



**República Federativa do Brasil**  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0520577-8 B1**

**(22) Data do Depósito: 03/10/2005**

**(45) Data de Concessão: 16/01/2018**



\* B R P I 0 5 2 0 5 7 7 B 1 \*

---

**(54) Título:** APARELHO ELETRÔNICO E MÉTODOS DE MEDIDOR PARA DETERMINAR UM OU MAIS DE UM COEFICIENTE DE RIGIDEZ OU DE UM COEFICIENTE DE MASSA

**(51) Int.Cl.:** G01F 1/84; G01F 25/00

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

**(72) Inventor(es):** CHARLES PAUL STACK

"APARELHO ELETRÔNICO E MÉTODOS DE MEDIDOR PARA DETERMINAR UM OU MAIS DE UM COEFICIENTE DE RIGIDEZ OU DE UM COEFICIENTE DE MASSA"

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

5

1. Campo Técnico

A presente invenção diz respeito a componentes eletrônicos de medição e métodos de medição para um fluxímetro e, mais particularmente, a componentes eletrônicos de medição e métodos de medição para determinar um ou mais de um coeficiente de rigidez ou de um coeficiente de massa para um fluxímetro.

2. Declaração do Problema

Tipicamente, sensores de conduítes vibratórios, tais como fluxímetros de massa de Coriolis, operam detectando movimento de um conduíte vibratório que contém um material em movimento. Propriedades associadas com o material no conduíte, tais como fluxo de massa, densidade e semelhantes, podem ser determinadas processando sinais de medição recebidos dos transdutores de movimento associados com o conduíte. No geral, os modos de vibração do sistema vibratório cheio de material são afetados pelas características combinadas de massa, rigidez e amortecimento do conduíte de contenção e do material que está contido nele.

Um fluxímetro de massa de Coriolis típico inclui um ou mais conduítes que são conectados em linha em uma tubulação ou em outro sistema de transporte para conduzir material, por exemplo, fluidos, suspensões de partículas insolúveis e semelhantes, no sistema. Cada conduíte pode ser vi-

sualizado com um conjunto de modos de vibração natural incluindo, por exemplo, modos de curvatura simples, de torção, radial e acoplado. Em uma aplicação de medição do fluxímetro de massa de Coriolis típica, um conduíte é excitado em um ou  
5 mais modos de vibração à medida que um material escoia através do conduíte, e o movimento do conduíte é medido em pontos espaçados ao longo do conduíte. Tipicamente, a excitação é provida por um atuador, por exemplo, um dispositivo eletromecânico, tal como um excitador tipo bobina de alto-  
10 falante, que perturba o conduíte de uma maneira periódica. A vazão de massa pode ser determinada medindo-se o atraso de tempo ou diferenças de fase entre os movimentos nos locais do transdutor. Tipicamente, dois tais transdutores (ou sensores de coleta de sinal) são empregados a fim de medir uma  
15 resposta vibratória do conduíte ou conduítes de fluxo e, tipicamente, ficam localizados em posições à montante e à jusante do atuador. Os dois sensores de coleta de sinal são conectados na instrumentação eletrônica por cabeamento. A instrumentação recebe sinais dos dois sensores de coleta de  
20 sinal e processa os sinais a fim de derivar uma medição de vazão de massa.

A diferença de fase entre os dois sinais do sensor é proporcional à vazão de massa do material que escoia através do tubo ou dos tubos de fluxo. A vazão de massa do material é proporcional ao atraso de tempo entre os dois sinais  
25 do sensor e, portanto, é determinada multiplicando o atraso de tempo por um Fator de Calibração do Fluxo (FCF), em que o atraso de tempo compreende uma diferença de fase dividida

pela frequência. O FCF reflete as propriedades do material e as propriedades seccionais transversais do tubo de fluxo. Na tecnologia anterior, o FCF é determinado por um processo de calibração antes da instalação do fluxímetro em uma tubulação ou em outro conduíte. No processo de calibração, um fluido passa através do tubo de fluxo em uma dada vazão e a proporção entre a diferença de fase e a vazão é calculada.

Uma vantagem do fluxímetro de Coriolis é que a precisão da vazão de massa medida não é afetada pelo desgaste dos componentes móveis do fluxímetro. A vazão é determinada multiplicando-se a diferença de fase entre dois pontos do tubo de fluxo pelo fator de calibração de fluxo. A única entrada são os sinais senoidais provenientes dos sensores que indicam a oscilação dos dois pontos no tubo do fluxo. A diferença de fase é calculada a partir destes sinais senoidais. Não há componentes móveis no tubo de fluxo vibratório. Portanto, a medição da diferença de fase e do fator de calibração de fluxo não é afetada pelo desgaste dos componentes móveis do fluxímetro.

O FCF pode estar relacionado com uma característica de rigidez do conjunto medidor. Se a característica de rigidez do conjunto medidor mudar, então o FCF também mudará. Portanto, mudanças afetarão a precisão das medições de fluxo geradas pelo fluxímetro. Mudanças nas propriedades do material e seccional transversal de um tubo de fluxo podem ser ocasionadas por erosão ou corrosão, por exemplo. Conseqüentemente, é altamente desejável poder detectar e/ou quantificar todas as mudanças na rigidez do conjunto medidor a

fim de manter um alto nível de precisão no fluxímetro.

Uma outra fonte de imprecisão em um fluxímetro é um acúmulo ou revestimento do material em movimento no conduíte ou conduítes de fluxo do fluxímetro. O acúmulo pode mudar a massa do conjunto medidor e, conseqüentemente, pode afetar as medições da vazão da massa e pode afetar as medições de outras características de fluxo. É altamente desejável poder detectar e/ou quantificar todo o material em movimento que está aderido ao interior do conduíte ou conduítes de fluxo a fim de manter um alto nível de precisão no fluxímetro.

#### SUMÁRIO DA SOLUÇÃO

São providos componentes eletrônicos de medição para um fluxímetro de acordo com uma modalidade da invenção. Os componentes eletrônicos de medição compreendem uma interface para receber uma resposta vibratória e um sistema de processamento em comunicação com a interface. O sistema de processamento é configurado para receber a resposta vibratória da interface, vibrar pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório e gerar um primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$  para um primeiro material em movimento  $m1$ , vibrar o pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório e gerar um segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  para um segundo material em movimento  $m2$ , e determinar um ou mais de um coeficiente de rigidez  $C_1$  ou de um coeficiente de massa  $C_2$  a partir do primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$ , de uma primeira densidade  $\rho_{m1}$ , do segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  e de uma segunda densidade  $\rho_{m2}$ .

Um método para determinar um coeficiente de rigi-

dez  $C_1$  de um fluxímetro vibratório é provido de acordo com uma modalidade da invenção. O método compreende vibrar pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório e gerar um primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$  para um primeiro material em movimento  $m_1$ , vibrar o pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório e gerar um segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  para um segundo material em movimento  $m_2$ , e determinar o coeficiente de rigidez  $C_1$  a partir do primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$ , de uma primeira densidade  $\rho_{m1}$ , do segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  e de uma segunda densidade  $\rho_{m2}$ .

Um método para determinar um coeficiente de massa  $C_2$  de um fluxímetro vibratório é provido de acordo com uma modalidade da invenção. O método compreende vibrar pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório e gerar um primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$  para um primeiro material em movimento  $m_1$ , vibrar o pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório e gerar um segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  para um segundo material em movimento  $m_2$ , e determinar o coeficiente de massa  $C_2$  pelo menos a partir do segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  e de uma segunda densidade  $\rho_{m2}$ .

Um método para determinar uma mudança no coeficiente de rigidez em um fluxímetro vibratório é provido de acordo com uma modalidade da invenção. O método compreende vibrar pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório em uma primeira instância de tempo  $t_1$  e gerar um primeiro período de tubo  $\tau_{m1,t_1}$  para um primeiro material em movimento  $m_1$ , vibrar o pelo menos um tubo de fluxo, substancialmente, na primeira instância de tempo  $t_1$  e gerar um segundo período

de tubo  $\tau_{m2,t1}$  para um segundo material em movimento  $m2$ , e determinar um primeiro coeficiente de rigidez  $C_{1,t1}$  na primeira instância de tempo  $t1$  a partir do primeiro período de tubo  $\tau_{m1,t1}$ , de uma primeira densidade  $\rho_{m1,t1}$ , do segundo período de tubo  $\tau_{m2,t1}$ , e de uma segunda densidade  $\rho_{m2,t1}$ . O método compreende adicionalmente vibrar o pelo menos um tubo de fluxo em uma segunda instância de tempo  $t2$  e gerar um terceiro período de tubo  $\tau_{m3,t2}$  para um terceiro material em movimento  $m3$ , vibrar o pelo menos um tubo de fluxo, substancialmente, na segunda instância de tempo  $t2$  e gerar um quarto período de tubo  $\tau_{m4,t2}$  para um quarto material em movimento  $m4$ , e determinar um segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  na segunda instância de tempo  $t2$  a partir do terceiro período de tubo  $\tau_{m3,t2}$ , de uma terceira densidade  $\rho_{m3,t2}$ , do quarto período de tubo  $\tau_{m4,t2}$  e de uma quarta densidade  $\rho_{m4,t2}$ . O método compreende adicionalmente comparar o primeiro coeficiente de rigidez  $C_{1,t1}$  e o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  a fim de determinar se uma rigidez do fluxímetro vibratório mudou entre a primeira instância de tempo  $t1$  e a segunda instância de tempo  $t2$ .

Um método para determinar uma mudança no coeficiente de massa em um fluxímetro vibratório é provido de acordo com uma modalidade da invenção. O método compreende vibrar pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório em uma primeira instância de tempo  $t1$  e gerar um primeiro período de tubo  $\tau_{m1,t1}$  para um primeiro material em movimento  $m1$ , vibrar o pelo menos um tubo de fluxo, substancialmente, na primeira instância de tempo  $t1$  e gerar um segundo período de

tubo  $\tau_{m2,t1}$  para um segundo material em movimento  $m2$ , e determinar um primeiro coeficiente de massa  $C_{2,t1}$  na primeira instância de tempo  $t1$  do primeiro período de tubo  $\tau_{m1,t1}$ , uma primeira densidade  $\rho_{m1,t1}$ , o segundo período de tubo  $\tau_{m2,t1}$  e uma segunda densidade  $\rho_{m2,t1}$ . O método compreende adicionalmente vibrar o pelo menos um tubo de fluxo em uma segunda instância de tempo  $t2$  e gerar um terceiro período de tubo  $\tau_{m3,t2}$  para um terceiro material em movimento  $m3$ , vibrar o pelo menos um tubo de fluxo, substancialmente, na segunda instância de tempo  $t2$  e gerar um quarto período de tubo  $\tau_{m4,t2}$  para um quarto material em movimento  $m4$ , e determinar um segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  na segunda instância de tempo  $t2$  a partir do terceiro período de tubo  $\tau_{m3,t2}$ , de uma terceira densidade  $\rho_{m3,t2}$ , do quarto período de tubo  $\tau_{m4,t2}$  e de uma quarta densidade  $\rho_{m4,t2}$ . O método compreende adicionalmente comparar o primeiro coeficiente de massa  $C_{2,t1}$  com o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  a fim de determinar se uma massa do fluxímetro vibratório mudou entre a primeira instância de tempo  $t1$  e a segunda instância de tempo  $t2$ .

#### 20 ASPECTOS DA INVENÇÃO

Em um aspecto dos componentes eletrônicos de medição, o primeiro material em movimento  $m1$  compreende um gás e o segundo material em movimento  $m2$  compreende um líquido.

Em um outro aspecto dos componentes eletrônicos de medição, o primeiro material em movimento  $m1$  compreende ar e o segundo material em movimento  $m2$  compreende água.

Em um ainda outro aspecto dos componentes eletrônicos de medição, o coeficiente de rigidez  $C_1$  compreende  $C_1$

$$= (\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2).$$

Em um ainda outro aspecto dos componentes eletrônicos de medição, o coeficiente de massa  $C_2$  compreende  $C_2 = C_1(\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ .

5 Em um ainda outro aspecto dos componentes eletrônicos de medição, o coeficiente de massa  $C_2$  compreende  $C_2 = [(\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)](\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ .

Em ainda um outro aspecto dos componentes eletrônicos de medição, o sistema de processamento é adicionalmente configurado para gerar um segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  em um segundo momento, para comparar o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  com o coeficiente de rigidez  $C_1$  e gerar uma condição de erro se o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  diferir do coeficiente de rigidez  $C_1$  em mais do que uma  
10 tolerância de rigidez pré-determinada.  
15

Em um ainda outro aspecto dos componentes eletrônicos de medição, o sistema de processamento é adicionalmente configurado para gerar um segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  em um segundo momento, comparar o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  com o coeficiente de massa  $C_2$  e para gerar uma  
20 condição de erro se o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  diferir do coeficiente de massa  $C_2$  em mais do que uma tolerância de massa pré-determinada.

Em um aspecto do método, o primeiro material em movimento  $m1$  compreende um gás e o segundo material em movimento  $m2$  compreende um líquido.  
25

Em um outro aspecto do método, o primeiro material em movimento  $m1$  compreende ar e o segundo material em movi-

mento  $m_2$  compreende água.

Em um ainda outro aspecto do método, o coeficiente de rigidez  $C_1$  compreende  $C_1 = (\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)$ .

Em um ainda outro aspecto do método, o método com-  
 5 preende adicionalmente gerar um segundo coeficiente de rigi-  
 dez  $C_{1,t2}$  em um segundo momento, comparar o segundo coefici-  
 ente de rigidez  $C_{1,t2}$  com o coeficiente de rigidez  $C_1$  e gerar  
 uma condição de erro se o segundo coeficiente de rigidez  
 $C_{1,t2}$  diferir do coeficiente de rigidez  $C_1$  em mais do que uma  
 10 tolerância de rigidez pré-determinada.

Em um ainda outro aspecto do método, o coeficiente de massa  $C_2$  compreende  $C_2 = C_1(\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ .

Em um ainda outro aspecto do método, o coeficiente de massa  $C_2$  compreende  $C_2 = [(\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)](\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ .  
 15

Em um ainda outro aspecto do método, o método com-  
 preende adicionalmente gerar um segundo coeficiente de massa  
 $C_{2,t2}$  em um segundo momento, comparar o segundo coeficiente  
 de massa  $C_{2,t2}$  com o coeficiente de massa  $C_2$  e gerar uma con-  
 20 dição de erro se o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  diferir  
 do coeficiente de massa  $C_2$  em mais do que uma tolerância de  
 massa pré-determinada.

#### DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

O mesmo número de referência representa o mesmo  
 25 elemento em todos os desenhos.

A figura 1 mostra um fluxímetro que compreende um conjunto medidor e componentes eletrônicos de medição.

A figura 2 mostra os componentes eletrônicos de

medição de acordo com uma modalidade da invenção.

A figura 3 é um gráfico do Fator de Calibração de Fluxo (FCF) em função do coeficiente de rigidez  $C_1$ .

5 A figura 4 é um fluxograma de um método para determinar um coeficiente de rigidez  $C_1$  de um fluxímetro vibratório de acordo com uma modalidade da invenção.

A figura 5 é um fluxograma de um método para determinar um coeficiente de massa  $C_2$  de um fluxímetro vibratório de acordo com uma modalidade da invenção.

10 A figura 6 é um fluxograma de um método para determinar uma mudança no coeficiente de rigidez e/ou uma mudança no coeficiente de massa de acordo com uma modalidade da invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

15 As figuras 1-6 e a descrição seguinte representam exemplos específicos para preceituar versados na técnica sobre como fazer e usar o melhor modo da invenção. Com o propósito de preceituar os princípios inventivos, alguns aspectos convencionais foram simplificados ou omitidos. Versados  
20 na técnica percebem variações daqueles exemplos que se enquadram no escopo da invenção. Versados na técnica percebem que os recursos descritos a seguir podem ser combinados de várias maneiras para formar múltiplas variações da invenção. Em decorrência disto, a invenção não está limitada aos exemplos  
25 específicos descritos a seguir, mas somente pelas reivindicações e seus equivalentes.

A figura 1 mostra um fluxímetro 5 que compreende um conjunto medidor 10 e componentes eletrônicos de medição

20. O conjunto medidor 10 responde pela vazão de massa e pela densidade de um material do processo. Os componentes eletrônicos de medição 20 são conectados no conjunto medidor 10 por meio de condutores 100 para prover informação de densidade, vazão de massa e temperatura pelo caminho 26, bem como outra informação não relevante para a presente invenção. Uma estrutura de fluxímetro de Coriolis é descrita, embora fique aparente aos versados na técnica que a presente invenção pode ser praticada como um densitômetro de tubo vibratório sem a capacidade de medição adicional provida por um fluxímetro de massa de Coriolis.

O conjunto medidor 10 inclui um par de coletores 150 e 150', flanges 103 e 103' com pescoços de flange 110 e 110', um par de tubos de fluxo paralelos 130 e 130', mecanismo de excitação 180, sensor de temperatura 190 e um par de sensores de velocidade 170L e 170R. Os tubos de fluxo 130 e 130' têm duas pernas de entrada 131 e 131' e pernas de saída 134 e 134' essencialmente retas que convergem uma na direção da outra nos blocos de montagem do tubo de fluxo 120 e 120'. Os tubos de fluxo 130 e 130' curvam-se em dois locais simétricos ao longo de seus comprimentos e são, essencialmente, paralelos por todo o seu comprimento. Barras de braço são 140 e 140' servem para definir os eixos geométricos W e W' ao redor dos quais cada tubo de fluxo oscila.

As pernas laterais 131, 131' e 134, 134' dos tubos de fluxo 130 e 130' são fixamente anexadas nos blocos de montagem do tubo de fluxo 120 e 120' e estes blocos, por sua vez, são fixamente anexados nos coletores 150 e 150'. Isto

provê um contínuo caminho fechado de material através do conjunto medidor Coriolis 10.

Quando os flanges 103 e 103', com furos 102 e 102', são conectados por meio da extremidade de entrada 104 e da extremidade de saída 104' em uma linha de processo (não mostrada) que conduz o material do processo que está sendo medido, o material que entra na extremidade 104 do medidor por meio de um orifício 101 no flange 103 é conduzido através do coletor 150 para o bloco de montagem do tubo de fluxo 120 com uma superfície 121. No coletor 150, o material é dividido e roteado através dos tubos 130 e 130'. Mediante a saída dos tubos de fluxo 130 e 130', o material do processo é recombinação em um único fluxo no coletor 150' e, posteriormente, é roteado para a extremidade de saída 104' conectada pelo flange 103' com furos de parafuso 102' na linha do processo (não mostrada).

Os tubos de fluxo 130 e 130' são selecionados e devidamente montados nos blocos de montagem do tubo de fluxo 120 e 120' de maneira a ter substancialmente a mesma distribuição de massa, momento de inércia e módulo de Young ao redor dos eixos geométricos curvos W-W e W'-W', respectivamente. Estes eixos geométricos curvos atravessam as barras de braço 140 e 140'. Visto que o módulo de Young dos tubos de fluxo muda com a temperatura e esta mudança afeta o cálculo do fluxo e da densidade, o detector de temperatura resistivo (RTD) 190 é montado no tubo de fluxo 130' para medir continuamente a temperatura do tubo de fluxo. A temperatura do tubo de fluxo e, portanto, a tensão que aparece através do

RTD para uma dada corrente que passa por ali é gerenciada pela temperatura do material que passa através do tubo de fluxo. A tensão dependente da temperatura que aparece através do RTD é usada em um método bem conhecido pelos componentes eletrônicos de medição 20 para compensar a mudança no módulo elástico dos tubos de fluxo 130 e 130' em função de qualquer mudança na temperatura do tubo de fluxo. O RTD é conectado nos componentes eletrônicos de medição 20 pelo condutor 195.

10 Ambos os tubos de fluxo 130 e 130' são excitados pelo excitador 180 em direções opostas ao redor de seus respectivos eixos geométricos curvos W e W' e no que é denominado primeiro modo de curvatura fora de fase do fluxímetro. Este mecanismo de excitação 180 pode compreender qualquer um dos muitos arranjos bem conhecidos, tais como um ímã montado no tubo de fluxo 130' e uma bobina oposta montada no tubo de fluxo 130 e através da qual uma corrente alternada passa para vibrar ambos os tubos de fluxo. Um sinal de excitação adequado é aplicado pelos componentes eletrônicos de medição 20, por meio do condutor 185, para o mecanismo de excitação 180.

Os componentes eletrônicos de medição 20 recebem o sinal de temperatura do RTD no condutor 195 e os sinais de velocidade esquerdo e direito que aparecem nos condutores 25 165L e 165R, respectivamente. Os componentes eletrônicos de medição 20 produzem o sinal de excitação que aparece no condutor 185 para acionar o elemento 180 e vibrar os tubos 130 e 130'. Os componentes eletrônicos de medição 20 processam

os sinais de velocidade esquerdo e direito e o sinal do RTD para computar a vazão de massa e a densidade do material que passa através do conjunto medidor 10. Esta informação, juntamente com outras informações, é aplicada pelos componentes eletrônicos de medição 20 no caminho 26 para o dispositivo de utilização 29.

A figura 2 mostra os componentes eletrônicos de medição 20 de acordo com uma modalidade da invenção. Os componentes eletrônicos de medição 20 podem incluir uma interface 201 e um sistema de processamento 203. Os componentes eletrônicos de medição 20 recebem uma resposta vibratória 211, tal como do conjunto medidor 10, por exemplo. Os componentes eletrônicos de medição 20 processam a resposta vibratória 211 a fim de obter as características do fluxo do material em movimento que escoam através do conjunto medidor 10. Além do mais, nos componentes eletrônicos de medição 20 de acordo com a invenção, a resposta vibratória 211 também é processada a fim de determinar os coeficientes do medidor. Especificamente, a resposta vibratória 211 pode ser processada a fim de determinar um coeficiente de rigidez  $C_1$  e um coeficiente de massa  $C_2$ , entre outras coisas.

Em operação, os componentes eletrônicos de medição 20 recebem uma resposta vibratória 211 e processam duas ou mais tais respostas vibratórias 211 a fim de determinar um coeficiente de rigidez  $C_1$  213 e um coeficiente de massa  $C_2$  214 para o conjunto medidor 10. Quaisquer dois materiais em movimento distintos podem ser colocados no conjunto medidor 10 e o conjunto medidor 10 pode ser vibrados a fim de produ-

zir uma resposta vibratória medida. Os dois materiais em movimento devem ser substancialmente distintos em termos de densidade. Dois materiais em movimento efetivos para este processo são um gás e um líquido, tais como ar e água, por exemplo. Entretanto, outros materiais em movimento podem ser usados.

Um aspecto inédito é que dois fluidos são usados para a calibração da densidade, em que a invenção pode gerar uma estimativa da rigidez e da massa no sensor. A medição da rigidez pode ser usada para determinar mudanças no Fator de Calibração de Fluxo (FCF). O termo massa pode ser usado para detectar acúmulo do produto.

A invenção é significativa em virtude de ela habilitar os componentes eletrônicos de medição a realizar uma determinação de fator de calibração de fluxo sem realizar um teste real de calibração de fluxo. Ela habilita uma determinação FCF sem um suporte de teste de calibração ou outro equipamento especial ou fluidos especiais. Isto é desejável em virtude de um dispositivo para realizar uma calibração de fluxo não estar sempre possível no campo, mas de o acesso a dois fluidos para a calibração de densidade ser, no geral, fácil de alcançar.

Um modelo simples pode ser usado a fim de ilustrar a invenção. A frequência natural (ou ressonante)  $f$  para um único grau de sistema de liberação pode ser expressa como:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M_{tubo} + M_{material}}} \tag{1}$$

Aqui,  $K$  é a rigidez do medidor,  $M_{\text{tubo}}$  é a massa do tubo de fluxo e  $M_{\text{material}}$  é a massa do material em movimento no tubo de fluxo. Pode-se ver pela equação (1) que, se a rigidez do medidor  $K$  mudar, a resposta da frequência medida mudará, em erro. Portanto, mudanças na rigidez do medidor  $K$  podem resultar em uma precisão degradada do fluxímetro 5. Quaisquer outras características de fluxo derivadas da frequência e/ou da densidade também exibirão uma precisão degradada.

10 A massa do material em movimento  $M_{\text{material}}$  é igual à densidade do material em movimento  $\rho_{\text{material}}$  multiplicada pelo volume  $V$  do material em movimento. Substituindo isto na equação (1) produz:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M_{\text{tubo}} + \rho_{\text{material}}V}} \quad (2)$$

15 A equação (2) pode ser resolvida pela densidade de fluido, produzindo:

$$\rho = \frac{K}{4\pi^2V} \tau^2 - \frac{M_{\text{tubo}}}{V} \quad (3)$$

Aqui,  $\tau$  é o período de tubo (isto é, a recíproca da frequência de tubo,  $\tau = 1/f$ ). Pode-se ver na equação (3) que a densidade está relacionada com o quadrado do período de tubo através dos dois coeficientes. Esta equação também  
20 pode ser escrita como:

$$\rho = C_1\tau^2 - C_2 \quad (4)$$

A partir da equação (4), pode-se ver que uma mudança no coeficiente de rigidez  $C_1$  ocasionará um erro na densidade medida se os valores originais para o coeficiente de rigidez  $C_1$  (e o coeficiente de massa  $C_2$ ) forem usados para calcular um valor de densidade para uma resposta vibratória atual.

O primeiro coeficiente  $C_1$  é diretamente relacionado com uma característica de rigidez do fluxímetro, compreendendo:

$$C_1 = \frac{K}{4\pi^2 V} \quad (5)$$

Portanto, o coeficiente de rigidez  $C_1$  pode ser usado para determinar se o Fator de Calibração de Fluxo (FCF) mudou com o tempo, já que o FCF é diretamente relacionado à rigidez.

O segundo coeficiente  $C_2$  é diretamente relacionado à massa do conjunto medidor. O segundo coeficiente  $C_2$  compreende:

$$C_2 = \frac{M_{tube}}{V} \quad (6)$$

O coeficiente de massa  $C_2$  pode ser usado para detectar e determinar mudanças na massa do conjunto medidor. Por exemplo, uma mudança no segundo coeficiente  $C_2$  com o tempo pode ser usada para determinar se um tubo de fluxo está sendo revestido pelo material em movimento, já que o revestimento do material em movimento mudará a massa do con-

junto medidor 10. Um revestimento (ou qualquer outra massa retida) irá restringir o fluxo no fluxímetro 5 e pode reduzir a precisão de todas as medições de fluxo.

Os primeiro e segundo coeficientes  $C_1$  e  $C_2$  podem ser determinados registrando o período de tubo para os materiais em movimento  $m_1$  e  $m_2$  de duas densidades conhecidas, substancialmente distintas. A solução pode resolver duas equações para dois desconhecidos. O coeficiente de rigidez  $C_1$  pode ser determinado como:

$$C_1 = \frac{(\rho_{m1} - \rho_{m2})}{(\tau_{m1}^2 - \tau_{m2}^2)} \quad (7)$$

Aqui,  $\rho_{m1}$  é a densidade de um primeiro material em movimento  $m_1$ ,  $\tau_{m1}$  é o período de tubo correspondente para o primeiro material em movimento  $m_1$ ,  $\rho_{m2}$  é a densidade de um segundo material em movimento  $m_2$  e  $\tau_{m2}$  é o período de tubo correspondente para o segundo material em movimento  $m_2$ . Entende-se que  $m_1$  e  $m_2$  podem compreender quaisquer dois materiais em movimento com densidades substancialmente distintas. Por exemplo, se as densidades diferirem em pelo menos 0,1 g/cc, então, os coeficientes  $C_1$  e  $C_2$  podem ser precisa e satisfatoriamente resolvidos. Por exemplo, o primeiro material em movimento  $m_1$  pode compreender um gás e o segundo material em movimento  $m_2$  pode compreender um líquido (ou vice-versa). Em um outro exemplo, o primeiro material em movimento  $m_1$  pode compreender ar e o segundo material em movimento  $m_2$  pode compreender água. Entende-se que os materiais em movimento

supradescritos são dados como exemplos e não são limitantes.

O coeficiente de massa  $C_2$  pode ser adicionalmente simplificado como:

$$C_2 = C_1 \tau_{m2}^2 - \rho_{m2} \quad (8)$$

5           Conseqüentemente, o coeficiente de rigidez  $C_1$  213  
e o coeficiente de massa  $C_2$  214 podem ser determinados ge-  
rando períodos de tubo  $\tau$  e obtendo densidades  $\rho$  de material  
em movimento para pelo menos dois materiais em movimento  $m_1$   
e  $m_2$ . Dois ou mais materiais em movimento são necessários a  
10 fim de resolver duas equações para dois desconhecidos, da  
forma previamente discutida. Além do mais, dois coeficientes  
podem ser determinados de forma periódica e/ou de forma re-  
petida a fim de detectar condições de erro de rigidez e/ou  
de massa.

15           Em uso, o coeficiente de rigidez  $C_1$  pode ser ras-  
treado com o tempo. Por exemplo, técnicas estatísticas podem  
ser usadas para determinar todas as mudanças no coeficiente  
de rigidez  $C_1$  com o tempo. Uma mudança estatística em  $C_1$  po-  
de indicar que o FCF para o fluxímetro em particular mudou.

20           A invenção provê um coeficiente de rigidez  $C_1$  que  
não baseia-se em valores de densidade de calibração armaze-  
nados ou retornados. Isto é o contrário da tecnologia ante-  
rior, em que um material em movimento conhecido é usado em  
uma operação de calibração de fábrica para obter uma densi-  
25 dade padrão que pode ser usada para todas as futuras opera-  
ções de calibração. A presente invenção provê um coeficiente  
de rigidez  $C_1$  que é obtido das respostas vibratórias do flu-  
xímetro e das densidades de material em movimento conhecido.

A invenção provê um processo de detecção / calibração de rigidez sem a necessidade de um processo de calibração de fábrica.

A interface 201 recebe a resposta vibratória 211 de um dos sensores de velocidade 170L e 170R por meio dos condutores 100 da figura 1. A interface 201 pode realizar qualquer condicionamento de sinal necessário ou desejado, tais como qualquer maneira de formatação, amplificação, armazenamento temporário, etc. Alternativamente, alguns ou todos os condicionamentos de sinal podem ser realizados no sistema de processamento 203.

Além do mais, a interface 201 pode habilitar comunicações entre os componentes eletrônicos de medição 20 e o dispositivo externo. A interface 201 pode ser capaz de qualquer modo de comunicação eletrônica, ótica ou sem fio.

A interface 201 em uma modalidade é acoplada a um digitalizador (não mostrado) em que o sinal do sensor compreende um sinal analógico do sensor. O digitalizador amostra e digitaliza uma resposta vibratória analógica e produz a resposta vibratória digital 211.

O sistema de processamento 203 conduz operações dos componentes eletrônicos de medição 20 e processa as medições de fluxo do conjunto medidor 10. O sistema de processamento 203 executa uma ou mais rotinas de processamento e, desse modo, processa as medições de fluxo a fim de produzir uma ou mais características do fluxo.

O sistema de processamento 203 pode compreender um computador de uso geral, um sistema de microprocessamento,

um circuito lógico ou algum outro dispositivo de processamento customizado ou de uso geral. O sistema de processamento 203 pode ser distribuído entre múltiplos dispositivos de processamento. O sistema de processamento 203 pode incluir  
5 qualquer maneira de mídia de armazenamento eletrônica integral ou independente, tal como o sistema de armazenamento 204.

O sistema de armazenamento 204 pode armazenar parâmetros e dados do fluxímetro, rotinas de software, valores  
10 constantes e valores variáveis. Em uma modalidade, o sistema de armazenamento 204 inclui rotinas que são executadas pelo sistema de processamento 203, tal como uma rotina de coeficiente 210 que determina um ou mais coeficientes para o fluxímetro 5.

15 Em uma modalidade, o sistema de armazenamento 204 armazena variáveis usadas para operar o fluxímetro 5. Em uma modalidade, o sistema de armazenamento 204 armazena variáveis, tal como a resposta vibratória 211, que pode ser recebida a partir dos sensores de velocidade / coleta de sinal  
20 170L e 170R, por exemplo.

Em uma modalidade, o sistema de armazenamento 204 armazena constantes, coeficientes e variáveis de trabalho. Por exemplo, o sistema de armazenamento 204 pode armazenar um coeficiente de rigidez  $C_1$  determinado 213 e um coeficiente de massa  $C_2$  determinado 214. O sistema de armazenamento  
25 204 pode armazenar adicionalmente um par dos mesmos coeficientes que são determinados posteriormente, tais como um segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  216 e um segundo coefici-

ente de massa  $C_{2,t_2}$  217. O sistema de armazenamento 204 pode armazenar valores de trabalho, tais como um primeiro período de tubo  $\tau_1$  220, um segundo período de tubo  $\tau_2$  221, uma primeira densidade  $\rho_1$  222 e uma segunda densidade  $\rho_2$  223. Além do mais, o sistema de armazenamento 204 pode armazenar constantes, limites ou faixas, tais como a tolerância de rigidez 230 e a tolerância de massa 232.

A figura 3 é um gráfico do Fator de Calibração de Fluxo (FCF) em função do coeficiente de rigidez  $C_1$ . Os dados do gráfico foram empiricamente obtidos para um fluxímetro típico. Uma forte correlação entre  $C_1$  e FCF é vista neste gráfico e é adicionalmente mostrada pelo coeficiente de correlação correspondente de 97,8%. Portanto, o gráfico demonstra que o coeficiente de rigidez  $C_1$  pode ser usado para monitorar o valor do FCF e o coeficiente de rigidez  $C_1$  pode ser usado para detectar mudanças no FCF.

A figura 4 é um fluxograma 400 de um método para determinar um coeficiente de rigidez  $C_1$  de um fluxímetro vibratório de acordo com uma modalidade da invenção. Na etapa 401, o conjunto medidor 10 é vibrado, em que o conjunto medidor 10 contém um primeiro material em movimento  $m_1$ . O material em movimento pode estar estático ou pode estar fluindo através do conjunto medidor 10. Uma resposta vibratória é medida e a resposta vibratória é usada para gerar um primeiro período de tubo  $\tau_{m_1}$  para o primeiro material em movimento  $m_1$ . O período de tubo  $\tau$  compreende o inverso da frequência (isto é,  $\tau = 1/f$ ). A resposta vibratória em uma modalidade compreende uma resposta de frequência.

Na etapa 402, uma primeira densidade  $\rho_{m1}$  é obtida. A primeira densidade  $\rho_{m1}$  pode ser inserida por uma operação, por exemplo, ou pode ser selecionada e retornada da memória.

Na etapa 403, o conjunto medidor 10 é vibrado com um segundo material em movimento  $m2$  presente. O segundo material em movimento  $m2$  difere do primeiro material em movimento  $m1$ , tal como tendo uma densidade substancialmente distinta. Uma segunda resposta vibratória é recebida e um segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  é determinado.

Na etapa 404, uma segunda densidade  $\rho_{m2}$  é obtida, similar à primeira densidade  $\rho_{m1}$ . A segunda densidade  $\rho_{m2}$  é substancialmente distinta da primeira densidade  $\rho_{m1}$ , da forma previamente discutida.

Na etapa 405, um coeficiente de rigidez  $C_1$  é determinado a partir da primeira densidade  $\rho_{m1}$ , do primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$ , da segunda densidade  $\rho_{m2}$  e do segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  (ver equação (7)).

Na etapa 406, um segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  é gerado em uma segunda instância de tempo  $t2$ . O segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  é gerado da mesma maneira que o coeficiente de rigidez  $C_1$ , supra. O segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  pode ser gerado usando os primeiro e segundo materiais em movimento  $m1$  e  $m2$ , ou pode ser gerado usando um terceiro material em movimento  $m3$  e um quarto material em movimento  $m4$ .

Na etapa 407, o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  é comparado com o coeficiente de rigidez  $C_1$ . A comparação pode ser realizada a fim de determinar se a rigidez do

conjunto medidor 10 mudou substancialmente. Isto pode comparar adicionalmente uma mudança no coeficiente de rigidez até uma tolerância de rigidez 230. Se a mudança no coeficiente de rigidez exceder a tolerância de rigidez 230, então, o método se ramifica na etapa 408. Caso contrário, o método está completo.

Na etapa 408, em virtude de a mudança no coeficiente de rigidez exceder a tolerância de rigidez 230, então, uma condição de erro é determinada. A condição de erro pode incluir qualquer modo de marcador, variável, indicador ou rotina de erro.

A figura 5 é um fluxograma 500 de um método para determinar um coeficiente de massa  $C_2$  de um fluxímetro vibratório de acordo com uma modalidade da invenção. Na etapa 501, o conjunto medidor 10 é vibrado a fim de gerar um primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$  da forma previamente discutida.

Na etapa 502, uma primeira densidade  $\rho_{m1}$  é obtida da forma previamente discutida.

Na etapa 503, o conjunto medidor 10 é vibrado com um segundo material em movimento  $m2$ , da forma previamente discutida, a fim de obter o segundo, período de tubo  $\tau_{m2}$ . O segundo material em movimento  $m2$  difere do primeiro material em movimento  $m1$ , da forma previamente discutida.

Na etapa 504, uma segunda densidade  $\rho_{m2}$  é obtida da forma previamente discutida.

Na etapa 505, um coeficiente de massa  $C_2$  é determinado pelo menos a partir do segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  e da segunda densidade  $\rho_{m2}$ . A determinação pode empregar o co-

eficiente de rigidez  $C_1$  e o segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  e a segunda densidade  $\rho_{m2}$  (veja a equação (8)). Alternativamente, a determinação pode empregar todas as quatro variáveis determinadas de acordo com:

$$C_2 = \frac{(\rho_{m1} - \rho_{m2})}{(\tau_{m1}^2 - \tau_{m2}^2)} \tau_{m2}^2 - \rho_{m2} \quad (9)$$

5            Na etapa 506, um segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  é gerado em uma segunda instância de tempo  $t2$ . O segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  é gerado da mesma maneira que o coeficiente de massa  $C_2$ , supra. O segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  pode ser gerado usando os primeiro e segundo materiais em movimento  $m1$  e  $m2$ , ou pode ser gerado usando um terceiro material em movimento  $m3$  e um quarto material em movimento  $m4$ .

15            Na etapa 507, o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  é comparado como o coeficiente de massa  $C_2$ . A comparação pode ser realizada a fim de determinar se a massa do conjunto medidor 10 mudou substancialmente. A comparação pode ser feita adicionalmente de uma mudança no coeficiente de massa com uma tolerância de massa 232. Se a mudança no coeficiente de massa exceder a tolerância de massa 232, então, o método se ramifica na etapa 508. Caso contrário, o método está completo.

20            Na etapa 508, em virtude de a mudança no coeficiente de massa exceder a tolerância de massa 232, então, uma condição de erro é determinada. A condição de erro pode in-

cluir qualquer modo de marcador, variável, indicador ou rotina de erro.

A figura 6 é um fluxograma 600 de um método para determinar uma mudança no coeficiente de massa e/ou uma mudança no coeficiente de massa de acordo com uma modalidade da invenção. Na etapa 601, um primeiro coeficiente de rigidez  $C_{1,t1}$  para um primeiro material em movimento  $m1$  é determinado em uma primeira instância de tempo  $t1$ . O primeiro coeficiente de rigidez  $C_{1,t1}$  é determinado a partir de uma primeira densidade  $\rho_{m1}$ , de um primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$ , de uma segunda densidade  $\rho_{m2}$  e de um segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  da forma previamente descrita.

Na etapa 602, um primeiro coeficiente de massa  $C_{2,t1}$  para o primeiro material em movimento  $m1$  também é determinado para a primeira instância de tempo  $t1$ . O primeiro coeficiente de massa  $C_{2,t1}$  também é determinado a partir dos períodos de tubos e das densidades da primeira instância de tempo.

Na etapa 603, um segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  é determinado em uma segunda instância de tempo  $t2$ . A segunda instância de tempo  $t2$  é diferente da primeira instância de tempo  $t1$ . Qualquer quantidade de tempo pode se estender entre a primeira instância de tempo  $t1$  e a segunda instância de tempo  $t2$ . Nota-se que os materiais em movimento usados para gerar o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  podem ser os mesmos ou diferentes dos materiais em movimento usados para gerar o primeiro coeficiente de rigidez  $C_{1,t1}$ . O mesmo também se aplica ao coeficiente de massa  $C_2$ .

Na etapa 604, um segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  é determinado na segunda instância de tempo  $t2$ .

Na etapa 605, o primeiro coeficiente de rigidez  $C_{1,t1}$  é comparado com o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$ .

5 A comparação pode ser realizada a fim de determinar se a rigidez do fluxímetro 5 mudou substancialmente. A comparação pode ser feita adicionalmente de uma mudança no coeficiente de rigidez com uma tolerância de rigidez 230. A tolerância de rigidez 230 pode compreender qualquer modo de limite de  
10 tolerância ou de faixa de tolerância. Se a mudança no coeficiente de rigidez exceder a tolerância de rigidez 230, então o método se ramifica na etapa 606. Caso contrário, o método prossegue até a etapa 607.

Na etapa 606, em virtude de a mudança no coeficiente de rigidez exceder a tolerância de rigidez 230, então,  
15 uma condição de erro é determinada. A condição de erro pode incluir qualquer modo de marcador, variável, indicador ou rotina de erro.

Na etapa 607, o primeiro coeficiente de massa  $C_{2,t1}$   
20 é comparado com o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$ . A comparação pode ser realizada a fim de determinar se a massa do fluxímetro 5 mudou substancialmente. A comparação pode ser feita adicionalmente de uma mudança no coeficiente de massa com uma tolerância de massa 232. Se a mudança no coeficiente  
25 de massa exceder a tolerância de massa 232, então o método se ramifica na etapa 608. Caso contrário, o método está completo.

Na etapa 608, em virtude de a mudança no coefici-

ente de massa exceder a tolerância de massa 232, então, uma condição de erro é determinada. A condição de erro pode incluir qualquer modo de marcador, indicador, alarme ou rotina da forma previamente descrita.

5           O método 600 pode ser realizado de forma iterativa, periódica ou aleatória. Entende-se que o método 600 pode ser realizado repetidamente para um ou ambos os coeficientes  $C_1$  e  $C_2$ . O método 600 pode ser realizado em marcos pré-determinados, tais como em horas de operação pré-  
10 determinadas, mediante uma mudança no material em movimento, etc.

          O aparelho eletrônico e os métodos de medidor de acordo com a invenção podem ser empregados de acordo com qualquer uma das modalidades a fim de prover diversas vanta-  
15 gens, se desejado. A invenção provê um coeficiente de rigidez  $C_1$  que está substancialmente relacionado com uma rigidez do tubo de fluxo do fluxímetro. A invenção provê um coeficiente de massa  $C_2$  que está substancialmente relacionado com uma massa do fluxímetro. A invenção provê coeficientes que  
20 não se baseiam em valores de densidade de calibração armazenados ou retornados. A invenção provê coeficientes que são obtidos de respostas vibratórias do fluxímetro.

          A invenção provê um processo de detecção / calibração de rigidez sem a necessidade de um processo de calibração de fábrica. A invenção pode realizar um processo de  
25 calibração no campo. A invenção pode realizar um processo de calibração a qualquer momento. A invenção pode realizar um processo de calibração sem a necessidade de um aparelho de

teste de calibração e sem a necessidade de materiais em movimento de calibração específicos.

A invenção pode realizar um processo de calibração usando dois ou mais materiais em movimento. A invenção pode  
5 realizar processos de calibração que determina mudanças na rigidez do fluxímetro com o tempo. A invenção pode realizar processos de calibração que determinam mudanças na massa do fluxímetro com o tempo.

## REIVINDICAÇÕES

1. Componentes eletrônicos de medição (20) para um fluxímetro (5), os componentes eletrônicos de medição (20) compreendendo uma interface (201) para receber uma resposta vibratória e um sistema de processamento (203) em comunicação com a interface (201), os componentes eletrônicos de medição (20) compreendendo:

5 sistema operacional (203) que é configurado para receber a resposta vibratória da interface (201), vibrar pelo menos um tubo de fluxo (130) do fluxímetro vibratório (5) e gerar um primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$  para um primeiro material em movimento  $m1$ , vibrar o pelo menos um tubo de fluxo (130) do fluxímetro vibratório (5) e gerar um segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  para um segundo material em movimento  $m2$  e determinar um ou mais de um coeficiente de rigidez  $C_1$  ou de um coeficiente de massa  $C_2$  a partir do primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$ , de uma primeira densidade  $\rho_{m1}$ , do segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  e de uma segunda densidade  $\rho_{m2}$ ,

15 o componentes eletrônicos de medição (20) sendo **CARACTERIZADOS** pelo fato de que o sistema operacional (203) é configurado adicionalmente para:

20 gerar um ou mais dentre um segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  e um segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  em um segundo momento,

25 comparar um ou mais dentre o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  com o coeficiente de rigidez  $C_1$  ou comparar o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  com o coeficiente de massa  $C_2$ ; e

gerar uma condição de erro se um ou mais dentre o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  diferir do coeficiente de rigidez  $C_1$  em mais do que uma tolerância de rigidez pré-determinada ou se o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  diferir do coeficiente de massa  $C_2$  em mais do que uma tolerância de massa pré-determinada.

2. Componentes eletrônicos de medição (20), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADOS** pelo fato de que o primeiro material em movimento  $m1$  compreende um gás e o segundo material em movimento  $m2$  compreende um líquido.

3. Componentes eletrônicos de medição (20), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADOS** pelo fato de que o primeiro material em movimento  $m1$  compreende ar e o segundo material em movimento  $m2$  compreende água.

4. Componentes eletrônicos de medição (20), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADOS** pelo fato de que o coeficiente de rigidez  $C_1$  compreende  $C_1 = (\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)$ .

5. Componentes eletrônicos de medição (20), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADOS** pelo fato de que o coeficiente de massa  $C_2$  compreende  $C_2 = C_1(\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ .

6. Componentes eletrônicos de medição (20), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADOS** pelo fato de que o coeficiente de massa  $C_2$  compreende  $C_2 = [(\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)](\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ .

7. Método para determinar um coeficiente de rigidez  $C_1$  de um fluxímetro vibratório, o método compreendendo vibrar pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório

e gerar um primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$  para um primeiro material em movimento  $m1$ , o método compreendendo:

vibrar o pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório e gerar um segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  para um segundo material em movimento  $m2$ ; e

determinar o coeficiente de rigidez  $C_1$  a partir do primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$ , de uma primeira densidade  $\rho_{m1}$ , do segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  e de uma segunda densidade  $\rho_{m2}$ ;

o método sendo **CARACTERIZADO** pelo fato de que adicionalmente compreende:

gerar um segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  em um segundo momento;

comparar o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  com o coeficiente de rigidez  $C_1$ ; e

gerar uma condição de erro se o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  diferir do coeficiente de rigidez  $C_1$  em mais do que uma tolerância de rigidez pré-determinada.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro material em movimento  $m1$  compreende um gás e o segundo material em movimento  $m2$  compreende um líquido.

9. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro material em movimento  $m1$  compreende ar e o segundo material em movimento  $m2$  compreende água.

10. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o coeficiente de rigidez  $C_1$

compreende  $C_1 = (\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)$ .

11. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente determinar um coeficiente de massa  $C_2 = C_1(\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ .

5 12. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente determinar um coeficiente de massa  $C_2 = [(\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)](\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ .

13. Método para determinar um coeficiente de massa  
10  $C_2$  de um fluxímetro vibratório, o método compreendendo vibrar pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório e gerar um primeiro período de tubo  $\tau_{m1}$  para um primeiro material em movimento  $m1$ , o método compreendendo:

vibrar o pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro  
15 vibratório e gerar um segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  para um segundo material em movimento  $m2$ ;

determinar o coeficiente de massa  $C_2$  pelo menos a partir do segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  e de uma densidade  $\rho_{m2}$ ;

o método sendo **CARACTERIZADO** pelo fato de que adicionalmente compreende:  
20

gerar um segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  em um segundo momento;

comparar o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  com o coeficiente de massa  $C_2$ ; e

25 gerar uma condição de erro se o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  diferir do coeficiente de massa  $C_2$  em mais do que uma tolerância de massa pré-determinada.

14. Método, de acordo com a reivindicação 13,

**CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro material em movimento m1 compreende um gás e o segundo material em movimento m2 compreende um líquido.

15. Método, de acordo com a reivindicação 13,  
5 **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro material em movimento m1 compreende ar e o segundo material em movimento m2 compreende água.

16. Método, de acordo com a reivindicação 13,  
**CARACTERIZADO** pelo fato de que o coeficiente de massa  $C_2$   
10 compreende  $C_2 = C_1(\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ .

17. Método, de acordo com a reivindicação 13,  
**CARACTERIZADO** pelo fato de que o coeficiente de massa  $C_2$   
compreende  $C_2 = [(\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)](\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ .

18. Método, de acordo com a reivindicação 13,  
15 **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente determinar um coeficiente de rigidez  $C_1 = (\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)$ .

19. Método, de acordo com a reivindicação 7,  
**CARACTERIZADO** pelo fato de que adicionalmente compreende:  
20 vibrar o pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório e gerar um segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  para um segundo material em movimento m2 em uma primeira instância de tempo t1;

determinar o coeficiente de massa  $C_2$  a partir pelo  
25 menos do segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  e de uma segunda densidade  $\rho_{m2}$  na primeira instância de tempo t1;

vibrar o pelo menos um tubo de fluxo em uma segunda instância de tempo t2 e gerar um terceiro período de tubo

$\tau_{m3,t2}$  para um terceiro material em movimento  $m3$ ;

vibrar o pelo menos um tubo de fluxo substancialmente na segunda instância de tempo  $t2$  e gerar um quarto período de tubo  $\tau_{m4,t2}$  para um quarto material em movimento  $m4$ ;

5 determinar um segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  na segunda instância de tempo  $t2$  a partir do terceiro período de tubo  $\tau_{m3,t2}$ , de uma segunda densidade  $\rho_{m3,t2}$ , do quarto período de tubo  $\tau_{m4,t2}$  e de uma quarta densidade  $\rho_{m4,t2}$ ; e

10 comparar o primeiro coeficiente de rigidez  $C_{1,t1}$  e o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  a fim de determinar se uma rigidez do fluxímetro vibratório mudou entre a primeira instância de tempo  $t1$  e a segunda instância de tempo  $t2$ .

20. Método, de acordo com a reivindicação 19, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro coeficiente de rigidez  $C_{1,t1}$  e o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  compreendem  $C_1 = (\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)$ .

21. Método, de acordo com a reivindicação 19, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente:

20 determinar um primeiro coeficiente de massa  $C_{2,t1}$  e um segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  que compreende  $C_2 = C_1(\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ ; e

25 comparar o primeiro coeficiente de massa  $C_{2,t1}$  com o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  a fim de determinar se uma massa do fluxímetro vibratório mudou entre a primeira instância de tempo  $t1$  e a segunda instância de tempo  $t2$ .

22. Método, de acordo com a reivindicação 19, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente:

determinar um primeiro coeficiente de massa  $C_{2,t1}$  e

um segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  compreendendo  $C_2 = [(\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)](\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ ; e

comparar o primeiro coeficiente de massa  $C_{2,t1}$  com o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  a fim de determinar se a massa do fluxímetro vibratório mudou entre a primeira instância de tempo  $t1$  e a segunda instância de tempo  $t2$ .

23. Método, de acordo com a reivindicação 13, **CARACTERIZADO** pelo fato de que adicionalmente compreende:

vibrar o pelo menos um tubo de fluxo do fluxímetro vibratório e gerar um segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  para um segundo material em movimento  $m2$  em uma primeira instância de tempo  $t1$ ;

determinar o coeficiente de massa  $C_2$  a partir pelo menos do segundo período de tubo  $\tau_{m2}$  e da segunda densidade  $\rho_{m2}$  na primeira instância de tempo  $t1$ ;

vibrar o pelo menos um tubo de fluxo em uma segunda instância de tempo  $t2$  e gerar um terceiro período de tubo  $\tau_{m3,t2}$  para um terceiro material em movimento  $m3$ ;

vibrar o pelo menos um tubo de fluxo substancialmente na segunda instância de tempo  $t2$  e gerar um quarto período de tubo  $\tau_{m4,t2}$  para um quarto material em movimento  $m4$ ;

determinar um segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  na segunda instância de tempo  $t2$  a partir do terceiro período de tubo  $\tau_{m3,t2}$ , de uma terceira densidade  $\rho_{m3,t2}$ , do quarto período de tubo  $\tau_{m4,t2}$  e de uma quarta densidade  $\rho_{m4,t2}$ ; e

comparar o primeiro coeficiente de massa  $C_{2,t1}$  com o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  a fim de determinar se uma massa do fluxímetro vibratório mudou entre a primeira

instância de tempo t1 e a segunda instância de tempo t2.

24. Método, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro coeficiente de massa  $C_{2,t1}$  e o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  compreendem

5  $C_2 = C_1(\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ .

25. Método, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro coeficiente de massa  $C_{2,t1}$  e o segundo coeficiente de massa  $C_{2,t2}$  compreendem

10  $C_2 = [(\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)](\tau_{m2})^2 - \rho_{m2}$ .

26. Método, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente:

determinar um primeiro coeficiente de rigidez  $C_{1,t1}$  e um segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  que compreendem  $C_1 = (\rho_{m1} - \rho_{m2}) / ((\tau_{m1})^2 - (\tau_{m2})^2)$ ; e

15 comparar o primeiro coeficiente de rigidez  $C_{1,t1}$  e o segundo coeficiente de rigidez  $C_{1,t2}$  a fim de determinar se uma rigidez do fluxímetro vibratório mudou entre a primeira instância de tempo t1 e a segunda instância de tempo t2.



Componentes Eletrônicos de Medição 20

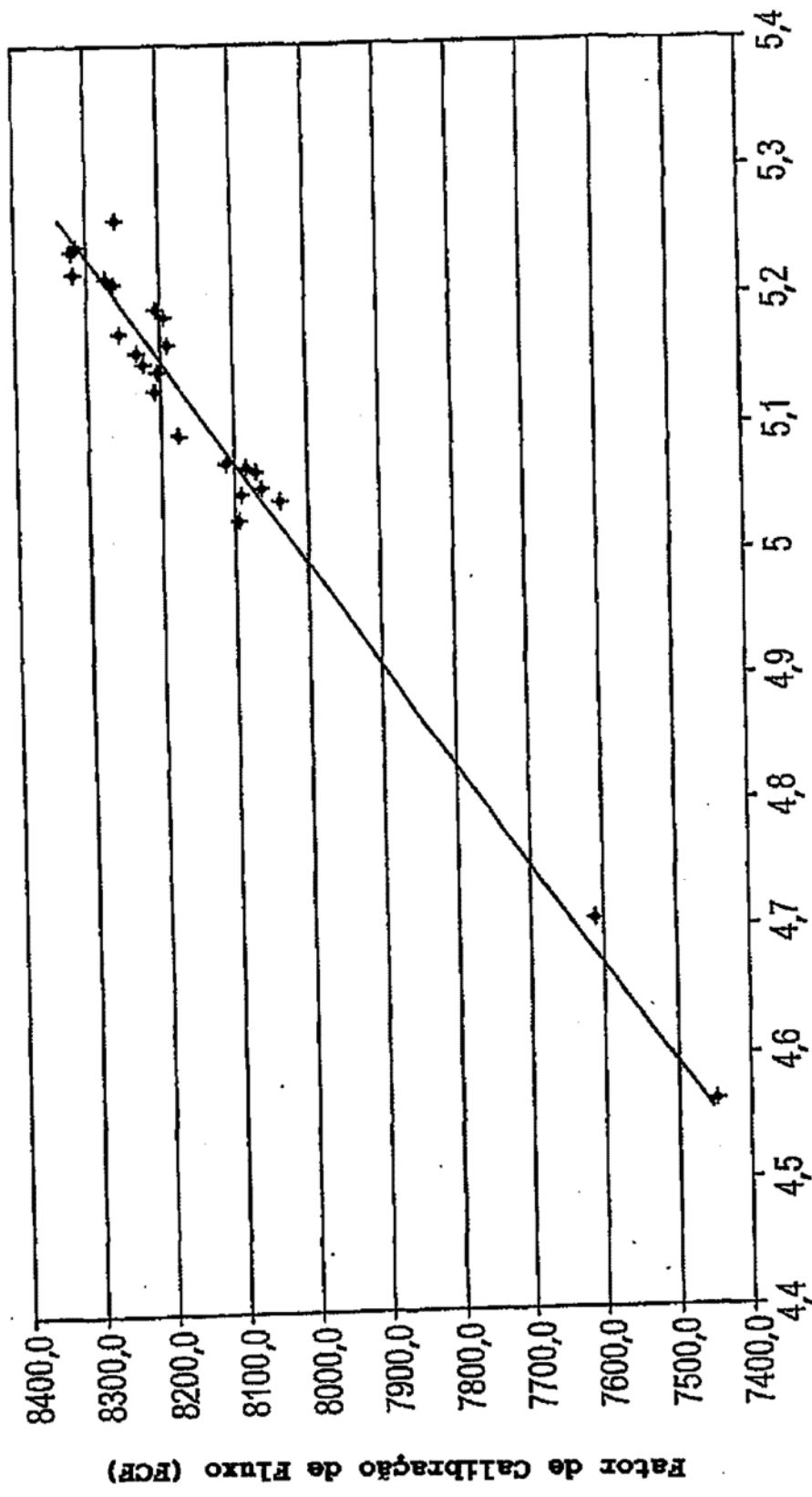
Sistema de Processamento 203

Sistema de Armazenamento 204

Rotina de Coeficiente $C_1$	<u>210</u>	Primeiro Período de Tubo	<u>220</u>
Coeficiente de Rigidez $C_2$	<u>213</u>	Segundo Período de Tubo	<u>221</u>
Coeficiente de Massa	<u>214</u>	Primeira Densidade	<u>222</u>
Resposta Vibratória	<u>211</u>	Segunda Densidade	<u>223</u>
Segundo Coeficiente de Rigidez $C_{1,t1}$	<u>216</u>	Tolerância de Rigidez	<u>230</u>
Segundo Coeficiente de Massa $C_{2,t1}$	<u>217</u>	Tolerância de Massa	<u>232</u>

Interface 201

FIG.2



Rigidez C<sub>1</sub>

FIG.3

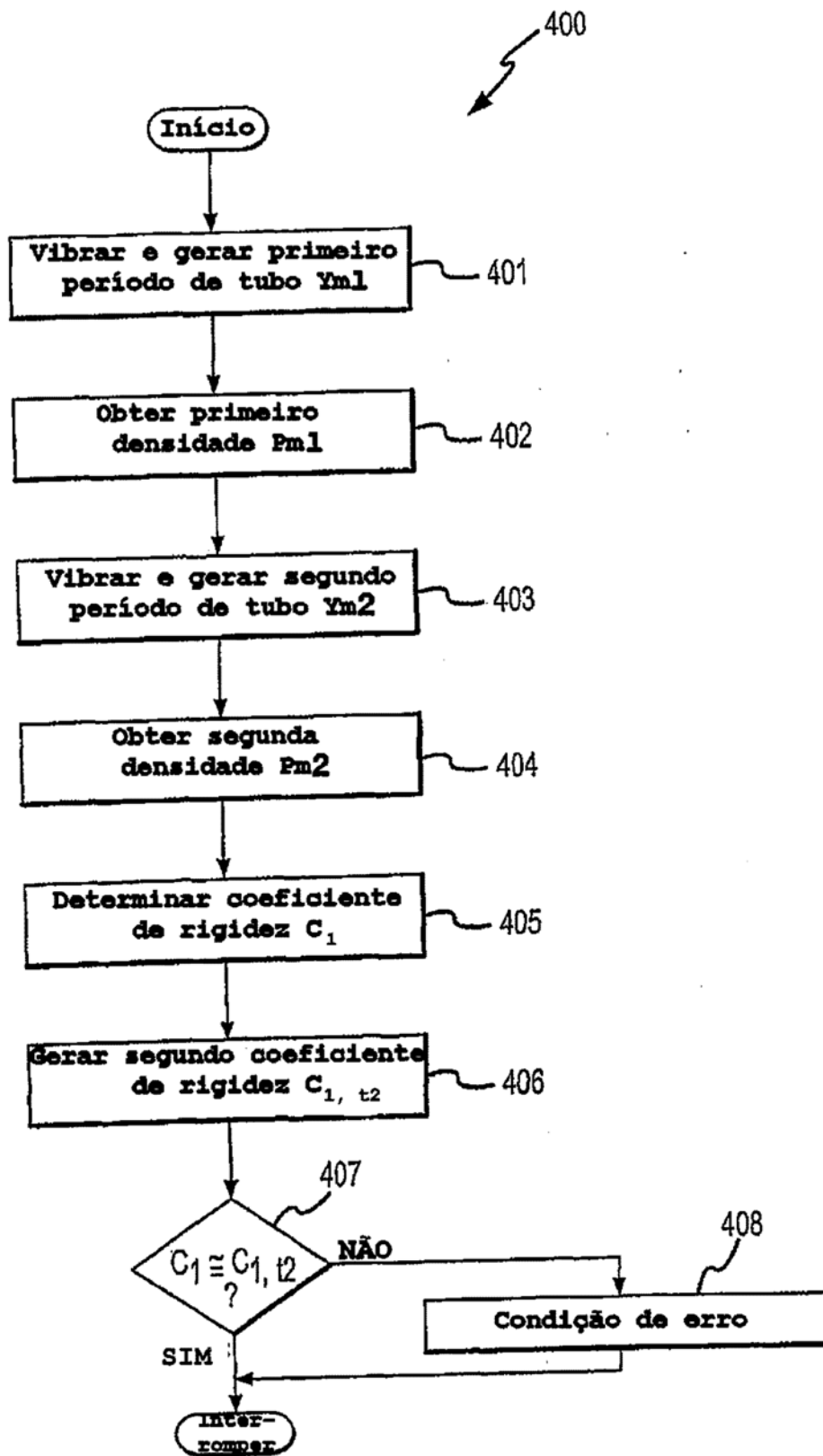


FIG.4

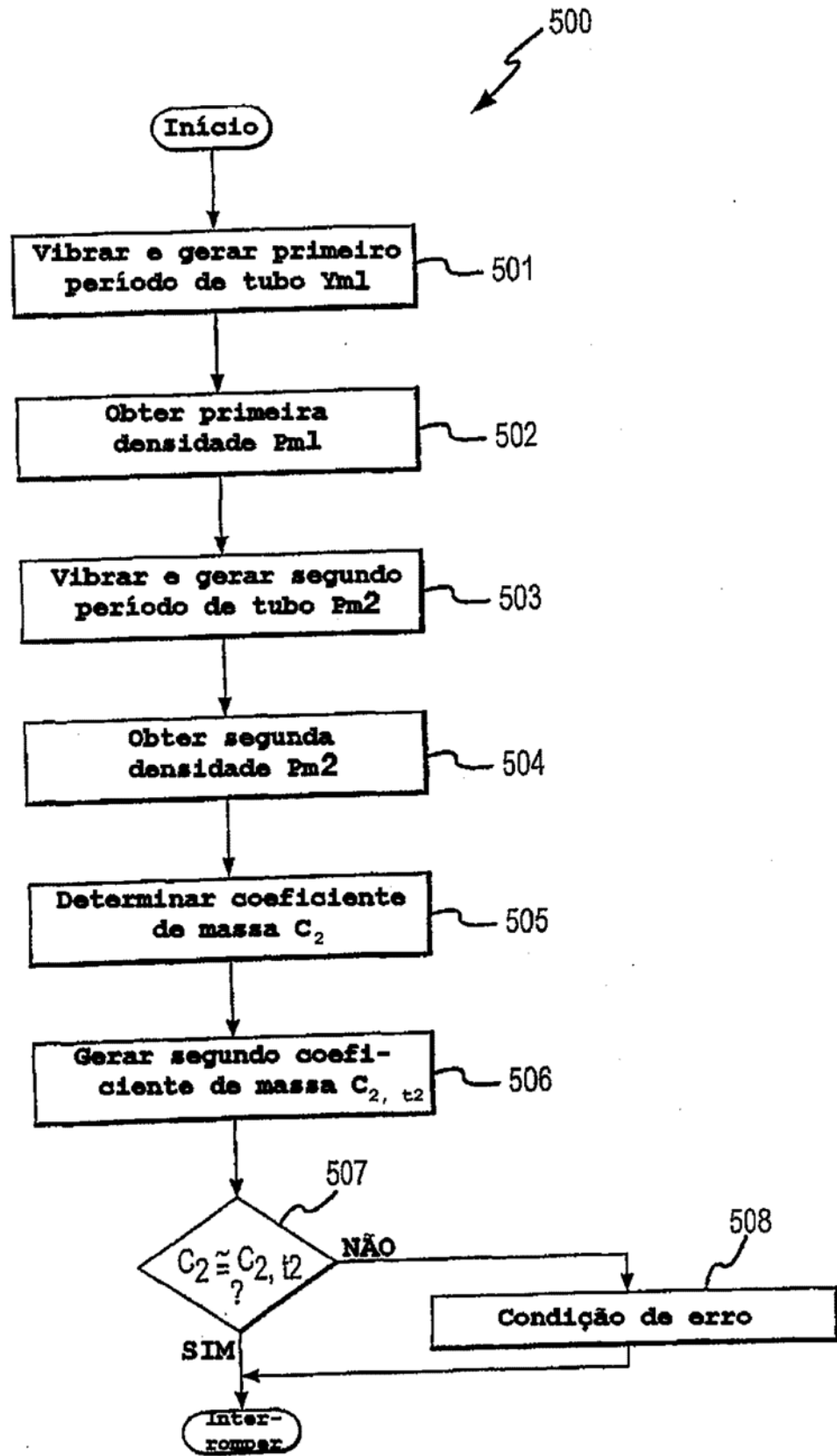


FIG.5

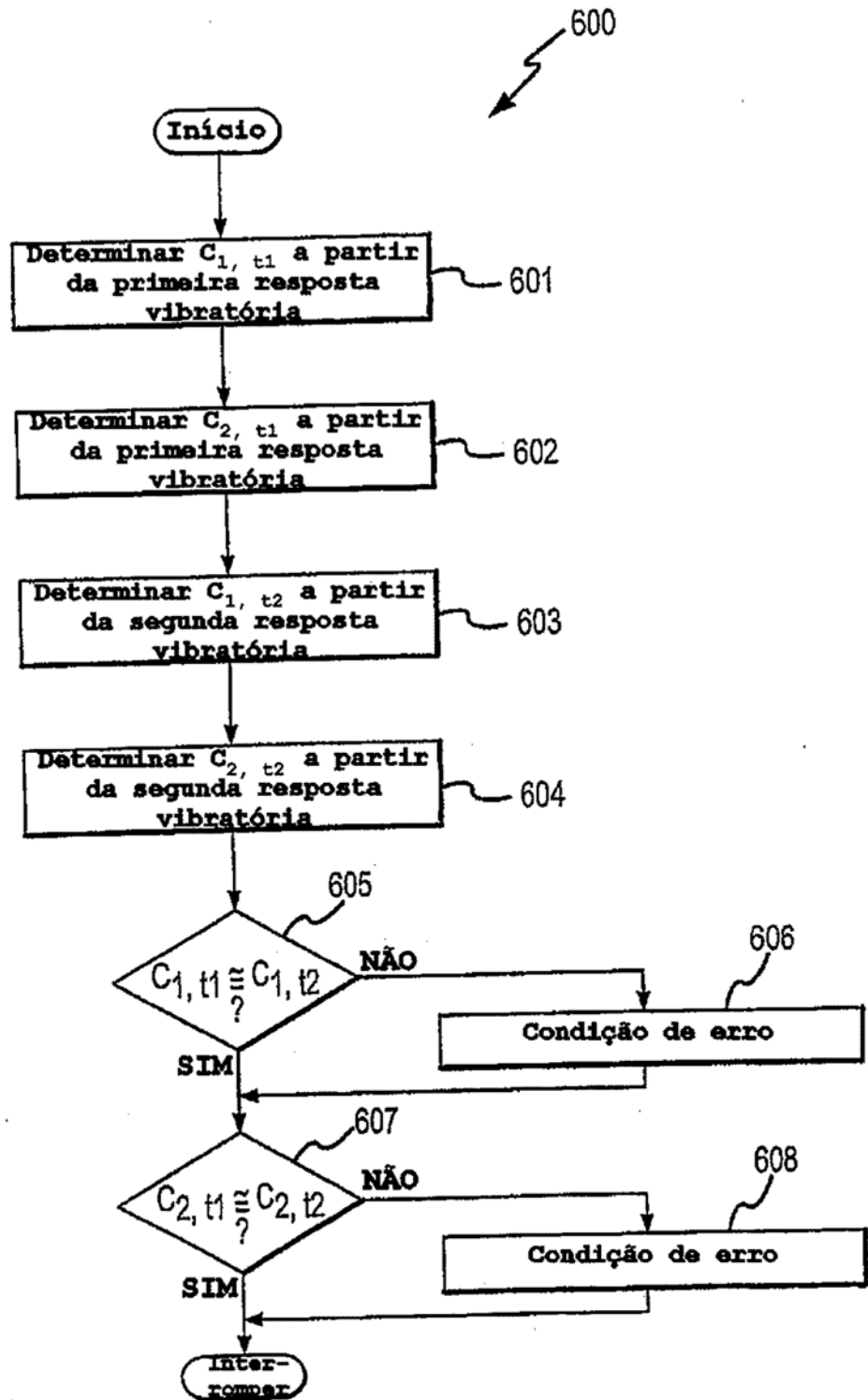


FIG.6