



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

**(11) PI 0318493-5 B1**

**(22) Data do Depósito: 05/09/2003**

**(45) Data de Concessão: 03/07/2018**



---

**(54) Título:** SISTEMA DE FILTRO DE MEDIDOR DE FLUXO E MÉTODO

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

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

**(72) Inventor(es):** ANDREW TIMOTHY PATTEN; DENIS M. HENROT; CRAIG B. MCANALLY; PAUL J. HAYS; WAYNE R. BRINKMAN

"SISTEMA DE FILTRO DE MEDIDOR DE FLUXO E MÉTODO"  
FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

1. Campo da Invenção

A invenção está relacionada ao campo de remover  
5 ruído de um sinal de medidor de fluxo, e em particular, a  
remover ruído cíclico, tal como ruído de interferência cru-  
zada, do sinal de medidor de fluxo.

2. Relatório do Problema

Medidores de fluxo são usados para medir a taxa de  
10 fluxo de massa, densidade e outra informação para materiais  
em movimento. Os materiais em movimento podem incluir líqui-  
dos, gases, líquidos e gases combinados, sólidos suspensos  
em líquidos, e líquidos incluindo gases e sólidos suspensos.  
Por exemplo, medidores de fluxo são amplamente usados em  
15 produção de poço e refino de petróleo e produtos de petró-  
leo. Um medidor de fluxo pode ser usado para determinar a  
produção de poço medindo a taxa de fluxo (isto é, medindo um  
fluxo de massa através do medidor de fluxo), e pode mesmo  
ser usado para determinar as proporções relativas dos compo-  
20 nentes de gás e líquido de um fluxo.

Em um ambiente de produção ou processamento, é co-  
mum ter múltiplos medidores de fluxo conectados à mesma li-  
nha de processo e/ou montados de tal maneira que a vibração  
de um medidor de fluxo pode atingir outro medidor de fluxo.  
25 Embora isto resulte em eficiência em medir fluxo, múltiplos  
medidores de fluxo podem interferir um com o outro na forma  
de ruído de interferência cruzada. Interferência cruzada é  
um fenômeno quando o sinal de medidor de fluxo de um primei-

ro medidor influencia e corrompe um sinal de medidor de fluxo de um segundo medidor de fluxo (e vice-versa). Ruído de interferência cruzada em um ambiente de medidor de fluxo comumente e um sinal de movimento lento, relativamente grande tipicamente não mais rápido que 1 Hertz (Hz). O ruído pode degradar a precisão do sinal de medidor de fluxo e pode levar a erros de fluxo indicados extremamente grandes. Em adição, pode ocorrer ruído devido a outros fatores e outras fontes.

10 A Figura 1 é um gráfico de um sinal de saída de medidor de fluxo tomado com o tempo. A Figura mostra como um sinal de medidor de fluxo é influenciado por outros medidores de fluxo. Os períodos de tempo 101 e 103 na figura mostram um sinal de medidor de fluxo quando três medidores de  
15 fluxo estão gerando saída, com dois outros medidores de fluxo portanto gerando ruído de interferência cruzada na saída de medidor de fluxo corrente. O período de tempo 102 é um sinal de medidor de fluxo quando somente um outro medidor de fluxo que interfere está ativo. Note que o ruído gerado varia em amplitude e frequência por todo o gráfico.  
20

A técnica anterior tentou endereçar ruído e ruído de interferência cruzada através do uso de técnicas de filtragem tradicionais, tal como filtragem passa-alta. No entanto, devido a diferença relativamente pequena em frequências entre ruído de interferência cruzada e o dado de medidor de fluxo real, e devido a sinais de dado de baixa frequência emitidos por medidores de fluxo, foi difícil remover o ruído sem degradar os dados do medidor de fluxo.  
25

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A invenção ajuda a solucionar os problemas acima com remoção de ruído de um sinal de medidor de fluxo.

Um sistema de filtro de medidor de fluxo 200 é  
5 fornecido de acordo com uma modalidade da invenção. O sistema de filtro de medidor de fluxo 200 compreende um filtro de passagem de ruído 203 configurado para receber uma primeira versão de um sinal de medidor de fluxo e filtrar os dados de medidor de fluxo do sinal de medidor de fluxo para deixar um  
10 sinal de ruído. O sistema de filtro de medidor de fluxo 200 ainda compreende um quantificador de ruído 204 configurado para receber o sinal de ruído do filtro de passagem de ruído 203 e medir as características de ruído do sinal de ruído. O sistema de filtro de medidor de fluxo 200 ainda compreende  
15 um ajustador de amortecimento 205 configurado para receber as características de ruído do quantificador de ruído 204 e gerar um valor de amortecimento baseado nas características de ruído. O sistema de filtro de medidor de fluxo 200 ainda compreende um elemento de filtro 206 configurado para receber  
20 uma segunda versão do sinal de medidor de fluxo e receber o valor de amortecimento do ajustador de amortecimento 205, com o elemento de filtro 206 sendo ainda configurado para amortecer a segunda versão do sinal de medidor de fluxo baseado no valor de amortecimento a fim de produzir um sinal  
25 de medidor de fluxo filtrado.

Um método de remover ruído de um sinal de medidor de fluxo é fornecido de acordo com uma modalidade da invenção. O método compreende as etapas de receber o sinal de me-

didor de fluxo, aplicar um valor de amortecimento grande no sinal de medidor de fluxo a fim de produzir um sinal de medidor de fluxo filtrado se o sinal de medidor de fluxo é substancialmente quiescente, e aplicar um valor de amortecimento pequeno no sinal de medidor de fluxo a fim de produzir o sinal de medidor de fluxo filtrado se o sinal de medidor de fluxo está experimentando uma transição.

Um método de remover ruído de um sinal de medidor de fluxo é fornecido de acordo com uma modalidade da invenção. O método compreende as etapas de receber o sinal de medidor de fluxo, filtrar um sinal de ruído substancialmente para fora da primeira versão do sinal de medidor de fluxo, medir o sinal de ruído para obter as características de ruído, determinar um valor de amortecimento da partir das características de ruído, com o valor de amortecimento sendo selecionado para remover substancialmente o sinal de ruído do sinal de medidor de fluxo, e amortecer o ruído substancialmente fora de uma segunda versão do sinal de medidor de fluxo usando o valor de amortecimento a fim de produzir um sinal de medidor de fluxo filtrado.

Um aspecto da invenção compreende normalizar o sinal de medidor de fluxo de um valor original para um valor normalizado antes do amortecimento, e graduar o sinal de medidor de fluxo filtrado da etapa de amortecimento substancialmente de volta para a magnitude de sinal de medidor de fluxo original.

Em outro aspecto da invenção, o método determina um valor de erro entre a segunda versão do sinal de medidor

de fluxo e o sinal de medidor de fluxo filtrado, e alimenta o valor de erro de volta para a determinação do valor de amortecimento, em que o valor de erro está incluído na determinação de valor de amortecimento.

5 Em outro aspecto da invenção, o filtro de passagem de ruído e o elemento de filtro compreendem filtros digitais.

Em outro aspecto da invenção, o filtro de passagem de ruído e o elemento de filtro compreendem filtros digitais de Resposta ao Impulso Infinito (IIR).

Em outro aspecto da invenção, o filtro de passagem de ruído e o elemento de filtro compreendem filtros digitais IIR de segunda ordem.

Em outro aspecto da invenção, o ajustador de amortecimento é ainda configurado para gerar o valor de amortecimento baseado nas características de ruído e um coeficiente de retardo de amortecimento.

Em outro aspecto da invenção, o sinal de medidor de fluxo compreende um sinal de medidor de fluxo de Coriolis.

#### DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

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

A Figura 1 é um gráfico de um sinal de saída de medidor de fluxo tomado com o tempo;

a Figura 2 é um sistema de filtro de medidor de fluxo de acordo com uma modalidade da invenção;

a Figura 3 mostra as respostas de magnitude e fase para o filtro de passagem de ruído de acordo com uma modalidade da invenção;

a Figura 4 é um fluxograma de um método de remover ruído de um sinal de medidor de fluxo de acordo com outra modalidade da invenção;

a Figura 5 é um fluxograma de um método de remover ruído de um sinal de medidor de fluxo de acordo com uma modalidade da invenção;

a Figura 6 é um gráfico que ilustra a remoção de amortecimento de ruído de um sinal de medidor de fluxo;

a Figura 7 é um diagrama do ajustador de amortecimento de acordo com uma modalidade da invenção;

a Figura 8 é um gráfico de vários valores de amortecimento que podem ser implementados no sistema de filtro de medidor de fluxo de acordo com uma modalidade da invenção; e

a Figura 9 é um gráfico que mostra uma subida do valor de amortecimento de acordo com uma modalidade da invenção.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

As Figuras 2-9 e a descrição seguinte representam exemplos específicos da invenção para mostrar àqueles versados na técnica como fazer e usar o modo melhor da invenção. Para o propósito de mostrar os princípios da invenção, alguns aspectos convencionais da invenção forma simplificados ou omitidos. Aqueles versados na técnica apreciarão as variações a partir destes exemplos que se encontram dentro do

escopo da invenção. Aqueles versados na técnica apreciarão que os aspectos descritos abaixo podem ser combinados em várias maneiras para formar múltiplas variações da invenção. Como resultado, a invenção não é limitada aos exemplos específicos descritos abaixo, mas somente pelas reivindicações e seus equivalentes.

#### Sistema de Filtro de Medidor de Fluxo - Figura 2

A Figura 2 é um sistema de filtro de medidor de fluxo 200 de acordo com uma modalidade da invenção. O sistema de filtro de medidor de fluxo 200 recebe um sinal de medidor de fluxo de um ou mais medidores de fluxo e filtra substancialmente o ruído no sinal de medidor de fluxo. Os medidores de fluxo podem compreender qualquer tipo de medidor de fluxo, incluindo medidores de fluxo de Coriolis, medidores de fluxo de turbina, medidores de fluxo magnéticos, etc. O sistema de filtro de medidor de fluxo 200 na modalidade mostrada inclui um normalizador 201, um graduador 202, um filtro de passagem de ruído 203, um quantificador de ruído 204, um ajustador de amortecimento 205, e um elemento de filtro 206. Deve ser entendido que outras configurações de filtro de medidor de fluxo são consideradas, e a modalidade mostrada é fornecida para ilustração.

O normalizador 201 recebe o sinal de medidor de fluxo e um valor de fluxo máximo, e tem uma saída que está conectada ao elemento de filtro 206. O filtro de passagem de ruído 203 também recebe o sinal de medidor de fluxo (isto é, uma primeira versão do sinal de medidor de fluxo), e tem uma saída que está conectada ao quantificador de ruído 204. O

quantificador de ruído 204 recebe a saída do filtro de passagem de ruído 203, e tem uma saída que é conectada ao quantificador de ruído 204. O quantificador de ruído 204 recebe a saída do filtro de passagem de ruído 203, e tem uma saída de ruído máxima e uma saída de desvio zero que são conectados no ajustador de amortecimento 205. O ajustador de amortecimento 205 também recebe o valor de fluxo máximo, recebe a saída de ruído máximo e o desvio zero emitido a partir do quantificador de ruído 204, e recebe um valor de erro emitido do elemento de filtro 206. O ajustador de amortecimento 205 tem uma saída de valor de amortecimento. O elemento de filtro 206 recebe o sinal de medidor de fluxo normalizado (isto é, uma segunda versão do sinal de medidor de fluxo) emitido do normalizador 201 e o valor de amortecimento emitido do ajustador de amortecimento 205, e tem como saídas o valor de erro e um sinal de medidor de fluxo filtrado com o ruído amortecido. O graduador 202 recebe o sinal de medidor de fluxo filtrado que é emitido do elemento de filtro 206 e também recebe uma versão do valor de fluxo máximo, e emite uma versão filtrada, graduada do sinal de medidor de fluxo.

Em operação, um sinal de medidor de fluxo é introduzido no sistema de filtro de medidor de fluxo 200. O sistema de filtro de medidor de fluxo 200 mede as características de ruído do ruído, e a partir das características de ruído determina um valor de amortecimento que é introduzido no elemento de filtro 206. O elemento de filtro 206 amortece o sinal do medidor de fluxo de acordo com o valor de amortecimento. O ruído, tal como ruído de interferência cruzada, é

tipicamente de um tempo de resposta/freqüência mais rápido que a saída de dados de medidor de fluxo e portanto é amortecido pelo elemento de filtro 206. O sistema de filtro de medidor de filtro 200 portanto remove o ruído sem afetar ou  
5 degradar substancialmente os dados do medidor de fluxo.

Em adição à filtragem do ruído de interferência cruzada, o sistema de filtro de medidor de fluxo 200 é também capaz de minimizar o ruído externo de outras fontes, tal como de movimento físico ou vibração. Por exemplo, uma bomba  
10 de deslocamento positivo coloca a variação cíclica dentro do fluxo que está sendo medido. Em alguns casos, é vantajoso eliminar este ruído cíclico a fim de medir e relatar somente o sinal de fluxo médio.

O amortecimento refere-se a impedir mudanças em  
15 oscilação de sinal baseado na freqüência. O amortecimento pode ser usado para remover um sinal de ruído quando o sinal de ruído está mudando a uma taxa mais rápida que um sinal de medidor de fluxo básico. O amortecimento pode portanto remover um sinal de ruído sobreposto em um sinal de dados do me-  
20 didor de fluxo. O valor de amortecimento pode ser selecionado de uma tabela, por exemplo. A seleção pode ser baseada em uma ou mais entradas, tal como faixa de amplitude de ruído (ver Tabela 1 e discussão anexa abaixo). Em uma modalidade de filtro digital, o valor de amortecimento pode representar  
25 coeficientes de filtro.

No entanto, a fim de impedir o amortecimento de influenciar/degradar o sinal de medidor de fluxo quando uma mudança de taxa de fluxo ocorre, o valor de amortecimento

pode ser selecionado para ser menor durante uma transição no sinal de medidor de fluxo. Uma transição é uma mudança relativamente grande ou rápida nos dados do medidor de fluxo. Por exemplo, pode ocorrer uma transição quando um medidor de fluxo é encaixado em linha ou fora de linha, quando a quantidade de material de fluxo que passa através de um medidor de fluxo muda por uma quantidade significativa, quando bolhas ou bolsos de gás estão presentes em um material de fluxo líquido, etc. Em uma modalidade, o tempo de resposta do sistema de filtro de medidor de fluxo 200 é reduzido durante as transições. Portanto, o ruído é amortecido em um nível menor até que a transição tenha passado e o sinal de medidor de fluxo tenha novamente se tornado substancialmente quiescente (isto é, estável). Neste momento, o valor de amortecimento pode ser aumentado. O amortecimento de acordo com a invenção é portanto dinamicamente controlado a fim de amortecer oti-

5  
10  
15

mamente a maior parte ou todo o sinal de ruído.

O normalizador 201 converte o sinal de medidor de fluxo em um sinal de medidor de fluxo normalizado, baseado no valor de fluxo máximo introduzido. O valor de fluxo máximo é um limite superior do sinal de medidor de fluxo, e pode ser um valor determinado por um processo de calibração, determinado de acordo com um tipo de medidor ou um tipo de material de fluxo, etc. O valor de fluxo máximo pode ser uma constante, ou pode ser variável com o tempo ou mutável. Usando o valor de fluxo máximo, o normalizador 201 normaliza a entrada de sinal de medidor de fluxo para não ser maior que o valor de fluxo máximo. Isto pode ser feito de modo que

20  
25

o sistema de filtro de medidor de fluxo 200 possa ser usado com qualquer tipo de medidor de fluxo e qualquer nível de sinal de fluxo, isto é, o sistema de filtro de medidor de fluxo 200 é independente do tipo de medidor de fluxo e das condições de fluxo. Em uma modalidade, a normalização é feita de acordo com a fórmula:

$$\text{FluxoNormalizado} = \frac{\text{SinaldeMedidordeFluxo}}{\text{ValordeFluxoMáximo}} \quad (1)$$

O graduador 202 é o complemento do normalizador 201. O graduador 202 recebe o sinal de medidor de fluxo normalizado, filtrado do elemento de filtro 206 e gradua de volta para substancialmente a mesma amplitude que o sinal de medidor de fluxo introduzido. Isto é feito multiplicando a saída filtrada pelo valor de fluxo máximo. A multiplicação pelo valor de fluxo máximo é o complemento da divisão do sinal de medidor de fluxo pelo valor de fluxo máximo no normalizador 201.

O filtro de passagem de ruído 203 recebe o sinal de medidor de fluxo não normalizado (uma segunda versão) e passa somente um sinal de ruído (isto é, o dado do medidor de fluxo é bloqueado). O propósito do filtro de passagem de ruído 203 é determinar a magnitude de qualquer ruído de interferência cruzada presente no sinal de medidor de fluxo. O filtro de passagem de ruído 203 pode ser qualquer filtro que passa substancialmente frequências na faixa de cerca de 0,025 Hertz (Hz) a cerca de 1 Hz, tal como uma implementação de filtro passa-altas ou passa-faixas, por exemplo. Em uma modalidade, o filtro de passagem de ruído 203 compreende um filtro de acoplamento de corrente alternada (AC) (isto é, um

filtro analógico). Em outra modalidade, o filtro de passagem de ruído 203 compreende um filtro digital de Resposta ao Impulso Infinito (IIR), incluindo um filtro digital IIR de segunda ordem.

5 O filtro de passagem de ruído 203 de preferência tem coeficientes de filtro que foram selecionados para fornecer ganho unitário e uma fase zero para frequências acima de 0,025 Hz. Em uma modalidade, o filtro de passagem de ruído 203 tem uma função de transferência representada por:

$$10 \quad H(Z) = \frac{0,9993 - 1,9986 \times Z^{-1} + 0,9993 \times Z^{-2}}{1 - 1,9986 \times Z^{-1} + 0,9986 \times Z^{-2}} \quad (2)$$

onde a variável de transformação de  $Z$ ,  $Z^{-1}$ , é uma saída prévia no tempo  $(t-1)$ , e a variável de transformação de  $Z$ ,  $Z^{-2}$ , é uma saída prévia no tempo  $(t-2)$ , e os valores numéricos 0,993, 1,9986, etc, são coeficientes do filtro. A  
15 variável de transformação de  $Z$  é comumente usada para representar:

$$Z = e^{-j\omega} \quad (3)$$

Deve ser entendido que os coeficientes de filtro numéricos dados acima são apenas um exemplo fornecido para  
20 ilustração, e a invenção não está limitada aos valores dados. Os coeficientes de filtro podem ser variados de acordo com o tipo de filtro, o número de filtros gerando ruído, condições de fluxo, condições ambientais, etc.

Gráficos de Magnitude de Filtro de Passagem de Ruído e Fase - Figura 3  
25

A Figura 3 mostra as respostas de magnitude e fase para o filtro de passagem de ruído 203 de acordo com uma modalidade da invenção. No exemplo mostrado, a frequência foi

normalizada para um valor de um. Porque a resposta do filtro de passagem de ruído 203 na extremidade inferior da faixa de frequência é a consideração principal, é possível em uma modalidade de filtro digital aperfeiçoar o desempenho do filtro de passagem de ruído 203 ajustando a taxa de amostragem do sinal de entrada. Idealmente, o filtro de passagem de ruído 203 não deve atenuar o componente de sinal de ruído e emitiria um componente de ruído tendo uma magnitude de 0dB e um desvio de fase de zero grau em frequências acima de 0,025 Hz. Com uma taxa de amostragem de 20Hz, a magnitude de saída de um sinal de ruído de 0,20 Hz em uma implementação de filtro digital atual foi medida em cerca de -0,22 dB. Com uma taxa de amostragem de 5 Hz, a magnitude foi medida em cerca de 0,0141 dB, um aperfeiçoamento dignificante. No entanto, um lado de baixo de uma taxa de amostragem mais lenta é um retardo maior em tempo de resposta. A taxa de amostragem é portanto um parâmetro ajustável que pode ser configurado durante a calibração ou durante a operação.

Referindo-se novamente à Figura 2, o quantificador de ruído 204 mede o sinal de ruído emitido pelo filtro de passagem de ruído 203 e gera características de ruído do sinal de ruído. Em uma modalidade, o quantificador de ruído 204 mede um nível de ruído máximo e um nível de desvio zero do sinal de ruído (isto é, um desvio de zero de um conteúdo de ruído médio). O conteúdo de ruído médio/desvio zero serve como um indicador quanto a se o filtro de passagem de ruído 203 começou em um estado substancialmente constante (isto é, quiescente) (ver Figura 8 e a discussão anexa).

O quantificador de ruído 204 em uma modalidade acumula dados de ruído sobre um período de amostragem e mede as características de ruído para o período de amostragem. Isto pode ser feito a fim de caracterizar com precisão o ruído para impedir anomalias de ruído de afetar indevidamente a caracterização. Desde que o sinal de ruído esperado mais lento é definido como pelo menos 0,025 Hz (o que dá um período de onda de 40 segundos), é importante computar o valor de conteúdo de ruído médio em uma amostra que contém pelo menos 40 segundos de dados.

O ajustador de amortecimento 205 gera um valor de amortecimento que é usado para amortecer o ruído do sinal de medidor de fluxo. O propósito do ajustador de amortecimento 205 é mudar de modo adaptativo o valor de amortecimento do elemento de filtro 206 baseado em níveis de ruído corrente e variações de fluxo correntes. O ajustador de amortecimento 205 recebe como entradas as características de ruído do quantificador de ruído 204 e o valor de fluxo máximo, com um valor de erro gerado pelo elemento de filtro 206. O valor de erro compreende realimentação em como o ruído está sendo completamente amortecido do sinal de medidor de fluxo normalizado. O ajustador de amortecimento divide o desvio zero pelo valor de fluxo máximo a fim de determinar se o sinal de ruído é substancialmente centrado em torno de zero (isto e, o ajustador de amortecimento 205 determina se o conteúdo de ruído médio está abaixo de um limite quiescente predeterminado). Uma modalidade do ajustador de amortecimento 205 é discutida em detalhe abaixo em conjunto com a Figura 7.

O ajustador de amortecimento 205 em uma modalidade usa os valores de erro e ruído introduzidos como entradas na tabela de valores de amortecimento e busca um valor de amortecimento apropriado. A Tabela 1 abaixo é um exemplo de uma modalidade de uma tabela de valor de amortecimento.

TABELA 1

<u>Valor de amortecimento</u>	<u>Faixa Inferior</u>	<u>Faixa Superior</u>
0	NC x (1+RC x 0,256)	
1	NC x (1+RC x 0,128)	NC x (1+RC x 0,256)
2	NC x (1+RC x 0,064)	NC x (1+RC x 0,128)
4	NC x (1+RC x 0,032)	NC x (1+RC x 0,064)
8	NC x (1+RC x 0,016)	NC x (1+RC x 0,032)
16	NC x (1+RC x 0,008)	NC x (1+RC x 0,016)
32	NC x (1+RC x 0,004)	NC x (1+RC x 0,008)
64	NC x (1+RC x 0,002)	NC x (1+RC x 0,004)
128	NC x (1+RC x 0,001)	NC x (1+RC x 0,002)
256	NC x (1+RC x 0,0005)	NC x (1+RC x 0,001)
512		NC x (1+RC x 0,0005)

onde NC é a constante de dados de ruído normalizado que é o piso de ruído e RC é uma constante de graduação predeterminada. A constante de graduação predeterminada RC é um aspecto ótimo, e pode ser incluído a fim de fazer mudanças de graduação global na tabela. O valor de erro normalizado é comparado com a tabela de busca para determinar o valor de amortecimento.

O ajustador de amortecimento 205 em uma modalidade pode subir o valor de amortecimento de um valor de amorteci-

mento corrente para um novo valor de amortecimento, e pode não imediatamente fazer uma mudança completa no valor de amortecimento. Enquanto é importante permitir transições rápidas de valores de amortecimento lento para rápido, é também importante limitar quão rápido o ajustador de amortecimento 205 se move de volta para valores de amortecimento lento. Se o novo valor de amortecimento é mais rápido que o valor de amortecimento precedente (isto é, é um valor de amortecimento menor), então o novo valor de amortecimento é enviado diretamente para o elemento de filtro 206. No entanto, se o novo valor de amortecimento é mais lento que o valor de amortecimento precedente (isto é, é um valor de amortecimento maior), então o valor de amortecimento emitido sobre lentamente para o novo valor de amortecimento (ver Figura 7 e a discussão anexa).

O elemento de filtro 206 é configurado para receber o valor de amortecimento e amortecer o sinal de medidor de fluxo normalizado. O elemento de filtro 206 em uma modalidade compreende um filtro de segunda ordem. Em outra modalidade, o elemento de filtro 206 compreende um filtro digital IIR, que inclui um filtro digital IIR de segunda ordem. Uma vantagem de usar um filtro digital, como oposto a um filtro analógico, é que o filtro digital pode ser controlado dinamicamente durante a operação. Portanto, a quantidade de amortecimento pode ser mudada a fim de remover otimamente o ruído sem influenciar o sinal de dados de medidor de fluxo. Em uma modalidade, o elemento de filtro 206 compreende um

filtro digital IIR de segunda ordem que tem as funções de transferência de:

$$X_t = X_{t-1} + \frac{(U_t - X_{t-1})}{\text{Valor de amortecimento}} \quad (4)$$

e

$$Y_t = Y_{t-1} + \frac{(X_t - Y_{t-1})}{\text{Valor de amortecimento}} \quad (5)$$

onde  $t$  é um valor de amostra de tempo,  $U_t$  é uma amostra de entrada corrente,  $X_t$  é determinado a partir da amostra de entrada corrente  $U_t$  e um valor de  $X$  prévio  $X_{t-1}$ , e  $Y_t$  é definido como a saída determinada da amostra de entrada de corrente  $U_t$ , o valor computado  $X_t$  e o valor de saída prévio  $Y_{t-1}$ . Um filtro digital tal como um descrito acima pode ser implementado em um sistema de processamento, tal como em um dispositivo de Processador de Sinal Digital (DSP), por exemplo.

#### 15 Método de Filtragem de Medidor de Fluxo - Figura 4

A Figura 4 é um fluxograma 400 de um método para remover ruído de um sinal de medidor de fluxo de acordo com uma modalidade da invenção. Na etapa 401, o sinal de medidor de fluxo é recebido. O sinal de medidor de fluxo pode ser pré-processado de qualquer maneira, incluindo normalização do sinal de medidor de fluxo.

Na etapa 402, se o sinal de medidor de fluxo é substancialmente quiescente, o método se ramifica para a etapa 403; de outro modo o método se ramifica para a etapa 25 404.

Na etapa 403, como o sinal de medidor de fluxo é substancialmente quiescente, um valor de amortecimento gran-

de é aplicado no sinal de medidor de fluxo. Porque o sinal de medidor de fluxo está mudando de modo relativamente lento, uma quantidade grande de amortecimento pode ser aplicada sem afetar os dados do medidor de fluxo no sinal de medidor de fluxo, e somente o componente de ruído do sinal de medidor de fluxo é atenuado pelo amortecimento pesado.

Na etapa 404, como o sinal de medidor de fluxo está experimentando mudanças grandes ou rápidas em valor, um valor de amortecimento pequeno é aplicado ao sinal de medidor de fluxo. Desta maneira, o componente de ruído do sinal de medidor de fluxo é removido substancialmente mas sem afetar os dados do medidor de fluxo.

#### Método de Filtragem de Medidor de Fluxo - Figura 5

A Figura 5 é um fluxograma 500 de um método para remover ruído de um sinal de medidor de fluxo de acordo com outra modalidade da invenção. Na etapa 501, um sinal de medidor de fluxo é recebido, como discutido previamente.

Na etapa 502, o dado do medidor de fluxo é substancialmente filtrado de uma primeira versão do sinal de medidor de fluxo a fim de obter um sinal de ruído substancialmente puro. A medição pode ser realizada a fim de caracterizar o ruído e amortecer dinamicamente o ruído do sinal de medidor de fluxo. Por exemplo, o dado pode ser removido por um filtro passa-altas ou passa-faixas, como discutido previamente.

Na etapa 503, o ruído é medido e as características de ruído são desse modo obtidas. As características de ruído podem incluir uma amplitude de ruído máxima e um des-

vio zero, como discutido previamente. Deve ser entendido que as características de ruído são dinâmicas e podem mudar com o tempo. Por exemplo, as características de ruído comumente variam quando outros medidores de fluxo estão conectados na linha de processo e portanto gerando ruído de interferência cruzada. No entanto, outras fontes de ruído são também consideradas, tal como o ruído ambiental do equipamento de bombeamento, por exemplo.

Na etapa 504, um valor de amortecimento é determinado a partir das características de ruído comuns. O valor de amortecimento representa uma quantidade de amortecimento que removerá substancialmente o ruído do sinal de medidor de fluxo mas sem causar impacto substancial no sinal de medidor de fluxo.

Na etapa 505, o valor de amortecimento e o sinal de medidor de fluxo são introduzidos em um elemento de filtro 206 e o elemento de filtro 206 amortece o ruído usando o valor de amortecimento. Em adição, o amortecimento pode subir de um valor de amortecimento corrente para um novo valor de amortecimento.

#### Gráfico de Efeito de Amortecimento - Figura 6

A Figura 6 é um gráfico que ilustra a remoção de amortecimento de ruído de um sinal de medidor de fluxo. O gráfico inclui um sinal de medidor de fluxo 601 e um sinal de ruído 602. Pode ser visto a partir da figura que quando o sinal de ruído 602 é amortecido, o sinal de medidor de fluxo 601 pode se aproximar de uma onda quadrada. Quando uma mudança de etapa ocorre no tempo 605, o tempo de resposta do

sistema de filtro muda para um filtro de tempo de resposta mais rápido. Durante este tempo, o sinal filtrado se parecerá mais estreitamente com o sinal de medidor de fluxo original até que eventualmente o sistema de filtro 200 reverte de volta a um sinal pesadamente amortecido.

Ajustador de Amortecimento - Figura 7

A Figura 7 é um diagrama do ajustador de amortecimento 205 de acordo com uma modalidade da invenção. O ajustador de amortecimento 205 nesta modalidade inclui blocos de valor absoluto 701 e 703, blocos de produto 702 e 706, blocos de comutador 704 e 710, blocos de retardo unitário 705 e 712 (tal como blocos de retardo unitário  $1/Z$ , por exemplo), uma interface 707, um bloco de valor de amortecimento 708, um bloco de operador relacional 709, um bloco de coeficiente de retardo de amortecimento 711. O ajustador de amortecimento 205 inclui as entradas de erro, ruído máximo, valor de fluxo máximo, e desvio zero como discutido previamente, e emite o valor de amortecimento.

O bloco de produto 702 divide o desvio zero pelo valor de fluxo máximo a fim de gerar um valor de ruído. O valor de ruído é representativo do conteúdo médio de ruído e indica a distância do sinal de ruído para zero. Se o valor de ruído é menor que um limite quiescente predeterminado, então o nível de ruído é determinado para ser substancialmente quiescente e é portanto preciso suficiente para ser usado no bloco de busca de valor de amortecimento 708.

Os blocos de valor absoluto 701 e 703 tomam valores absolutos de suas entradas respectivas. O bloco de valor

absoluto 703 emite um valor de ruído positivo para o bloco de comutação 705. O bloco de valor absoluto 701 emite um valor de erro positivo para a interface 707.

O bloco de comutação 704 recebe o valor de ruído máximo, o valor de ruído, e um retardo unitário produzido pelo bloco de retardo unitário 705. O bloco de comutação 704 é configurado para emitir o valor de ruído se o valor de ruído é menor que o valor de ruído máximo, e a saída do valor de ruído máximo de outro modo. Em adição, o bloco de comutação 704 pode emitir a saída de comutação prévia (a partir do bloco de retardo unitário 705) quando não emite tanto o valor de ruído quando o valor de ruído máximo. A saída do bloco de comutação 704 é conectada à entrada do bloco de retardo unitário 705 e ao bloco de produto 706.

O bloco de produto 706 também recebe o valor de ruído e o valor de fluxo máximo. O bloco de produto 706 divide o valor de fluxo máximo pelo valor de ruído a fim de produzir um valor de ruído normalizado que é emitido para a interface 707.

A interface 707 passa o sinal de erro normalizado e o sinal de ruído normalizado para o bloco de busca de valor de amortecimento 708. A interface 707 em uma modalidade transmite simultaneamente o sinal de ruído normalizado em o sinal de erro normalizado em um formato de vetor, em que o bloco de busca de valor de amortecimento 708 recebe uma entrada única.

O bloco de busca de valor de amortecimento 708 gera o valor de amortecimento das entradas de erro normalizado

e ruído normalizado. Em uma modalidade, o bloco de busca de valor de amortecimento 708 realiza uma busca de tabela a fim de obter o valor de amortecimento, tal como a Tabela 1, discutida em conjunto com a Figura 2, acima. O bloco de busca de valor de amortecimento 708 emite o valor de amortecimento para o bloco de operador relacional 709.

O estágio final do ajustador de amortecimento 205 (isto é, os componentes 709-712) controla a taxa em que o valor de amortecimento pode ser mudado. O bloco de operador relacional 709 compara o novo valor de amortecimento (emitido pelo bloco de busca de valor de amortecimento 708) para o valor de amortecimento corrente disponível na saída do ajustador de amortecimento 205. O bloco de operador relacional 709 gera uma saída relacional que indica se o novo valor de amortecimento é menor que o valor de amortecimento corrente.

O bloco de comutação 710 tem como entradas o novo valor de amortecimento, o valor de amortecimento corrente e a saída relacional. O bloco de comutação 710 é configurado para selecionar e emitir tanto o novo valor de amortecimento quanto o valor de amortecimento corrente, dependendo da saída relacional. Se o novo valor de amortecimento é menor que o valor de amortecimento corrente, então o bloco de comutação 710 alimenta o novo valor de amortecimento diretamente na saída. No entanto, se o novo valor de amortecimento é maior que o valor de amortecimento corrente, então o bloco de comutação 710 canaliza o novo valor de amortecimento através do coeficiente de retardo de amortecimento 711 e o retardo unitário 712 e sobe a saída de valor de amortecimen-

to a partir do valor de amortecimento corrente para o novo valor de amortecimento multiplicando o novo valor de amortecimento por um coeficiente de retardo. O bloco de comutação 710 emite o valor de amortecimento selecionado para o coeficiente de retardo de amortecimento 711.

O coeficiente de retardo de amortecimento 711 define uma taxa de amortecimento e controla quão rapidamente o ajustador de amortecimento 205 pode subir para o novo valor de amortecimento. O coeficiente de retardo de amortecimento 711 em uma modalidade é um número ligeiramente maior que um. A saída do coeficiente de retardo de amortecimento 711 é introduzida no retardo unitário 712.

O retardo unitário 712 retarda o valor de amortecimento por um período de retardo predeterminado. O período de retardo predeterminado pode ser um valor constante, por exemplo, ou pode ser obtido a partir de uma tabela. A saída do retardo unitário 712 é a saída de valor de amortecimento do ajustador de amortecimento. O ajustador de amortecimento 205 portanto gera o valor de amortecimento baseado nas características de ruído e no coeficiente de retardo de amortecimento 711.

#### Gráfico de Valores de Amortecimento - Figura 8

A Figura 8 é um gráfico de vários valores de amortecimento que podem ser implementados no sistema de filtro de medidor de fluxo 200 de acordo com uma modalidade da invenção. A figura mostra a taxa de fluxo normalizada com o tempo para vários valores de amortecimento. Pode ser visto que um valor de amortecimento pode ser selecionado não so-

mente baseado na quantidade desejada de amortecimento, mas no período de tempo exigido a fim de obter o amortecimento de ruído desejado. Por exemplo, um valor de amortecimento de 1 tem uma resposta muito mais rápida que um valor de amortecimento de 256.

Gráfico de Subida de Valor de Amortecimento - Figura 9

A Figura 9 é um gráfico que mostra uma subida do valor de amortecimento de acordo com uma modalidade da invenção. A linha reta 900 é um valor de amortecimento desejado, enquanto a curva 901 é um valor de amortecimento que está subindo com o tempo. A taxa de subida pode ser selecionada a fim de subir de um ponto de começo para o valor de amortecimento alvo por um período de tempo predeterminado.

Vantajosamente, a filtragem de medidor de fluxo de acordo com a invenção permite que o ruído seja filtrado de um sinal de medidor de fluxo, incluindo o ruído de interferência cruzada. A filtragem é realizada sem degradar os dados de medidor de fluxo no sinal de medidor de fluxo. Em adição, a filtragem acomoda transições de dados nos dados de medidor de fluxo.

Outra vantagem fornecida pela invenção é o tamanho. Filtros analógicos tipicamente exigem componentes fisicamente grandes. Uma implementação de filtro digital de acordo com algumas das modalidades descritas realiza filtragem ótima, mas com componentes fisicamente menores. Em algumas modalidades, o sistema de filtro de medidor de fluxo

pode ser implementado em um Circuito Integrado Específico de Aplicação (ASIC), por exemplo.

Outra vantagem de usar um filtro digital, como oposto a um filtro analógico, é que o filtro digital pode ser controlado dinamicamente durante a operação. A filtragem pode ser controlada dinamicamente de acordo com as condições de ruído e de acordo com condições/níveis de fluxo. Portanto, a quantidade de amortecimento pode ser mudada a fim de remover de modo ótimo o ruído sem influenciar no sinal de dados de medidor de fluxo. Isto é em contraste com um esquema de filtragem analógica, em que uma quantidade fixa de filtragem é realizada. Tal esquema de filtragem fixa somente funciona bem quando o sinal de dados e o sinal de ruído são previsíveis e bem conduzidos.

## REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200)

**CARACTERIZADO** por compreender:

um filtro de passagem de ruído (203) configurado para receber uma primeira versão de um sinal de medidor de fluxo e filtrar os dados de medidor de fluxo do sinal de medidor de fluxo para deixar um sinal de ruído;

um quantificador de ruído (204) configurado para receber o sinal de ruído do filtro de passagem de ruído (203) e medir as características de ruído do sinal de ruído;

um ajustador de amortecimento (205) configurado para receber as características de ruído do quantificador de ruído (204) e gerar um valor de amortecimento baseado nas características de ruído; e

um elemento de filtro (206) configurado para receber uma segunda versão do sinal de medidor de fluxo e receber o valor de amortecimento do ajustador de amortecimento (205), com o elemento de filtro (206) sendo ainda configurado para amortecer a segunda versão do sinal de medidor de fluxo baseado no valor de amortecimento a fim de produzir um sinal de medidor de fluxo filtrado, em que um elemento de filtro (206) gera um sinal de erro compreendendo uma diferença entre a segunda versão do sinal de medidor de fluxo e o sinal de medidor de fluxo filtrado e fornece um sinal de erro para o ajustador de amortecimento (205).

2. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, com o filtro de passagem de ruído (203) **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende um filtro de acoplamento de Corrente Alternada (AC).

3. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, com o filtro de passagem de ruído **CARACTERIZADO** pelo fato de que um filtro digital de Resposta de Impulso Infinito (IIR) de segunda ordem.

4. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as características de ruído incluem uma amplitude de ruído máximo e um desvio zero.

5. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o ajustador de amortecimento (205) é ainda configurado para receber um valor de fluxo máximo predeterminado.

6. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o ajustador de amortecimento (205) é ainda configurado para dividir o desvio zero por um valor de fluxo máximo predeterminado, a fim de determinar se o sinal de ruído é substancialmente centrado em torno de zero.

7. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o ajustador de amortecimento (205) é ainda configurado para introduzir as características de ruído em uma tabela de amortecimento a fim de gerar o valor de amortecimento.

8. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o ajustador de amortecimento (205) é ainda configurado para gerar o valor de amortecimento baseado nas características de ruído e em um coeficiente de retardo de amortecimento.

9. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, com o elemento de filtro (206) **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende um filtro de segunda ordem.

10. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, com o elemento de filtro (206) **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende um filtro digital de Resposta de Impulso Infinito (IIR).

11. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, com o elemento de filtro (206) **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende um filtro de Resposta de Impulso Infinito (IIR) de segunda ordem.

12. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sinal de ruído tem uma frequência na faixa de cerca de 0,025 Hz a cerca de 1,0 Hz.

13. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sinal de ruído compreende ruído cíclico.

14. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sinal de ruído compreende ruído de linha cruzada.

15. Sistema de filtro de medidor de fluxo (200), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sinal de medidor de fluxo compreende um sinal de medidor de fluxo de Coriolis.

16. Método de remover ruído de um sinal de medidor de fluxo compreendendo as etapas de:

receber o sinal de medidor de fluxo;

filtrar os dados de medidor de fluxo da primeira versão do sinal de medidor de fluxo para deixar um sinal de ruído;

medir características de ruído do sinal de ruído;

determinar se o sinal de medidor de fluxo é quiescente ou não quiescente das características de ruído;

determinar um dentre um valor de amortecimento grande e um valor de amortecimento pequeno das características do ruído;

o método **CARACTERIZADO** por:

aplicar um valor de amortecimento grande no sinal de medidor de fluxo a fim de produzir um sinal de medidor de fluxo filtrado se o sinal de medidor de fluxo é substancialmente quiescente; e

aplicar um valor de amortecimento pequeno no sinal de medidor de fluxo a fim de produzir o sinal de medidor de fluxo filtrado se o sinal de medidor de fluxo está experimentando uma transição;

determinar um valor de erro entre a segunda versão do sinal de medidor de fluxo e o sinal de medidor de fluxo filtrado; e

alimentar o valor de erro de volta para a etapa de determinar o valor do amortecimento, em que o valor de erro é incluído na determinação do valor de amortecimento.

17. Método, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que ainda compreende as etapas de:

normalizar o sinal de medidor de fluxo de um valor original para um valor normalizado antes do amortecimento;  
e

graduar o sinal de medidor de fluxo filtrado da etapa de amortecimento substancialmente de volta para a magnitude de sinal de medidor de fluxo original.

18. Método, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sinal de ruído tem uma frequência na faixa de 0,025 Hz a 1,0 Hz.

19. Método, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sinal de ruído compreende ruído cíclico.

20. Método, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sinal de ruído compreende ruído de linha cruzada.

21. Método, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sinal de medidor de fluxo compreende um sinal de medidor de fluxo de Coriolis.

22. Método, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda as etapas de:

dividir um desvio zero das características de ruído pelo valor de fluxo máximo para obter um valor de ruído;

comparar o valor de ruído a um limite quiescente predeterminado;

usar o valor de ruído para determinar um novo valor de amortecimento se o valor de ruído é menos que o limite quiescente predeterminado; e

usar um valor de amortecimento corrente se o valor de ruído não é menos que o limite quiescente predeterminado.

23. Método de remover ruído de um sinal de medidor de fluxo, compreendendo as etapas de:

receber o sinal de medidor de fluxo;

método **CARACTERIZADO** por:

filtrar um sinal de ruído substancialmente fora de uma primeira versão do sinal de medidor de fluxo;

medir o sinal de ruído para obter características de ruído;

determinar um valor de amortecimento das características de ruído, com o valor de amortecimento sendo selecionado para remover substancialmente o sinal de ruído do sinal de medidor de fluxo;

amortecer o ruído substancialmente fora de uma segunda versão do sinal de medidor de fluxo usando o valor de amortecimento a fim de produzir um sinal de medidor de fluxo filtrado;

determinar um valor de erro entre a segunda versão do sinal de medidor de fluxo e o sinal de medidor de fluxo filtrado; e

alimentar o valor de erro de volta para a etapa de determinação do valor de amortecimento, em que o valor de erro está incluído na determinação de valor de amortecimento.

24. Método, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que ainda compreende as etapas de:

normalizar o sinal de medidor de fluxo de um valor original para um valor normalizado antes do amortecimento; e

graduar o sinal de medidor de fluxo filtrado da etapa de amortecimento substancialmente de volta para a magnitude de sinal de medidor de fluxo original.

25. Método de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o amortecimento ainda compreende as etapas de:

aplicar um valor de amortecimento grande no sinal de medidor de fluxo se o sinal de medidor de fluxo é substancialmente quiescente; e

aplicar um valor de amortecimento pequeno no sinal de medidor de fluxo se o sinal de medidor de fluxo está experimentando uma transição.

26. Método, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que ainda compreende amostrar a primeira versão do sinal de medidor de fluxo antes da filtragem.

27. Método, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as características de ruído incluem uma amplitude de ruído e um desvio zero.

28. Método, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sinal de ruído tem uma frequência na faixa de 0,025 Hz a 1,0 Hz.

29. Método, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sinal de ruído compreende ruído cíclico.

30. Método, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sinal de ruído compreende ruído de linha cruzada.

31. Método, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sinal de medidor de fluxo compreende um sinal de medidor de fluxo de Coriolis.

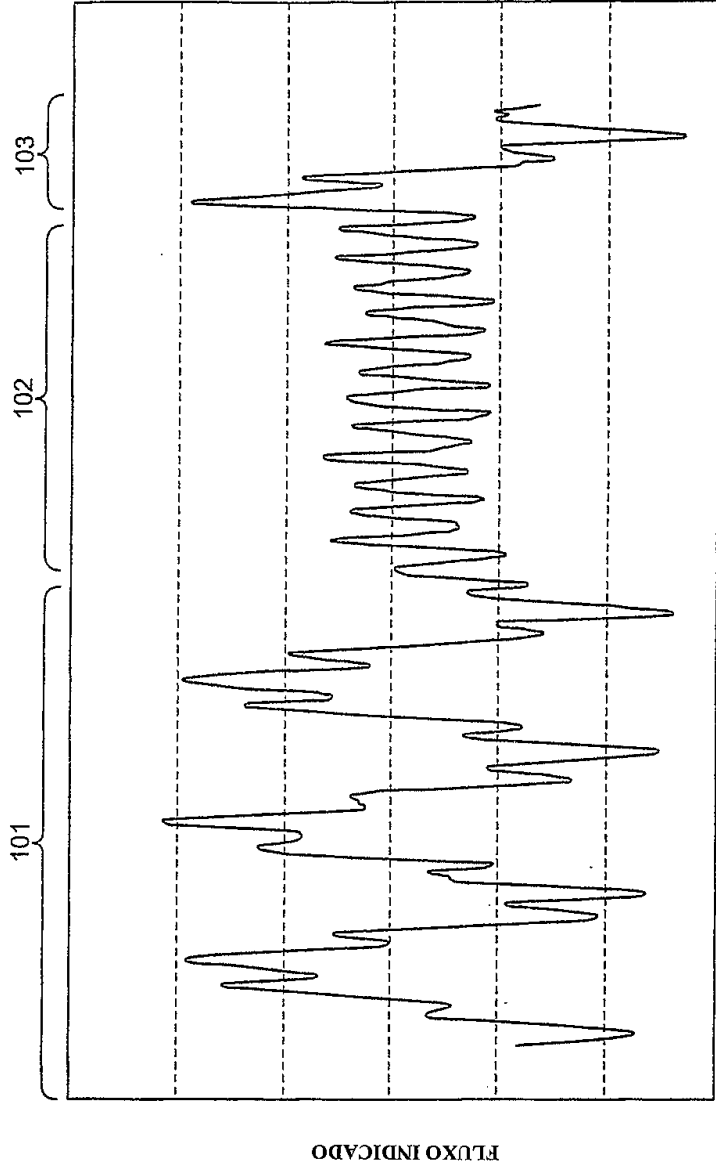
32. Método, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que ainda compreende as etapas de:

dividir um desvio zero das características de ruído pelo valor de fluxo máximo para obter um valor de ruído;

comparar o valor de ruído a um limite quiescente predeterminado;

usar o valor de ruído para determinar um novo valor de amortecimento se o valor de ruído é menos que o limite quiescente predeterminado; e

usar um valor de amortecimento corrente se o valor de ruído não é menos que o limite quiescente predeterminado.



TEMPO

FIG. 1

FLUXO INDICADO

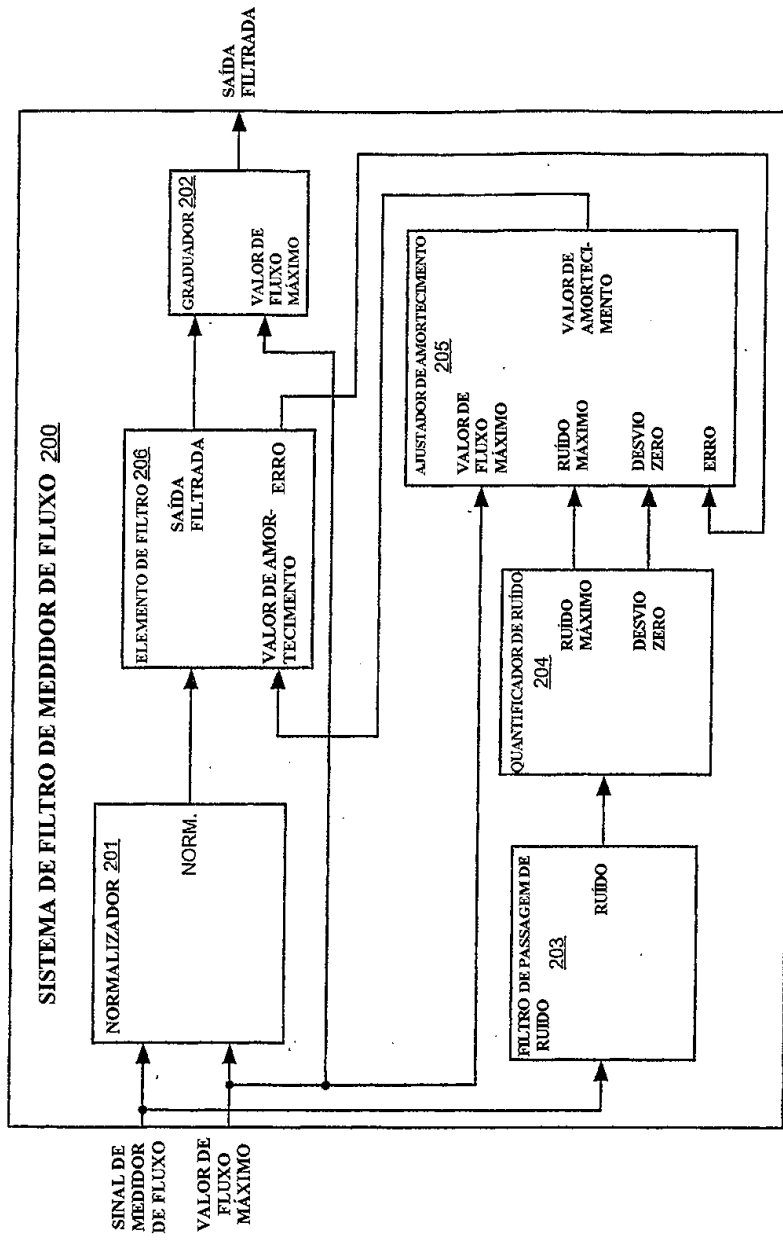


FIG. 2

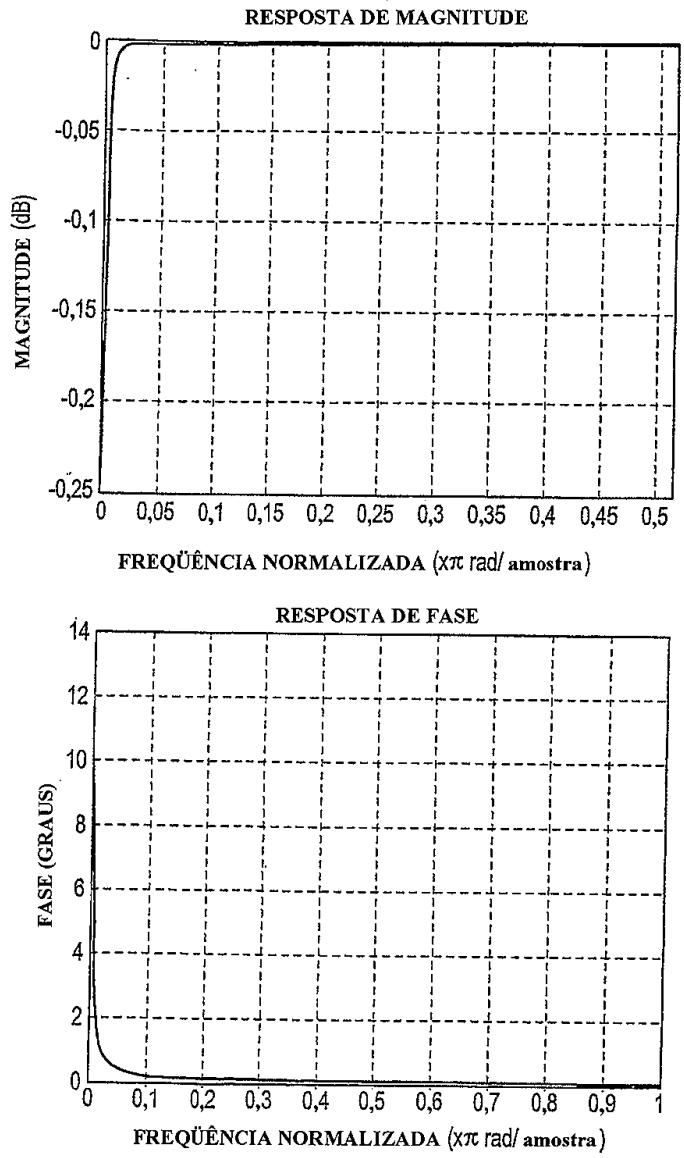


FIG. 3

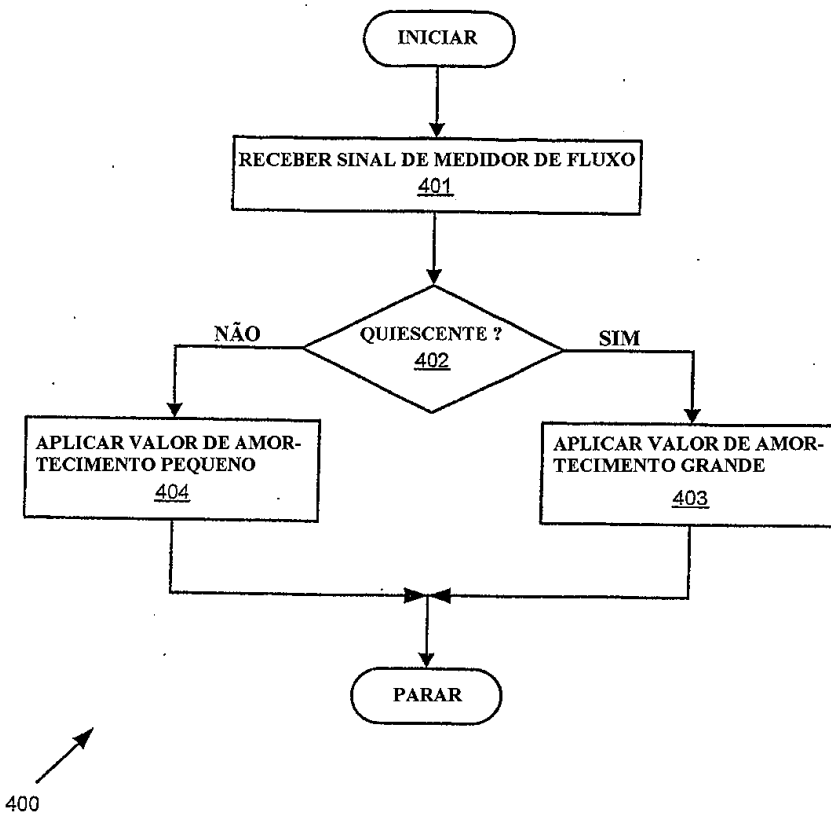


FIG. 4

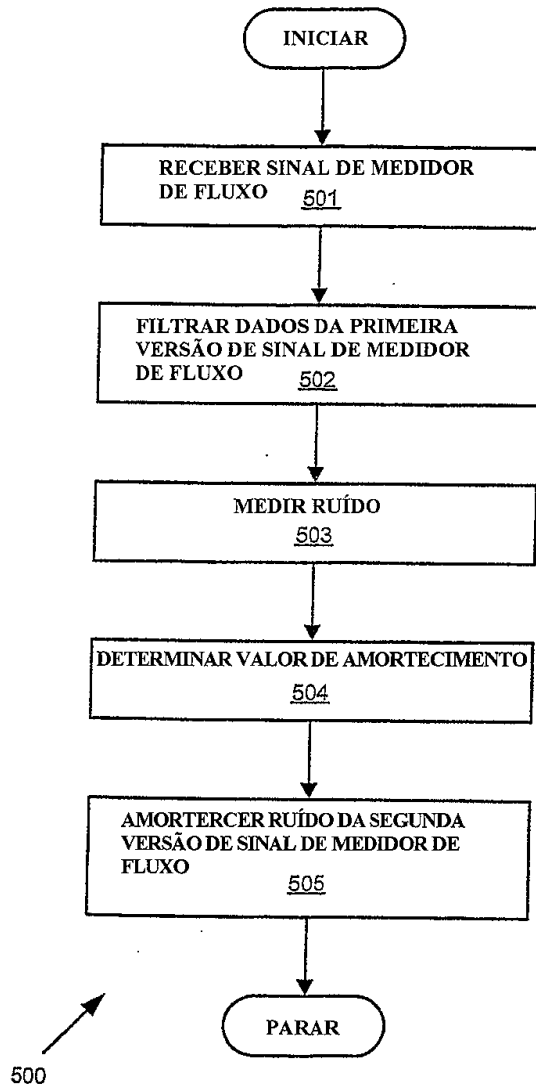


FIG. 5

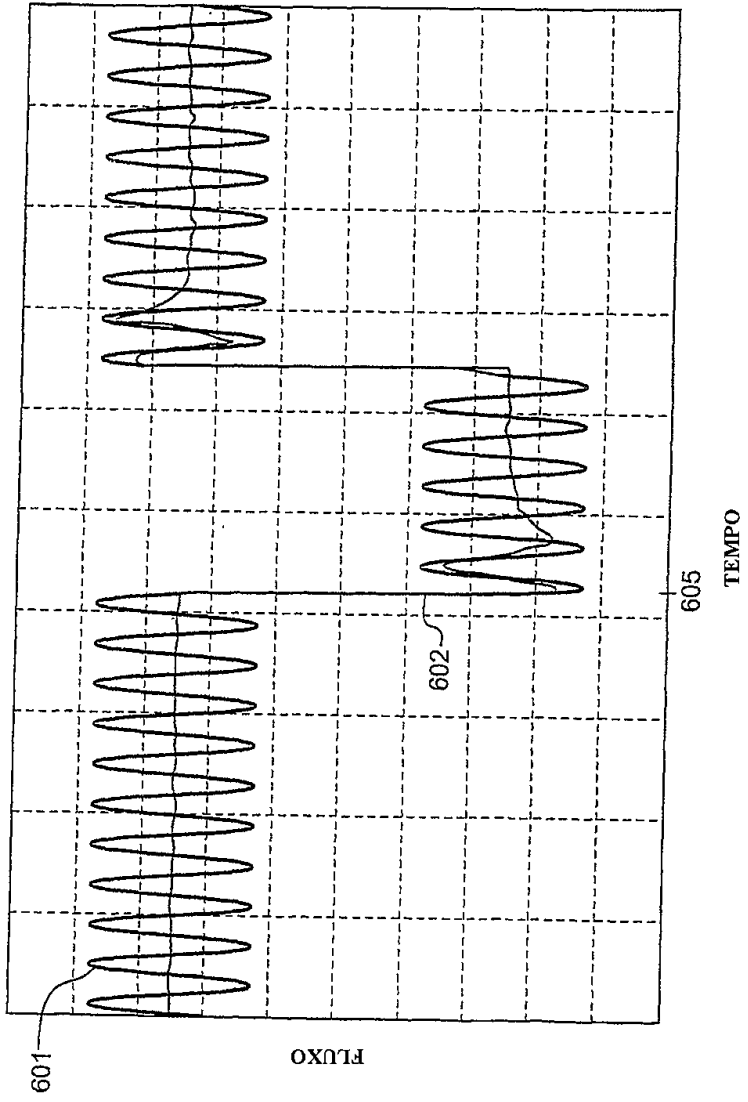


FIG. 6

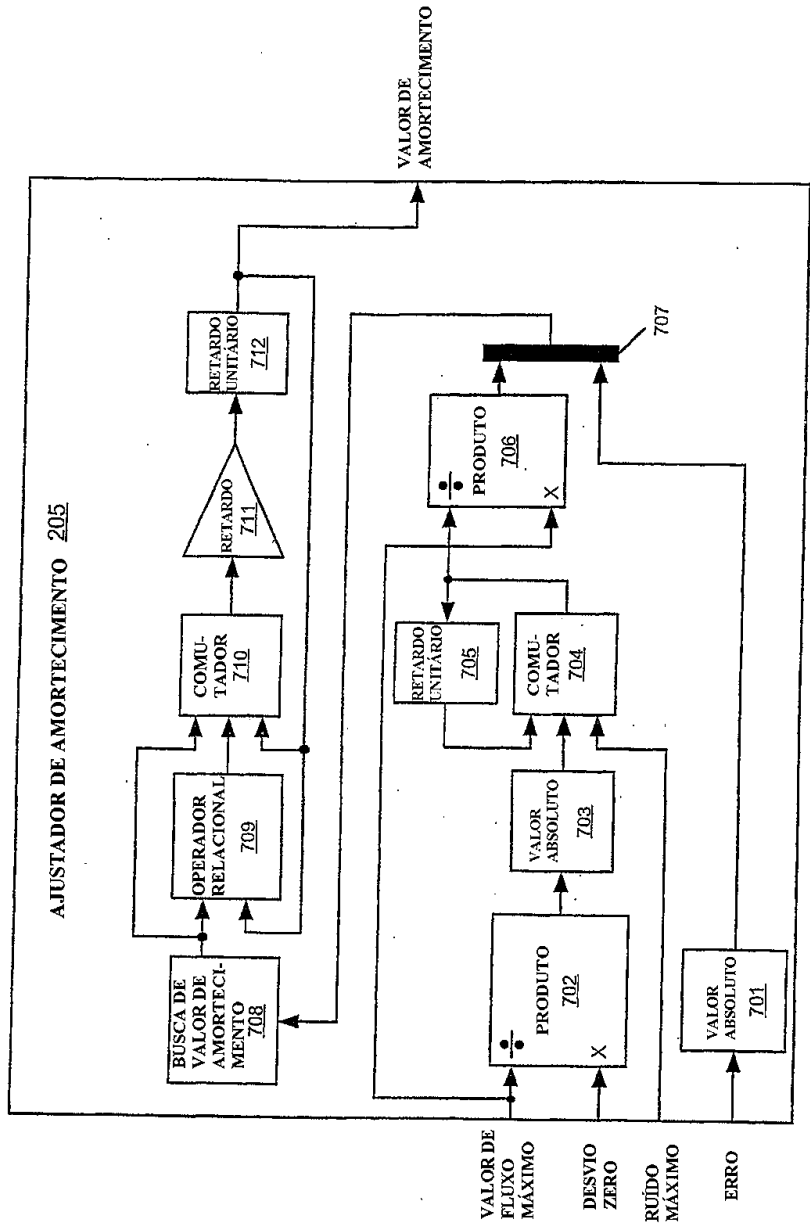
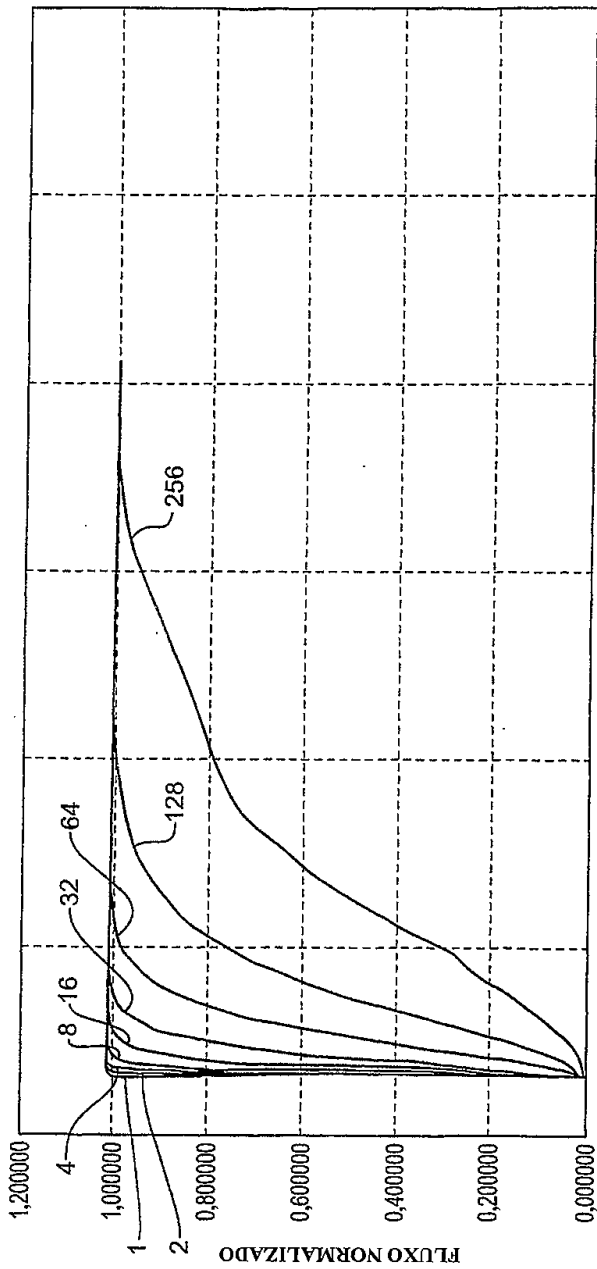
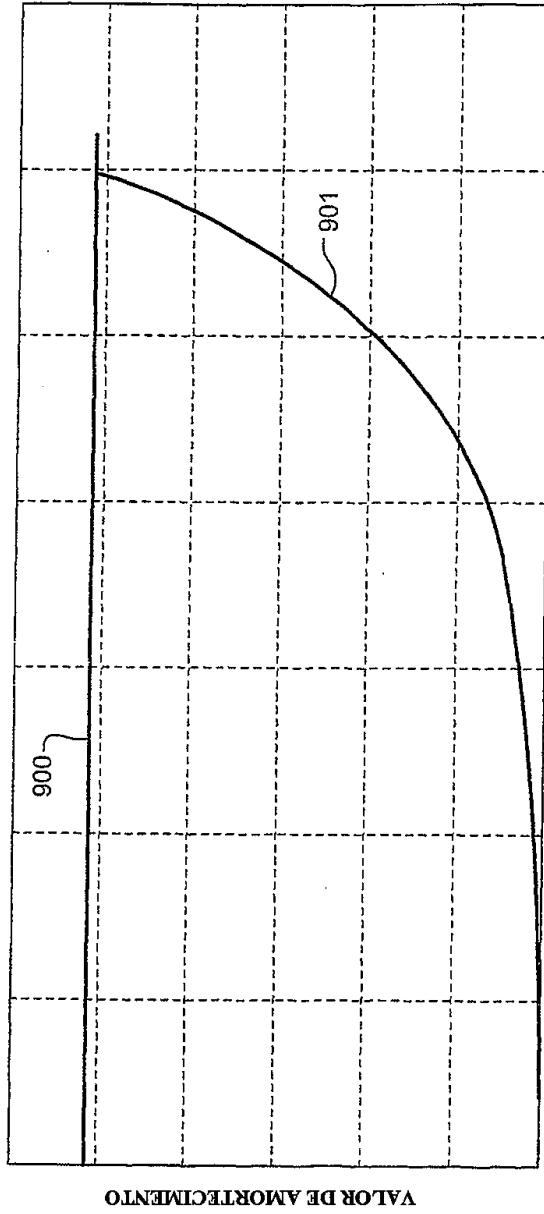


FIG. 7



TEMPO

FIG. 8



TEMPO (seg)

FIG. 9

VALOR DE AMORTECIMENTO