

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 383 148**

51 Int. Cl.:

G01H 1/00 (2006.01)

G01M 13/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07702640 .9**

96 Fecha de presentación: **10.01.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **1979724**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.10.2008**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la detección de un efecto mecánico a modo de impulso sobre una parte de una instalación**

30 Prioridad:
03.02.2006 DE 102006004947

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
18.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
18.06.2012

73 Titular/es:
**AREVA NP GMBH
PAUL-GOSSEN-STRASSE 100
91052 ERLANGEN, DE**

72 Inventor/es:
**BECHTOLD, Bela;
JAX, Peter;
OCELIK, Vojtech y
ZACH, Jan**

74 Agente/Representante:
Isern Jara, Jorge

ES 2 383 148 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para la detección de un efecto mecánico a modo de impulso sobre una parte de una instalación

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para la detección de un efecto mecánico a modo de impulso sobre una parte de una instalación.

10 En múltiples casos de aplicación resulta necesario vigilar constantemente el correcto funcionamiento de una parte de una instalación, por ejemplo, una tubería o un recipiente para la ingeniería de procesos químicos o de una turbomáquina, a efectos de reconocer fallos a tiempo y poder evitar graves daños resultantes de ello. Para una vigilancia de este tipo se conocen múltiples procedimientos, según el estado de la técnica.

15 En el documento EP 0 765 466 B1 se ha propuesto, por ejemplo, vigilar las vibraciones de álabes de turbina con la ayuda de microondas que están dirigidas hacia los álabes de turbina. A partir de la modulación de las microondas reflejadas en los álabes se puede deducir el estado vibracional de la turbina.

20 En el procedimiento conocido por el documento DE 198 57 552 A1 se detecta la rotura del eje de una turbina mediante la medición de las frecuencias de giro en los extremos del eje.

En el documento DE-198 43 615 C2 se propone realizar el diagnóstico del estado de un accionamiento de combustión con la ayuda de un análisis del espectro de frecuencias de las señales de medición que se han recogido con la ayuda de un sensor de sonido dispuesto en la zona de entrada de aire o de escape de gases.

25 Según el documento DE 197 27 114 C2, para vigilar una máquina se recogen, en lugar del sonido aéreo, las señales de sonido estructural que se producen en la misma. También en este procedimiento conocido se analizan los espectros de frecuencia detectados en cada caso a partir de las señales de medición recogidas por el sensor de sonido estructural.

30 Según el procedimiento que se ha dado a conocer por el documento DE 195 45 008 C2 también se analiza durante el funcionamiento de la máquina el espectro de frecuencias de una señal de medición recogida por un sensor de vigilancia, por ejemplo un acelerómetro, y se compara con un espectro de frecuencias de referencia.

35 Para poder detectar la penetración de elementos extraños en una turbina de gas, según el documento US 4.888.948 se ha colocado un sensor en la entrada de la turbina con el que se detecta una carga eléctrica inducida por los cuerpos extraños.

40 En el procedimiento conocido por el documento DE 224 934 A1 para la detección de un cambio de estado de una máquina con elementos rotatorios se recogen constantemente valores de medición de una señal que describe el estado de funcionamiento y se comparan con valores de umbral adaptativos. Para determinar estos valores de umbral se recogen de forma recursiva y adaptativa los valores cuantiles de la distribución de probabilidad de los valores de medición. A partir del número de veces que se ha sobrepasado el valor umbral y de su importancia se pueden detectar los parámetros para el estado de la máquina.

45 Constituyen un problema particular las piezas sueltas que son arrastradas por la corriente e impactan sobre la parte de la instalación, y que causan un breve efecto a modo de impulso cuya detección fiable resulta correspondientemente problemática.

50 Estos problemas pueden presentarse por ejemplo en turbinas de gas cuya cámara de combustión está revestida con baldosas de cerámica para protegerla contra sobrecalentamiento. Estas baldosas de cerámica son sometidas a una alta carga dinámica por las fluctuaciones de cambios de presión que se producen en la cámara de combustión. Puede ocurrir que partes de las baldosas se rompan en los soportes respectivos, desprendiéndose trocitos que son arrastrados por el flujo del gas de escape e impactan sobre la primera hilera de álabes de guía de la turbina de gas. Esto puede provocar daños en el recubrimiento de los álabes de guía y destruir los álabes dispuestos detrás.

55 Además existe el peligro de que una baldosa ya dañada por el desconchado se suelte completamente de los soportes, provocando el correspondiente daño masivo en la turbina de gas. En este caso, el impacto de pequeños trocitos sueltos o de una baldosa individual indicará el inminente desprendimiento total de una o varias baldosas, de manera que desconectar a tiempo la turbina de gas y cambiar a tiempo las baldosas dañadas evitará un daño mayor.

60 Para vigilar estos impactos sobre una parte de la instalación se conoce por el documento WO 01/75272 A2, en principio, la detección del impacto por el sonido estructural generado por el mismo con la ayuda de sensores adecuados. Especialmente en turbinas de gas se presenta, sin embargo, el problema de que el ruido de funcionamiento normal es tan alto que incluso la porción de señal generada en el sensor por el impacto de una baldosa entera sobre el álabe de guía de la turbina de gas es inferior al ruido de fondo generado por el ruido de funcionamiento normal, de manera que especialmente el impacto de piezas más pequeñas no puede ser detectado

65

solamente por la vigilancia de las amplitudes de las señales de sonido estructural. Para mejorar la relación señal ruido se propone, por lo tanto, en el presente documento someter la señal de medición recogida por un sensor de valores de medición a un filtrado por bandas o a un filtrado de paso alto para eliminar de este modo las señales de ruido estructural que se generan durante el funcionamiento normal de la turbina. Estas medidas no son suficientes, sin embargo, para identificar de forma fiable un suceso a modo de impulso con ruidos de fondo elevados o variables en el tiempo.

Por el documento WO 03/071243 A1 se conoce un procedimiento para la detección de un efecto mecánico a modo de impulso sobre una parte de una instalación en el que la señal de sonido estructural detectada es sometida a una transformación de Fourier ventaneada. A partir de múltiples espectros de Fourier detectados de esta manera se deduce, con los algoritmos explicados allí con más detalle, una función de evaluación K que indica la aparición de un efecto mecánico a modo de impulso sobre la parte de la instalación. El algoritmo indicado en este documento para la deducción de la función de evaluación K hace posible el reconocimiento preciso de una porción de señal que se debe a un efecto a modo de impulso y está superpuesta a la señal de medición ruidosa.

El paso esencial en este algoritmo de evaluación propuesto consiste en que se determina para cada ventana de tiempo y para cada una de las frecuencias predeterminadas la desviación de la magnitud A de las transformadas de Fourier con respecto a un valor medio de magnitud \bar{A} . Para ello, la formación del valor medio de magnitud \bar{A} tiene una importancia vital ya que en partes de instalación, especialmente en una turbina, pueden producirse cambios de estado aleatorios en los que la parte de instalación cambia de un estado de servicio a otro y el ruido de funcionamiento o el ruido de fondo puede subir muy rápidamente a un nivel notablemente más alto. Un cambio de estado de este tipo puede ser en una turbina, por ejemplo, el inicio de lo que se denomina un zumbido. Éste es provocado por la disposición de las llamas en un espacio anular que puede conducir a que la cámara de combustión entera es incitada a vibrar en resonancia, siendo muy preferentes los modos de vibración en el sentido circunferencial. Estos fenómenos de resonancia pueden cesar en parte de forma brusca y volver a producirse asimismo de forma brusca. Cuando el procedimiento que se ha dado a conocer por el documento WO 03/071243, siendo el contenido de dicho documento WO 03/071243 explícitamente parte integrante de la presente solicitud de patente, está basado en un valor medio de magnitud flexible que está formado por una simple formación de valor medio en forma de una media aritmética a partir de un número de magnitudes precedentes, se ha mostrado que estas oscilaciones de ruido pueden provocar disparos falsos. Para evitar estos disparos falsos en la práctica se ha suprimido, por este motivo, la vigilancia de efectos mecánicos a modo de impulso durante el zumbido de la turbina que se reconoce por medio de un análisis de la característica de la señal.

También en otras partes de instalación, por ejemplo en una vasija del reactor a presión de una central nuclear, a los constantes ruidos de fondo se sobreponen breves ruidos de funcionamiento debido al mismo funcionamiento, tales como los que son provocados, por ejemplo, por modificaciones admisibles de las condiciones de servicio e intervenciones intencionadas en el desarrollo del funcionamiento (accionamiento de válvulas, desplazamiento de las barras de control).

La invención tiene, por lo tanto, el objetivo de dar a conocer un procedimiento para la detección de un efecto mecánico a modo de impulso sobre una parte de instalación que presenta más mejoras con respecto al procedimiento conocido por el documento WO 03/071243. Además, la invención tiene el objetivo de dar a conocer un dispositivo para llevar a cabo el procedimiento.

En cuanto al procedimiento, el objetivo indicado queda resuelto de acuerdo con la invención mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1. En el procedimiento para la detección de un efecto mecánico a modo de impulso sobre una parte de instalación, un ruido de funcionamiento existente en dicha parte de instalación es registrado de forma continua mediante un sensor dispuesto en la parte de instalación y transformado por el mismo en una señal de medición que es sometida a las siguientes etapas del procedimiento:

- a) En ventanas de tiempo que se suceden en el tiempo en pasos de tiempo se detecta la magnitud $(A(f_i, t_j))$ de la transformada de la señal de medición (M) con parámetros predeterminados de una norma de transformación matemática;
- b) Para cada paso de tiempo (δt) y para cada uno de los parámetros predeterminados (f_i) se determina la desviación de la magnitud $(A(f_i, t_j))$ con respecto al valor medio de magnitud $(\bar{A}(f_i, t))$;
- c) A partir de las desviaciones determinadas para cada uno de los parámetros predeterminados (f_i) se deduce una función de evaluación (K(t)) para cada paso de tiempo (δt);
- d) La función de evaluación (K(t)) es comparada con un valor umbral (K_0) y el sobrepasar el valor umbral (K_0) sirve de indicio para la presencia de una porción de señal a modo de impulso que indica un efecto mecánico;
- e) Se determina el valor medio de magnitud $(\bar{A}(f_i, t_j))$ como una función de tiempo (t) de forma flexible a partir de un juego de datos $(\underline{A}(f_i, t))$ con M magnitudes $(A(f_i, t_m))$ con la ayuda de la relación

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

donde Q_α y $Q_{1-\alpha}$ es el cuantil α o $(1-\alpha)$ de las magnitudes $(A(f_i, t_m))$ determinadas en un periodo de tiempo (T) , respectivamente, y donde $t_m = t+m\delta t$, y m es un número entero.

La invención se basa en el conocimiento de que una simple formación numérica del valor medio de magnitud A puede conducir a que un paso rápido de un estado de funcionamiento a un estado con un nivel de ruido más alto sea interpretado erróneamente como una señal de burst o estallido, es decir como una señal generada debido a un efecto a modo de impulso sobre la parte de la instalación. Una señal de este tipo se muestra en el diagrama de la figura 2. En este diagrama, la señal de medición M recogida en una turbina mediante el sensor de sonido estructural está representada gráficamente en función del tiempo t . En la figura se reconoce que en los momentos $t = 4s$ y $t = 8s$ inicia de forma brusca un zumbido que dura aproximadamente 2 s, respectivamente.

En la figura 3 se muestra en un diagrama la función de evaluación $K(t)$ deducida a partir de la señal de medición M , según la figura 2, basándose en el documento WO 03/071243 asimismo como una función de tiempo. De esta figura se desprende que la función de evaluación $K(t)$ aumenta de forma significativa, como mínimo mientras dure el zumbido de la turbina entre $t = 4s$ y $t = 6s$. Este aumento sería luego malinterpretado como una señal de burst para el impacto de una pieza grande de la instalación. A pesar de que el cálculo de la función de evaluación $K(t)$ se haya basado en un método de cálculo iterativo mejorado, según el cual el valor medio de magnitud \bar{A} y una desviación cuadrada media (varianza) son determinados de forma flexible para cada frecuencia f_i con la ayuda de las relaciones

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

y $\text{var}A(f_i, t+\delta t) = k\text{var}A(f_i, t) + (1-k)(A(f_i, t+\delta t) - \bar{A}(f_i, t))^2$, donde δt es el paso de tiempo en el que se determina para cada ventana de tiempo Δt la magnitud A . Mediante la selección del parámetro k se determinará ahora en qué medida una recién añadida magnitud $A(f_i, t+\delta t)$ influye en el valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t+\delta t)$ recién calculado. Este planteamiento corresponde a una formación de valor medio ponderada de forma exponencial, donde k determina la velocidad de adaptación. En el caso de un cambio repentino de la magnitud $A(f_i, t)$ de un valor de partida constante a un nuevo valor asimismo constante, resultaría entonces una adaptación casi exponencial del nuevo valor medio de magnitud \bar{A} a la nueva magnitud A presente actualmente con una constante de tiempo $\tau = \delta t/(1-k)$. Para $k = 0,999$ y $\delta t \approx 3,2$ ms se obtiene una constante de tiempo τ de 3,2 s. Tal como se desprende de la figura 3, ni siquiera un algoritmo de evaluación mejorado de esta manera es capaz de adaptarse de forma óptima a cambios rápidos del ruido de funcionamiento, es decir de determinar con suficiente exactitud el valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t)$ válido en cada caso y su desviación estándar $A(f_i, t)$ del ruido de funcionamiento cuando se producen cambios rápidos. Ciertamente es posible, en principio, adaptar el valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t)$ de forma más rápida a la situación operativa cambiada mediante la reducción de la constante de tiempo τ , es decir mediante la reducción del parámetro k . Sin embargo, esto tiene el inconveniente de que una señal de burst superpuesta ya no puede ser registrada con suficiente sensibilidad. Para poder diferenciar las señales de burst como las que son causadas por el impacto de piezas sueltas de estos ruidos de fondo sobrepuestos de la máquina, se requiere la determinación de un valor medio al que no se sobrepone ninguna señal de burst o en el que una señal de burst, en su caso, sobrepuesta tiene eventualmente una influencia despreciable sobre el valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t)$ debido a una constante de tiempo muy grande.

El segundo objetivo indicado se resuelve, de acuerdo con la invención, mediante un dispositivo con las características de la reivindicación 6, cuyas ventajas corresponden a las ventajas indicadas en la reivindicación 1.

Las realizaciones ventajosas del procedimiento y del dispositivo están indicadas en las respectivas reivindicaciones dependientes.

Para una explicación más detallada de la invención se hace referencia a los dibujos. Éstos muestran:

La figura 1 un ejemplo de realización para un dispositivo, según la invención, en un diagrama esquemático;

La figura 2 un diagrama en el que se representa gráficamente el ruido de funcionamiento (señal de medición M) de una turbina recogido por un sensor de valores de medición en función del tiempo t ;

La figura 3 un diagrama en el que la función de evaluación K deducida a partir de la señal de medición M de la figura 2, según un algoritmo de evaluación mostrado en el documento WO 03/071243, es representada gráficamente en función del tiempo;

La figura 4 un diagrama simplificado en el que la señal de medición M está representada gráficamente en función del tiempo t con una alta resolución temporal;

La figura 5 un diagrama en el que la magnitud A del espectro de Fourier detectado a partir de la señal de medición M mediante una transformación rápida de Fourier está representada gráficamente en función del tiempo t con una frecuencia predeterminada f_i ;

La figura 6 un diagrama en el que el valor medio temporal flexible \bar{A} de las magnitudes A del espectro está representado asimismo gráficamente en función del tiempo t con una frecuencia predeterminada f_i ;

5 La figura 7 un diagrama en el que la función de evaluación K deducida a partir de la señal de medición de la figura 2 con un procedimiento, según la invención, está representada gráficamente en función del tiempo t ;

La figura 8 un diagrama en el que la señal de medición M recogida en una turbina está representada gráficamente en función del tiempo t , a la que está sobrepuesto un burst provocado por un impacto;

10 La figura 9 un diagrama en el que la función de evaluación K detectada a partir de esta señal de medición asimismo está representada gráficamente en función del tiempo.

15 Según la figura 1, en una parte de instalación 2, en especial en una turbina de gas, están dispuestos múltiples receptores de valores de medición o sensores 4, especialmente acelerómetros piezoeléctricos que registran continuamente en varios canales de medición el ruido de funcionamiento presente en la parte de instalación 2 y que se extiende en forma de sonido estructural. Los sensores 4 convierten cada señal de sonido estructural en una señal de medición eléctrica, respectivamente, que es amplificada en un preamplificador 6 y transmitida a un convertidor analógico digital 8 que está conectado a una memoria digital 10. De esta manera, la señal de medición M amplificada que está pendiente en cada momento es digitalizada, almacenada transitoriamente y enviada para su posterior procesamiento a un dispositivo de cálculo 12, en el que está implementado el algoritmo de evaluación de la invención.

25 El dispositivo de cálculo 12 contiene para cada canal de medición un procesador para calcular rápidamente una transformada de los datos transmitidos por el convertidor analógico/digital 8, así como una memoria circular para almacenar un número L de transformadas obtenidas mediante la transformación. Esta transformación es, según el ejemplo, una transformación de Fourier rápida y ventaneada (FFT). Con transformación de una función matemática (la señal de medición $M(t)$) se debe entender a efectos de la presente invención cualquier operación matemática con la que es posible representar esta función con un juego completo de funciones básicas ortogonales. Estas funciones básicas ortogonales pueden estar formadas – tal como es el caso de la transformación de Fourier – por la función exponencial $e^{-i\omega t}$. En principio, se pueden utilizar sin embargo también otras funciones periódicas como sistema básico ortogonal. Con estas transformaciones se calculan transformadas discretas con un juego predeterminado de parámetros discretos. En la transformación de Fourier esto son frecuencias fijamente predefinidas $f_i = \omega_i / 2\pi$, que son elegidas en función de la correspondiente parte de la instalación tal como se describe con más detalle, por ejemplo, para una turbina en el documento WO 03/071243.

40 A partir de las transformadas discretas obtenidas mediante el dispositivo de cálculo 12 se calcula para cada canal de medición, de acuerdo con un algoritmo implementado en el dispositivo de cálculo 12 y explicado más detalladamente a continuación, la función de evaluación $K(t)$ que depende del tiempo t , y que se compara en un dispositivo de comparación 14 con un valor umbral predeterminado K_0 . El sobrepasar el valor umbral K_0 (umbral de alarma) sirve de indicio para la presencia de una porción de señal a modo de impulso provocada por un efecto mecánico transitorio y genera la correspondiente señal de disparo S . La señal de disparo S es conducida a un grabador de transientes 16, en el que se registran los datos de medición (señales de medición M_s) para una franja de tiempo de, por ejemplo, 10 s y se transmiten a una calculadora de evaluación 18 a efectos de poder realizar con la misma un análisis posterior.

50 En la figura 2 se muestra la señal de medición M recogida en una turbina por uno de los sensores 4 durante un espacio de tiempo de 10 s. Se reconoce claramente que la turbina empieza a zumbear bruscamente en los momentos $t = 4$ s y $t = 6$ s.

55 En la figura 4 se explica, por medio de un diagrama esquemático, el primer paso del modo de proceder implementado en la unidad de cálculo 12 (figura 1). La señal de medición M (mostrada en la figura por motivos de claridad de forma análoga al DT) digitalizada con una elevada frecuencia de reloj (típicamente 80-100 kHz, distancia de tiempo DT asociada aproximadamente 0,01 – 0,0125 ms, (representada en la figura de forma aumentada) es almacenada como unidad para cada franja de tiempo TS (típicamente unos 10 s) y actualizada según la frecuencia de reloj. En una ventana de tiempo Δt dentro de esta franja de tiempo TS se somete la señal de medición M digitalizada a una transformación de Fourier rápida y discreta. A continuación, se actualiza la ventana de tiempo Δt desplazada en un paso de tiempo δt y se lleva a cabo nuevamente una transformación de Fourier en una ventana de tiempo Δt solapada de la misma longitud. En el ejemplo de realización $\Delta t = 25,6$ ms y $\delta t = 3,2$ ms. De este modo se calcula para cada ventana de tiempo Δt y para un número finito de frecuencias discretas f_i magnitudes $A(f_i, t)$ que dependen del tiempo.

60 En la figura 5 se muestra el desarrollo en el tiempo de la magnitud A con una frecuencia predeterminada f_i . De esta figura se desprende que la magnitud A varía en el tiempo con esta frecuencia predeterminada f_i . El intervalo de tiempo representado en la figura es el paso de tiempo δt en el que se actualiza la transformación rápida de Fourier. Según la invención, se determina ahora para una multitud N de frecuencias predeterminadas f_i o franjas de

frecuencias y en pasos de tiempo δt que se suceden en el tiempo el correspondiente valor de magnitud $A(f_i, t_j)$ para las ventanas de tiempo Δt que se solapan en el tiempo, con $t_j = t_0 + j\delta t$, donde j es un número natural.

5 A partir de los valores de magnitud $A(f_i, t)$ se constituye un valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t)$. Este valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t)$ es un valor flexible en el tiempo que se determina de forma flexible en pasos de tiempo δt como función del tiempo t a partir de un juego de datos $\underline{A}(f_i, t)$ compuesto de M magnitudes $A(f_i, t_m)$ de un período de tiempo T con la ayuda de la relación

$$10 \quad \bar{A}(f_i, t) = (Q_\alpha(f_i, t) + Q_{1-\alpha}(f_i, t)) / 2$$

donde Q_α y $Q_{1-\alpha}$ son el cuantil α o $(1-\alpha)$ de las magnitudes $A(f_i, t_m)$ determinadas en cada franja de tiempo T con $t_m = t + m\delta t$, y donde m es un número entero. A tal efecto, las magnitudes $A(f_i, t_m)$ asociadas al periodo de tiempo T

15 dispuesto, por ejemplo, simétricamente con respecto al momento t (en este caso $\frac{M-1}{2} \leq m \leq \frac{M-1}{2}$

20 y M es impar) y que forman el juego de datos $\underline{A}(f_i, t)$ asociado a cada momento t son clasificadas en serie en función del valor de la magnitud. El cuantil α o $(1-\alpha)$ constituye entonces aquel valor de magnitud que se encuentra en la posición αM o $(1-\alpha)M$ de la serie. En la práctica se establecen para α valores entre $0,7 \leq \alpha \leq 0,8$, preferentemente $\alpha = 0,75$. Un valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t)$ que se obtiene con la ayuda de este procedimiento de cálculo está representado en la figura 6.

25 Con la ayuda del cuantil α y $(1-\alpha)$, Q_α o $Q_{1-\alpha}$, se calcula ahora una desviación media $s(f_i, t)$ de las magnitudes $A(f_i, t_m)$ respecto al valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t)$ con la ayuda de la relación

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

30 donde $q_{1-\alpha}$ es el cuantil $(1-\alpha)$ de la distribución normal o gaussiana.

35 Con la ayuda de este procedimiento de cálculo (método de los cuantiles) se calculan, por lo tanto, el valor medio y la desviación de un juego de datos sin tener en cuenta los valores que no se encuentran incluidos en las franjas definidas por α y $(1-\alpha)$. Esto significa que no se tienen en consideración magnitudes notablemente superiores como las que pueden producirse de forma más amplia debido a una señal de burst sobrepuesta y, por lo tanto, tampoco pueden falsear el resultado. Con este método se puede elegir un período de tiempo notablemente más breve, por ejemplo un juego de datos $\underline{A}(f_i, t)$ formado por $M = 100$ valores de magnitud $A(f_i, t)$ con una longitud del periodo de tiempo $T = 320$ ms con un paso de tiempo $\delta t = 3,2$ ms manteniendo la misma calidad en el resultado del cálculo. Como consecuencia, el valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t)$ se adapta a los cambios rápidos en el fondo de funcionamiento, de manera que éstos no provocan ningún falseamiento de los espectros normalizados, ni pueden simular indicaciones erróneas en la vigilancia. Procediendo de esta manera es posible que, incluso durante el zumbido de la turbina de gas, es decir cuando se producen de forma muy brusca, por ejemplo con una constante de tiempo de aproximadamente 0,5 s con un aumento de amplitud en un factor 5 y más, ruidos de fondo claramente más elevados en la cámara de combustión debido a oscilaciones de resonancia, se reconozca el impacto de piezas sueltas.

45 Con la ayuda del valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t)$ calculado anteriormente y de la desviación media $s(f_i, t)$ se puede detectar un valor medio de magnitud mejorado $\bar{A}_{opt}(f_i, t)$ en otra etapa de cálculo basada en el método de los cuantiles, eliminando del juego de datos $\underline{A}(f_i, t)$ presente en cada caso aquellas magnitudes $A(f_i, t_m)$ que son significativamente más grandes que el valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t)$ calculado anteriormente. En la práctica ha resultado ser ventajoso eliminar del cálculo del valor medio de magnitud aquellas magnitudes $A(f_i, t_m)$ que son más grandes que $\bar{A}(f_i, t) + 3s(f_i, t)$. Con el juego de datos completo $\underline{A}(f_i, t)$ se lleva a cabo entonces un nuevo cálculo del valor medio de magnitud con la ayuda de un cuantil δ o $(1-\delta)$, donde

$$55 \quad \delta = \alpha (M - M_E) / M$$

60 y M_E es el número de magnitudes $A(f_i, t_m)$ que son más grandes que $\bar{A}(f_i, t) + 3s(f_i, t)$. Alternativamente también es posible y matemáticamente idéntico determinar el cuantil α o $(1-\alpha)$ nuevamente con un juego de datos reducido por estas magnitudes $A(f_i, t_m)$. Con la ayuda de estos cuantiles δ o $(1-\delta)$ o de los cuantiles α o $(1-\alpha)$ obtenidos con el juego de datos reducido se calcula ahora un valor medio de magnitud mejorado $\bar{A}_{opt}(f_i, t)$ o una desviación media mejorada $s_{opt}(f_i, t)$, de acuerdo con la fórmula indicada anteriormente.

Con los valores medios absolutos $\bar{A}(f_i, t)$ o $\bar{A}_{opt}(f_i, t)$ y la desviación media $s(f_i, t)$ o $s_{opt}(f_i, t)$ se calcula ahora para cada frecuencia una desviación normalizada $D(f_i, t)$ de la magnitud A del valor medio de magnitud \bar{A} , según la siguiente ecuación.

5

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

o

10

$$D(f_i, t_m) = (A(f_i, t_m) - \bar{A}_{opt}(f_i, t)) / s_{opt}(f_i, t)$$

15

Para detectar el valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t)$ válido en el momento t y la desviación media $s(f_i, t)$ válida en este momento t se evalúan las magnitudes $A(f_i, t_m)$ de M espectros. Dicho de otra manera: Tanto el valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t)$ o $\bar{A}_{opt}(f_i, t)$ como también la desviación media $s(f_i, t)$ o $s_{opt}(f_i, t)$ son actualizados constantemente con la ayuda de M transformaciones. Esta actualización se realiza en pasos de tiempo δt . El juego de datos $\underline{A}(t+\delta t)$ en el que se basa el cálculo del nuevo valor medio de magnitud $\bar{A}(f_i, t+\delta t)$ o $\bar{A}_{opt}(f_i, t+\delta t)$ y de la nueva desviación media $s(f_i, t+\delta t)$ o $s_{opt}(f_i, t+\delta t)$ está formado en este caso por la eliminación de la primera magnitud (la más antigua) y la adición de la magnitud más reciente. Éstas son las magnitudes en un periodo de tiempo T dispuesto simétricamente con respecto al momento t

25

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

30

Según una realización ventajosa se promedia la desviación normalizada $D(t, f_i)$ adicionalmente en una franja de frecuencias $f_{i-L}, f_{i-L+1}, \dots, f_{i+L}$ que encierra a la frecuencia f_i y consta de $2L+1$ frecuencias y se determina una desviación media normalizada $\bar{D}(t, f_i)$ mediante la ecuación

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

35

Esta etapa de cálculo adicional lleva a una reducción de la altura y de la anchura de oscilación de la desviación normalizada en las franjas en las que sólo hay señales de fondo. Las porciones de señal útil no son cambiadas notablemente por promediar en la franja de frecuencias ya que aparecen siempre de forma concentrada alrededor de líneas de frecuencia adyacentes. Debido a esta medida se consigue otra vez una mejora de la relación señal-fondo en otros 10 hasta 15 dB.

40

Otra mejora de la relación señal-fondo se consigue al introducir adicionalmente un valor umbral D_0 y al determinar una desviación normalizada $\bar{D}_s(f_i, t)$ con la ayuda de la relación $\bar{D}_s = D_0$ para $D < D_0$ y $\bar{D}_s = \bar{D}$ para $\bar{D} \geq D_0$.

45

Las desviaciones normalizadas $D(f_i, t)$, $\bar{D}(f_i, t)$ o $\bar{D}_s(f_i, t)$ son elevadas al cuadrado o sumadas a través de todas las frecuencias discretas f_i :

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

50

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

o

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

A partir de esta suma S(t) se deduce una función de evaluación K(t) sacando la raíz cuadrada:

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

5

Ésta sirve como indicador para la aparición de un impacto. Alternativamente la función de evaluación también puede estar formada por la diferencia entre la raíz cuadrada de la suma S(t) y un valor medio flexible en el tiempo de esta raíz cuadrada

10

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

y puede servir como parámetro para la aparición de un impacto. Cuando K(t) o $\bar{K}(t)$ sobrepasan un valor umbral K_0 (umbral de alarma), que se sitúa en turbinas de gas entre 1,5 y 2, ello constituye un indicio para un impacto de una pieza suelta.

15

La función de evaluación K(t), que se ha obtenido de esta manera y con la ayuda de la desviación media normalizada \bar{D}_s a partir de la señal de medición M de la figura 2, está representada en la figura 7. Se puede reconocer claramente que el zumbido de la turbina no tiene ninguna influencia sobre la función de evaluación K(t).

20

Con el procedimiento, según la invención, sigue siendo posible, sin embargo, detectar de forma fiable el impacto de una pieza suelta de la instalación. En la figura 8 se muestra una señal de medición real M(t) obtenida en una turbina a la que está sobrepuesta en un momento $t \approx 3,9$ s un burst o estallido provocado por un impacto que no puede ser identificado directamente en la señal de medición M.

25

En la figura 9 está representada la función de evaluación K deducida a partir de la señal de medición de la figura 8, a escala aumentada en el tiempo. De la figura se desprende que el suceso que se está produciendo (el burst) se hace notar por un incremento notable de la función de evaluación K.

Lista de referencias

30

2 Parte de instalación

4 Sensor

35

6 Preamplificador

8 Multiplexor

40

10 Convertidor analógico/digital

12 Dispositivo de cálculo

14 Dispositivo de comparación

45

16 Grabador de transientes

18 Calculadora de evaluación

50

M Señal de medición

K Función de evaluación

t Tiempo

55

Δt Ventana de tiempo

δt Paso de tiempo

	A	Magnitud
5	F_i	Frecuencia
	\bar{A}	Valor medio de magnitud
	\underline{A}	Juego de datos
10	TS	Franja de tiempo
	DT	Distancia de tiempo
15	T	Período de tiempo

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la detección de un efecto mecánico a modo de impulso sobre una parte de instalación (2), en el que un ruido de funcionamiento existente en dicha parte de instalación (2) es registrado de forma continua mediante un sensor (4) dispuesto en la parte de instalación (2) y transformado por el mismo en una señal de medición (M), caracterizado por las siguientes etapas del procedimiento:

- a) En ventanas de tiempo (Δt) que se suceden en el tiempo en pasos de tiempo (δt) se detecta la magnitud ($A(f_i, t_j)$) de la transformada de la señal de medición (M) con parámetros predeterminados (f_i) de una norma de transformación matemática;
- b) Para cada paso de tiempo (δt) y para cada uno de los parámetros predeterminados (f_i) se determina la desviación de la magnitud ($A(f_i, t_j)$) con respecto al valor medio de magnitud ($\bar{A}(f_i, t)$);
- c) A partir de las desviaciones determinadas para cada uno de los parámetros predeterminados (f_i) se deduce una función de evaluación ($K(t)$) para cada paso de tiempo (δt);
- d) La función de evaluación ($K(t)$) es comparada con un valor umbral (K_0) y el sobrepasar el valor umbral (K_0) sirve de indicio para la presencia de una porción de señal a modo de impulso que indica un efecto mecánico; caracterizado porque
- e) Se determina el valor medio de magnitud ($\bar{A}(f_i, t)$) como una función de tiempo t de forma flexible a partir de un juego de datos ($\underline{A}(f_i, t)$) con M magnitudes ($A(f_i, t_m)$) con la ayuda de la relación

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

donde Q_α y $Q_{1-\alpha}$ es el cuantil α o $(1-\alpha)$ de las magnitudes ($A(f_i, t_m)$) determinadas en un periodo de tiempo (T), respectivamente, y donde $t_m = t+m\delta t$, y m es un número entero.

2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que el periodo de tiempo (T) está dispuesto simétricamente con respecto al momento t.

3. Procedimiento, según la reivindicación 1 ó 2, en el que se calcula un valor medio de magnitud mejorado ($\bar{A}_{opt}(f_i, t)$) a partir del valor medio de magnitud ($\bar{A}(f_i, t)$), eliminando para la determinación de los cuantiles aquellas magnitudes ($A(f_i, t)$) del juego de datos que sobrepasan el valor medio de magnitud (\bar{A}) en un valor de diferencia predeterminado.

4. Procedimiento, según la reivindicación 1, 2 ó 3, en el que se determina para cada uno de los parámetros predeterminados (f_i) para múltiples ventanas de tiempo (Δt) sucesivas una desviación media ($s(f_i, t)$) de las magnitudes ($A(f_i, t_j)$) respecto al valor medio de magnitud ($\bar{A}(f_i, t)$) con la ayuda de la relación

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

donde $q_{1-\alpha}$ es el cuantil $(1-\alpha)$ de la distribución normal normalizada y con la misma se determina la desviación normalizada de las magnitudes con respecto al valor medio de magnitud ($\bar{A}(f_i, t)$) y se utiliza para calcular la función de evaluación ($K(t)$).

5. Procedimiento, según la reivindicación 4 en combinación con la reivindicación 3, en el que el valor de diferencia predeterminado corresponde al triple de la desviación media (s).

6. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 4 ó 5, en el que se obtiene para cada ventana de tiempo (Δt) la suma de los valores cuadrados de cada desviación normalizada a través de cada uno de los parámetros predeterminados, a partir de la cual se deduce la función de evaluación (K).

7. Procedimiento, según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la norma de transformación matemática es una transformación ventaneada de Fourier y los parámetros son frecuencias (f_i) del espectro de frecuencias de la señal de medición (M).

8. Dispositivo para la detección de un efecto mecánico a modo de impulso sobre una parte de instalación (2) que comprende, como mínimo, un sensor (4) dispuesto en una parte de instalación (2) para la detección y medición continuas de un ruido de funcionamiento existente en esta parte de instalación (2), comprendiendo el dispositivo además un dispositivo de cálculo, así como un convertidor A/D (10), dispuestos detrás del sensor (4) para digitalizar las señales de medición (M) detectadas por el sensor (4) y para transmitir las señales de medición digitalizadas al dispositivo de cálculo (12), que está diseñado para llevar a cabo las siguientes etapas de cálculo:

- a) En ventanas de tiempo (Δt) que se suceden en el tiempo en pasos de tiempo (δt) se detecta la magnitud ($A(f_i, t_j)$) de la transformada de la señal de medición (M) con parámetros predeterminados (f_i) de una norma de transformación matemática;
- b) Para cada paso de tiempo (δt) y para cada uno de los parámetros predeterminados (f_i) se determina la desviación de la magnitud ($A(f_i, t_j)$) con respecto al valor medio de magnitud ($\bar{A}(f_i, t)$);
- c) A partir de las desviaciones determinadas para cada uno de los parámetros predeterminados (f_i) se deduce una función de evaluación ($K(t)$) para cada paso de tiempo (δt);
- d) La función de evaluación ($K(t)$) es comparada con un valor umbral (K_o) y el sobrepasar el valor umbral (K_o) sirve de indicio para la presencia de una porción de señal a modo de impulso que indica un efecto mecánico; caracterizado porque
- e) Se determina el valor medio de magnitud ($\bar{A}(f_i, t_j)$) como una función de tiempo t de forma flexible a partir de un juego de datos ($\underline{A}(t)$) con M magnitudes $A(t_m)$ con la ayuda de la relación

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

donde Q_α y $Q_{1-\alpha}$ es el cuantil α o $(1-\alpha)$ de las magnitudes ($A(f_i, t_m)$) determinadas en un periodo de tiempo (T), respectivamente, y donde $t_m = t + m\delta t$, y m es un número entero.

9. Dispositivo, según la reivindicación 8, en el que el periodo de tiempo (T) está dispuesto simétricamente con respecto al momento (t).

10. Dispositivo, según la reivindicación 8 ó 9, con un algoritmo implementado en el dispositivo de cálculo (12) para calcular un valor medio de magnitud mejorado ($\bar{A}_{opt}(f_i, t)$) a partir del valor medio de magnitud ($\bar{A}(f_i, t)$), eliminando para la determinación de los cuantiles aquellas magnitudes ($A(f_i, t_m)$) del juego de datos ($\underline{A}(t)$) que sobrepasan el valor medio de magnitud ($\bar{A}(f_i, t)$) en un valor de diferencia predeterminado.

11. Dispositivo, según una de las reivindicaciones 8 a 10, en el que se determina en el dispositivo de cálculo (12) para cada uno de los parámetros predeterminados (f_i) para múltiples ventanas de tiempo (Δt) sucesivas la desviación media ($s(f_i, t)$) de las magnitudes ($A(f_i, t_j)$) respecto al valor medio de magnitud ($\bar{A}(f_i, t)$) con la ayuda de la relación

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

donde $q_{1-\alpha}$ es el cuantil $(1-\alpha)$ de la distribución normal normalizada, y con la misma se determina la desviación normalizada de las magnitudes con respecto al valor medio de magnitud ($\bar{A}(f_i, t)$) y se utiliza para calcular la función de evaluación ($K(t)$).

12. Dispositivo, según la reivindicación 11 en combinación con la reivindicación 10, en el que el valor de diferencia predeterminado corresponde al triple de la desviación media (s).

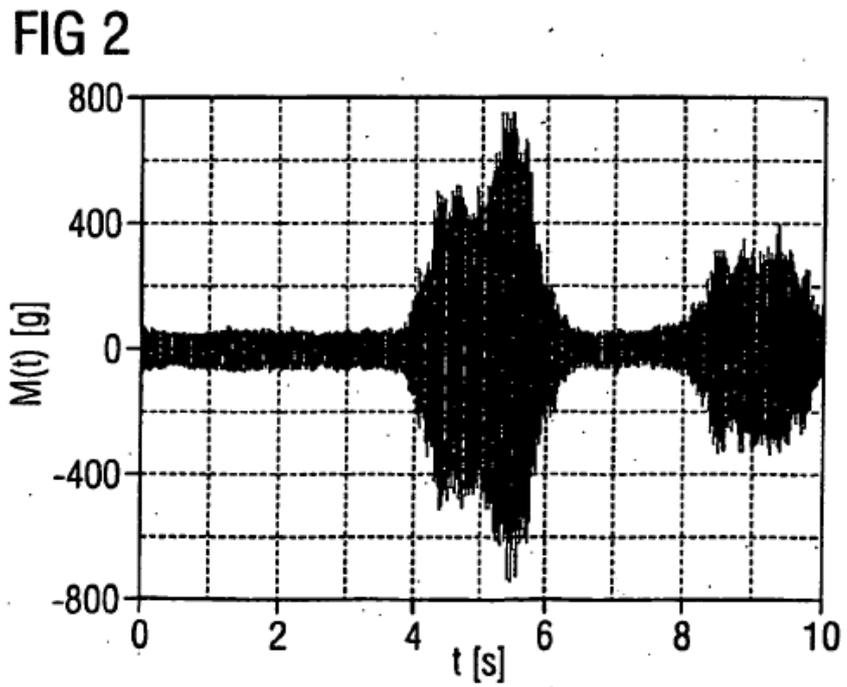
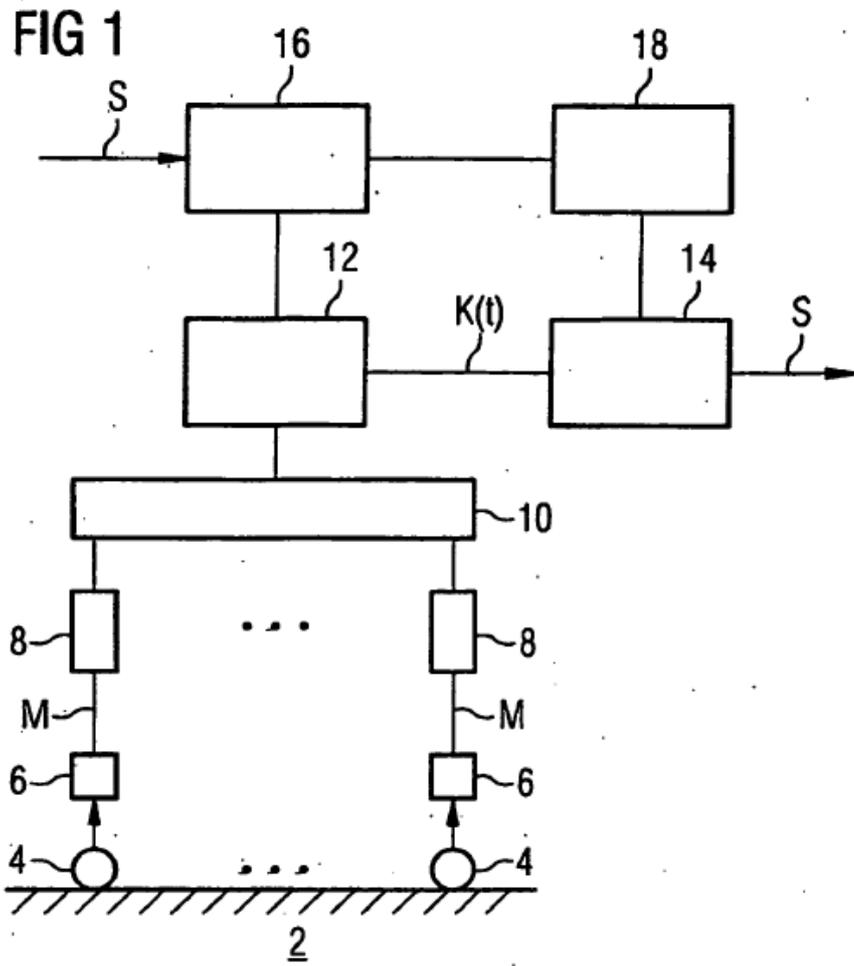


FIG 3

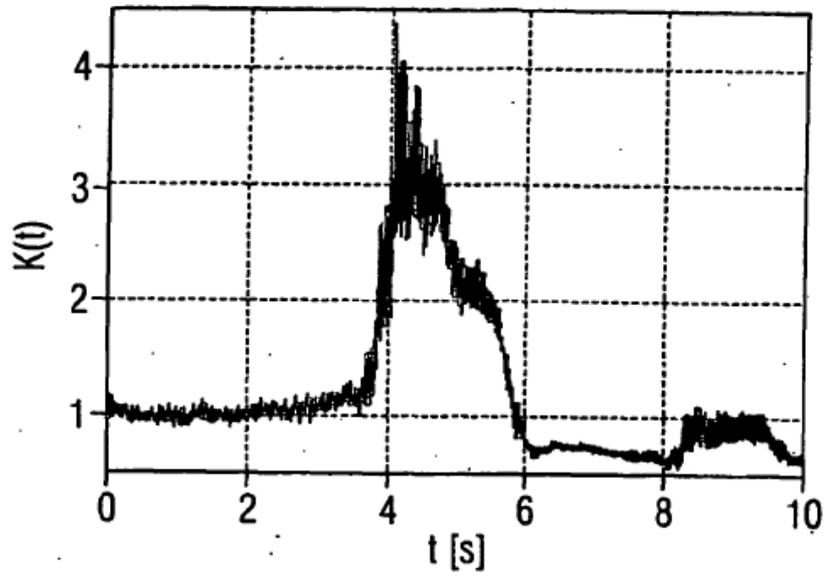


FIG 4

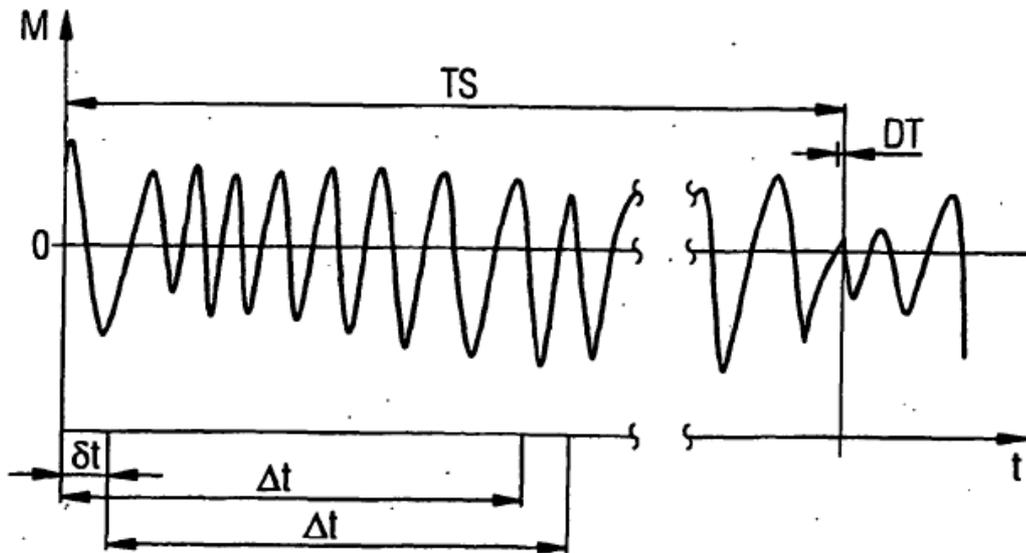


FIG 5

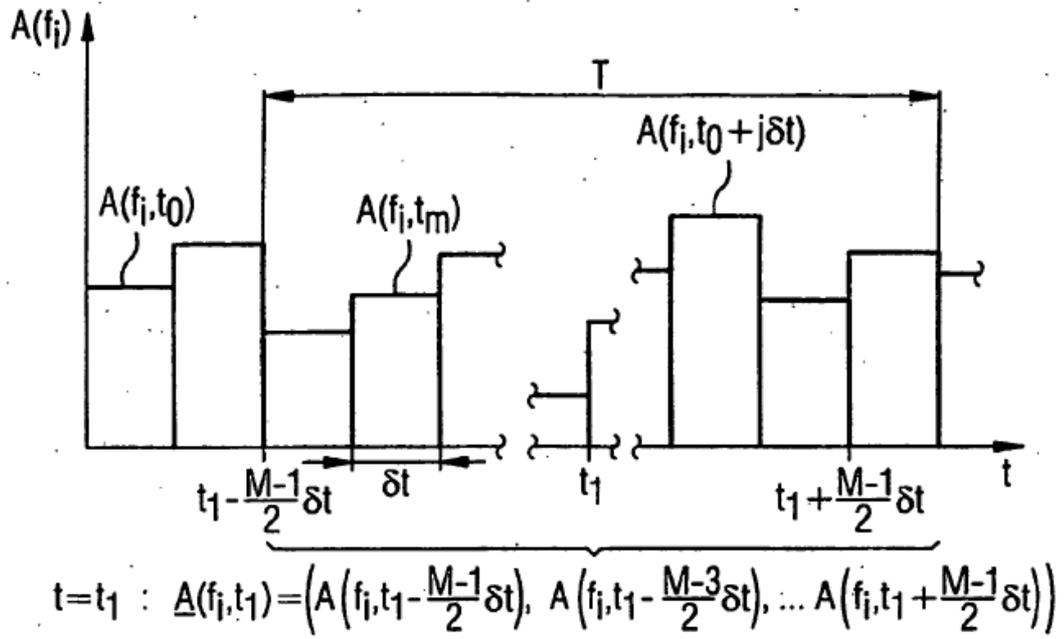


FIG 6

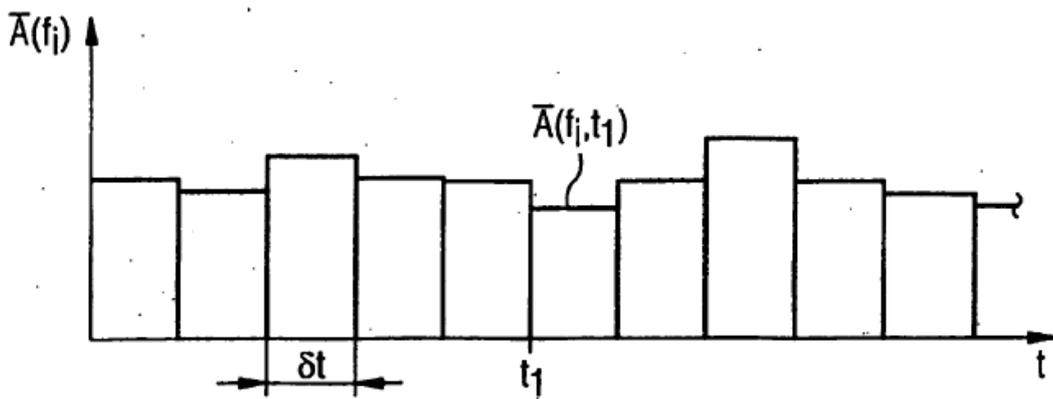


FIG 7

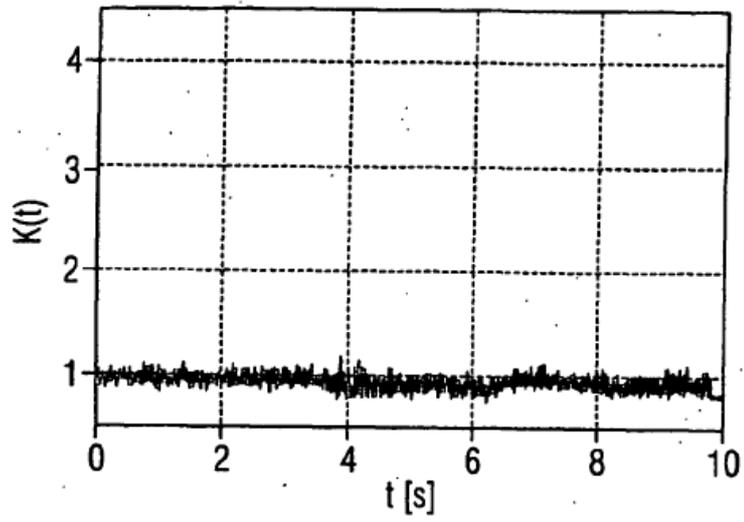


FIG 8

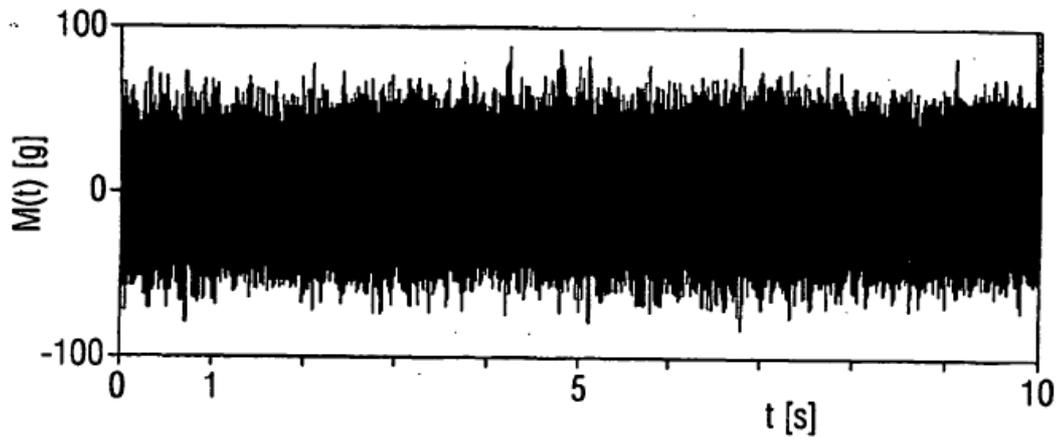


FIG 9

