



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

(21) **PI0706269-9 A2**



* B R P I 0 7 0 6 2 6 9 A 2 *

(22) Data de Depósito: 10/01/2007
(43) Data da Publicação: 22/03/2011
(RPI 2098)

(51) *Int.Cl.:*
G01H 3/08

(54) Título: **MÉTODO E DISPOSITIVO PARA DETECTAR UM EFEITO MECÂNICO DO TIPO PULSO SOBRE UMA PARTE DO SISTEMA**

(30) Prioridade Unionista: 03/02/2006 DE 10 2006 004 947.0

(73) Titular(es): Aeva NP GMBH

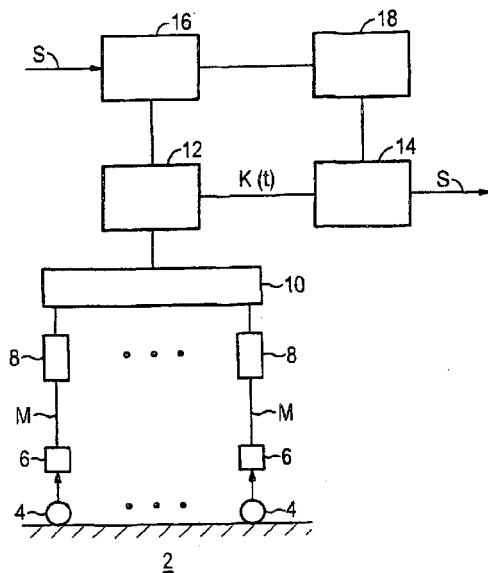
(72) Inventor(es): Bela Bechtold, Jan Zach, Peter Jax, Vojtech Ocelik

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT EP2007000135 de 10/01/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/090492 de 16/08/2007

(57) Resumo: MÉTODO E DISPOSITIVO PARA DETECTAR UM EFEITO MECÂNICO DO TIPO PULSO SOBRE UMA PARTE DO SISTEMA. A presente invenção refere-se a um método e dispositivo para detectar um efeito mecânico pulsado sobre um componente de fábrica (2), de acordo com o qual um ruído operacional no componente de fábrica (2) é continuamente registrado por intermédio de um sensor (4) que é disposto sobre o componente de fábrica (2) e convertido pelo acima em um sinal medido (M) que é submetido a uma transformação matemática. De acordo com a invenção, um dispositivo deslizante é calculado pelo determinar dos quantis a partir das transformações determinadas e da função de avaliação ($K(t)$) que exhibe a aplicação de um efeito mecânico pulsado sobre o componente de fábrica (2), é derivado do dispositivo deslizante.





Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO E DISPOSITIVO PARA DETECTAR UM EFEITO MECÂNICO DO TIPO PULSO SOBRE UMA PARTE DO SISTEMA**".

A presente invenção refere-se a um método e de um dispositivo
5 para detectar um efeito mecânico do tipo de pulso sobre parte de um sistema.

Há necessidade em uma multiplicidade de aplicações em monitorar continuamente a correta operação de parte de um sistema por exemplo de um duto ou de um recipiente na engenharia de métodos químicos ou de
10 uma máquina de circulação de fluidos, de maneira a detectar perturbações a tempo e evitar sérios danos resultantes. Uma multiplicidade de métodos para a dita monitoração é do conhecimento da técnica precedentemente existente.

A EP 0 765 466 B1 propõe, empreender a monitoração das vibrações das pás de turbina com a assistência de microondas que são dirigidas sobre as pás da turbina. Conclusões podem ser chegadas sobre o estado de vibração da turbina a partir da modulação das microondas refletidas pelas pás da turbina.
15

No método conhecido do documento DE 198 57 552 A1, a ruptura do eixo de uma turbina é detectada pela medição das frequências de rotação nas extremidades do eixo.
20

É proposto na DE 198 43 615 C2 realizar a diagnose do estado de um acionamento de combustão com o auxílio de uma análise do espectro de frequência dos sinais de medição que são captados com o auxílio de um captador de som disposto na região de tomada de ar ou região de gás de escape.
25

Na DE 197 27 114 C2, uma máquina é monitorada por detectar os sinais de som suportados pela estrutura incidindo sobre a mesma, em vez do ruído de ar. Neste método conhecido, igualmente, existe uma análise dos espectros de frequência respectivamente determinados dos sinais de medição detectados pela captador de som suportado pela estrutura.
30

No caso do método exposto no DE 195 45, igualmente, o espec-

tro de frequência do sinal de medição detectado por um sensor de monitoração, por exemplo um captador de aceleração, é analisado durante a operação da máquina e comparado com um espectro de frequência de referência.

Para poder determinar a intrusão de partes estranhas em uma turbina a gás, no US nº4 888 948 é previsto na entrada da turbina um sensor com o auxílio do qual uma carga elétrica induzida pela presença de corpos estranhos é detectada.

No método, exposto na DD 224 934 A1, para determinar uma alteração no estado de uma máquina dotada de partes rotativas, valores medidos de um sinal descrevendo o estado operacional são detectados continuamente e comparados com valores limiares adaptativos. Para determinar estes valores limiares, valores quantis da probabilidade de distribuição dos valores medidos são determinados de maneira recorrente e adaptável. Parâmetros para o estado da máquina são determinados a partir do número e nível das instâncias de ultrapassagem dos valores limiares.

Um problema específico é representado por partes soltas que são arrastadas pelo fluxo e colidem com a parte de sistema e que causam somente um efeito de curto prazo, do tipo pulso que é correspondentemente problemático para demonstrar confiabilidade.

Problemas deste tipo podem ocorrer por exemplo, no caso de turbinas a gás, as câmaras de combustão das quais são forradas com ladrilhos de cerâmica para proteção contra superaquecimento. Estes ladrilhos de cerâmica são submetidos a altas cargas dinâmicas por pressões de flutuação alternadas ocorrendo na câmara de combustão. Pode ocorrer neste caso que partes dos ladrilhos sobre os respectivos suportes se desprendam, sejam arrastadas pelo fluxo de gás de escape e colidam com a primeira carreira de lâmina-guia da turbina a gás. Isto pode levar a dano no revestimento das lâminas guias, e na destruição das lâminas móveis dispostas imediatamente para trás. Outrossim, há o risco de um ladrilho já danificado pelo desprendimento de partes se torne completamente destacado dos suportes e possivelmente causar dano correspondentemente maciço à turbina de gás. Neste caso, a ocorrência de pequenas partes soltas ou de um ladrilho indivi-

dual indica um desprendimento total iminente de um ladrilho ou de um número de ladrilhos, e assim o desligamento da turbina a gás a tempo e a troca dos ladrilhos danificados previne danos mais extensos.

É conhecido em princípio da WO 01/75272 A2 para o fim de monitorar os ditos impactos sobre uma parte de sistema fazer uso de sensores apropriados para detectar o impacto por intermédio de som suportado pela estrutura desse modo produzido. Todavia, particularmente no caso de turbinas a gás, apresenta-se o problema aqui de que o nível normal de ruído operacional é tão alto que mesmo o componente de sinal gerado pelo impacto de um ladrilho inteiro sobre a lâmina guia da turbina a gás é menor que o fundo gerado pelos ruídos operacionais normais, e assim, em particular, a ocorrência de partes relativamente pequenas não pode ser detectado simplesmente pelo monitorar as amplitudes dos sinais de som gerados pela estrutura. Por conseguinte, é proposto na presente publicação para o fim de aperfeiçoar a relação de sinal para ruído submeter o sinal de medição captado por um sensor de medição filtrar com filtro de passagem de banda ou filtro passa alto de maneira a desta maneira eliminar os sinais de som suportados pela estrutura produzidos na operação normal da turbina. Estas medidas não são, todavia, suficientes para identificar confiavelmente um evento do tipo de pulso no caso de altos ruídos de fundo que variam temporalmente.

É conhecido do WO 03/071243 A1 um método para detectar um efeito mecânico do tipo de pulso sobre uma parte de um sistema no caso do qual o sinal de som suportado pela estrutura detectado é submetido a uma conversão de Fourier de janela. Os algoritmos explanados aqui em maior detalhe são usados para derivar de uma multiplicidade de espectros Fourier determinados desta maneira uma função de avaliação K que indica a ocorrência de um efeito mecânico do tipo de pulso sobre a parte de sistema. O algoritmo, especificado nesta publicação, para derivar a função de avaliação K habilita a detecção exata de um componente de sinal que é superposto sobre o sinal de medição ruidoso e é para ser atribuído a um efeito do tipo de pulso.

A etapa essencial neste algoritmo de avaliação proposto é que para cada janela de tempo e cada uma das frequências prescritas o desvio da magnitude A da conversão Fourier de uma magnitude média \bar{A} é determinado. Neste caso, importância decisiva se afixa à formação da magnitude média \bar{A} , uma vez que podem haver variações aleatórias em estado em partes de sistema, particularmente no caso de uma turbina, em que parte do sistema se altera de um estado operacional para outro, e o ruído operacional o de fundo pode se elevar muito rapidamente a um nível significativamente mais alto. O início de um denominado zumbido ("hum") é uma mudança em estado deste tipo, no caso de uma turbina, por exemplo. Este é causado pela disposição das chamas em um espaço anular, que pode ter o resultado da inteira câmara de combustão ser excitada para vibrações simpáticas, as modalidades de vibração na direção circunferente tendo preferência, especialmente. Estes fenômenos de ressonância podem em parte descontinuar bruscamente e igualmente reiniciarem-se bruscamente. Se uma magnitude média deslizante que é formada por uma simples mediação como uma média aritmética de um número de magnitudes prévias é usada como uma base para o método exposto na WO 03/071243, com o conteúdo de WO 03/071243 sendo expressamente uma parte constituinte do presente pedido de patente, verificou-se que estas flutuações de ruído podem conduzir a ativações errôneas. De maneira a evitar instancias da dita ativação errônea, monitoração para efeitos mecânicos do tipo pulso foi por conseguinte suprimida na prática durante o zumbido da turbina, que é detectado pelo analisar a característica de sinal.

Em outras partes de sistema, igualmente, por exemplo em um vaso de pressão de reator de uma usina geradora nuclear, ruídos operacionais de curta duração operacionalmente induzidos são superpostos sobre os ruídos básicos contínuos são superpostos sobre os ruídos básicos contínuos (fluxo de fluido, ruído de bomba, conforme causado, por exemplo, por variações permissíveis nas condições operacionais e intervenções propositais na seqüência operacional (atuação de válvulas, deslocamento de barras de controle).

Constitui o objetivo da invenção especificar um método para detectar um efeito mecânico do tipo de pulso sobre uma parte de sistema que é adicionalmente aperfeiçoado pela comparação com o método exposto no WO 03/071243. O objetivo da invenção é também especificar um dispositivo para a realização do método.

Com relação ao método, o dito objetivo é alcançado de acordo com a invenção com o auxílio de um método dotado dos aspectos característicos da reivindicação 1 da patente. No caso do método para detectar um efeito mecânico do tipo de pulso sobre uma parte do sistema, um ruído operacional presente na parte de sistema é detectado continuamente por um sensor disposto sobre parte do sistema, e é convertido pelo sensor em um sinal de medição que é processado com o auxílio das seguintes etapas de método:

a) a magnitude ($\bar{A}(f_i, t_j)$), da conversão do sinal de medição (M) é determinada com o auxílio de parâmetros prescritos de regra de transformação matemática em etapas de tempo de janelas de tempo temporalmente sucessivas;

b) o desvio da magnitude ($A(f_i, t_j)$) de uma magnitude média ($\delta(f_i, t)$) é determinado para cada etapa de tempo (δt) e cada um dos parâmetros prescritos (f_i);

c) uma função de avaliação ($K(t)$) é derivada para cada (δt) a partir dos desvios determinados para cada um dos parâmetros prescritos (f_i)

d) a função de avaliação ($K(t)$) é comparada com um valor limiar (K_0), e a ultrapassagem do valor limiar (K_0) é usada como um índice para a presença de um componente de sinal do tipo pulso indicando o efeito mecânico;

e) a magnitude média ($\bar{A}(f_i, t_j)$) é determinada de uma maneira deslizante em função de tempo (t) a partir de um registro de dados ($\bar{A}(f_i, t)$) tendo M magnitudes ($A(f_i, t)$) com o auxílio da relação

$$\bar{A}(f_i, t) = (Q_\alpha f_{i,t} + Q_{1-\alpha}(f_{i,t}))/2$$

Q_α e $Q_{1-\alpha}$ sendo respectivamente o α e $(1-\alpha)$ quantis das magnitudes ($A(f_i, t_m)$) respectivamente determinadas em um segmento de tempo (T), e $t_m = t + m\delta t$ e

m sendo um número inteiro.

A invenção é baseada neste caso sobre a descoberta de que uma simples mediação numérica da magnitude A pode ter a consequência de que uma rápida transição para o estado tendo o nível de ruído mais alto é erroneamente interpretada como um sinal rajado, isto é, um sinal resultante de um efeito do tipo pulso sobre a parte de sistema. Um sinal deste tipo é ilustrado no diagrama de acordo com a figura 2. Neste diagrama, o sinal de medição M captado em uma turbina por um captador de som portado por uma estrutura é plotado contra o tempo t. É para ser visto que um zumbir que dura respectivamente cerca de 2 s é estabelecido abruptamente nos instantes $t = 4$ s e $t = 8$ s.

A função de avaliação K(t) derivada do sinal de medição M de acordo com a figura 2 na base do WO 03/071243 A1 é ilustrada, igualmente como uma função de tempo, em um diagrama na figura 3. Deve ser concluído desta figura que a função de avaliação k(t) se apresenta significativamente pelo menos durante o período de tempo do zumbido da turbina entre $t = 4$ s e $t = 6$ s. Este surgimento seria então erroneamente interpretado como um sinal *burst* para a ocorrência de uma grande parte do sistema. Neste caso, o cálculo da função de avaliação K(t) foi baseado sobre um método de cálculo interativo aperfeiçoado no qual a magnitude média \bar{A} e um desvio médio quadrático (variância) são determinados para cada frequência f_i de uma maneira deslizante com o auxílio das relações

$$\bar{A}(f_i, t + \delta t) = k \bar{A}(f_i, t) + (1-k)A(f_i, t + \delta t) \text{ e}$$

$$\text{Var}A(f_i, t + \delta t) = k \text{var}A(f_i, t) + (1-k)(A(f_i, t + \delta t) - (1-k)\bar{A}(f_i, t))^2, \delta t$$

sendo a etapa de tempo na qual a magnitude A é respectivamente determinada para uma janela de tempo Δt . para selecionar o parâmetro k, é agora determinado a que grau uma magnitude $A(f_i, t + \delta t)$ sendo novamente adicionada ao mesmo influencia a magnitude média novamente calculada $\bar{A}(f_i, t + \delta t)$. Esta abordagem corresponde a média exponencialmente ponderada, k determinando a taxa de adaptação. No caso de uma brusca mudança na magnitude $A(f_i, t)$ de um valor constante inicial para novo valor igualmente constante, haveria então uma adaptação aproximadamente exponencial da

nova magnitude média \bar{A} para a nova magnitude correntemente presente \bar{A} com uma constante de tempo $\tau = \delta t / (1-k)$. Para $k = 0,999$ e $\delta t \approx 3,2$ ms, existe uma constante de tempo τ de 3,2 s.

5 Conforme a ser concluído da figura 3, mesmo um algoritmo de avaliação aperfeiçoado desta maneira não é suscetível se adaptar idealmente a rápidas mudanças no ruído operacional, isto é, de determinar com suficiente precisão a respectiva magnitude média válida $\bar{A}(f_i, t)$, e o desvio-padrão $A(f_i, t)$ do mesmo, do ruído operacional no caso de rápidas alterações. Certamente, é possível em princípio adaptar a magnitude média $\bar{A}(f_i, t)$ 10 mais rapidamente a situação operacional alternada por reduzir a constante de tempo τ , isto é, dizer para reduzir o parâmetro K . Todavia, isto apresenta a desvantagem de que um sinal de rajada superposto não poder mais ser gravado com sensibilidade suficiente. Para poder distinguir sinais de rajada tais como são causados pela percussão de partes soltas destes ruídos de 15 fundo superpostos da máquina, é necessário determinar uma média sobre a qual nenhum sinal de rajada é superposto, ou para o qual um sinal de rajada possivelmente superposto de qualquer modo tem uma influência negligível sobre a magnitude média $\bar{A}(f_i, t)$ devido a uma constante de tempo muito grande.

20 O segundo objetivo mencionado é alcançado de acordo com a invenção com o auxílio de um dispositivo tendo as características da reivindicação 6 da patente, as vantagens do qual correspondem as vantagens especificadas em relação à reivindicação 1 da patente.

25 Refinamentos vantajosos do método e do dispositivo são especificadas nas respectivas reivindicações subordinadas.

Referência é feita ao desenho para a finalidade de explanação adicional da invenção de acordo com o desenho:

a figura 1 mostra uma modalidade típica de um dispositivo de acordo com invenção, em um diagrama esquemático;

30 a figura 2 mostra um diagrama em que o ruído operacional (sinal de medição M) de uma turbina que é detectado por um captador de medição é plotado contra o tempo t ;

a figura 3 mostra um diagrama no qual a função de avaliação K é derivada do sinal de medição M da figura 2 de acordo com um algoritmo de avaliação representado em WO 03/071243 plotado contra o tempo;

5 a figura 4 mostra um diagrama simplificado no qual o sinal de medição M é plotado contra o tempo t com resolução temporal mais elevada;

a figura 5 mostra um diagrama em que a magnitude A do espectro de frequência determinado a partir do sinal de medição M de transformação rápida de Fourier é plotada contra o tempo t para uma frequência prescrita f_i ;

10 a figura 6 mostra um diagrama em que a média de tempo deslizando \bar{A} das magnitudes A do espectro é igualmente plotada contra o tempo t para uma frequência prescrita f_i ;

a figura 7 mostra um diagrama no qual a função de avaliação K derivada do sinal de medição da figura 2 com o auxílio de um método de acordo com a invenção é graficamente representada contra o tempo t ;

a figura 8 mostra um diagrama no qual é graficamente representado contra o tempo t um sinal de medição M captado em uma turbina e sobre o qual é superposto em rafada causado por um impacto; e

20 a figura 9 mostra um diagrama em que a função de avaliação K determinada a partir deste sinal de medição é igualmente graficamente representada contra o tempo.

De acordo com a figura 1, é disposta sobre uma parte do sistema 2, por exemplo, uma turbina a gás, uma pluralidade de captadores ou sensores de medição 4, particularmente captadores de aceleração piezelétricos, que detectam continuamente em um número de canais de medição o ruído operacional presente na parte de sistema 2 e se propagando na forma de som portado pela estrutura. Os sensores 4 respectivamente convertem os sinais de som gerados pela estrutura em um sinal de medição elétrico que é amplificado em um pré-amplificador 6 e é retransmitido para um conversor analógico/digital 8 que é conectado com uma memória digital 10. O sinal de medição amplificado M respectivamente presente é assim digitalizado, armazenado temporariamente e retransmitido para processamento adicional

para uma unidade aritmética 12 na qual o algoritmo de avaliação de acordo com a invenção é implementado.

A unidade aritmética 12 inclui para cada canal de medição um processador para rápido cálculo de uma transformação dos dados retransmitidos pelo conversor analógico/digital, assim como uma memória anular para armazenar um número L das transformações determinadas pela transformação. Esta transformação pode ser, por exemplo, uma transformação Fourier de janela rápida FFT. Qualquer operação matemática com a qual é possível representar esta função matemática com o auxílio de um conjunto completo de funções base ortogonais deve ser entendido como uma transformação da dita função (o sinal de medição $M(t)$ no significado da presente invenção. Conforme é o caso com a transformação Fourier - estas funções-base ortogonais podem ser formadas pela função exponencial $e^{-i\omega t}$. Todavia, é também em princípio usar outras funções periódicas como sistema de base ortogonal. Estas transformações são usadas para calcular transformadas discretas com o auxílio de um conjunto predeterminado de parâmetros discretos. No caso de transformação Fourier, estas são frequências permanentemente prescritas $F_i = \omega_i/2\pi$ que são selecionadas de acordo com a respectiva parte de sistema, conforme e explanado em maior detalhe para uma turbina, por exemplo, no documento WO 03/071243.

Para cada canal de medição, um algoritmo implementado na unidade aritmética 12 e explanado em maior detalhe abaixo emprega as transformações discretas determinadas na unidade aritmética 12 para determinar uma função de avaliação $K(t)$ dependente do tempo t que é comparada em um dispositivo comparador 14 com um valor limiar prescrito K_0 . Uma ultrapassagem do valor limiar K_0 (limiar de alarme) serve como um índice para a presença de um componente de sinal do tipo pulso causado por um efeito mecânico transitório, e gera um correspondente sinal de disparo S . O sinal de gatilho S é alimentado a um gravador transiente 16 no qual os dados medidos (sinais de medição M_s) durante uma faixa de tempo de 10 s, por exemplo, são gravados e retransmitidos para um computador de avaliação 18 para que o último possa ser usado para realizar uma subsequente

análise.

A figura 2 mostra o sinal de medição M respectivamente detectado por um sensor 4 em uma turbina por um período de tempo de aproximadamente 10 s. É claramente para ser visto que a turbina principia a zumbir abruptamente nos instantes $t = 4$ s e $t = 6$ s.

A figura 4 utiliza um desenho esquemático para explicar a primeira etapa da modalidade de procedimento implementada na unidade aritmética 12 (figura 1). O sinal de medição M digitalizado com uma frequência de operação (tipicamente 80 a 100 kHz, intervalo de tempo associado DT aproximadamente de 0,01 – 0,0125 ms. (representado ampliado na figura) (e ilustrado de maneira analógica na figura por razões de clareza) é respectivamente armazenado por uma faixa de tempo TS (tipicamente 10 s), em uma, e atualizado de acordo com a frequência de operação. Em uma janela de tempo Δt dentro desta faixa de tempo TS , o sinal de medição digitalizado M é submetido a uma rápida transformação Fourier discreta. Subseqüentemente, a janela de tempo Δt é atualizada deslocada por uma etapa de tempo δt , e uma transformação Fourier é reexecutada em uma janela de tempo Δt da mesma duração. Na modalidade típica, $\Delta t = 25.6$ ms e $\delta t = 3,2$ ms. Desta maneira, magnitudes subordinadas a tempo $A(f_i, t)$ são determinadas para cada janela de tempo Δt e para um número finito de frequências discretas f_i .

Na figura 5, o perfil temporal da magnitude A para uma frequência prescrita f_i é ilustrado. Pode ser concluído desta figura que a magnitude A varia com o tempo para esta frequência prescrita f_i . O intervalo de tempo plotado na figura é a etapa de tempo δt na qual a rápida transformação de Fourier é atualizada. De acordo com a invenção, o valor associado da magnitude $A(f_i, t_j)$, onde $t_j = t_0 + j \delta t$, j sendo um número natural, é determinado para uma multiplicidade N de frequências prescritas f_i ou faixas de frequência e em etapas de tempo temporariamente sucessivas δt para temporalmente superpor janelas de tempo Δt .

Uma magnitude média $\bar{A}(f_i, t)$ é a seguir formada a partir dos valores da magnitude $A(f_i, t)$. Esta magnitude média $\bar{A}(f_i, t)$ é uma magnitude temporalmente deslizante que é determinada de uma maneira deslizante em

etapas de tempo δt em função do tempo t de um registro de dados $\underline{A}(f_i, t)$, montado a partir de M magnitudes $A(f_i, t_m)$ de um segmento de tempo T , com o auxílio da relação

$$\bar{A}(f_i, t_m) = (Q_\alpha(f_i, t) + Q_{1-\alpha}(f_i, t)) / 2$$

- 5 na qual Q_α e $Q_{1-\alpha}$ são os α e $(1-\alpha)$ quantis das magnitudes $A(f_i, t_m)$ relativamente determinados em um segmento de tempo T , onde $t_m = t + m\delta t$ e m é um número inteiro. Para este fim, as magnitudes $A(f_i, t_m)$ associadas com este segmento de tempo T , dispostas a título de exemplo simetricamente em relação ao instante t (mantendo-se neste caso que $-\frac{M-1}{2} \leq m \leq \frac{M-1}{2}$ e M é
- 10 impar), respectivamente formando o registro de dados $\bar{A}(f_i, t)$ atribuído ao instante t são classificados em uma seqüência pelo valor da magnitude. O α e $(1-\alpha)$ quantil é então aquele valor da magnitude que está localizado na posição α ou $(1-\alpha)$ quantil é então aquele valor da magnitude que está localizado na posição αM ou $(1-\alpha)M$ da seqüência. Na prática, valores estão
- 15 estabelecidos entre $0,7 \leq \alpha \leq 0,8$, de preferência $\alpha = 0,75$ para α . Uma magnitude média $\bar{A}(f_i, t)$ obtida com o auxílio deste método de cálculo é ilustrada na figura 6.

- Os quantis α e $(1-\alpha)$, Q_α e $Q_{1-\alpha}$ respectivamente, são agora usados para calcular um desvio médio $s(f_i, t)$ das magnitudes $\bar{A}(f_i, t)$ pelo utilizar a relação
- 20

$$s(f_i, t) = \sqrt{\frac{Q_\alpha(f_i, t) - Q_{1-\alpha}(f_i, t)}{2q_{1-\alpha}}}$$

$q_{1-\alpha}$ sendo o $(1-\alpha)$ quantil da distribuição Gaussiana normalizada ou distribuição normal.

- Este método de cálculo (método quantil) pode por conseguinte ser usado para calcular a média e desvio de um registro de dados sem levar em conta os valores que estão localizados fora das faixas definidas por α e $(1-\alpha)$. Isto significa que magnitudes substancialmente mais altas tais como podem ocorrer de uma maneira adicionalmente amplificada a partir de um sinal *burst* superposto não são levadas em conta, e assim também não podem corromper o resultado. Este método pode ser usado em conjunção com
- 30 a mesma qualidade do resultado de cálculo para selecionar um segmento de

tempo substancialmente mais curto, por exemplo um registro de dados $\underline{A}(f_i, t)$ compreendendo os valores $M = 100$ da magnitude $A(f_i, t_j)$ e tendo uma extensão de $T = 320$ ms para o segmento de tempo para uma etapa de tempo $\delta t = 3,2$ ms. Conseqüentemente, a magnitude média $\bar{A}(f_i, t)$ é adaptada para rápidas alterações no fundamento operacional de forma que estas são incapazes de levar à corrupção dos espectros normalizados ou se apresentarem como displays na monitoração. É possível no caso de uma modalidade de procedimento deste tipo para a colisão de partes soltas ser detectada mesmo durante o zumbir de uma turbina a gás, isto é, quando vibrações simpáticas na câmara de combustão são origem a ruídos de fundo substancialmente mais altos muito bruscamente, por exemplo, com uma constante de tempo de aproximadamente 0,5 s em associação com um aumento de amplitude por um fator de 5 e maior. A magnitude média calculada existente $\bar{A}(f_i, t)$ e o desvio médio $s(f_i, t)$ podem agora ser usados em uma etapa de computação adicional para determinar na base do método quantil uma magnitude média aperfeiçoada $\bar{A}_{opt}(f_i, t)$ pelo eliminar do registro de dados respectivamente presente $\underline{A}(f_i, t)$ aquelas magnitudes $A(f_i, t_m)$ que são significativamente maiores que a magnitude média previamente calculada $\bar{A}(f_i, t)$. Na prática, comprovou-se ser vantajoso neste caso ao calcular a média eliminar aquelas magnitudes $A(f_i, t_m)$ que são maiores que $\bar{A}(f_i, t) + 3s(f_i, t)$. Com o registro de dados completo $\underline{A}(f_i, t)$ um cálculo renovado de média é então realizado com o auxílio de um quantil δ ou $(1 - \delta)$. Caso em que

$$\delta = \alpha (M - M_E) / M$$

se aplica e M_E é o número das magnitudes $A(f_i, t_m)$ que são maiores que $\bar{A}(f_i, t) + 3s(f_i, t)$. Como uma alternativa a isto, é também possível e matematicamente idêntico determinar quantil o α e $(1 - \alpha)$ mais uma vez com o auxílio de um registro de dados reduzido por estas magnitudes $A(f_i, t_m)$. Com o auxílio destes quantis δ e $(1 - \delta)$, ou dos quantis α e $(1 - \alpha)$ obtidos com o registro de dados reduzido, uma média aperfeiçoada $\bar{A}_{opt}(f_i, t)$ ou um desvio de média aperfeiçoado $S_{opc}(f_i, t)$ é a seguir calculado de acordo com a fórmula acima mencionada.

Com o auxílio das magnitudes médias $\bar{A}(f_i, t)$ ou $\bar{A}_{opt}(f_i, t)$ e do

desvio médio $s(f_i, t)$ ou $S_{opt}(f_i, t)$, um desvio normalizado $D(f_i, t)$ da magnitude A da magnitude média \bar{A} é a seguir calculado pra cada freqüência de acordo com a seguinte equação:

$$D(f_i, t_m) = (A(f_i, t_m) - \bar{A}(f_i, t)) / s(f_i, t) \text{ ou}$$

$$5 \quad D(f_i, t_m) = (A(f_i, t_m) - \bar{A}_{opt}(f_i, t)) / S_{opt}(f_i, t).$$

As magnitudes $A(f_i, t_m)$ de M espectros são avaliadas de maneira a determinar a magnitude média $\bar{A}(f_i, t)$ válida no instante t e o desvio médio $s(f_i, t)$ válido neste instante t . Em outras palavras, ambas a magnitude média $\bar{A}(f_i, t)$ ou $\bar{A}_{opt}(f_i, t)$ e o desvio médio $s(f_i, t)$ ou $S_{opt}(f_i, t)$ são constantemente atualizados com o auxílio de transformações M . Esta atualização é realizada em etapas de tempo δt . O registro de dados $\underline{A}(t + \delta t)$ formando a base do cálculo da nova magnitude média $\bar{A}(f_i, t + \delta t)$ ou $\bar{A}_{opt}(f_i, t + \delta t)$ e do novo desvio médio $s(f_i, t + \delta t)$ ou $S_{opt}(f_i, t + \delta t)$ é formado neste caso por deletar a primeira (a mais velha) magnitude e adicionar a magnitude mais recente. No caso de um segmento de tempo T simetricamente disposto em relação ao instante t , estas são as magnitudes

$$A(f_i, t - \frac{M-1}{2} \delta t) \text{ e } A(f_i, t + \frac{M-1}{2} \delta t).$$

Em um refinamento vantajoso, o desvio normalizado $D(t, f_i)$ é adicionalmente mediado em uma faixa de freqüência $f_{i-1}, f_i - L + 1 \dots f_{i+L}$, circun- dando a freqüência f_i e consistindo de $2L+1$ freqüências, e um desvio médio normalizado $\bar{D}(t, f_i)$ é determinado pela equação

$$\bar{D}(f_i, t) = \frac{1}{1 + 2L} \sum_{k=-L}^{k=+L} D(f_{i+k}, t).$$

Esta etapa de computação adicional conduz a uma redução no nível e amplitude de flutuação de desvio normalizado nas faixas em que somente sinais de ruído de fundo estão presentes. Os componentes de sinal úteis não são marcadamente variados pela mediação na faixa de freqüência, uma vez que eles ocorrem de uma maneira concentrada em torno de linhas de freqüência vizinhas. Esta medida resulta uma vez mais em um aperfeiçoamento na relação de sinal/fundo por 10 a 15 dB adicionais. Um aperfeiçoamento adicional na relação de sinal/fundo é realizado quando um valor limiar D_0 é adicionalmente introduzido, e um desvio normalizado $\bar{D}_s(f_i, t)$ é deter-

minado com o auxílio da relação $D_s = D_0$ para

$$< D_0 \text{ e } \bar{D}_s = \bar{D} \text{ para } \bar{D} \geq D_0.$$

Os desvios normalizados $D(f_i, t)$, $\bar{D}(f_i, t)$ ou $\bar{D}_s(f_i, t)$ determinados desta maneira são elevados ao quadrado e somados através de todas as

5 frequências discretas f_i :

$$S(t) = \sum_{i=1}^N D(f_i, t)^2 / N \quad (\text{a})$$

$$S(t) = \sum_{i=1}^N \bar{D}(f_i, t)^2 / N \quad (\text{b})$$

ou

$$S(t) = \sum_{i=1}^N \bar{D}_s(f_i, t)^2 / N \quad (\text{c}).$$

10 Uma função de avaliação $K(t)$ é a seguir derivada desta soma $S(t)$ pelo extrair a raiz:

$$K(t) = \sqrt{S(t)} \quad (1).$$

A última serve como um indicador para a ocorrência de um impacto. Como uma alternativa a isto, é também possível para a função de a-
15 valiação ser formada a diferença entre a raiz da soma $S(t)$ e um meio de tempo deslizando da presente raiz

$$\tilde{K}(t) = K(t) - \bar{K}(t) \quad (2),$$

e para a mesma servir como característica para a ocorrência de um impacto.

Se $K(t)$ ou $\tilde{K}(t)$ ultrapassar um valor limiar K_0 (limiar de alarme), que está
20 entre 1,5 e 2 para turbinas a gás, isto constitui uma indicação para o impacto de uma parte solta.

A função de avaliação $K(t)$ obtida desta maneira e com o auxílio do desvio normalizado médio \bar{D}_s do sinal de medição M da figura 2 é ilustrado na figura 7. Pode agora ser claramente visto que o zumbir da turbina
25 não influencia a função de avaliação $K(t)$.

Não obstante, permanece possível com o auxílio do método inventivo detectar confiavelmente a percussão ou colisão de uma parte de sistema solta. A figura 8 mostra um sinal de medição real $M(t)$ obtido sobre uma turbina e sobre o qual é superposto em um instante $t = 3,9$ s um burst que é
30 causado por um impacto e não pode ser identificado diretamente no sinal de

medição M.

A figura 9 ilustra com uma escala de tempo ampliada a função de avaliação K derivada do sinal de medição da figura 8. É para ser visto da figura que o evento (estouro) se verificando é tornado perceptível por um claro aumento na função de avaliação K.

Listagem de Referência

	2	Parte de sistema
	4	Sensor
	6	Pré-amplificador
10	8	Multiplexador.
	10	Conversor analógico/digital
	12	Unidade aritmética
	14	Dispositivo comparador
	16	Gravador Transiente
15	18	Computador de Avaliação
	M	Sinal de Medição
	K	Função de Avaliação
	t	Tempo
	Δt	Janela de tempo
20	Δt	Etapa de tempo
	A	Magnitude
	f_i	Frequência
	\bar{A}	Magnitude média
	<u>A</u>	Registro de Dados
25	TS	Faixa de Tempo
	DT	Intervalo de Tempo
	T	Segmento de tempo

REIVINDICAÇÕES

1. Método para detectar um efeito mecânico do tipo pulso sobre uma parte de sistema (2), no caso do qual um ruído operacional presente na parte de sistema (2) é detectado continuamente por um sensor (4) disposto sobre a parte de sistema (2), e é convertido pelo dito sensor em um sinal de medição (M), caracterizado pelas seguintes etapas do método:

5 a) a magnitude $(A(f_i, t_j))$ da transformação do sinal de medição (M) é determinada com o auxílio de parâmetros prescritos (f_i) de uma regra de transformação matemática em janelas de tempo (Δt) que são temporalmente sucessivas em etapas de tempo (δt) ;

10 b) o desvio da magnitude $(A(f_i, t_j))$ de uma magnitude média $(\bar{A}(f_i, t))$ é determinado para cada etapa de tempo (δt) e cada um dos parâmetros prescritos (f_i) ;

15 c) uma função de avaliação $(K(t))$ é derivada para cada etapa de tempo (δt) a partir dos desvios determinados para cada um dos parâmetros prescritos (f_i) ;

20 d) a função de avaliação $(K(t))$ é comparada com um valor limiar (K_0) , e a ultrapassagem do valor limiar (K_0) é usada como um índice para a presença de um componente de sinal do tipo pulso indicando o efeito mecânico, caracterizado pelo fato de que

e) a magnitude média $(\bar{A}(f_i, t_j))$ é determinada em uma função deslizante como uma função de tempo t de um registro de dados $(\underline{A}(f_i, t))$ tendo M magnitudes $A(f_i, t_m)$ com o auxílio da relação

25
$$\bar{A}(f_i, t) = (Q_\alpha(f_i, t) + Q_{1-\alpha}(f_i, t))/2$$

Q_α e $Q_{1-\alpha}$ sendo respectivamente os α e $(1 - \alpha)$ quantis das magnitudes $A(f_i, t_m)$ respectivamente determinados em um segmento de tempo (T) , e $t_m = t + m\delta t$ e m sendo um número inteiro.

30 2. Método de acordo com a reivindicação 1, em que o segmento de tempo (T) é disposto simetricamente em relação ao instante t .

3. Método de acordo com a reivindicação 1 ou 2, em que uma magnitude média aperfeiçoada $(\bar{A}_{opt}(f_i, t))$ é calculada a partir da magnitude

média ($\bar{A}(f_i, t)$), pelo fato de determinar os quantis destas magnitudes ($A(f_i, t)$) que ultrapassam a magnitude média (\bar{A}) por um valor de diferença prescrito são eliminadas do registro de dados.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, 2 ou 3, em que, para cada um dos parâmetros prescritos (f_i) um desvio médio ($s(f_i, t)$) das magnitudes ($A(f_i, t)$) da magnitude média ($\bar{A}(f_i, t)$) é determinado para uma pluralidade de janelas de tempo sucessivas (Δt) com o auxílio da relação

$$s(f_i, t) = \sqrt{\frac{Q_\alpha(f_i, t) - Q_{1-\alpha}(f_i, t)}{2q_{1-\alpha}}}$$

$q_{1-\alpha}$ sendo o $(1 - \alpha)$ quantil da distribuição normal normalizada, e o desvio normalizado das magnitudes da magnitude média ($\bar{A}(f_i, t)$) sendo determinado com o auxílio do mesmo e sendo usado para calcular a função de avaliação ($K(t)$).

5. Método de acordo com a reivindicação 4, em conjunção com a reivindicação 3, em que o valor de diferença prescrito é um múltiplo triplicado do desvio médio (s).

6. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 4 e 5, em que, para cada janela de tempo (Δt), a soma dos quadrados de cada desvio normalizado é formada sobre cada um dos parâmetros prescritos dos quais a função de avaliação (K) é derivada.

7. Método de acordo com uma das reivindicações precedentes, em que regra de transformação matemática é uma transformação de Fourier janelada, e os parâmetros são frequências (f_i) do espectro de frequência do sinal de medição (M).

8. Dispositivo para detectar um efeito mecânico do tipo pulso sobre uma parte de sistema (2), tendo pelo menos um sensor (4) disposto sobre a parte de sistema (2) para continuamente detectar e medir um ruído operacional presente sobre a parte de sistema (2), e tendo um conversor A/D (10) conectado a jusante do sensor (4), para digitalizar os sinais de medição (M) detectados pelo sensor (4) e para retransmitir os sinais de medição digitalizados para uma unidade aritmética (12) para realizar as seguintes etapas computacionais:

a) a magnitude $(A(f_i, t_j))$ da transformação do sinal de medição (M) é determinada com o auxílio de parâmetros prescritos (f_i) de uma regra de transformação matemática em janelas de tempo (Δt) que são temporalmente sucessivas em etapas de tempo (δt) ;

5 b) o desvio da magnitude $(A(f_i, t_j))$ de uma magnitude média $(\bar{A}(f_i, t))$ é determinado para cada etapa de tempo (δt) , e para cada um dos parâmetros prescritos (f_i) ;

 c) uma função de avaliação $(K(t))$ é derivada para cada etapa de tempo (δt) a partir dos desvios determinados para cada um dos parâmetros prescritos (f_i) ;

10

 d) a função de avaliação $(K(t))$ é comparada com um valor limiar (K_0) , e a ultrapassagem do valor limiar (K_0) é usada como um índice para a presença de um componente de sinal do tipo pulso indicando o efeito mecânico;

15 caracterizado pelo fato de que

 e) a magnitude média $(\bar{A}(f_i, t))$ é determinada de uma maneira deslizante em função de tempo t de um registro de dados $(\underline{A}(t))$ tendo M magnitudes $A(t_m)$ com o auxílio da relação

$$\bar{A}(f_i, t) = (Q_\alpha(f_i, t) + Q_{1-\alpha}(f_i, t))/2$$

20 Q_α e $Q_{1-\alpha}$ sendo respectivamente os α e $(1-\alpha)$ quantis das magnitudes $A(f_i, t_n)$ respectivamente determinados em um segmento de tempo (T) , com $t_n = t + m\delta t$ e m sendo um número inteiro.

 9. Dispositivo de acordo com a reivindicação 8, em que o segmento de tempo (T) é disposto simetricamente em relação ao instante (t) .

25 10. Dispositivo de acordo com a reivindicação 8 ou 9, tendo um algoritmo, implementado na unidade aritmética (12), para calcular uma magnitude média aperfeiçoada $(\bar{A}_{opt}(f_i, t))$ a partir da magnitude média $\bar{A}(f_i, t)$, pelo fato de determinar os quantis daquelas magnitudes $(A(f_i, t_m))$ que ultrapassam a magnitude média $(\bar{A}(f_i, t))$ por um valor de diferença prescrito são

30 eliminados do registro de dados $(\underline{A}(t))$.

 11. Dispositivo de acordo com uma das reivindicações de 8 a 10, em que, na unidade aritmética (12), para cada um dos parâmetros prescritos

(f_i) o desvio médio ($s(f_i, t)$) das magnitudes ($A(f_i, t_j)$) da magnitude média ($\bar{A}(f_i, t)$) é determinado por uma pluralidade de janelas de tempo seqüenciais (Δt) com o auxílio da relação

$$s(f_i, t) = \sqrt{\frac{Q_\alpha(f_i, t) - Q_{1-\alpha}(f_i, t)}{2q_{1-\alpha}}}$$

5 $q_{1-\alpha}$ sendo o $(1-\alpha)$ quantil da distribuição normal normalizada, e o desvio normalizado das magnitudes da magnitude média ($\bar{A}(f_i, t)$), sendo determinado com o auxílio do mesmo e sendo usado para calcular a função de avaliação ($K(t)$).

10 12. Dispositivo de acordo com a reivindicação 11, em conjunção com a reivindicação 10, em que o valor de diferença prescrito é um múltiplo tríplice do desvio médio (s).

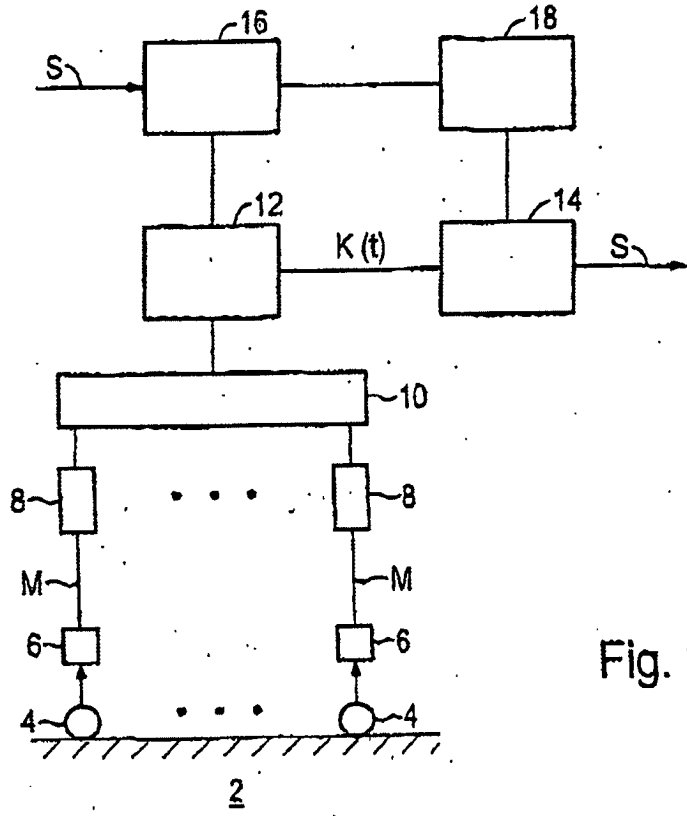


Fig. 1

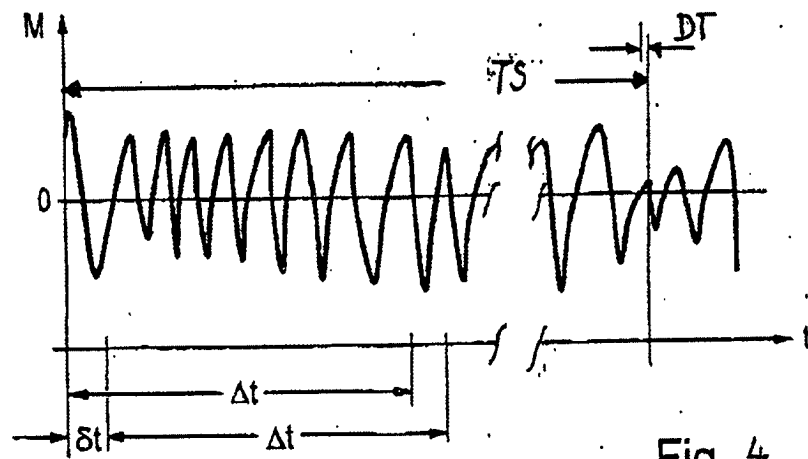


Fig. 4

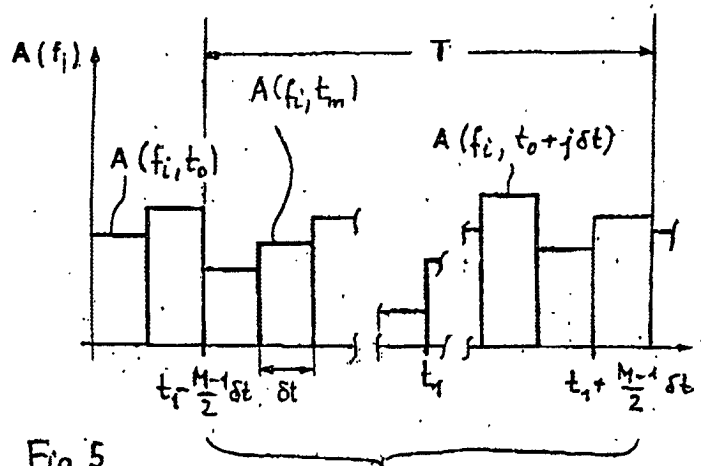


Fig. 5

$$t = t_1 : \underline{A}(f_i, t_1) = (A(f_i, t_1 - \frac{M-1}{2} \delta t), A(f_i, t_1 - \frac{M-3}{2} \delta t), \dots, A(f_i, t_1 + \frac{M-1}{2} \delta t))$$

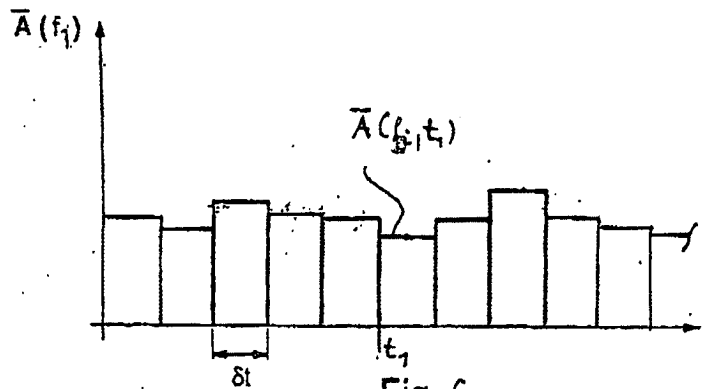


Fig. 6

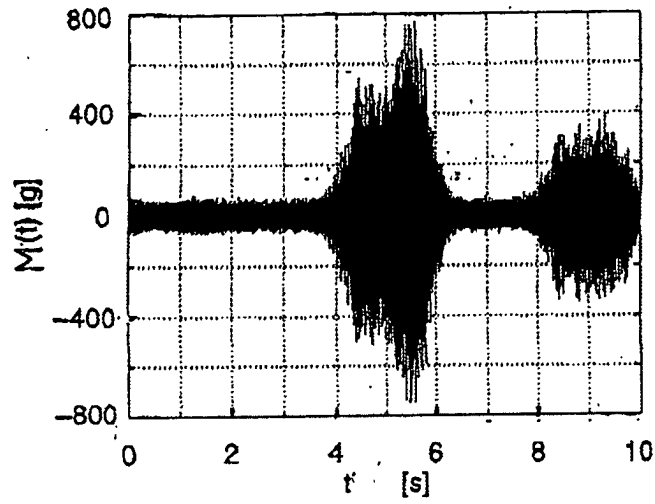


Fig. 2

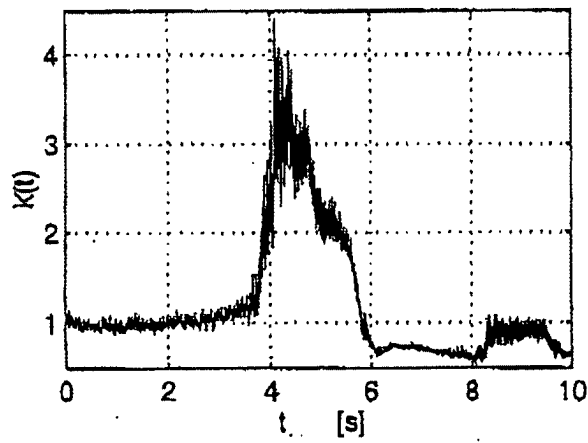


Fig. 3

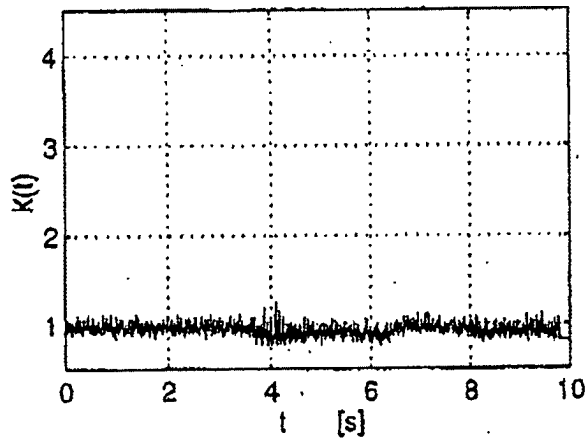


Fig. 7

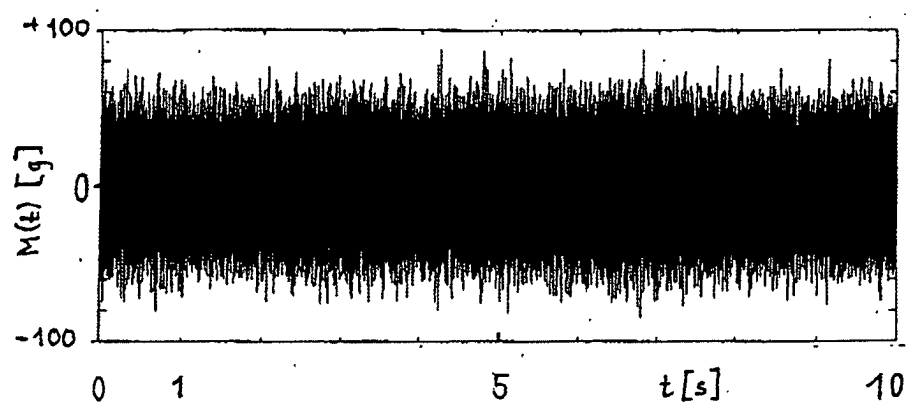


Fig. 8

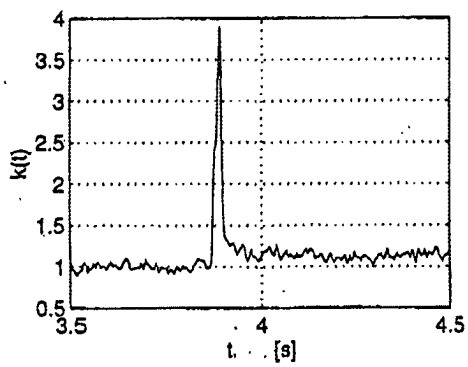


Fig. 9

RESUMO

Patente de Invenção: "MÉTODO E DISPOSITIVO PARA DETECTAR UM EFEITO MECÂNICO DO TIPO PULSO SOBRE UMA PARTE DO SISTEMA".

5 A presente invenção refere-se a um método e dispositivo para detectar um efeito mecânico pulsado sobre um componente de fábrica (2), de acordo com o qual um ruído operacional no componente de fábrica (2) é continuamente registrado por intermédio de um sensor (4) que é disposto sobre o componente de fábrica (2) e convertido pelo acima em um sinal me-
10 dido (M) que é submetido a uma transformação matemática. De acordo com a invenção, um dispositivo deslizante é calculado pelo determinar dos quan-
15 tis a partir das transformações determinadas e da função de avaliação (K(t)) que exhibe a aplicação de um efeito mecânico pulsado sobre o componente de fábrica (2), é derivado do dispositivo deslizante.