



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

(21) **PI 0614405-5 A2**

(22) Data de Depósito: 21/07/2006
(43) Data da Publicação: 27/11/2012
(RPI 2186)



(51) *Int.Cl.:*
G01F 1/66

(54) Título: MÉTODO PARA DETERMINAR TEMPO DE ATRASO DE TRANSDUTOR E SEPARAÇÃO DE TRANSDUTOR EM MEDIDORES DE FLUXO ULTRA-SÔNICOS, E, MEDIDOR ULTRA-SÔNICO

(30) Prioridade Unionista: 15/08/2005 US 11/204068

(73) Titular(es): DANIEL MEASUREMENT AND CONTROL, INC.

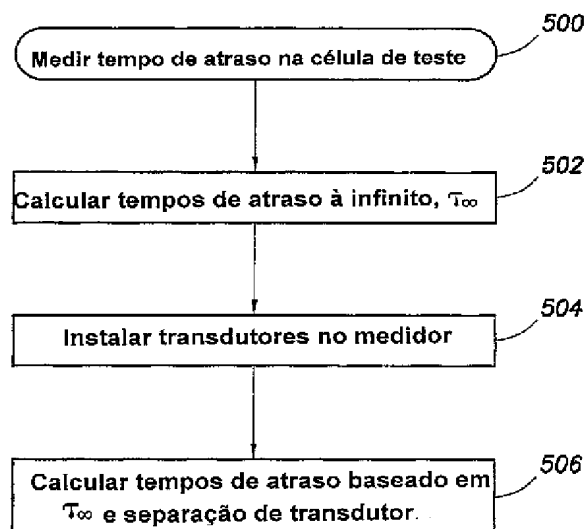
(72) Inventor(es): Klaus J. Zanker, William R. Freund Jr.

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT US2006028380 de 21/07/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/021445de 22/02/2007

(57) Resumo: MÉTODO PARA DETERMINAR TEMPO DE ATRASO DE TRANSDUTOR E SEPARAÇÃO DE TRANSDUTOR EM MEDIDORES DE FLUXO ULTRA-SÔNICOS, E, MEDIDOR ULTRA-SÔNICO. Método e sistemas relacionados para determinar tempo de atraso de transdutor e separação de transdutor em medidores de fluxo ultrasônicos. Pelo menos algumas das concretizações ilustrativas são um método incluindo medir um tempo de atraso para um primeiro par de transdutores, medir um tempo medido total para sinais ultra-sônicos transmitidos entre um segundo par de transdutores em um medidor ultra-sônico no qual ambos o primeiro e segundo pares de transdutores estão instalados, calcular em parâmetro associado com o segundo par de transdutores usando o tempo de atraso do primeiro par de transdutores e o tempo medido total para o segundo par de transdutores.



“MÉTODO PARA DETERMINAR TEMPO DE ATRASO DE TRANSDUTOR E SEPARAÇÃO DE TRANSDUTOR EM MEDIDORES DE FLUXO ULTRA-SÔNICOS, E, MEDIDOR ULTRA-SÔNICO”

**DECLARAÇÃO CONSIDERANDO PESQUISA OU
5 DESENVOLVIMENTO FEDERALMENTE PATROCINADO**

Não Aplicável.

FUNDAMENTO DA INVENÇÃO

Várias concretizações da invenção relacionam-se à detecção de erros em medições de tempo de trânsito ultra-sônicas. Mais particularmente, concretizações da invenção relacionam-se a estabelecer os tempos de atraso inerentes em um ou mais pares de transdutores usados em um medidor ultra-sônico, e identificação de quando erros de atraso de tempo foram medidos imprecisamente ou mudaram. Concretizações relacionadas são dirigidas à identificação de enganos em distância medida entre pares de transdutores em um medidor ultra-sônico.

Depois que hidrocarbonetos foram removidos do solo, o fluxo de fluido (tal como gás natural) é transportado de lugar para lugar por oleodutos. É desejável saber com precisão a quantidade de fluido fluindo no fluxo, e precisão particular é requerida quando o fluido está mudando de mãos, ou "transferência de custódia". Até mesmo onde transferência de custódia não está acontecendo, porém, precisão de medição é desejável.

Medição de velocidade de fluxo e velocidade de som no medidor ultra-sônico, a fim de determinar a quantidade de fluxo fluido, depende de tempo de trânsito medido ou tempo de percurso dos sinais ultra-sônicos. Uma dificuldade que surge em medir precisamente o tempo de percurso para um sinal ultra-sônico é determinar o tempo atual de percurso como contrastado a um tempo de percurso medido. O cálculo de velocidade de fluxo de fluido, como também a velocidade de som para o fluido, é baseado no tempo “real” de percurso, que exclui atrasos da eletrônica,

camadas de casamento e outros fatores.

Assim, existe uma necessidade por métodos e sistemas que melhorem a precisão do tempo atual de medições de percurso e identifiquem a causa de imprecisões em medições de tempo atual de percurso.

5

SUMÁRIO

Os problemas notados acima são resolvidos em grande parte por métodos e sistemas relacionados para determinar tempo de atraso de transdutor e separação de transdutor em medidores de fluxo ultra-sônicos. Pelo menos algumas das concretizações ilustrativas são um método incluindo

10 medir um tempo de atraso para um primeiro par de transdutores, medir um tempo medido total por sinais ultra-sônicos transmitidos entre um segundo par de transdutores em um medidor ultra-sônico no qual ambos o primeiro e segundo pares de transdutores são instalados, e calcular um parâmetro associado com o segundo par de transdutores usando o tempo de atraso do

15 primeiro par de transdutores e o tempo medido total para dito segundo par de transdutores.

Outras concretizações ilustrativas são um método incluindo medir uma diferença de tempo de atraso entre um primeiro par de transdutores e um segundo par de transdutores, medir em um primeiro tempo medido total

20 para sinais ultra-sônicos transmitidos entre o primeiro par de transdutores em um medidor ultra-sônico no qual ambos o primeiro e segundo pares de transdutores estão instalados, medir um segundo total tempo medido para sinais ultra-sônicos transmitidos entre o segundo par de transdutores no medidor ultra-sônico, e calcular um tempo de atraso para o primeiro par de

25 transdutores usando a diferença de tempo de atraso e os tempos medidos totais.

Ainda outras concretizações ilustrativas são um medidor ultra-sônico incluindo uma válvula que acopla fluidicamente dentro de um canal levando fluxo de fluido, eletrônica de controle associada com a válvula, uma

primeira corda pela válvula (a primeira corda aceita um primeiro par de transdutores, e a eletrônica de controle acopla o primeiro par de transdutores), e uma segunda corda pela válvula (a segunda corda aceita um segundo par de transdutores, e a par eletrônica de controle acopla o segundo par de transdutores). A eletrônica de controle aceita um valor proporcional a um tempo de atraso para o primeiro par de transdutores, e a eletrônica de controle calcula um parâmetro associado com o segundo par de transdutores usando pelo menos o valor proporcional ao tempo de atraso para o primeiro par de transdutores.

10

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Para uma descrição mais detalhada de concretizações da invenção, referência será feita agora aos desenhos acompanhantes, em que:

Figura 1A é uma vista de topo cortada fora de um medidor de fluxo de gás ultra-sônico;

15

Figura 1B é uma vista de extremidade de uma peça de carretel incluindo trajetos cordais A-D;

Figura 1C é uma vista de topo de uma peça de carretel alojando pares de transdutores;

20

Figura 2 ilustra um par de transdutores e eletrônica de controle relacionada;

Figuras 3A e 3B ilustram efeitos físicos de separação de transdutor diferente;

Figura 4 ilustra uma forma de onda recebida;

Figura 5 ilustra um método de calcular tempo de atraso;

25

Figura 6 ilustra um método um de calcular tempo de atraso para um segundo par de transdutores depois de medir o tempo de atraso de um primeiro par de transdutores;

Figura 7 ilustra um método de determinar tempos de atraso usando uma diferença de tempo de atraso entre dois pares de transdutores; e

Figura 8 ilustra um método de determinar comprimento de corda.

NOTAÇÃO E NOMENCLATURA

5 Certos termos são usados ao longo da descrição seguinte e reivindicações se referem a componentes de sistema particulares. Este documento não pretende distinguir entre componentes que diferem em nome, mas não função.

Na discussão seguinte e nas reivindicações, os termos "incluindo" e "compreendendo" são usados em um modo em aberto, e assim
10 deveriam ser interpretados significar "incluindo, mas não limitado a...". Também, o termo "acoplar" ou "acopla" é pretendido significar tanto uma conexão indireta ou direta. Assim, se um primeiro dispositivo acoplar a um segundo dispositivo, essa conexão pode ser por uma conexão direta, ou por uma conexão indireta por outros dispositivos e conexões.

15 DESCRIÇÃO DETALHADA

Figura 1A mostra um medidor ultra-sônico adequado para medir fluxo fluido de acordo com concretizações da invenção. Peça de carretel 100, adequada para colocação entre seções de um oleoduto, tem um tamanho predeterminado e assim define uma seção de medição. Como usado
20 aqui, o termo "oleoduto" quando usado em referência a um medidor ultra-sônico também pode se referir à peça de carretel em carretel ou outro alojamento apropriado pelo qual sinais ultra-sônicos são enviados. Um par de transdutores 120 e 130, e seus alojamentos respectivos 125 e 135, estão localizados ao longo do comprimento de peça de carretel 100. Transdutores
25 120 e 130 são preferivelmente transceptores ultra-sônicos, significando que eles geram e recebem sinais ultra-sônicos. "Ultra-sônico" neste contexto se refere a frequências acima de cerca de 20 kHz. Estes sinais podem ser gerados e recebidos por um elemento piezelétrico em cada transdutor. Para gerar um sinal ultra-sônico, o elemento piezelétrico é estimulado eletricamente, e

responde vibrando. A vibração do elemento piezelétrico gera um sinal ultra-sônico que viaja pelo fluido pelo peça de carretel para o transdutor correspondente do par de transdutores. Semelhantemente, ao ser incidido por um sinal ultra-sônico, o elemento de piezelétrico receptor vibra e gera um sinal elétrico que é detectado, digitalizado e analisado por eletrônica associada com o medidor.

Um trajeto 110, às vezes referido como uma "corda," existe entre os transdutores 120 e 130 a um ângulo θ a uma linha de centro 105. O comprimento de "corda" 110 é a distância entre a face de transdutor 120 à face de transdutor 130. Pontos 140 e 145 definem os locais onde sinais acústicos gerados por transdutores 120 e 130 entram e deixam fluido fluindo pela peça de carretel 100 (isto é, a entrada à cavidade de peça de carretel). A posição de transdutores 120 e 130 pode ser definida pelo ângulo θ , por um primeiro comprimento medido L medido entre transdutores 120 e 130, um segundo comprimento X correspondendo à distância axial entre pontos 140 e 145, e um terceiro comprimento D correspondendo ao diâmetro de tubo. Na maioria dos casos, as distâncias D, X e L são determinadas precisamente durante fabricação de medidor. Adicionalmente, transdutores tais como 120 e 130 são colocados normalmente uma distância específica de pontos 140 e 145, respectivamente, indiferente de tamanho de medidor (isto é, tamanho de peça de carretel). Um fluido, tal como gás natural, flui em uma direção com um perfil de velocidade 152. Vetores de velocidade 153-158 ilustram que a velocidade de gás por peça de carretel 100 aumenta quando linha de centro 105 de peça de carretel 100 é chegada.

Inicialmente, o transdutor a jusante 120 gera um sinal ultra-sônico o que é então recebido, e detectado por transdutor a montante 130. Algum tempo mais tarde, o transdutor a montante 130 gera um sinal ultra-sônico de retorno que é recebido subsequente, e detectado pelo transdutor a jusante 120. Assim, os transdutores 120 e 130 desempenham

"lança e pega" com sinais ultra-sônicos 115 ao longo de trajeto cordal 110. Durante operação, esta sequência pode ocorrer milhares de vezes por minuto.

O tempo de trânsito da onda ultra-sônica 115 entre transdutores 120 e 130 depende em parte de se o sinal ultra-sônico 115 está
5 viajando a montante ou a jusante com respeito ao fluxo fluido. O tempo de trânsito para um sinal ultra-sônico viajando a jusante (isto é, na mesma direção como o fluxo) é menos que seu tempo de trânsito ao viajar a montante (isto é, contra o fluxo). Os tempos de trânsito a montante e a jusante podem ser usados para calcular a velocidade média ao longo do trajeto de sinal, e
10 também podem ser usados para calcular a velocidade de som no fluxo de fluido. Dadas as medições de seção transversal do medidor levando o fluido, a velocidade média através da área da cavidade de medidor pode ser usada para achar o volume de fluido fluindo pelo medidor ou oleoduto 100.

Medidores de fluxo ultra-sônicos podem ter um ou mais
15 trajetos. Figura 1B ilustra um medidor ultra-sônico de múltiplos trajetos. Nestas concretizações, a peça de carretel 100 inclui quatro trajetos cordais A, B, C, e D a níveis variados pelo fluxo fluido. Cada trajeto cordal A-D corresponde a dois transdutores se comportando alternadamente como um transmissor e receptor. Também mostrada é a eletrônica de controle 60, que
20 adquire e processa os dados dos quatro trajetos cordais A-D. Escondidos de vista na Figura 1B estão os quatro pares de transdutores que correspondem a trajetos cordais A-D.

O arranjo preciso dos quatro pares de transdutores pode ser entendido mais facilmente por referência à Figura 1C. Quatro pares de portas
25 de transdutor estão montadas em peça de carretel 100. Cada par de portas de transdutor corresponde a um único trajeto cordal da Figura 1B. Um primeiro par de portas de transdutor 125 e 135 inclui transdutores 120 e 130 (Figura 1A) rebaixados ligeiramente da peça de carretel 100. O transdutores estão montados a um ângulo θ não perpendicular à linha de centro 105 de peça de

carretel 100. Outro par de portas de transdutor incluindo portas 165 e 175 (só parcialmente à vista) incluindo transdutores associados está montado livremente de forma que seu trajeto cordal forme um "X" com respeito ao trajeto cordal de portas de transdutor 125 e 135. Semelhantemente, portas de transdutor 185 e 195 estão colocadas paralelas às portas de transdutor 165 e 175, mas a um "nível" diferente (isto é, uma posição radial diferente no tubo ou peça de carretel de medidor). Não explicitamente mostrado na Figura 1C é um quarto par de transdutores e portas de transdutor. Tomando Figuras 1B e 1C juntas, os pares de transdutores são arranjados tal que os dois pares superiores de transdutores correspondendo a cordas A e B formem um X, e os dois pares inferiores de transdutores correspondendo a cordas C e D também formem um X. A velocidade de fluxo do fluido pode ser determinada a cada corda A-D para obter velocidades de fluxo cordal, e as velocidades de fluxo cordal são combinadas para determinar uma velocidade de fluxo média através do tubo inteiro. Da velocidade de fluxo média, a quantidade de fluido fluindo no oleoduto pode ser determinada.

Figura 2 ilustra em maior detalhe vários componentes de um par de transdutores a fim de introduzir conceitos relacionados a várias concretizações da invenção. Em particular, Figura 2 ilustra a eletrônica de controle 200 que acopla a um primeiro par de transdutores 202 e um segundo transdutor 204. Para propósitos desta discussão, o transdutor 202 é o transdutor transmissor, e o transdutor 204 é o transdutor receptor; porém, em operação real, estes papéis mudam alternadamente. Eletrônica de controle 200 acopla ao transdutor 202 por meio de linha de sinal elétrico 206, e eletrônica de controle 200 acopla ao transdutor 204 por meio de linha de sinal elétrico 208. Eletrônica de controle 200, possivelmente incluindo um microprocessador executando um programa, envia um sinal ao longo de linha 206 para transdutor 202, e por sua vez o transdutor 202 gera um sinal acústico. O sinal acústico então atravessa a distância L entre o transdutor 202

e o transdutor 204 no fluido. Transdutor 204 recebe a energia acústica, e envia um sinal elétrico ao longo de linha 208 para a eletrônica de controle 200. Eletrônica de controle 200 pode começar um temporizador quando o sinal para o transdutor 202 parte da eletrônica de controle, e pode parar o temporizador quando o sinal de transdutor 204 chega na eletrônica de controle 200; porém, o tempo total medido pela eletrônica de controle 200 inclui não só o tempo de trânsito do sinal acústico pelo fluido entre os transdutores 202 e 204, mas também atrasos associados com propagação do sinal da eletrônica de controle 200 para o transdutor 202, atraso de propagação entre o transdutor 204 e a eletrônica de controle 208, atraso pelo transdutores e camadas de casamento relacionadas, e um atraso entre a primeira chegada do sinal recebido até o ponto atual de medição do sinal recebido (qual ponto de medição é afetado pelo efeito de difração, e é discutido mais completamente abaixo). O atraso de propagação entre a eletrônica de controle e os transdutores e vice-versa é desprezível na maioria das circunstâncias, mas se não é pelo menos constante para fios de comprimento fixo entre a eletrônica de controle e o transdutores. Porém, o efeito de difração é dependente da distância entre o transdutores.

Embora o inventor do assunto desta especificação não deseje ser ligado a qualquer teoria física particular de porque o efeito de difração existe, Figuras 3A e 3B ilustram uma possível teoria física para o efeito de difração. Em particular, Figura 3A ilustra o transdutor 202 e transdutor 204 tendo uma distância relativamente próxima L entre os transdutores. Considerando um único elemento 300 do transdutor 202 vibrando para gerar um sinal acústico (com a compreensão que a face inteira do transdutor também está vibrando para criar o sinal), as distâncias que os sinais acústicos viajam para alcançar a face de transdutor 204 são diferentes. Em particular, uma porção do sinal acústico global pode viajar ao longo de linha 302 e incidir na face de transdutor 204 no local indicado. Outra porção do sinal

acústico global pode viajar ao longo de linha 304 e incidir no transdutor 204 no local indicado. Como é ilustrado, as distâncias que estas porções do sinal acústico viajam são diferentes, e assim o sinal composto recebido por transdutor 204 pode ser afetado por interferência construtiva e/ou destrutiva das várias porções do sinal acústico. Figura 3A ilustra só dois possíveis trajetos, mas um sinal acústico emanando de ponto 300 em transdutor 204 se espalha em uma frente de onda, com porções da frente de onda incidindo em transdutor 204 a tempos diferentes.

Por contraste, Figura 3B ilustra o transdutor 202 e transdutor 204 com uma distância relativamente longa L entre os transdutores. A porção do sinal acústico global emanando de elemento 300 de transdutor 202 pode viajar ao longo de trajeto 306 ou 308; porém, quando a distância L aumenta, o comprimento de trajetos 306 e 308 aproxima assintoticamente o mesmo valor. Assim, a interferência construtiva e/ou destrutiva associada com receber o sinal acústico é diferente, que afeta várias características do sinal recebido.

Em particular, e se referindo à Figura 4, um sinal recebido 400 ilustrativo é mostrado, tal como pode ser recebido por transdutor 204. Enquanto qualquer característica do sinal recebido 400 pode ser usada como um gatilho para calcular tempo de trânsito, de acordo com algumas concretizações da invenção, o segundo cruzamento em zero indo de positivo para negativo 402 é usado. Assim, a eletrônica de controle 200 (Figura 2) pára o temporizador durante o tempo medido total no ponto quando o segundo cruzamento em zero 402 é achado. Porém, o próprio efeito de difração se manifesta como um desvio em tempo do sinal recebido. Mais particularmente, o tempo entre o primeiro movimento 404 e a característica selecionada cresce mais quando a distância L fica menor, até mesmo se todos os parâmetros tais como velocidade do som e/ou fluxo de fluido forem mantidos constantes. O tempo associado com o efeito de difração em relação ao tempo medido total, e de mais importância, para o tempo de trânsito, é não desprezível, e assim de

acordo com concretizações da invenção, o efeito de difração é considerado em calcular o tempo de trânsito. Para propósitos desta especificação e nas reivindicações, o termo "tempo de atraso" abrange o tempo medido total menos o tempo de trânsito. Declarado de outro modo, tempo de trânsito é o tempo medido total de percurso entre o transdutores corrigido para efeito de difração e outras atrasos de tempo. Assim, tempo de atraso inclui não só atrasos de propagação associados com eletrônica, transdutores e camadas de casamento, mas também qualquer atraso causado pelo efeito de difração.

Uma primeira etapa ao executar os métodos de acordo com pelo menos algumas concretizações é determinar o tempo de atraso para um par de transdutores se espaçados infinitamente à parte. Em algumas concretizações, esta determinação é feita em uma célula de teste. O tempo de atraso calculado de célula de teste a uma separação de transdutor a infinidade é então usado ao colocar um par de transdutores em um medidor ultra-sônico, e o tempo de atraso usado no medidor atual é o tempo de atraso a uma separação infinita corrigida para separação atual. De acordo com concretizações da invenção, a correção segue de acordo com substancialmente a equação seguinte:

$$\tau = \tau_{\infty} + \frac{a^2}{2cL} \quad (1)$$

onde τ_{∞} é o tempo de atraso uma separação de transdutor infinita; τ é o tempo de atraso a uma separação de transdutor L ; a é raio do transdutor (para um dado projeto de transdutor o "raio" do transdutor poderia ser determinado experimentalmente); L é uma distância entre os transdutores; e c é a velocidade de som do fluido entre os transdutores.

O ajuste do valor de tempo de atraso da célula de teste para um medidor atual pode ser referido como ajustar ou compensar o tempo de atraso. Uma maneira para compensar o tempo de atraso é carregar o tempo de atraso calculado a infinidade τ_{∞} em um processador associado com o medidor e deixar o firmware instalado no medidor calcular os tempos de atraso corretos

usando uma distância L entre transdutores no medidor. Tempo de atraso poderia então ser corrigido dinamicamente para mudanças em velocidade de som do fluido dentro do medidor.

Em concretizações alternativas, tempo de atraso pode ser medido em um medidor ultra-sônico. Esta segunda técnica tem a vantagem de evitar a necessidade para compensar uma distância alterada entre o transdutores individuais, mas requer um tempo de colocação longo para alcançar uma velocidade de som quase constante (isto é, aceitavelmente estável) de fluido dentro do medidor. Em ainda outras concretizações, medições de temperatura a níveis diferentes no medidor podem ser usadas para compensar o efeito de temperatura, e nestas concretizações alternativas, a temperatura ao nível de uma das cordas (corda B, por exemplo) poderia ser medida e o tempo de tempo de atraso para corda B determinado. As concretizações alternativas de medir temperatura a nível de corda não requereriam um tempo de colocação longo. De acordo com estas concretizações da invenção, um medidor ultra-sônico pode compensar o efeito de difração apesar do fato que a célula de teste e/ou medidor atual tem uma separação de face a face diferente entre o transdutores, e também apesar do fato que a velocidade de som do fluido na célula de teste e/ou medidor onde o tempo de atraso foi medido era diferente.

Na técnica relacionada, cada e todo par de transdutores tem seu tempo de atraso medido, e o tempo de atraso é então provido à eletrônica de controle no medidor ultra-sônico atual no qual o par de transdutores está instalado para compensar os efeitos de tempo de atraso (se lembrando de que a técnica relacionada, porém, não compensa o efeito de difração). Porém, o inventor da presente especificação achou que contanto que o tempo de atraso a separação infinita (τ_{∞}) seja calculado para um par de transdutores, tal como por uma determinação feita em uma célula de teste, o tempo de atraso para outro par de transdutores em um medidor ultra-sônico pode ser determinado

sem especificamente testar esses outros pares de transdutores em uma célula de teste.

Figura 5 ilustra um método de determinar tempo de atraso de acordo com concretizações da invenção. Em particular, o processo começa medindo tempo de atraso em uma célula de teste (bloco 500). Dado que a distância L entre transdutores na célula de teste deveria ser conhecida, o tempo de atraso a uma separação infinita (τ_{∞}) pode ser calculado (bloco 502), por exemplo, usando a equação (1) acima (bloco 502). A algum tempo depois disso, o par de transdutores pode ser instalado em um medidor atual (bloco 504), e o tempo de atraso (τ) pode ser calculado usando o tempo de atraso determinado à separação infinita (τ_{∞}) e a separação de face a face L (bloco 506).

De acordo com concretizações adicionais, tempos de atraso de outras cordas, possivelmente cordas cujo tempo de atraso não foi medido ou não é conhecido, pode ser determinado usando uma função η (Eta). Para derivar Eta, é conhecido que para uma corda A de comprimento conhecido L_A , uma onda ultra-sônica viajando à velocidade do som c são por um meio homogêneo a fluxo zero atravessa o comprimento da corda a tempo L_A em tempo t_A . O tempo t_A também é o tempo de trânsito médio do sinal ultra-sônico ao longo de corda A quando fluido se move pelo medidor. Algebricamente t_A pode ser expresso como:

$$t_A = \frac{L_A}{c} \quad (2)$$

Através de manipulação algébrica, segue que:

$$c = \frac{L_A}{t_A} \quad (3)$$

Isto é também verdadeiro para uma segunda corda B, tal que:

$$c = \frac{L_B}{t_B} \quad (4)$$

O tempo de trânsito de um sinal ultra-sônico não é o tempo

medido total como há atraso de tempo inerente na eletrônica, transdutores, camadas de casamento e o efeito de difração discutido acima. Tempo medido total T pode ser definido como:

$$T = t + \tau \quad (5)$$

5 onde T é tempo medido total; t é tempo de trânsito do sinal ultra-sônico; e τ é o tempo de atraso associado com o sistema físico, tais como atrasos associados com eletrônica, transdutores, camadas de casamento e/ou efeito de difração. Onde os tempos de atraso são o mesmo para as cordas A e B, τ pode ser usado como o tempo de atraso para ambas as cordas A e B. Da equação (4), uma velocidade de som pode ser expressa como:

$$c = \frac{L_A}{T_A - \tau} \quad (6)$$

10 Segue de uma suposição que a velocidade de som para o meio é a mesma em ambas corda A e corda B:

$$L_A(T_B - \tau) = L_B(T_A - \tau) \quad (7)$$

e

$$\tau = \frac{L_B T_A - L_A T_B}{L_B - L_A} \quad (8)$$

Se ΔL for definido como:

$$\Delta L = L_b - L_a \quad (9)$$

então, τ pode ser expresso como:

$$\tau = \frac{L_B T_A}{\Delta L} - \frac{L_A T_B}{\Delta L} \quad (10)$$

15 O tempo de atraso para o par de transdutores associado com a corda A, τ_A , e o tempo de atraso para o par de transdutores associado com a corda B, τ_B , pode não ser o mesmo. Porém, assumindo para propósitos de derivar E_t que τ_A e τ_B são conhecidos, cada medidor é assumido estar calibrado para fatorar fora estes tempos de atraso de transdutor. Sob as suposições, τ_A e τ_B são então iguais a zero e portanto os mesmos.

20 Desde que o tempo medido total T é definido como o tempo de

trânsito, t , mais tempo de atraso, τ , o tempo de trânsito pode ser substituído para tempo medido T onde já houve correção de tempo de atraso para resultar em:

$$\frac{L_B t_A}{\Delta L} - \frac{L_A t_B}{\Delta L} \quad (11)$$

Uma variável (η), pode então ser estabelecida:

$$\eta = \frac{L_B t_A}{\Delta L} - \frac{L_A t_B}{\Delta L} \quad (12)$$

5 onde L_A é o comprimento de corda A; L_B é o comprimento de corda B; t_A é o tempo de trânsito de sinais ultra-sônicos viajando ao longo de corda A; t_B é o tempo de trânsito de sinais ultra-sônicos viajando ao longo de corda B; e ΔL é $L_B - L_A$.

Deixando t_e igual ao erro de tempo de trânsito, a equação (12)
10 pode ser reescrita:

$$\eta = \frac{L_{Long} t_{e_{Short}} - L_{Short} t_{e_{Long}}}{L_{Short} - L_{Short}} \quad (13)$$

Se B for a corda mais longa, então L_{Long} corresponde ao comprimento de corda B, L_{Short} corresponde ao comprimento de corda A, $t_{e_{Short}}$ é o erro de tempo de trânsito de corda A e $t_{e_{Long}}$ é o erro de tempo de trânsito de corda B. Se não houver nenhum erro no tempo de atraso usado
15 pelo processador em relação ao tempo de atraso atual para o par de transdutores de corda A e corda B, então η será substancialmente zero. Também deveria ser notado que η será não zero se houver uma identificação errônea dos tempos de chegada para os sinais ultra-sônicos como por erros de seleção de pico, que podem ser detectados como descrito
20 na Patente US Nº 6.816.808, intitulada "Peak Switch Detector for Transit Time Ultrasonic Meters", qual patente está nomeada ao mesmo cessionário como esta especificação. Mudanças em η devido a erros de seleção de pico podem ser distinguidas de outros erros de tempo de atraso por causa de suas magnitudes normalmente diferentes. η pode ser bem não zero igualmente na

presença de incrustação dos transdutores.

Tendo derivado agora uma equação para Eta , Figura 6 ilustra um método que pode ser implementado de acordo com concretizações da invenção para calcular o tempo de atraso por um par de transdutores cujo tempo de atraso à separação infinita (τ_{∞}) não era determinado usando uma célula de teste ou outro medidor usando um primeiro par de transdutores cujo tempo de atraso é medido e/ou conhecido. Em particular, o processo começa medindo o tempo de atraso por um primeiro par de transdutores (bloco 600). Como discutido acima, esta medição de tempo de atraso pode ser feita em uma célula de teste, ou em um medidor ultra-sônico atual. Depois disso, o primeiro par de transdutores é instalado em um medidor ultra-sônico que inclui um segundo par de transdutores cujo tempo de atraso não é conhecido precisamente, e o tempo de atraso à separação infinita (τ_{∞}) para o primeiro par de transdutores é carregado em um processador associado com medidor ultra-sônico (bloco 602). Nestes casos, o processador para o medidor calcula o tempo de atraso (τ) usando o espaçamento de transdutor. Em concretizações alternativas, o tempo de atraso (τ) pode ser calculado externamente e provido diretamente ao medidor. O tempo de atraso para o segundo par de transdutores pode ser colocado a um valor prefixado, ou possivelmente a um valor medido cuja precisão está em questão. Depois disso, o tempo de atraso para o segundo par de transdutores no medidor ultra-sônico pode ser calculado conhecendo o comprimento de corda associado com cada par de transdutores, calculando Eta (por exemplo, por equações (14) ou (15) abaixo) e assumindo o erro de tempo do primeiro par de transdutores ser igual ou substancialmente igual a zero. Por manipulação algébrica da equação (13), o erro de tempo de trânsito, que é o erro de tempo de atraso associado com o segundo par de transdutores, pode ser determinado (bloco 604).

A derivação anterior de Eta é baseada em uma suposição de fluxo zero pelo medidor ou célula de teste tendo nela um meio homogêneo.

Em uma aplicação real, a suposição de um meio homogêneo não é necessariamente verdade a velocidades muito baixas, devido à estratificação e convecção. A velocidades de fluxo altas, turbulência e surtos de pressão perturbam a homogeneidade do meio. Algumas concretizações implementam a teoria subjacente das equações de Eta por uso da velocidade de som medida (c). Usando um medidor com fluxo por ele, o fluido dentro do medidor se torna homogêneo, e portanto a velocidade de som a cada corda será substancialmente a mesma. Em algumas concretizações, o tempo de trânsito médio t_A é baseado na média de um lote de medições a montante e a jusante para a corda A. Um "lote" de medições é um conjunto de medições (por exemplo, 20) que são combinadas (por exemplo, média verdadeira, média com influencias externas não consideradas, média móvel, etc). Semelhantemente, t_B é baseado na média de um lote de medições de tempo a montante e a jusante de trânsito para a corda B. Porém, é conhecido que $t_A = L_A/c_A$ e $t_B = L_B/c_B$, e algebricamente segue da equação (12) que:

$$\eta = \frac{L_B L_A (c_B - c_A)}{\Delta L c_A c_B} \quad (14)$$

onde η é indicador de erro Eta; L_A , L_B são comprimentos de cordas A e B; c_A , c_B são valores por velocidade de som medida para cordas A e B; e ΔL é a diferença nos comprimentos de cordas A e B. Alternativamente, a equação (14) pode ser declarada:

$$\eta = \frac{L_{long} L_{short} (c_{long} - c_{short})}{c_{long} c_{short} (L_{long} - L_{short})} \quad (15)$$

Equação (15) para Eta apresenta uma vantagem adicional que porque alguns medidores ultra-sônicos podem calcular velocidade de som para o fluido transportado pelo medidor com respeito a cada corda, e um valor para Eta pode portanto ser computado enquanto fluxo está presente (enquanto a equação (13) assume um fluxo zero).

Diversas variações existem com respeito ao método da Figura 6. Em um primeiro caso, é assumido que o tempo de atraso é conhecido

precisamente por uma das cordas. Para propósitos de ilustração, é assumido que o tempo de atraso é conhecido para uma corda longa. O tempo de atraso exato na corda curta é desconhecido, porém. Como usado aqui, o termo "corda longa" implica que há pelo menos uma corda de comprimento mais curto do que a corda longa. O termo "corda curta" implica que há pelo menos uma corda de comprimento mais longo do que a corda curta. Um valor aproximado para o tempo de atraso da corda curta, τ_{ShortOld} , pode ser conhecido, ou assumido, e pode até mesmo ser um valor de zero (embora um par de transdutores sempre terá algum tempo de atraso associado). Com o tempo de atraso para a corda longa conhecido, o erro de medição de erro de tempo de trânsito na corda longa é considerado ser zero, ($te_{\text{Long}} = 0$). Portanto, deixando $\Delta L = L_{\text{Long}} - L_{\text{Short}}$, segue da equação (13):

$$te_{\text{Short}} = \frac{\Delta L \eta}{L_{\text{Long}}} \quad (16)$$

onde L_{Long} é uma distância entre os transdutores em um par de transdutores selecionado espaçado adicionalmente à parte que L_{Short} ; L_{Short} é uma distância entre os transdutores em um par de transdutores selecionado espaçado mais perto junto que L_{Long} ; te_{Short} é o erro de tempo de trânsito na corda curta. Se L_{Short} estiver correto, então o novo tempo de atraso τ_{ShortNew} , é:

$$\tau_{\text{ShortNew}} = \tau_{\text{ShortOld}} + te_{\text{short}} \quad (17)$$

No evento que o usuário tem confiança no tempo de atraso à separação infinita (τ_{∞}) para a corda curta, mas $\eta \neq 0$, pode haver um erro na medição do comprimento de corda para a corda curta. Se tempo de atraso à separação infinita (τ_{∞}) da corda curta for conhecido estar correto, então uma correção de comprimento (L_{Cor}) é:

$$L_{\text{Cor}} = te_{\text{Short}} c_{\text{Long}} \quad (18)$$

e o novo comprimento de corda curta (L_{Shortnew}) é:

$$L_{\text{Shortnew}} = L_{\text{ShortOld}} + L_{\text{Cor}} \quad (19)$$

Em um segundo caso com respeito à Figura 6, o tempo de atraso é conhecido precisamente por uma corda curta, com a variável de

interesse sendo erro de tempo de atraso na corda longa. Desde que o tempo de atraso para a corda curta é conhecido, seu erro é zero. Portanto, segue da equação (12):

$$te_{Long} = \frac{-\Delta L \eta}{L_{Short}} \quad (20)$$

Se L_{Long} estiver correto, então o novo tempo de atraso
5 $(\tau_{LongNew})$ é:

$$\tau_{LongNew} = \tau_{LongOld} + te_{Long} \quad (21)$$

A variável Eta também pode ser usada quando a quantidade conhecida é uma diferença de tempo de atraso entre uma corda longa e uma corda curta. Figura 7 ilustra um método que pode ser implementado de acordo com concretizações da invenção para determinar o tempo de atraso para pares
10 de transdutores uma vez que uma diferença de tempo de atraso entre dois transdutores seja conhecida. Em particular, o processo começa medindo a diferença de tempo de atraso para dois pares de transdutores (bloco 700). É notado que medir a diferença de tempo de atraso entre dois pares de transdutores não requer que a velocidade de som para o fluido seja conhecida,
15 mas o comprimento de corda como entre os dois transdutores deveria ser feito o mesmo para reduzir erros de medição. Depois disso, o tempo de atraso para separação infinita (τ_{∞}), tempo de atraso calculado corrigido para efeito de difração, ou uma diferença de tempo de atraso calculada é carregada em um processador associado com um medidor ultra-sônico (bloco 702). Usando Eta,
20 uma determinação é então feita sobre o erro de tempo de trânsito para os primeiros dois pares de transdutores (bloco 704). Então, Eta é igual ao erro de tempo de trânsito para ambas as cordas. E finalmente, uma determinação dos tempos de atraso para outros pares de transdutores é feita usando Eta (bloco 706), como descrito na Figura 6.

25 O procedimento para determinar tempo de atraso em cada corda no conhecimento de uma diferença de tempo de atraso é como segue. Deixe Δte ser uma diferença de erro de tempo de trânsito igual a $te_{Long} - te_{Short}$.

Segue que:

$$\eta = \frac{L_{Long} te_{Short} - L_{Short} (te_{Short} + \Delta te)}{\Delta L} \quad (22)$$

e

$$\eta = \frac{te_{Short} (L_{Long} - L_{Short}) - L_{Short} \Delta te}{\Delta L} \quad (23)$$

$$te_{Short} = \frac{\Delta L \eta + L_{Short} \Delta te}{\Delta L} \quad (24)$$

$$te_{Short} = \eta + \frac{L_{Short} \Delta te}{\Delta L} \quad (25)$$

Assim, o erro de tempo de trânsito para a corda curta pode ser determinado da equação (25). O erro de tempo de trânsito para a corda curta pode ser usado para determinar um novo tempo de atraso para a corda curta, dada substancialmente pela equação:

$$\tau_{ShortNew} = \tau_{ShortOld} + te_{Short} \quad (26)$$

Da suposição que Δte iguala te_{Long} menos te_{Short} , segue de conhecer o valor para te_{Short} , que te_{Long} é:

$$te_{Long} = te_{Short} + \Delta te \quad (27)$$

E finalmente, o novo tempo de atraso para a corda longa pode ser achado como segue:

$$\tau_{LongNew} = \tau_{LongOld} + te_{Long} \quad (28)$$

Desde que um tempo de atraso para ambas uma corda longa e uma curta é conhecido, outros tempos de atraso para outras cordas no medidor pode ser determinados, como ilustrado na Figura 6. O método ilustrativo da Figura 7 se confia assim nas medições de L precisas, e sua vantagem se acha em não requerer conhecimento da velocidade de som do fluido.

A equação para Eta derivada acima assume que erros ocorreram na medição de tempo de atraso. Outra circunstância surge quando a distância L entre transdutores de um par de transdutores é incerta. Se a distância L for incerta, mas houver confiança em tempo de atraso à separação infinita (τ_{∞}), uma variável relacionada a Eta , chamada $Epsilon$, pode ser usada

a fim de determinar se a distância L entre os transdutores foi estabelecida corretamente, e se não o erro em L .

Figura 8 ilustra um método de acordo com concretizações alternativas da invenção para determinar o comprimento de espaçamento para pares de transdutores uma vez que a diferença de tempo de atraso para os pares de transdutor seja conhecida. O processo começa medindo os tempos de atraso para dois pares de transdutores (bloco 800). Depois disso, os dois pares de transdutores são instalados em um medidor ultra-sônico para qual um comprimento de corda é conhecido ou medido precisamente (bloco 802). Depois disso, uma determinação é feita sobre o comprimento de corda do outro par de transdutores (bloco 804).

Das equações (1) a (2), a velocidade de som verdadeira, C_{True} , é:

$$C_{\text{True}} = \frac{L_{\text{ShortTrue}}}{t_{\text{Short}}} = \frac{L_{\text{LongTrue}}}{t_{\text{Long}}} \quad (29)$$

Se erros existem na medição de comprimento para a corda curta:

$$C_{\text{Short}} = \frac{L_{\text{Short}}}{t_{\text{Short}}} = \frac{L_{\text{ShortTrue}} + L_{\text{ShortError}}}{t_{\text{Short}}} \quad (30)$$

Igualmente, se erros existirem na medição de comprimento para a corda longa:

$$C_{\text{Long}} = \frac{L_{\text{Long}}}{t_{\text{Long}}} = \frac{L_{\text{LongTrue}} + L_{\text{LongError}}}{t_{\text{Long}}} \quad (31)$$

Combinando as Equações (30) e (31) produz:

$$C_{\text{Long}} - C_{\text{Short}} = \frac{L_{\text{LongTrue}} + L_{\text{LongError}}}{t_{\text{Long}}} - \frac{L_{\text{ShortTrue}} + L_{\text{ShortError}}}{t_{\text{Short}}} \quad (32)$$

Que, através de manipulação algébrica, se torna:

$$\frac{L_{\text{LongTrue}}}{t_{\text{Long}}} - \frac{L_{\text{ShortTrue}}}{t_{\text{Short}}} + \frac{L_{\text{LongError}}}{t_{\text{Long}}} - \frac{L_{\text{ShortError}}}{t_{\text{Short}}} = C_{\text{Long}} - C_{\text{Short}} \quad (33)$$

Os primeiros dois termos tomados juntos igualam zero como

cada termo representa a verdadeira velocidade de som, que é assumida ser a mesma para ambas as cordas. Se for adicionalmente assumido que o erro na corda longa é igual ao erro na corda curta, então:

$$L_{\text{Error}} \left(\frac{1}{t_{\text{Long}}} - \frac{1}{t_{\text{Short}}} \right) = C_{\text{Long}} - C_{\text{Short}} \quad (34)$$

E:

$$L_{\text{Error}} \left(\frac{t_{\text{Short}} - t_{\text{Long}}}{t_{\text{Long}} t_{\text{Short}}} \right) = C_{\text{Long}} - C_{\text{Short}} \quad (35)$$

5

portanto:

$$L_{\text{Error}} = \frac{t_{\text{Long}} t_{\text{Short}} (C_{\text{Long}} - C_{\text{Short}})}{t_{\text{Short}} - t_{\text{Long}}} \quad (36)$$

Quando não há nenhum erro de comprimento, a expressão à direita da equação (36) vale zero.

Uma função (epsilon) pode ser definida para igualar a expressão à direita de equação (36), tal que:

$$\epsilon = \frac{t_{\text{Long}} t_{\text{Short}} (C_{\text{Long}} - C_{\text{Short}})}{t_{\text{Short}} - t_{\text{Long}}} \quad (37)$$

10

Expressões diferentes de Epsilon podem ser derivadas, com várias vantagens. Por exemplo, desde que $t = L/C$, segue que:

$$\epsilon = \frac{t_{\text{Long}} t_{\text{Short}} (C_{\text{Long}} - C_{\text{Short}})}{t_{\text{Short}} - t_{\text{Long}}} \quad (37)$$

Que se reduz a:

$$\epsilon = \frac{L_{\text{Long}} L_{\text{Short}} (C_{\text{Long}} - C_{\text{Short}})}{C_{\text{Long}} L_{\text{Short}} - C_{\text{Short}} L_{\text{Long}}} \quad (39)$$

15

A vantagem para a expressão da equação (39) é que Epsilon é calculado baseado em distâncias L e na velocidade de som no fluido. Porque pelo menos um valor para L é assumido ser conhecido, e a velocidade de som é uma quantidade determinada por um medidor ultra-sônico, é um cálculo conveniente.

Se ao invés substituição for feita para os valores de C em lugar

valores de t na equação (38), Epsilon se torna:

$$\varepsilon = \frac{t_{Long} t_{Short} \left(\frac{L_{Long}}{t_{Long}} - \frac{L_{Short}}{t_{Short}} \right)}{t_{Short} - t_{Long}} \quad (40)$$

Que se reduz a:

$$\varepsilon = \frac{t_{Short} L_{Long} - t_{Long} L_{Short}}{t_{Short} - t_{Long}} \quad (41)$$

Desde que os valores de L são iguais a $L_{True} + L_{Error}$, uma substituição pode ser feita:

$$\varepsilon = \frac{t_{Short} (L_{LongTrue} + L_{LongError}) - t_{Long} (L_{ShortTrue} + L_{ShortError})}{t_{Short} - t_{Long}} \quad (42)$$

5

Depois de re-arranjar:

$$\varepsilon = \frac{t_{Short} L_{LongTrue} - t_{Long} L_{ShortTrue}}{t_{Short} - t_{Long}} + \frac{t_{Short} L_{LongError} - t_{Long} L_{ShortError}}{t_{Short} - t_{Long}} \quad (43)$$

O primeiro termo é igual a zero deixando:

$$\varepsilon = \frac{t_{Short} L_{LongError} - t_{Long} L_{ShortError}}{t_{Short} - t_{Long}} \quad (44)$$

Equação (44) ilustra que os erros nas cordas longa e curta afetam Epsilon. O tempo de trânsito a fluxo zero não está disponível com fluxo presente assim L/C pode ser substituído para t , e assim a equação (44)

10 se torna:

$$\varepsilon = \frac{\frac{L_{Short}}{C_{Short}} L_{LongError} - \frac{L_{Long}}{C_{Long}} L_{ShortError}}{\frac{L_{Short}}{C_{Short}} - \frac{L_{Long}}{C_{Long}}} \quad (45)$$

E depois de simplificar:

$$\varepsilon = \frac{C_{Long} L_{Short} L_{LongError} - C_{Short} L_{Long} L_{ShortError}}{C_{Long} L_{Short} - C_{Short} L_{Long}} \quad (46)$$

A vantagem da equação (46) é que uma vez Epsilon seja medido no medidor, o valor para Epsilon pode ser usado e o erro de comprimento calculado mais facilmente.

As equações para Epsilon e Eta são:

$$\varepsilon = \frac{L_{Long} L_{Short} (C_{Long} - C_{Short})}{C_{Long} L_{Short} - C_{Short} L_{Long}} \quad (47)$$

e

$$\eta = \frac{L_{long} L_{short} (C_{Long} - C_{Short})}{C_{Long} C_{Short} (L_{long} - L_{short})} \quad (48)$$

Portanto, Epsilon pode ser expresso como uma função de Eta:

$$\varepsilon = \frac{C_{Long} C_{Short} (L_{Long} - L_{Short})}{C_{Long} L_{Short} - C_{Short} L_{Long}} \eta \quad (49)$$

5 A proporcionalidade da equação (49) observa o negativo da velocidade de som. Deixando C_{Long} igual a C_{Short} , a equação (49) se reduz a:

$$\varepsilon = -C\eta \quad (50)$$

Em um primeiro caso, é assumido que uma corda longa é medida corretamente. Para achar o erro de comprimento, $L_{ShortError}$, na corda curta:

$$\varepsilon = \frac{C_{Long} L_{Short} L_{LongError} - C_{Short} L_{Long} L_{ShortError}}{C_{Long} L_{Short} - C_{Short} L_{Long}} \quad (51)$$

Desde que $L_{LongError}$ iguala 0, isto se reduz a:

$$\varepsilon (C_{Long} L_{Short} - C_{Short} L_{Long}) = -C_{Short} L_{Long} L_{ShortError} \quad (52)$$

10

ou

$$L_{ShortError} = \frac{\varepsilon (C_{Short} L_{Long} - C_{Long} L_{Short})}{C_{Short} L_{Long}} \quad (53)$$

e

$$L_{ShortError} = \varepsilon \left(1 - \frac{C_{Long} L_{Short}}{C_{Short} L_{Long}} \right) \quad (54)$$

Portanto, se tempo de atraso estiver correto, o erro de comprimento é:

$$L_{ShortNew} = L_{ShortOld} - L_{ShortError} \quad (55)$$

Se L_{Short} estiver correto, então o erro de comprimento pode ser

convertido a um erro de tempo de trânsito:

$$te_{Short} = \frac{-L_{ShortError}}{C_{Long}} \quad (56)$$

e o novo tempo de atraso é:

$$\tau_{ShortNew} = \tau_{ShortOld} + te_{Short} \quad (57)$$

Se a distância L da corda curta for conhecida com confiança, o erro de comprimento na corda longa $L_{LongError}$ é:

$$\varepsilon = \frac{C_{Long} L_{Short} L_{LongError} - C_{Short} L_{Long} L_{ShortError}}{C_{Long} L_{Short} - C_{Short} L_{Long}} \quad (58)$$

5

Desde que $L_{ShortError}$ iguala 0, isto se reduz a:

$$\varepsilon(C_{Long} L_{Short} - C_{Short} L_{Long}) = C_{Long} L_{Short} L_{LongError} \quad (59)$$

ou

$$L_{LongError} = \frac{\varepsilon(C_{Long} L_{Short} - C_{Short} L_{Long})}{C_{Long} L_{Short}} \quad (60)$$

e

$$L_{LongError} = \varepsilon \left(1 - \frac{C_{Short} L_{Long}}{C_{Long} L_{Short}} \right) \quad (61)$$

Portanto, se tempo de atraso estiver correto, então o erro de comprimento é:

$$L_{LongNew} = L_{LongOld} - L_{LongError} \quad (62)$$

10

Se L_{Long} estiver correto, então o erro de comprimento pode ser convertido a um erro de tempo de trânsito:

$$te_{Long} = \frac{-L_{LongError}}{C_{Short}} \quad (63)$$

e o novo tempo de atraso é:

$$\tau_{LongNew} = \tau_{LongOld} + te_{Long} \quad (64)$$

15

Assim, Eta e Epsilon são descrições equivalentes, e qualquer um dos dois poderia ser usado para determinar tempo de trânsito ou erros de comprimento. Consistente com os métodos ilustrativos das Figuras 6-8, há uma variedade de situações onde Eta e Epsilon podem ser usados para

propósitos vantajosos.

De acordo com pelo menos algumas concretizações, Eta pode ser usado para verificar tempos de atraso medidos e distância L para múltiplos pares de transdutores. Em particular, tempos de atraso à separação infinita (τ_{∞}) para uma pluralidade de pares de transdutores podem ser determinados ou medidos, por exemplo, em uma célula de teste. Depois disso, todos os pares de transdutores são instalados em um único medidor ultra-sônico. Os tempos de atraso à separação infinita (τ_{∞}) são entrados em um processador associado com o medidor ultra-sônico, qual medidor ultra-sônico então calcula o tempo de atraso usando os valores respectivos de L. Alternativamente, os tempos de atraso podem ser calculados externamente usando τ_{∞} e os comprimentos L, e estes tempos de atraso entrados diretamente no medidor. Finalmente, Eta é calculado a uma taxa de fluxo de fluido constante ou de calibração pelo medidor para obter boa mistura sem turbulência significativa, por exemplo, 6 a 9 m/s, para verificar precisão dos tempos de atraso (bloco 906). Se Eta for substancialmente igual a zero para qualquer dado par de cordas, então o tempo de atraso e comprimento de corda para o par de cordas foram medidos precisamente.

De acordo com concretizações adicionais, Eta pode ser usado para ajustar tempos de atraso para cordas onde tempos de atraso são impróprios (e assumindo que a distância L entre cada par de transdutores é exatamente conhecida). Em particular, um valor não zero para Eta para um par de cordas em um medidor ultra-sônico onde separação é conhecida exatamente é indicativo que o tempo de atraso à separação infinita (τ_{∞}) de pelo menos uma das cordas não foi medido exatamente. Uma taxa de fluxo de fluido de calibração é estabelecida pelo medidor, e uma das cordas é selecionada como uma referência. Depois disso, o tempo de atraso da outra corda é ajustado até que o valor de Eta seja substancialmente zero. Neste ajuste ilustrativo, a magnitude de Eta pode ser usada para calcular o erro de

tempo de atraso, tal como usando a equação (15), reproduzida novamente abaixo por conveniência.

$$te_{Short} = \frac{\Delta L \eta}{L_{Long}} \quad (65)$$

De acordo com ainda concretizações adicionais, Epsilon pode ser usado para verificar distância correta L entre um par de transdutores (e assumindo que τ_{∞} foi determinado exatamente para cada par de transdutores). Em particular, se o valor de Epsilon for não zero (e dado o anterior), uma corda é escolhida como a referência. Depois disso, os comprimentos das outras cordas são ajustados até que Epsilon calculado como entre a corda de referência e a corda sob teste seja substancialmente zero. Neste etapa de ajuste ilustrativa, a magnitude de Epsilon pode ser usada para determinar o erro na medição de comprimento.

$$L_{LongError} = \varepsilon \left(1 - \frac{C_{Short} L_{Long}}{C_{Long} L_{Short}} \right) \quad (66)$$

De acordo com concretizações ainda adicionais, Eta pode ser usado para verificar tempos de atraso medidos e distância L em múltiplos medidores ultra-sônicos. Em particular, o tempo de atraso à separação infinita (τ_{∞}) para uma pluralidade de pares de transdutores pode ser por exemplo determinado quatro pares, tal como em uma célula de teste. Depois disso, os pares de transdutores podem ser instalados, cada um em uma pluralidade de medidores ultra-sônicos. Os tempos de atraso à separação infinita (τ_{∞}) são entrados em um processador associado com o medidor ultra-sônico, qual medidor ultra-sônico então calcula o tempo de atraso usando os valores respectivos de L. Alternativamente, os tempos de atraso podem ser calculados externamente usando τ_{∞} e os comprimentos L, e estes tempos de atraso entrados diretamente no medidor. Durante fluxo de calibração em cada um da pluralidade de medidores ultra-sônicos, Eta é calculado para cada medidor como entre um par de transdutores existente e o par de transdutores para qual tempo de atraso à separação infinita (τ_{∞}) foi medido. Se Eta for não zero

indicando erros de tempo de atraso para o par de transdutores existente, Eta pode ser usado para ajustar o tempo de atraso para o par de transdutores da corda existente. Ajuste se necessário pode ser repetido para cada par de transdutores existente em cada medidor ultra-sônico.

5 De acordo com concretizações adicionais, Eta pode ser usado para ajustar tempos de atraso para transdutores em um medidor ultra-sônico (e assumindo que a distância L é conhecida para cada corda). Em particular, o tempo de atraso à separação infinita (τ_{∞}) para um par de transdutores é determinado precisamente, por exemplo, em uma célula de teste ou em um
10 medidor ultra-sônico. O par de transdutores é então instalado em um medidor ultra-sônico em uma corda mais próxima à medição de temperatura no medidor ultra-sônico. Durante fluxo de calibração, o tempo de atraso para os pares de transdutor restantes é ajustado usando Eta.

De acordo com concretizações ainda adicionais, Eta pode ser
15 usado para fixar atraso de tempo para um ou mais pares de transdutores instalados depois da falha de um ou mais pares de transdutores existentes (e assumindo pelo menos um par de transdutores não falhado e que a distância L para cada par de transdutores é conhecida). Em particular, um par de transdutores defeituoso é substituído com um novo par de transdutores, e o
20 tempo de atraso de par de transdutores recentemente instalado é corrigido para a distância L . Durante fluxo de calibração, o par de transdutores não falhado é selecionado como uma referência, e Eta é calculado usando a referência e para cada par de transdutores recentemente instalado. Para cada par de transdutores recentemente instalado, os tempos de atraso podem ser
25 ajustados se necessário, usando Eta como discutido acima.

De acordo com concretizações ainda adicionais, Eta pode ser usado para fixar separação de par de transdutores para um ou mais pares de transdutores instalados depois da falha de um ou mais pares de transdutores existentes (e assumindo pelo menos um par de transdutores não falhado e que

tempos de atraso são conhecidos exatamente). Em particular, um par de transdutores defeituoso é substituído com um novo par de transdutores, e o tempo de atraso do par de transdutores recentemente instalado é entrado, incluindo ajustar a diferença em distância L entre a célula de teste e a

5 instalação de medidor ultra-sônico atual. Durante fluxo de calibração, o par de transdutores não falhado é selecionado como uma referência, e Epsílon é calculado usando a referência e para cada par de transdutores recentemente instalado. Para cada par de transdutores recentemente instalado, a distância L pode ser ajustada se necessário, usando Epsílon como discutido acima.

10 Finalmente, de acordo com ainda outras concretizações, Eta pode ser usado para calcular tempos de atraso baseado em uma diferença em tempos de atraso para dois pares de transdutores diferentes (e assumindo que a distância L para cada par de transdutores é exatamente conhecida e diferente). Em particular, uma diferença de tempo de atraso é medida para dois pares de

15 transdutores, e tempo de atraso à separação infinita (τ_{∞}) é determinado. Os dois pares de transdutores são então instalados em um medidor ultra-sônico, um par de transdutores na corda curta e um par de transdutores na corda longa. As estimativas de tempo de atraso para cada par de transdutores são entradas no processador associado com o medidor ultra-sônico, e

20 compensação feita para diferença em distância L para cada par de transdutores. Durante fluxo de calibração, o valor de Eta será calculado e o valor será a correção a ser aplicada a ambas as cordas, e depois disso todos os pares de transdutores podem ter seus tempos de atraso ajustados corretamente. Estas concretizações permitem o cálculo de tempos de atraso sem conhecer a

25 velocidade de som no fluido. Esta poderia ser uma vantagem principal onde há um erro significativo na medição de velocidade de som para o fluido fluindo pelo medidor. Ser capaz de fazer a determinação sem conhecer a velocidade de som no fluido da célula de teste ou um medidor atual também elimina a necessidade para medir pressão e temperatura e/ou usar nitrogênio.

As várias concretizações da invenção são aplicáveis não só a um medidor ultra-sônico de quatro cordas, mas também para outros projetos de medidor, tais como medidores com um número diferente de cordas. A invenção também se aplica a medidores ultra-sônicos de trajeto de salto (contanto que esses medidores tenham pelo menos duas cordas de comprimentos diferentes). Além disso, o uso de nomenclatura tal como L_A e L_B não deveria ser interpretado limitar a invenção a um conjunto particular de cordas. A invenção pode ser usada com quaisquer cordas de comprimento diferente em um medidor ultra-sônico.

Enquanto várias concretizações desta invenção foram mostradas e descritas, modificações dela podem ser feitas por alguém qualificado na técnica sem partir do espírito ou ensinamento desta invenção. As concretizações descritas aqui só são exemplares e não são limitantes. Por exemplo, as concretizações se aplicam igualmente bem a sinais digitalizados como sinais analógicos. Muitas variações e modificações do sistema e aparelho são possíveis e estão dentro da extensão da invenção. Por exemplo, as concretizações se aplicam a quaisquer dados ultra-sônicos se originando de duas ou mais cordas tendo comprimentos diferentes e não estão limitadas ao medidor de quatro cordas exposto. Por conseguinte, a extensão de proteção não está limitada às concretizações descritas aqui, mas só está limitada pelas reivindicações que seguem, a extensão de quais deverá incluir todos os equivalentes do assunto das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para determinar tempo de atraso de transdutor e separação de transdutor em medidores de fluxo ultra-sônicos, caracterizado pelo fato de que inclui:

5 medir um tempo de atraso para um primeiro par de transdutores;

 medir um tempo medido total para sinais ultra-sônicos transmitidos entre um segundo par de transdutores em um medidor ultra-sônico no qual ambos o primeiro e segundo pares de transdutores estão
10 instalados; e

 calcular um parâmetro associado com o segundo par de transdutores usando o tempo de atraso do primeiro par de transdutores e o tempo medido total para dito segundo par de transdutores.

15 2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que medir o tempo de atraso adicionalmente inclui determinar tempo de atraso à separação infinita do primeiro par de transdutores.

 3. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que calcular adicionalmente inclui calcular o parâmetro usando tempo de atraso à separação infinita do primeiro par de transdutores.

20 4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que calcular adicionalmente inclui calcular um tempo de atraso para o segundo par de transdutores.

 5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que calcular adicionalmente inclui calcular um erro de tempo de atraso
25 do tempo de atraso para o segundo par de transdutores.

 6. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que calcular adicionalmente inclui calcular uma distância entre o segundo par de transdutores.

 7. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo

fato de que calcular adicionalmente inclui calcular um erro de distância entre o segundo par de transdutores.

5 8. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que calcular adicionalmente inclui calcular o parâmetro usando o tempo de atraso do primeiro par de transdutores e um tempo associado com o segundo par de transdutores compensado pelo menos parcialmente para diferenças entre tempo medido total e tempo de trânsito real.

10 9. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que medir o tempo de atraso para o primeiro par de transdutores adicionalmente inclui medir o tempo de atraso para o primeiro par de transdutores com o primeiro par de transdutores em uma célula de teste.

10. Método para determinar tempo de atraso de transdutor e separação de transdutor em medidores de fluxo ultra-sônicos, caracterizado pelo fato de que inclui:

15 medir uma diferença de tempo de atraso entre um primeiro par de transdutores e um segundo par de transdutores;

medir um primeiro tempo medido total por sinais ultra-sônicos transmitidos entre o primeiro par de transdutores em um medidor ultra-sônico no qual ambos o primeiro e segundo pares de transdutores estão instalados;

20 medir um segundo tempo medido total para sinais ultra-sônicos transmitidos entre o segundo par de transdutores no medidor ultra-sônico; e

25 calcular um tempo de atraso para o primeiro par de transdutores usando a diferença de tempo de atraso e os tempos medidos totais.

11. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que adicionalmente inclui calcular um tempo de atraso para o segundo par de transdutores usando a diferença de tempo de atraso e os tempos medidos totais.

12. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que medir uma diferença de tempo de atraso adicionalmente inclui medir a diferença de tempo de atraso em uma célula de teste.

5 13. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que calcular o tempo de atraso adicionalmente inclui calcular o tempo de atraso para o primeiro par de transdutores usando a diferença de tempo de atraso e tempos compensados pelo menos parcialmente para diferenças entre tempo medido total e tempo de trânsito real.

10 14. Medidor ultra-sônico, caracterizado pelo fato de que inclui: um peça de carretel que acopla fluidicamente dentro de um conduto levando fluxo de fluido;

eletrônica de controle associada com a peça de carretel;

15 uma primeira corda pela peça de carretel, a primeira corda aceita um primeiro par de transdutores, e a eletrônica de controle acopla ao primeiro par de transdutores; e

uma segunda corda pela peça de carretel, a segunda corda aceita um segundo par de transdutores, e a eletrônica de controle acopla ao segundo par de transdutores;

20 em que a eletrônica de controle aceita um valor proporcional a um tempo de atraso para o primeiro par de transdutores, e em que a eletrônica de controle calcula um parâmetro associado com o segundo par de transdutores usando pelo menos o valor proporcional ao tempo de atraso para o primeiro par de transdutores.

25 15. Medidor ultra-sônico de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que a eletrônica de controle aceita o valor proporcional ao tempo de atraso ser o tempo de atraso à separação infinita.

16. Medidor ultra-sônico de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que a eletrônica de controle calcula um tempo de atraso para o segundo par de transdutores.

17. Medidor ultra-sônico de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que a eletrônica de controle é configurada para calcular um erro de tempo de atraso do tempo de atraso para o segundo par de transdutores.

5 18. Medidor ultra-sônico de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que a eletrônica de controle é configurada para calcular uma distância entre o segundo par de transdutores.

10 19. Medidor ultra-sônico de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que a eletrônica de controle é configurada para calcular um erro de distância entre o segundo par de transdutores.

15 20. Medidor ultra-sônico de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que a eletrônica de controle é configurada para calcular um parâmetro usando o tempo de atraso do primeiro par de transdutores e um tempo associado com o segundo par de transdutores compensado pelo menos parcialmente para diferenças entre tempo medido total e tempo de trânsito real.

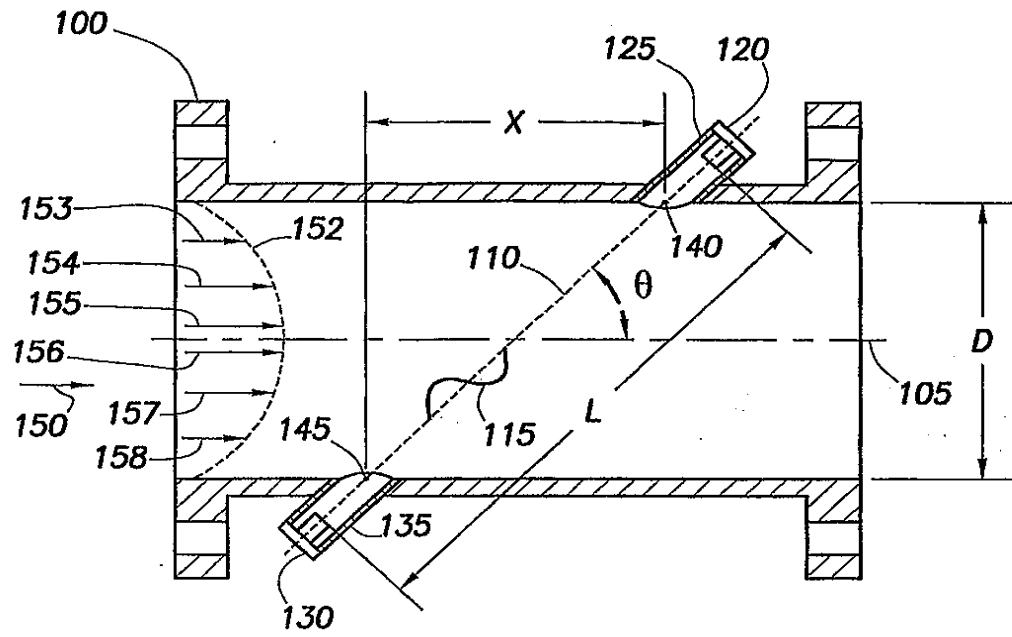


FIG. 1a

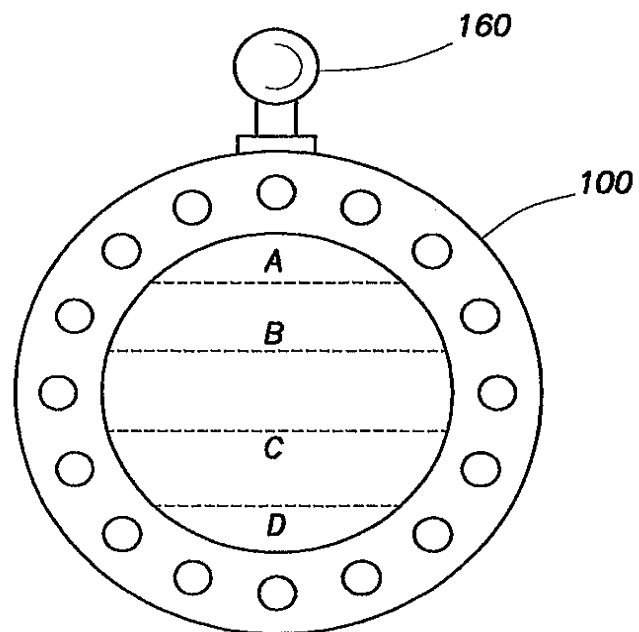


FIG. 1b

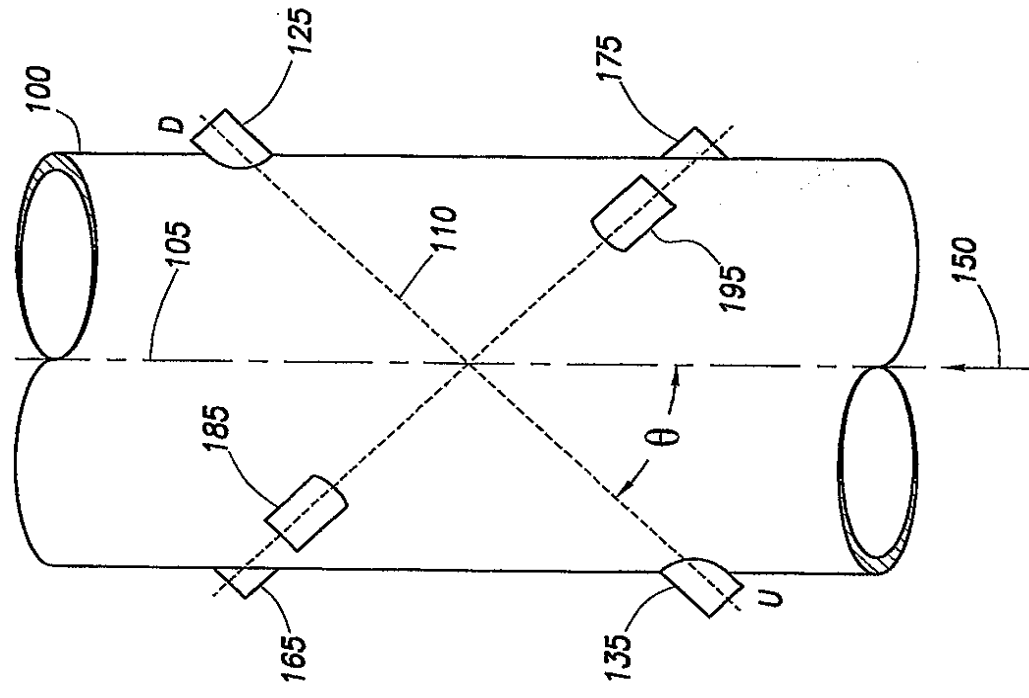


FIG.1c

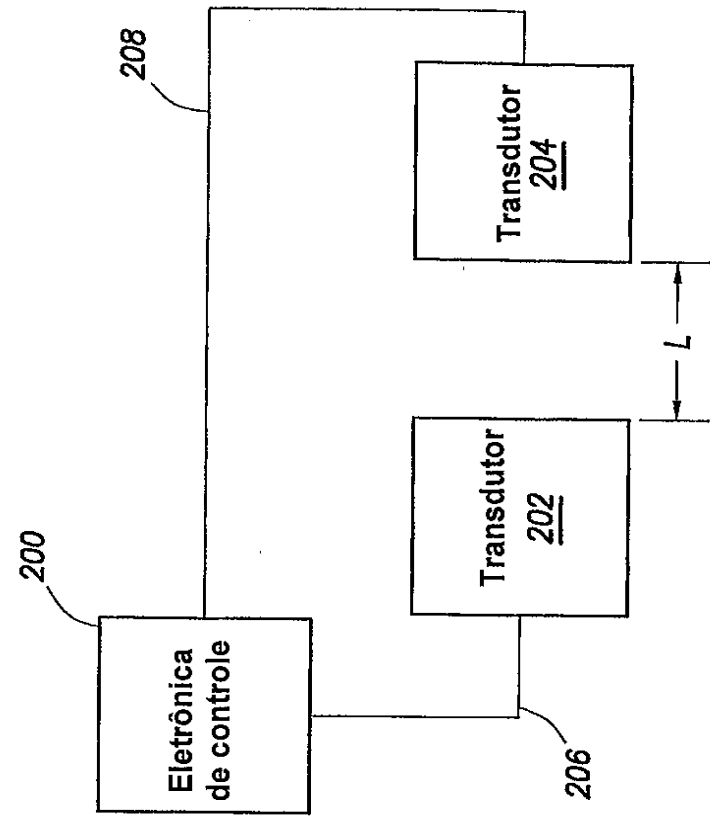


FIG.2

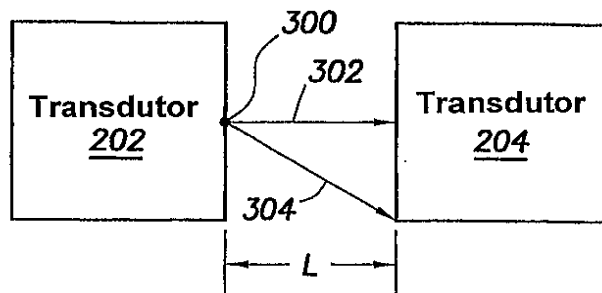


FIG.3A

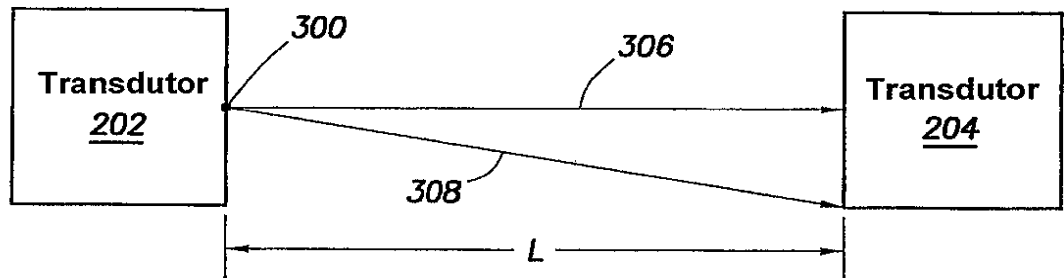


FIG.3B

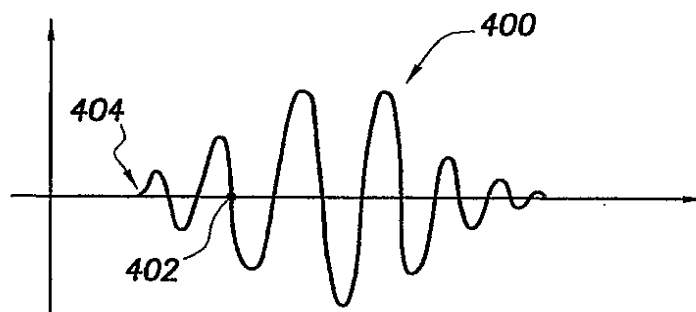


FIG.4

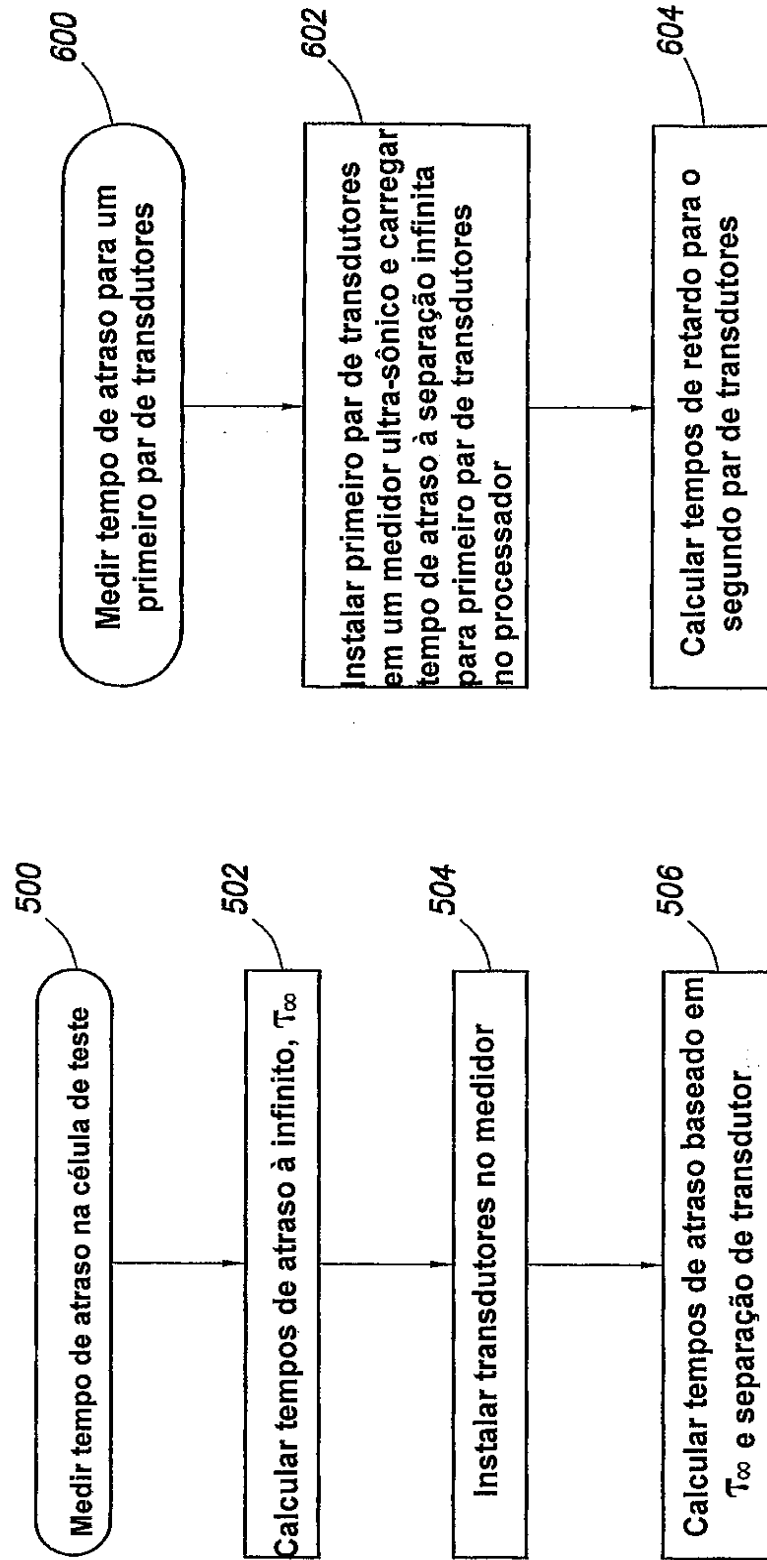
52
2

FIG.5

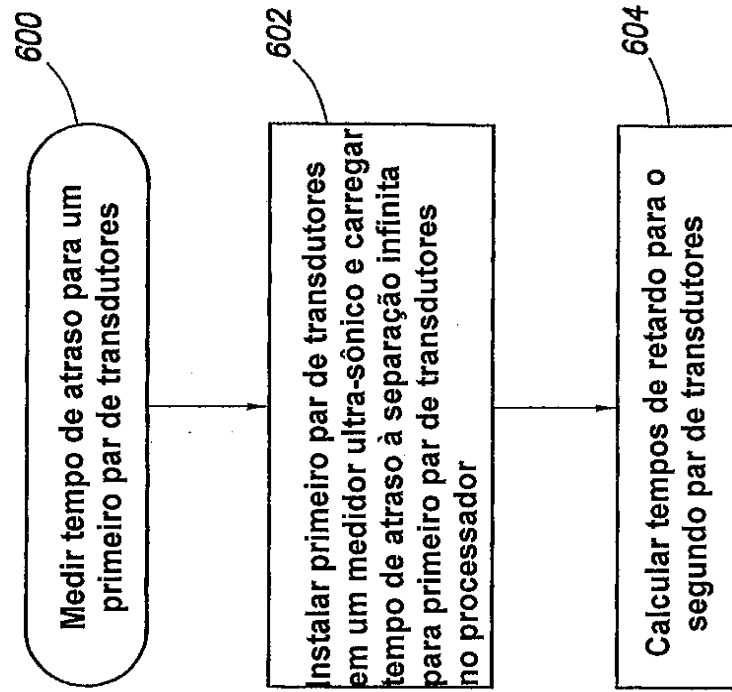


FIG.6

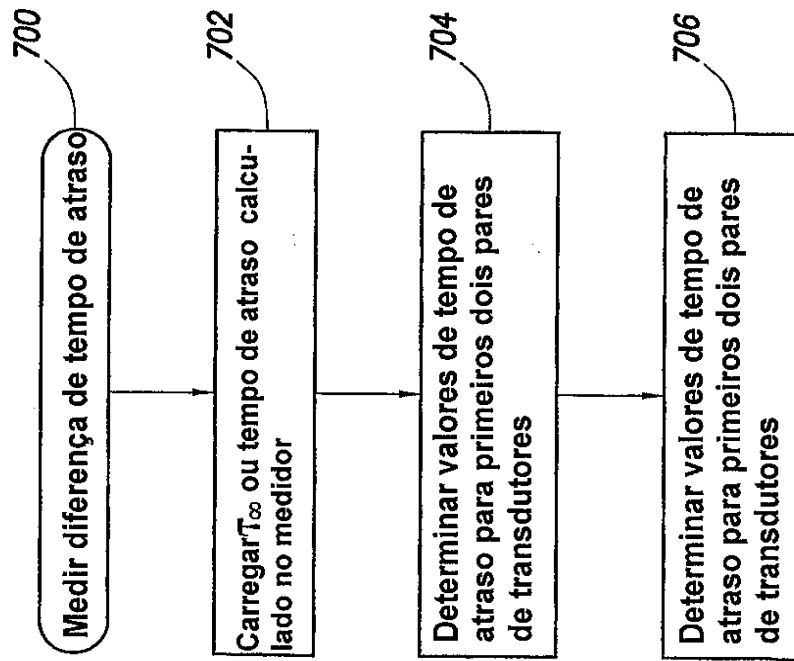


FIG. 7

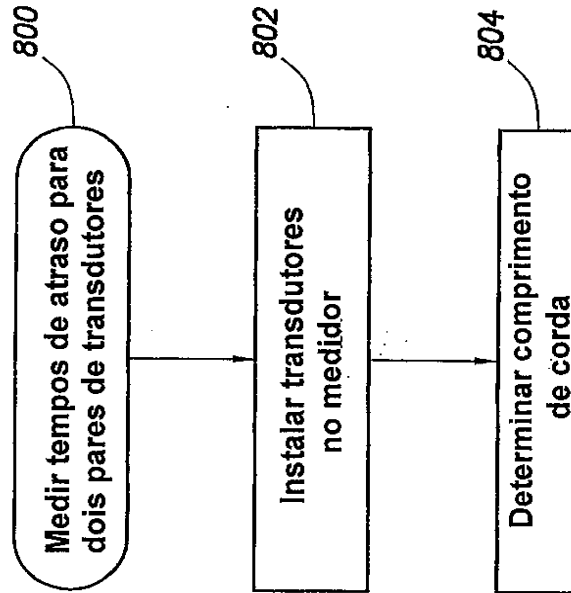


FIG. 8

RESUMO

“MÉTODO PARA DETERMINAR TEMPO DE ATRASO DE TRANSDUTOR E SEPARAÇÃO DE TRANSDUTOR EM MEDIDORES DE FLUXO ULTRA-SÔNICOS, E, MEDIDOR ULTRA-SÔNICO”

- 5 Métodos e sistemas relacionados para determinar tempo de atraso de transdutor e separação de transdutor em medidores de fluxo ultra-sônicos. Pelo menos algumas das concretizações ilustrativas são um método incluindo medir um tempo de atraso para um primeiro par de transdutores, medir um tempo medido total para sinais ultra-sônicos transmitidos entre um
- 10 segundo par de transdutores em um medidor ultra-sônico no qual ambos o primeiro e segundo pares de transdutores estão instalados, calcular um parâmetro associado com o segundo par de transdutores usando o tempo de atraso do primeiro par de transdutores e o tempo medido total para dito segundo par de transdutores.