O medidor de fluxo inclui um par de flanges, coletores "manifold", e condutos. Coletores são fixados a extremidades opostas dos condutos. Flanges do presente exemplo são fixados a coletores. Coletores do presente exemplo são fixados a extremidades opostas de espaçador. Espaçador mantém o espaçamento entre coletores no presente exemplo para prevenir vibrações indesejadas em condutos e 103B. Os condutos 103A, 103B estendem-se para fora a partir dos coletores em

um modo essencialmente paralelo. Quando o medidor de fluxo 10 é inserido em um sistema de tubulação (não mostrado) que transporta o material fluente, o material entra no medidor de fluxo 10 através de flange 101, passes através do coletor de entrada 102 onde a quantidade total de material é direcionada para entrar em condutos 103A e 103B em quantidades aproximadamente iguais, flui através de condutos 103A e 103B e volta para dentro do coletor de saída 102' onde sai do medidor de fluxo 10 através do flange 101'.

O medidor de fluxo 10 inclui um acionador 104. O acionador 104 é fixado aos condutos 103A, 103B em uma posição onde o acionador 104 pode vibrar os condutos 103A, 103B no modo de acionamento. Mais particularmente, o acionador 104 inclui um primeiro componente de acionador (não mostrado) fixado a conduto 103A e um segundo componente de acionador (não mostrado) fixado a conduto 103B. Acionador 104 pode compreender uma dentre muitas disposições bem conhecidas, tais como um magneto montado ao conduto 103A e uma bobina oposta montada ao conduto 103B. Outros exemplos incluem acionadores piezoelétricos, acionadores acústicos, etc.

No presente exemplo, o modo de acionamento é o primeiro modo de flexão fora de fase e os condutos 103A e 103B são preferivelmente selecionados e apropriadamente montados no coletor de distribuição de entrada 102 e no coletor de distribuição de saída 102' de modo a prover um sistema equilibrado tendo substancialmente a mesma distribuição de massa, momentos de inércia, e módulos elásticos sobre eixos de flexão  $W-W$  e  $W'-W'$ , respectivamente. No presente exemplo, onde o modo de acionamento é o primeiro modo de flexão fora de fase, os condutos 103A e 103B são acionados por acionador 104 em direções opostas sobre seus respectivos eixos de flexão  $W$  e  $W'$ . Um sinal de acionamento na forma de uma corrente alternada pode ser provido por uma ou mais eletrônicas de medidor 20, tal como, por exemplo, através de trajeto 110, e passado através da bobina para levar ambos os

condutos 103A, 103B a oscilar.

O sistema equilibrado descrito acima vibra os condutos de fluxo 103A, 103B geralmente na direção Z de acordo com o sistema de coordenadas mostrado. Outras direções incluem a direção X ao longo da tubulação e a direção Y, que é perpendicular a ambos, as direções Z e X. Esse sistema de coordenadas é usado do início ao fim deste pedido e pode auxiliar no entendimento da invenção. Deve ser apreciado que outros sistemas de coordenadas podem ser usados e o sistema de coordenadas particular usado não deve limitar o escopo da presente invenção.

Os versados na técnica apreciarão que outros modos de acionamento podem ser usados dentro do escopo da presente invenção. A título de exemplo, o modo de acionamento pode ser um modo de torção como é conhecido na técnica.

No exemplo mostrado em Figura 1, a uma ou mais eletrônicas de medidor 20 recebem os sinais de desvio dos desvios 105, 105'. O trajeto 26 provê um meio de entrada e de saída que permite a uma ou mais eletrônicas de medidor 20 interfacear com um operador (não mostrado). A uma ou mais eletrônicas de medidor 20 medem uma característica de um material fluente, tal como, por exemplo, densidade, taxa de fluxo de massa, taxa de fluxo de volume, fluxo de massa totalizado, temperatura, e outra informação. Mais particularmente, a uma ou mais eletrônicas de medidor 20 recebem um ou mais sinais, por exemplo, de desvio 105, 105' e um ou mais sensores de temperatura (não mostrados), e usam essa informação para medir uma característica de um material fluente, tal como, por exemplo, densidade, taxa de fluxo de massa, taxa de fluxo de volume, fluxo de massa totalizado, temperatura, e outra informação.

As técnicas pelas quais dispositivos de medição vibratórios, tais como, por exemplo, medidores de fluxo Coriolis ou densitômetros, medem uma

característica de um material fluente são bem entendidas; ver, por exemplo, patente US No. 6.505.131, cuja descrição é aqui incorporada por referência; portanto, uma discussão detalhada é omitida para brevidade dessa descrição.

Figura 2 mostra um medidor de fluxo 200 de acordo com uma forma de realização da invenção. O medidor de fluxo 200 pode compreender um medidor de fluxo Coriolis ou pode compreender um sistema vibratório que não apresenta todas as capacidades de medição de um medidor de fluxo Coriolis, tal como um densitômetro vibratório, por exemplo. De acordo com uma forma de realização da invenção, o medidor de fluxo 200 pode incluir um tubo de fluxo curvado 203, um membro de equilíbrio 250, um flange de entrada 101, e um flange de saída 101'. Medidor de fluxo 200 é adaptado quando em uso para ser conectado através de flanges 101 e 101' a uma tubulação ou similar.

De acordo com uma forma de realização da invenção, o medidor de fluxo 200 pode incluir um ou mais componentes de sensor 104, 105, 106. De acordo com a forma de realização, o medidor de fluxo 200 inclui um acionador 104 e dois sensores de desvio 105, 105'. Embora apenas dois conjuntos de desvio 105, 105' são mostrados, deve ser apreciado que o medidor de fluxo 200 pode incluir um conjunto de desvio único 105 ou mais do que dois conjuntos de desvio. Além disso, em algumas formas de realização, o acionador 104 pode compreender o conjunto de desvio bem como o conjunto de acionamento. De acordo com uma forma de realização da invenção, o acionador 104 e sensores de desvio 105, 105' podem se comunicar com uma eletrônica de medidor 20 através de fios 110, 111, 111' de um modo similar como descrito acima em relação ao conjunto de sensor vibratório de técnica anterior 5.

De acordo com uma forma de realização da invenção, o acionador 104 compreende um primeiro componente de acionador 104a e um segundo componente de acionador 104b. De acordo com uma forma de realização da

invenção, o primeiro componente de acionador 104a é acoplado ao tubo de fluxo 203. De acordo com outra forma de realização da invenção, o segundo componente de acionador 104b é acoplado ao membro de equilíbrio 250 próximo ao primeiro componente de acionador 104a. Os componentes de acionadores 104a, 104b podem ser acoplados ao tubo de fluxo 203 e membro de equilíbrio 250 de acordo com métodos geralmente conhecidos incluindo, por exemplo, brasagem, ligação, solda, adesivos, prendedores mecânicos, etc. Na forma de realização mostrada, o primeiro componente de acionador 104a compreende um magneto de acionador enquanto o segundo componente de acionador 104b compreende uma bobina de acionador. No entanto, deve ser apreciado que os componentes de acionadores poderiam ser revertidos, isto é, o primeiro componente de acionador 104a poderia compreender a bobina de acionador enquanto o segundo componente de acionador 104b poderia compreender o magneto de acionador. Além disso, o acionador 104 não deve compreender uma combinação de magneto/bobina. Como mencionado acima, existem vários acionadores alternativos incluindo, por exemplo, acionadores piezoelétricos e acústicos. Portanto, o componente de acionador particular acoplado ao tubo de fluxo 101 e ao membro de equilíbrio 250 não deve limitar o escopo da presente invenção. O aspecto importante é que um dos componentes de acionador seja acoplado ao tubo de fluxo 101 enquanto o outro componente de acionador seja acoplado ao membro de equilíbrio 250.

Similarmente, o primeiro e o segundo sensores de desvio 105, 105' compreendem primeiros componentes 105a, 105a' e segundos componentes 105b, 105b'. Como mostrado, o primeiro componente de desvio 105a, 105a' é acoplado ao tubo de fluxo 203 enquanto o segundo componente de desvio 105b, 105b' é acoplado ao membro de equilíbrio 250 próximo ao primeiro componente de desvio 105a, 105a'. Portanto, os componentes de desvio podem interagir entre si como é geralmente conhecido na técnica. Embora o primeiro

componente de desvio 105a, 105a' seja mostrado como compreendendo o magneto de desvio e o segundo componente de desvio 105b, 105b' é mostrado como compreendendo a bobina de desvio, o primeiro e segundo componentes de desvio poderiam ser revertidos. Portanto, o componente particular acoplado ao tubo de fluxo 203 e ao membro de equilíbrio 250 não deve limitar o escopo da presente invenção. Além disso, deve ser apreciado que os sensores de desvio 105, 105' não são limitados às configurações de magneto/bobina. Preferivelmente, os sensores de desvio 105, 105' podem compreender qualquer uma das configurações de desvio bem conhecidas incluindo magneto/bobina, ópticos, sensores de capacitância, etc.

Com o segundo componente de acionador 104b e os segundos componentes de desvio 105b, 105b' acoplados ao membro de equilíbrio 250, os componentes de sensor 104, 105, 105' são substancialmente isolados de vibrações externas que podem ser de outra forma transmitidas aos componentes. Por exemplo, no sistema de técnica anterior onde os componentes de desvio foram acoplados a uma placa de referência estacionária, vibrações externas poderiam ser experimentadas, assim resultando em medições errôneas. No entanto, a presente invenção substancialmente isola os componentes de sensor assim reduzindo as chances de medições errôneas.

De acordo com uma forma de realização da invenção, os componentes de sensor 104, 105, 105' são acoplados ao tubo de fluxo 203 e/ou membro de equilíbrio 250 usando suportes 230, 231, 231'. Os suportes 230, 231, 231' podem ser acoplados a um dentre o tubo de fluxo 203 ou o membro de equilíbrio 250. Na forma de realização mostrada, os suportes 230, 231, 231' são acoplados ao membro de equilíbrio 250. De acordo com a forma de realização na Figura 2, os suportes 230, 231, 231' são providos para acoplar os segundos componentes de sensor 104b, 105b, 105b' ao membro de equilíbrio 250. Com vantagem, os segundos componentes de sensor 104b, 105b, 105b'

podem estender-se além do membro de equilíbrio 250 a fim de interagir com os primeiros componentes de sensor 104a, 105a, 105a'.

Além dos suportes 230, 231, 231', de acordo com uma forma de realização da invenção, o medidor de fluxo 200 pode também incluir uma pluralidade de contrapesos 204a, 204b, 205a, 205b, 205a', 205b'. Os contrapesos 204a, 204b, 205a, 205b, 205a', 205b' podem ser providos para equilibrar o peso dos componentes de sensor 104, 105, 105'. Por exemplo, de acordo com uma forma de realização da invenção, o primeiro componente de acionador 104a é acoplado a um primeiro lado do tubo de fluxo 203. A fim de equilibrar o peso do primeiro componente de acionador 104a, o contrapeso 204a pode ser acoplado ao tubo de fluxo 203 oposto ao primeiro componente de acionador 104a em um segundo lado do tubo de fluxo 203. Similarmemente, o segundo componente de acionador 104b pode ser acoplado a um primeiro lado do suporte 230. A fim de equilibrar o peso do segundo componente de acionador 104b, o contrapeso 204b pode ser acoplado ao suporte 230 oposto ao segundo componente de acionador 104b. De acordo com uma forma de realização da invenção, os contrapesos podem ser dimensionados e localizados de modo que o centro de massa combinado dos componentes de sensor e dos pesos de equilíbrio repousam próximos a um plano da linha de centro do tubo de fluxo 203 e do membro de equilíbrio 250. Deve ser apreciado que apesar de ser desejável localizar o centro de massa combinado no plano X-Y da linha de centro, devido às tolerâncias de usinagem, pode ser proibitivamente caro prover um balanceamento exato e, portanto, alguma variação fora do plano da linha de centro pode ser aceitável em algumas situações. No entanto, deve ser apreciado que à medida que o centro de massa combinado é movido para mais próximo ao plano da linha de centro do tubo de fluxo, as vibrações indesejadas experimentadas durante operação diminuem. Esse tipo de balanceamento é explicado em maiores detalhes em patente US 7.287.438, que é aqui

incorporada por referência.

De modo similar, o contrapeso 204b acoplado ao suporte 230 pode ser dimensionado e localizado de modo que o centro de massa combinado do segundo componente de acionador 104b, do contrapeso 204b, e do suporte 230 repousa próximo a um plano da linha de centro do membro de equilíbrio 250. Dimensionar e localizar o contrapeso 204b dessa maneira provê os mesmos benefícios como descrito acima com relação ao primeiro componente de acionador 104a. Deve ser apreciado que um balanceamento similar pode ser efetuado para os sensores de desvio 105, 105'.

Como mostrado em Figura 2, o tubo de fluxo 203 compreende um tubo de fluxo curvado com o formato do tubo de fluxo 203 definindo uma região de curva interna 213. A região de curva interna 213 compreende a área geralmente abaixo do tubo de fluxo curvado 203 e entre os flanges de entrada e de saída 101, 101' como mostrado em Figura 2. Na forma de realização mostrada na Figura 2, o membro de equilíbrio 250 é "aninhado" dentro da região de curva interna 213. Em outras palavras, o membro de equilíbrio 250 está posicionado adjacente ao tubo de fluxo 203 e dentro da região de curva interna 213 do tubo de fluxo 203. O membro de equilíbrio 250 é mostrado posicionado próximo à região de curva interna 213 e compreende um formato similar como o tubo de fluxo 203 exceto que o membro de equilíbrio 250 é menor que o tubo de fluxo 203. O membro de equilíbrio 250 é menor que o tubo de fluxo 203 devido a estar posicionado na região de curva interna 213 do tubo de fluxo 203. Portanto, o tubo de fluxo 203 substancialmente flexiona em torno do membro de equilíbrio 250. Devido ao comprimento mais curto de membro de equilíbrio, o membro de equilíbrio 250 pode ser formado de um material tendo um maior coeficiente térmico de expansão que o coeficiente térmico de expansão para o material de tubo de fluxo sem substancialmente aumentar as tensões axiais aplicadas ao tubo de fluxo 203. Isso é devido aos

coeficientes térmicos de expansão ser frequentemente expressados como um grau de mudança de temperatura / comprimento por comprimento. Portanto, à medida que o comprimento de um pedaço de material diminui, a mudança total em comprimento experimentada devido a uma mudança em temperatura também diminui. Deste modo, o membro de equilíbrio 250 pode ser formado a partir de um material tendo um maior coeficiente térmico de expansão que o coeficiente térmico de expansão do tubo de fluxo e para uma dada mudança em temperatura, a mudança total em comprimento do tubo de fluxo 203 e do membro de equilíbrio 250 pode ser substancialmente igual. Porque os materiais tendo um maior coeficiente térmico de expansão são frequentemente mais baratos, o membro de equilíbrio 250 pode ser formado de um material mais barato que o tubo de fluxo 203 sem aplicar tensões axiais significantes ao tubo de fluxo 203 devido às mudanças de temperatura. Essa configuração não foi possível de acordo com projetos de técnica anterior onde o tubo de fluxo e contratubo eram posicionados lado a lado e compreendiam essencialmente o mesmo comprimento. O medidor de fluxo 200 da presente invenção pode ser, portanto, formado de modo mais barato que poderia ser realizado de acordo com técnica anterior. Deve ser apreciado que enquanto o membro de equilíbrio 250 pode ser formado a partir de um material diferente do tubo de fluxo 203, está bem dentro do escopo da presente invenção formar o membro de equilíbrio 250 e o tubo de fluxo 203 do mesmo material.

Figura 3 mostra uma vista de seção transversal de eixo X simplificada do medidor de fluxo 200. Como mostrado em Figura 3, a linha de centro 340 do tubo de fluxo 203 e a linha de centro 341 do membro de equilíbrio 250 compartilham um plano comum, isto é, o plano de X-Y de acordo com o sistema de coordenadas descrito. Em outras palavras, a linha de centro 341 do membro de equilíbrio 250 está localizada em, ou pelo menos próxima, do plano X-Y da linha de centro 340 do tubo de fluxo 203. Com

vantagem, o membro de equilíbrio 250 pode ser aninhado sob o tubo de fluxo 203 e pode ser acionado em oposição de fase para esse do tubo de fluxo 203. Deve ser apreciado, entretanto, que em outras formas de realização, o tubo de fluxo 203 poderia estar posicionado logo abaixo do membro de equilíbrio 250 (o tubo de fluxo 203 poderia ser aninhado sob o membro de equilíbrio 250).

Embora o membro de equilíbrio 250 seja mostrado como compreendendo um tubo oco, deve ser apreciado que o membro de equilíbrio 250 pode alternativamente compreender uma estrutura substancialmente sólida. Além disso, o membro de equilíbrio 250 pode compreender qualquer formato, tal como, por exemplo, quadrado, viga em I, irregular, etc. Assim, o membro de equilíbrio 250 não deve ser limitado a um tubo circular como mostrado. Deve ser apreciado que em algumas formas de realização, o membro de equilíbrio 250 pode ser cheio com um fluido. O fluido pode compreender um fluido tendo uma densidade próxima à densidade do fluido que é esperada para fluir através do medidor de fluxo 200. Alternativamente, o fluido pode compreender o fluido que é esperado fluir através do medidor de fluxo 200. Enchendo o membro de equilíbrio 250 com um fluido pode auxiliar em ajustar a frequência natural do membro de equilíbrio 250. No entanto, deve ser apreciado que o fluido fluindo através do medidor de fluxo 200 não flui através do membro de equilíbrio 250 durante operação. Ao contrário, o membro de equilíbrio 250 pode ser cheio durante a montagem de medidor de fluxo, por exemplo.

Também mostrados em Figura 3 são os vários centros de massa do acionador 104. Como mostrado, acoplado ao tubo de fluxo 203 está o primeiro componente de acionador 104a com um centro de massa  $CM_m$  e um contrapeso 204a com um centro de massa  $CM_{b1}$ . De acordo com uma forma de realização da invenção, o contrapeso 204a pode ser dimensionado e localizado de modo que o centro de massa combinado  $CCM_1$  do primeiro componente de acionador 104a e o contrapeso 204a está localizado no plano X-Y, que é também a linha

de centro 340 do tubo de fluxo 203. De acordo com uma forma de realização da invenção, acoplado ao membro de equilíbrio 250 está o suporte 230 com um centro de massa  $CM_B$ . Também acoplado ao membro de equilíbrio 250 está o segundo componente de acionador 104b com um centro de massa  $CM_C$ , e o contrapeso 204b com um centro de massa  $CM_{b2}$ . O contrapeso 204b pode ser dimensionado e localizado no suporte 230 de modo que o centro de massa combinado  $CCM_2$  do suporte 230, o segundo componente de acionador 104b, e o contrapeso 204b está localizado no plano X-Y, que também compreende a linha de centro 341 do membro de equilíbrio 250. Deve ser apreciado que embora seja desejável localizar os centros de massa combinados exatamente no plano X-Y, isso pode ser difícil devido a algumas tolerâncias de fabricação, por exemplo. No entanto, pode ser desejável localizar os centros de massa combinados próximos ao plano X-Y ou tão próximo quanto possível. Deve também ser apreciado que os sensores de desvio 105, 105' podem ser similarmente equilibrados usando contrapesos 205a, 205b, 205a', 205b', por exemplo, e uma discussão completa é omitida para brevidade da descrição.

Figura 4 mostra o medidor de fluxo 200 de acordo com outra forma de realização da invenção. A forma de realização mostrada em Figura 4 é similar às formas de realização previamente descritas, entretanto, a forma de realização mostrada em Figura 4 não inclui os contrapesos 204a, 204b, 205a, 205b, 205a', 205b'. Portanto, o medidor de fluxo 200 mostrado em Figura 4 pode requerer calibração adicional para compensar a falta de equilíbrio criada pelo acionador 104 e sensores de desvio 105, 105' que são acoplados ao tubo de fluxo 203 e membro de equilíbrio 250. De acordo com a forma de realização mostrada em Figura 4, o segundo componente de acionador 104b e o segundo componentes de desvio 105b, 105b' podem ainda ser acoplados ao membro de equilíbrio 250 usando os suportes 230, 231, 231'. No entanto, deve ser apreciado que, em outras formas de realização, os suportes 230, 231, 231'

podem ser omitidos e os segundos componentes 104b, 105b, 105b' podem ser acoplados diretamente ao membro de equilíbrio 250. Deve ser apreciado que o método particular de acoplar o acionador 104 e sensores de desvio 105, 105' ao tubo de fluxo 203 e membro de equilíbrio 250 pode compreender o uso de adesivos, brasagem, ligação, acopladores mecânicos, etc. O método particular usado não deve limitar o escopo da presente invenção.

Em operação, um sinal de acionamento pode ser enviado a uma bobina de acionamento 104b através de fio 110 por eletrônica de medidor 20. O sinal de acionamento leva o tubo de fluxo 203 a vibrar sobre o eixo de flexão W-W, enquanto o membro de equilíbrio 250 vibra sobre um eixo de flexão W'-W'. De acordo com uma forma de realização da invenção, o membro de equilíbrio 250 vibra no mesmo modo, mas em oposição de fase para aquela do tubo de fluxo 203. De acordo com uma forma de realização da invenção, os eixos W-W, W'-W' são parcialmente definidos usando uma pluralidade de barras de reforço 220-223, que limitam a área ativa do tubo de fluxo 203 e o membro de equilíbrio 250. Os tubos vibratórios 203, 250 induzem tensões nos sensores de desvio 105, 105', que são enviados à eletrônica de medidor 20 através de fios 111 e 111'. Eletrônica de medidor 20 produz informação de fluxo de massa, juntamente com outra informação tal como densidade de material baseada nos sinais enviados pelos sensores de desvio 105, 105'. Dispositivos de medição de temperatura tais como RTDs (não mostrados) podem também prover medições de temperatura. Eletrônica de medidor 20 pode enviar essa informação a um processo a jusante através de fio 26.

De acordo com uma forma de realização da invenção, anterior ao escoamento de um fluido de processo através do tubo de fluxo 203, o membro de equilíbrio 250 pode ser cheio com o fluido de processo. Isso pode ajudar a ajustar a frequência natural do membro de equilíbrio 250. Em outras formas de realização, isso pode não ser necessário e a frequência do membro de equilíbrio

250 pode ser ajustada de acordo com outros métodos bem conhecidos, tal como acoplando uma ou mais massas adicionais ao membro de equilíbrio 250, por exemplo.

Com a linha de centro 341 do membro de equilíbrio 250 estando localizada em um plano da linha de centro 340 do tubo de fluxo 203, o medidor de fluxo 200 pode ser feito muito mais barato que poderia ser realizado na técnica anterior. Isso é porque o membro de equilíbrio 250 pode ser formado de um material mais barato tendo um maior coeficiente térmico de expansão que aquele do tubo de fluxo 203. Adicionalmente, com o membro de equilíbrio 250 sendo aninhado na região de curva interna 213 do tubo de fluxo 203, o medidor de fluxo 200 pode ser implementado em situações onde o tamanho de medidor de fluxo e, mais particularmente, a largura de medidor de fluxo, é uma preocupação. Isso é porque o membro de equilíbrio 250 não requer uma significativa quantidade de espaço além do tubo de fluxo 203. Em muitas formas de realização, o membro de equilíbrio 250 não aumenta a largura do medidor de fluxo 200 conforme o membro de equilíbrio 250 é aninhado na região de curva interna 213 do tubo de fluxo 203. Isso está em contraste com os medidores de fluxo de técnica anterior que incorporam um contratubo onde o contratubo foi provido lado a lado com o tubo de fluxo, assim duplicando a largura requerida pelo medidor de fluxo.

As descrições detalhadas das formas de realização acima não são descrições exaustivas de todas as formas de realização contempladas pelos inventores como estando dentro do escopo da invenção. De fato, os versados na técnica reconhecerão que alguns elementos das formas de realização descritas acima podem de forma variável ser combinados ou eliminados para criar outras formas de realização e tais outras formas de realização estão dentro do escopo e ensinamentos da invenção. Também será evidente para os versados na técnica que as formas de realização descritas acima podem ser combinadas no todo ou

em parte para criar formas de realização adicionais dentro do escopo e ensinamentos da invenção.

Assim, embora as formas de realização específicas de, e exemplos para, a invenção sejam descritos aqui para propósitos ilustrativos, várias modificações equivalentes são possíveis dentro do escopo da invenção, como os versados na técnica relevante reconhecerão. Os ensinamentos aqui apresentados podem ser aplicados a outros medidores de fluxo, e não apenas às formas de realização descritas acima e mostradas nas figuras em anexo. Assim, o escopo da invenção deve ser determinado a partir das seguintes reivindicações.

## REIVINDICAÇÕES

1. Medidor de fluxo (200), caracterizado pelo fato de compreender:

um tubo de fluxo curvado (203);

um membro de equilíbrio curvado (250) posicionado de modo que o eixo longitudinal do membro de equilíbrio (250) e um eixo longitudinal do tubo de fluxo curvado (203) estão colocalizados em um plano x-y perpendicular à direção de acionamento (Z) do tubo de fluxo curvado;

um acionador (104) configurado para vibrar o medidor de fluxo na direção de acionamento (Z), o acionador incluindo um primeiro componente de acionador (104a) acoplado ao tubo de fluxo curvado (203) e um segundo componente de acionador (104b) acoplado ao membro de equilíbrio curvado (250) próximo ao primeiro componente de acionador (104a); e

pelo menos um primeiro sensor de desvio (105) incluindo um primeiro componente de desvio (105a) acoplado ao tubo de fluxo curvado (203) e um segundo componente de desvio (105b) acoplado ao membro de equilíbrio curvado (250) próximo ao primeiro componente de desvio (105a); e

em que o membro de equilíbrio curvado (250) está posicionado dentro de uma região de curva interna (213) do tubo de fluxo curvado (203).

2. Medidor de fluxo (200) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de ainda compreender um contrapeso (204a) acoplado ao tubo de fluxo curvado (203) oposto ao primeiro componente de acionador (104a).

3. Medidor de fluxo (200) de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o contrapeso (204a) é dimensionado e localizado de modo que um centro de massa combinado do contrapeso (204a) e do primeiro componente de acionador (104a) está localizado no plano x-y da linha de centro (340) do tubo de fluxo curvado (203).

4. Medidor de fluxo (200) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de ainda compreender um contrapeso (204b) acoplado ao membro de equilíbrio curvado (250) oposto ao segundo componente de acionador (104b).

5. Medidor de fluxo (200) de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o contrapeso (204b) é dimensionado e localizado de modo que um centro de massa combinado do contrapeso (204b), do segundo componente de acionador (104b), e de um suporte (230) está localizado no plano x-y da linha de centro (341) do membro de equilíbrio curvado (250).

6. Medidor de fluxo (200) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de ainda compreender um contrapeso (205a) acoplado ao tubo de fluxo curvado (203) oposto ao primeiro componente de desvio (105a).

7. Medidor de fluxo (200) de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que o contrapeso (205a) é dimensionado e localizado de modo que um centro de massa combinado do contrapeso (205a) e do primeiro componente de desvio (105a) está localizado no plano x-y da linha de centro (340) do tubo de fluxo curvado (203).

8. Medidor de fluxo (200) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de ainda compreender um contrapeso (205b) acoplado ao membro de equilíbrio curvado (250) oposto ao segundo componente de desvio (105b).

9. Medidor de fluxo (200) de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o contrapeso (205b) é dimensionado e localizado de modo que um centro de massa combinado do contrapeso (205b), do segundo componente de desvio (105b), e de um suporte (230) está localizado no plano x-y da linha de centro (341) do membro de equilíbrio curvado (250).

10. Medidor de fluxo (200) de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado pelo fato de ainda compreender uma pluralidade de barras de reforço (220-223) acopladas ao tubo de fluxo curvado (203) e o membro de equilíbrio curvado (250) para pelo menos parcialmente definir um eixo de flexão de tubo de fluxo (W-W) e um eixo de flexão de membro de equilíbrio (W'-W').

11. Método de formar um medidor de fluxo incluindo um tubo de fluxo curvado e um membro de equilíbrio curvado, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

posicionar o membro de equilíbrio curvado próximo ao tubo de fluxo curvado de modo que um eixo longitudinal do membro de equilíbrio curvado e um eixo longitudinal do tubo de fluxo curvado estão alinhados em um plano x-y perpendicular à direção de acionamento do tubo de fluxo curvado, o membro de equilíbrio curvado sendo posicionado dentro de uma região de curva interna do tubo de fluxo curvado;

acoplar um acionador configurado para vibrar o medidor de fluxo na direção de acionamento, acoplar o acionador compreende acoplar um primeiro componente de acionador ao tubo de fluxo curvado e um segundo componente de acionador ao membro de equilíbrio curvado próximo ao primeiro componente de acionador; e

acoplar um primeiro componente de desvio ao tubo de fluxo curvado e um segundo componente de desvio ao membro de equilíbrio curvado próximo ao primeiro componente de desvio.

12. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de ainda compreender a etapa de acoplar um contrapeso ao tubo de fluxo curvado oposto a um primeiro componente de acionador.

13. Método de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de ainda compreender a etapa de dimensionar e localizar o contrapeso de modo que um centro de massa combinado do contrapeso e do primeiro

componente de acionador está localizado no plano x-y da linha de centro do tubo de fluxo curvado.

14. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de ainda compreender a etapa de acoplar um contrapeso ao membro de equilíbrio curvado oposto ao segundo componente de acionador.

15. Método de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de ainda compreender a etapa de dimensionar e localizar o contrapeso de modo que um centro de massa combinado do contrapeso e do segundo componente de acionador está localizado no plano x-y da linha de centro do membro de equilíbrio curvado.

16. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de ainda compreender a etapa de acoplar um contrapeso ao tubo de fluxo curvado oposto ao primeiro componente de desvio.

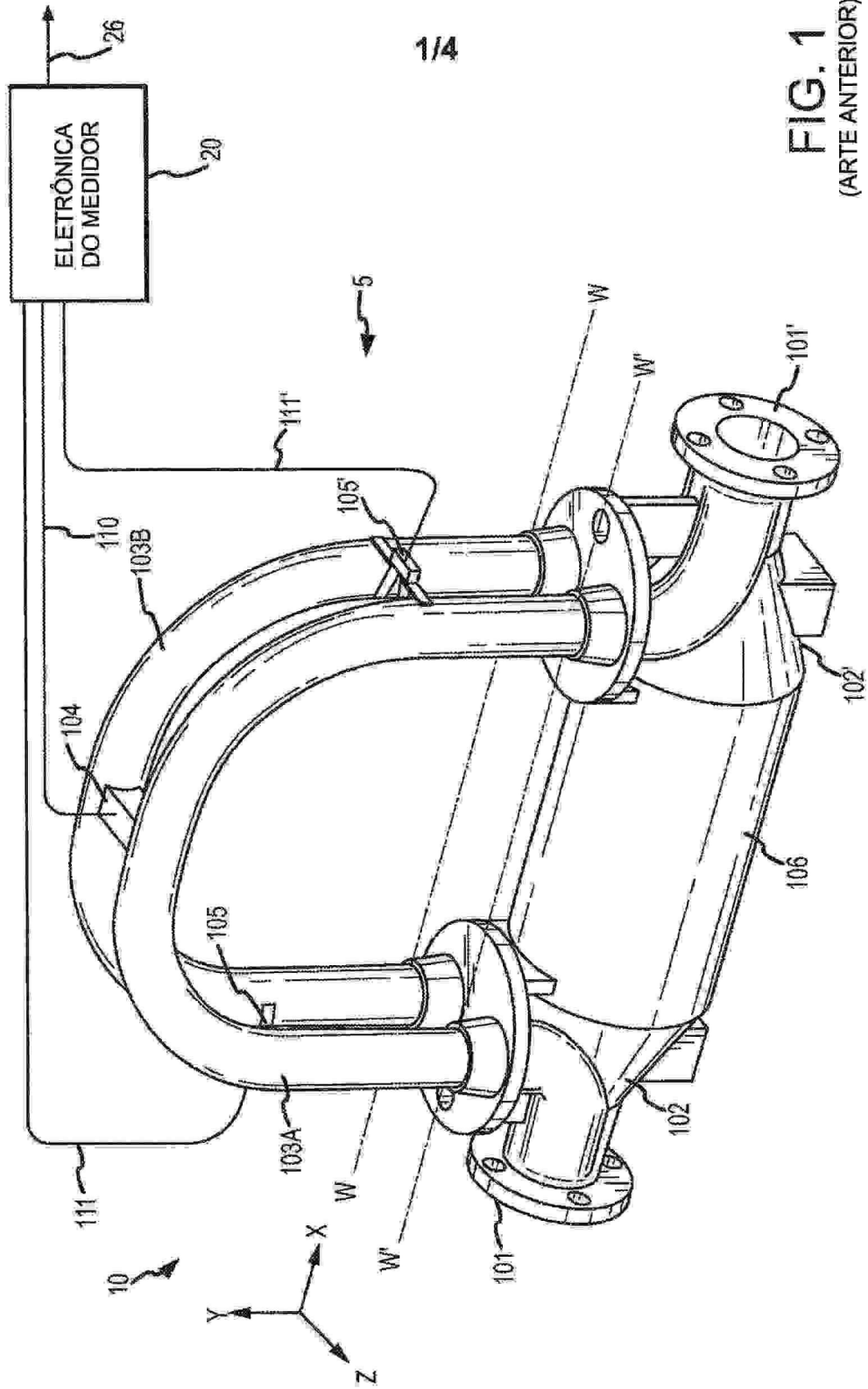
17. Método de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de ainda compreender a etapa de dimensionar e localizar o contrapeso de modo que um centro de massa combinado do contrapeso e do primeiro componente de desvio está localizado no plano x-y da linha de centro do tubo de fluxo curvado.

18. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de ainda compreender a etapa de acoplar um contrapeso ao membro de equilíbrio curvado oposto ao segundo componente de desvio.

19. Método de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de ainda compreender a etapa de dimensionar e localizar o contrapeso de modo que um centro de massa combinado do contrapeso, do segundo componente de desvio, e de um suporte está localizado no plano x-y da linha de centro do membro de equilíbrio curvado.

20. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de ainda compreender a etapa de acoplar uma pluralidade de barras de

reforço ao tubo de fluxo curvado e ao membro de equilíbrio curvado para pelo menos parcialmente definir um eixo de flexão de tubo de fluxo e um eixo de flexão de membro de equilíbrio.



**FIG. 1**  
 (ARTE ANTERIOR)

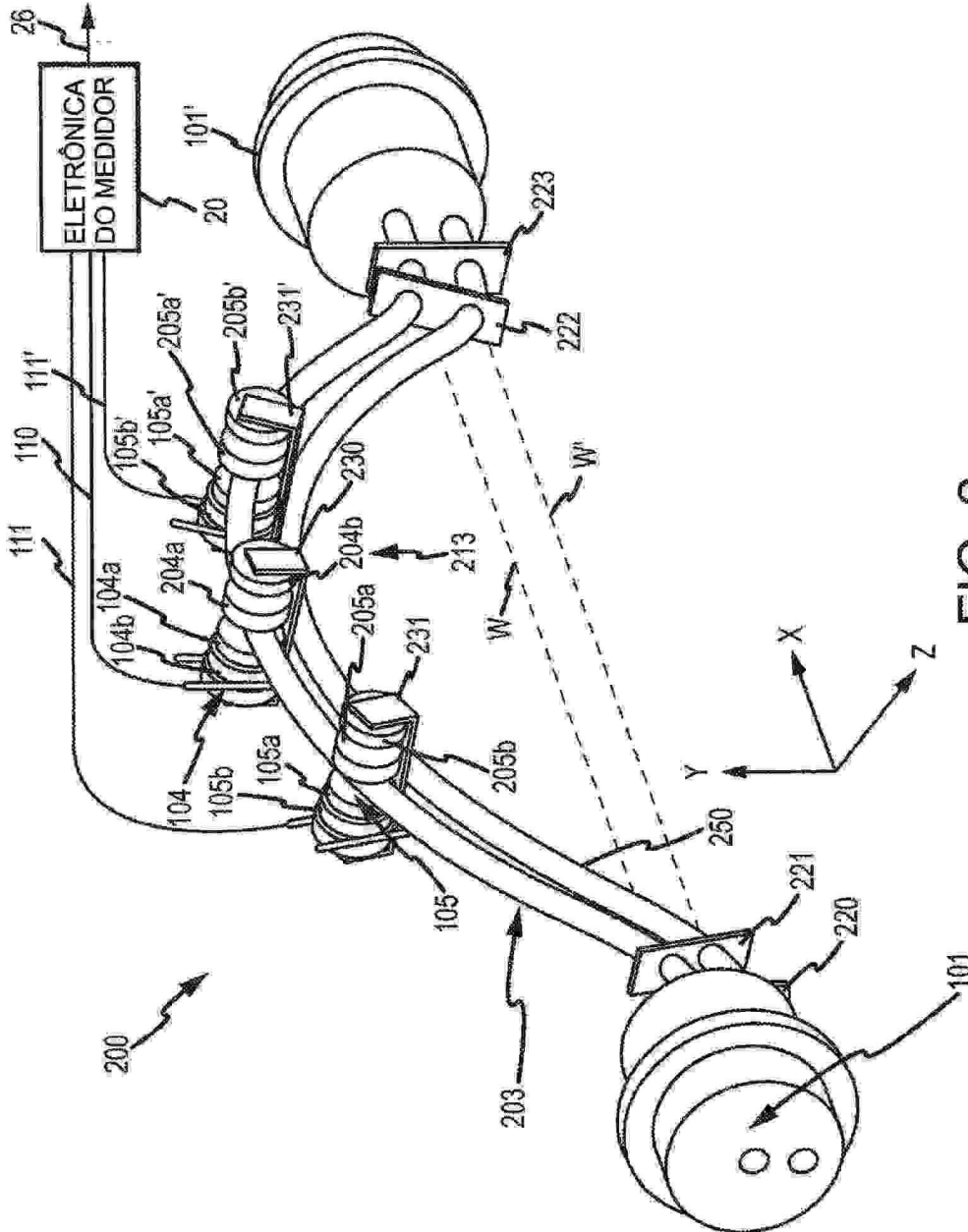


FIG. 2

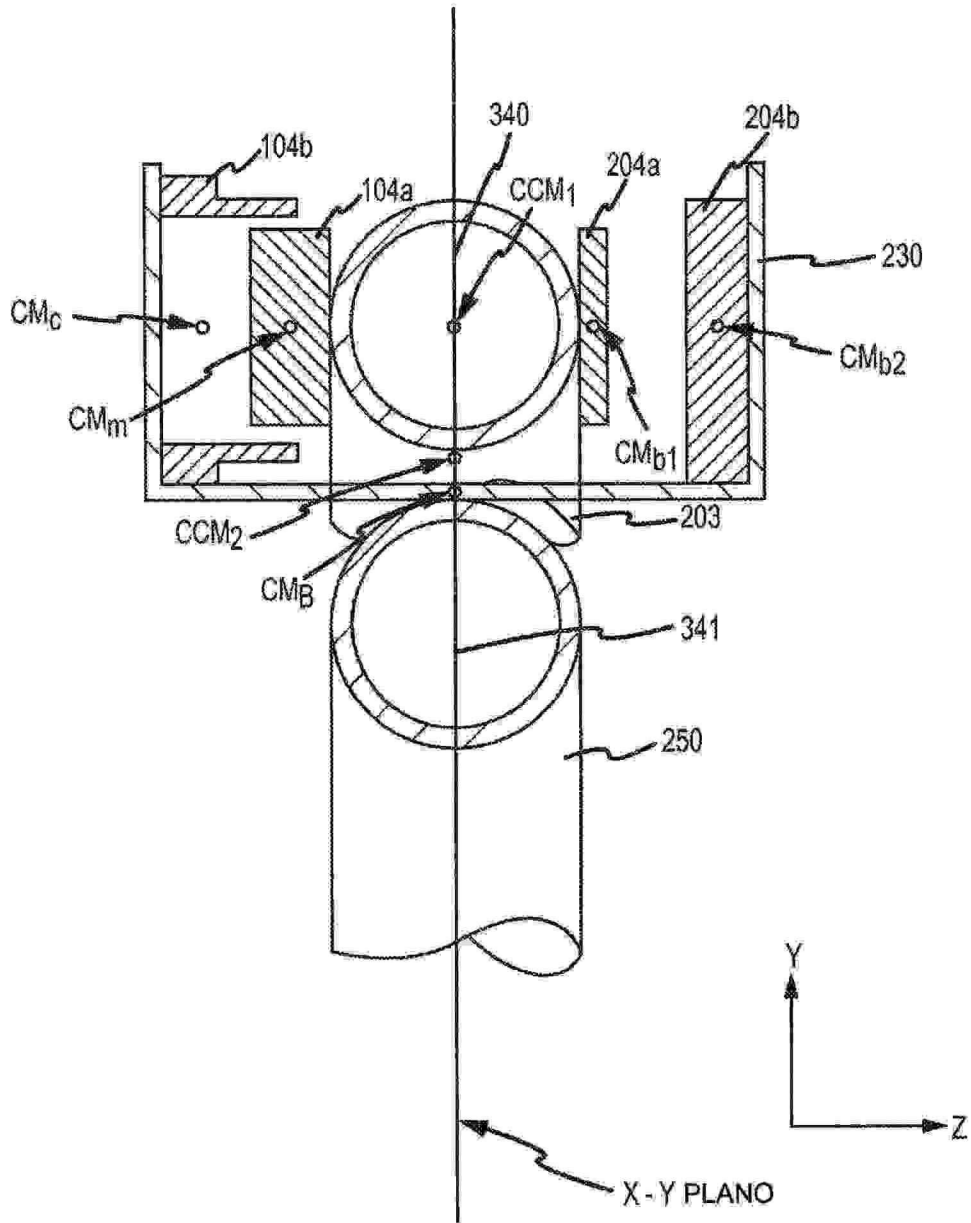


FIG. 3

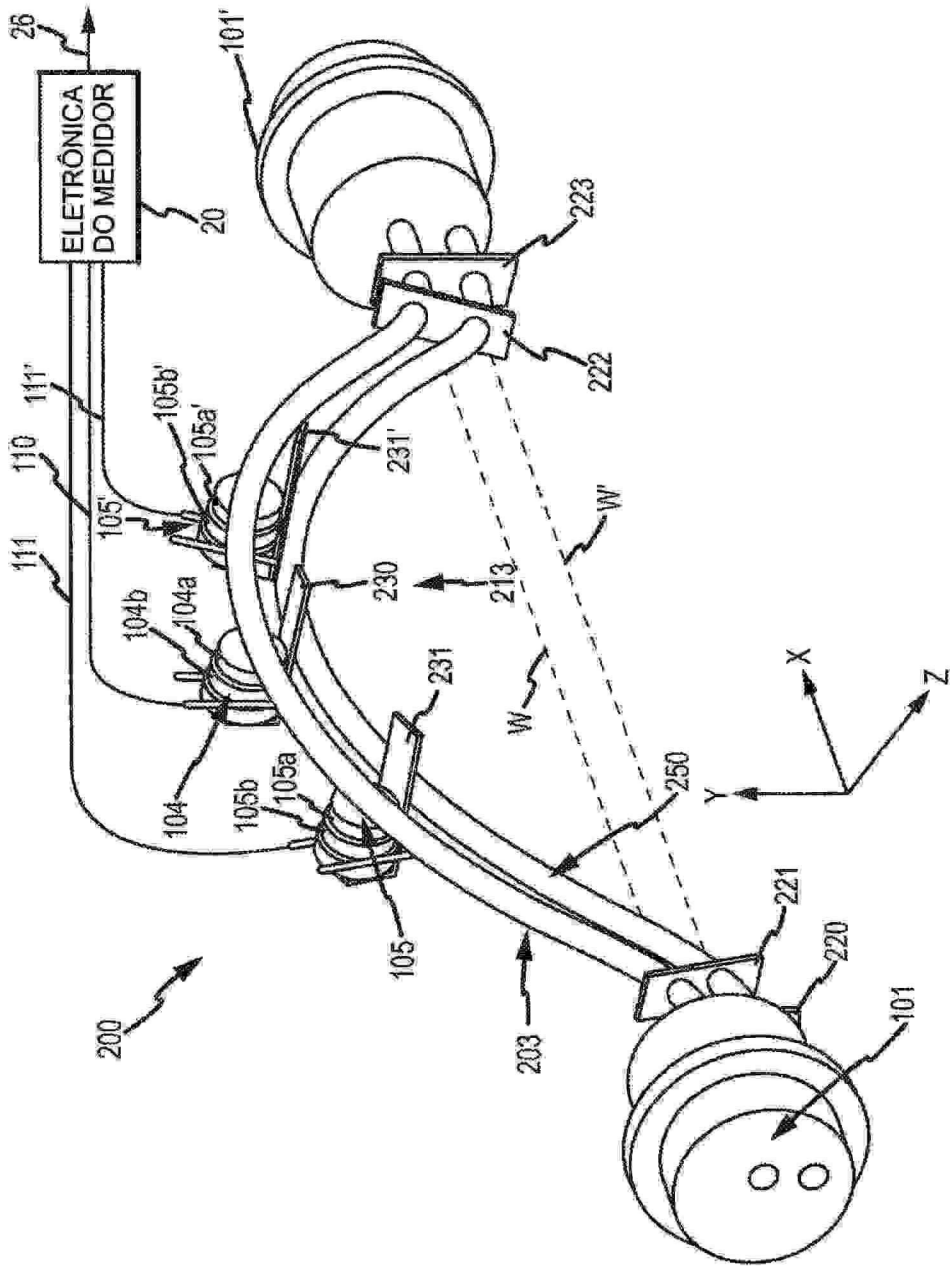


FIG. 4