



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 286 184**

(51) Int. Cl.:
G01M 15/00 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **02019455 .1**

(86) Fecha de presentación : **30.08.2002**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1394526**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **03.03.2004**

(54) Título: **Procedimiento de evaluación de las condiciones de operación de una máquina o de una instalación.**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.12.2007

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.12.2007

(73) Titular/es: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE

(72) Inventor/es: **Adam, Gottfried**

(74) Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

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 de evaluación de las condiciones de operación de una máquina o de una instalación.

5 La presente invención hace referencia a un procedimiento para la evaluación de las condiciones de operación de una máquina o de una instalación.

Hasta ahora, para la evaluación de las condiciones de operación de una máquina o de una instalación se efectuaban extrapolaciones visuales de una evolución, por ejemplo, una evolución crítica, del valor medido y/o evaluaciones subjetivas de los efectos sobre los parámetros de la máquina o de la instalación, para estimar las condiciones de operación de una máquina o de una instalación y reaccionar correspondientemente, modificándose, o influyéndose de otro forma, el propio parámetro correspondientemente a la evaluación, por ejemplo, por la ausencia de un valor nominal paramétrico. Se ajustan, además, las funciones de ajuste/regresión a partir de una base de datos y se emprende una optimización mediante selección interactiva de funciones de curvas, que representan los máximos coeficientes de correlación. La evolución de la curvatura de una curva ajustada de este modo no tiene que coincidir obligatoriamente con la de la base de datos. El coeficiente de correlación r (valor máximo = 1, valor mínimo = - 1) sólo puede emplearse condicionalmente como criterio de calidad del ajuste, ya que este valor no sólo depende de la calidad del ajuste de la función de la curva utilizada, sino también de la pendiente de la función de la curva utilizada. Si la pendiente de, por ejemplo, un ajuste lineal tiende a cero, r sigue también esta tendencia, independiente de la dispersión de los puntos individuales de la curva. Por consiguiente, r no puede emplearse como medida de la calidad para efectuar una extrapolación.

Los instrumentos para la generación para la evaluación de las condiciones de operación de una máquina o instalación tienen que satisfacer determinados requisitos mínimos. Por tanto, es posible una evaluación del resultado de la extrapolación en lo que se refiere a

- La fiabilidad de la predicción
- Los factores que influyen sobre una seguridad de la predicción
- La reproducibilidad de la predicción.

Naturalmente, cada predicción está aquejada de incertidumbres y su medida de la calidad es extraordinariamente importante para la evaluación de superaciones pronosticadas de la alarma/valor límite, así como base de decisión para, por ejemplo, las acciones automatizadas resultantes de esto. Por otra parte, en un procedimiento generado cíclicamente para la evaluación de las condiciones de operación de una máquina o instalación de una determinada relación, por ejemplo, técnica de medición, puede considerarse de nuevo como tendencia el desarrollo temporal de una medida de la calidad y proporciona, por tanto, explicaciones adicionales sobre el momento de aparición del acontecimiento pronosticado, por ejemplo, de la superación del valor límite, para garantizar una seguridad operacional de la máquina o de la instalación. La estimación de la fiabilidad de una extrapolación posee importancia central, ya que apenas son posibles las evaluaciones de los síntomas de daños, superaciones del valor límite y optimizaciones operacionales, por ejemplo, reemplazo de piezas desgastadas, sin conocimiento de la fiabilidad de la predicción, o sea, de la medida de la calidad.

Una evaluación de las condiciones de operación de una máquina o de una instalación, en la que se analiza una tendencia del desarrollo ulterior de los parámetros, es muy importante en relación a las soluciones del problema, en caso de establecimiento de objetivos como supervisión operacional o análisis del sistema. Estos procedimientos se emplean en todos aquellos lugares, donde las extrapolaciones en rangos desconocidos de valores a partir de regularidades conocidas sean de importancia, o sea, esencialmente en el caso de predicciones de incidencias (reconocimiento de futuras alarmas/superación de límites de carga) y prevenciones de daños (reconocimiento de futuros daños).

De manera similar al caso de los valores medidos, estos son prácticamente inútiles sin indicación de la tolerancia de medida, se tiene que asignar una variable a una extrapolación, que proporcione información acerca de la calidad de la predicción (medida de la calidad). Sin esta información, los resultados de la extrapolación son apenas evaluables y, por tanto, las decisiones para acciones subsiguientes (por ejemplo, interferencias en el proceso) son sumamente inciertas y posiblemente contraproductivas.

Es, por tanto, objetivo de la presente invención subsanar este problema.

Un procedimiento, tal y como se representa en el término genérico de la Reivindicación 1, se conoce gracias al documento US-A-4 590 562.

El objetivo se resuelve con un procedimiento conforme a la Reivindicación 1.

En las subreivindicaciones se recogen ulteriores ordenaciones favorables.

El ajuste óptimo de la función de extrapolación a la base de datos no se lleva a cabo con un coeficiente máximo de correlación r , sino con ayuda de una medida de la calidad K , que es independiente de la pendiente de una curva de ajuste a una base de datos.

La medida de la calidad K, que da información sobre la calidad de la predicción de la extrapolación, se calcula a partir de por lo menos dos subcriterios diferentes. La existencia de K posibilita al menos dos modos de extrapolación:

• *Ausencia de una Medida Constante de la Calidad K*

En este caso, la amplitud de extrapolación, es decir, la distancia entre el último valor de la base de datos y un punto final de la extrapolación, es variable.

Este procedimiento es importante durante la eliminación de alarmas de fallo o de poca importancia. Aquí, puede informarse a un operario de una instalación industrial, durante qué intervalo de tiempo no va a aparecer ninguna alarma, es decir, se da una determinada seguridad operacional.

• *Ausencia de una Amplitud de Extrapolación (por ejemplo, en caso de superación del valor límite)*

En este caso, K es variable. La evolución temporal de K puede emplearse de nuevo como base para un análisis de tendencias, para estimar el probable momento de aparición del acontecimiento para $K = 1$.

Los análisis de tendencias, para evaluar las condiciones de operación de una máquina o disposición, pueden extrapolar completamente, en líneas generales, la evolución de dos variables correlativas en rangos de valores aún desconocidos. Su empleo puede aplicarse, tanto a evoluciones temporales

$$y_i = f(t_i); \quad i = 1 \dots n$$

Ejemplo: $P_{el} = f(t)$; P_{el} = rendimiento del generador

y a asignaciones formalmente independientes temporalmente

$$y_{1i} = f(y_{2i}); \quad i = 1 \dots n, \quad y_1 \text{ sincronizada con } y_2$$

Ejemplo: $P_{el} = f(\text{flujo másico de combustible})$.

El empleo del análisis de tendencias supone de manera implícita, que la regularidad, derivable del pasado, de la evolución de dos variables correlativas prosigue también en el futuro y, de este modo, pueden generarse asignaciones de valores aún desconocidas. Esta condición presupone para los análisis razonables de tendencias, que éstos sólo puedan generarse con evoluciones que hayan sido originadas en idénticas ("normalizadas") condiciones de contorno: condiciones físicas del entorno, combustible, rendimiento, modo de operación, quemador, etc. La provisión de tales asignaciones normalizadas de valores puede realizarse, o bien mediante selección de datos con ayuda de condiciones lógicas (normalización discreta) o con ayuda de un modelo de simulación del proceso (normalización analítica), que puede retrocalcular, por ejemplo, todos los valores dependientes del entorno en condiciones ISO. Muestran:

Figura 1 una base de datos y curva de extrapolación,

Figura 2 curvas para la determinación de ΔI

Figura 3 una segmentación de una base de datos,

Figura 4 una evolución temporal de K,

Figura 5 una turbina con piezas,

Figura 6 un corte longitudinal de una turbina en representación simplificada, y

Figura 7 un álabe de turbina como pieza.

Variables Básicas para el Cálculo de la Medida de la Calidad K

La medida de la calidad K es una medida de la calidad de una extrapolación. Relaciona varias influencias de fallo y es, por tanto, una función de al menos dos variables, por ejemplo, V, ΔI . En este caso, son, por ejemplo, una relación V, una incertidumbre $\times \Delta I$, una continuidad S y una constancia temporal C:

$$K = f(V, \Delta I, S, C).$$

Estas variables se relacionan, por ejemplo, de forma que la provisión de valores de K se encuentre dentro de un rango normalizado, por ejemplo, del 0% al 100%.

• *Relación V del Rango de Datos para el Rango de Extrapolación*

V se calcula, por ejemplo, como sigue:

$$V = (x_n - x_1) / (x_S - x_1) .$$

Si V contribuye considerablemente a una reducción de la medida de la calidad K, la base de datos de la extrapolación puede extenderse gradualmente.

• *Incertidumbre ΔI de la Curva de Ajuste en Dirección x*

Cada ajuste de la curva (condición para la extrapolación) posee naturalmente también una incertidumbre (zona de confianza) de los parámetros calculados de la curva. Para determinar la incertidumbre de la pendiente, se utiliza en la Figura 2, por ejemplo, una función lineal de regresión 21. Generalmente pueden emplearse como funciones de extrapolación todas las funciones, que puedan conducir a estructuras lineales, o sea:

$$\text{Función lineal} \rightarrow f(x) = y = a_0 + a_1 \cdot x$$

$$\text{Función potencial} \rightarrow f(x) = \ln y = \ln a_0 + a_1 \cdot \ln x$$

$$\text{Función logarítmica} \rightarrow f(x) = y = a_0 + a_1 \cdot \ln x$$

$$\text{Función exponencial} \rightarrow f(x) = \ln y = \ln a_0 + a_1 x$$

entre otras.

La incertidumbre ΔI se calcula entonces como sigue.

La Figura 2 muestra una base de datos 6 ejemplar con una curva de extrapolación 21 y con otras curvas 24, 27 para el cálculo de ΔI .

La incertidumbre ΔI puede representarse mediante el giro de la curva de ajuste 21 (en representación lineal) alrededor de un fulcro (x, y) . Los valores medios $\bar{x}$ e $\bar{y}$ se determinaron, por ejemplo, por medios geométricos o aritméticos. El punto $(\bar{x}, \bar{y})$ no tiene que encontrarse obligatoriamente sobre la curva lineal de ajuste 21 (curva de extrapolación). La incertidumbre de una pendiente de la curva lineal 21 corresponde a un giro angular, en el que la pendiente m varía $\pm \Delta m$ y, por tanto, a una incertidumbre en x ΔI de la curva de ajuste, entre otras, en dirección x (Fig. 2). Mediante la variación de las pendientes resultan dos curvas adicionales 24, 27, que forman, en cada caso, un punto de corte 30, 33 con una paralela 18 ($y_s = \text{constante}$), que corresponde a un valor límite. Para cada punto de corte 30, 33 existe un valor apropiado de x $I_{\max}$ e $I_{\min}$, siendo $I_{\max} > I_{\min}$ y $\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$. Esta incertidumbre en x se correlaciona con un ángulo de corte α , que se determina a partir del ángulo entre la paralela 18 y la curva en el punto de corte de ambas. La incertidumbre en x ΔI crece al decrecer el ángulo de corte α . Si en una extrapolación no hay ningún valor límite y/o no se supera ninguno, resulta válido lo comentado anteriormente para el punto final en x dado (x_s, y_s) de la extrapolación y una paralela al eje x pensada, que recorre el punto (x_s, y_s) . Como la función de extrapolación existe siempre analíticamente, puede calcularse con ayuda de la derivada primera del ángulo de corte α entre una horizontal o función de alarma y la función de extrapolación.

El comienzo del cálculo de la incertidumbre de la pendiente $\pm \Delta m$ es, por ejemplo, como sigue: se determina una pendiente b mediante un intervalo de confianza. Un procedimiento de este tipo se conoce gracias a Kreyszig, Erwin: "Métodos Estadísticos y sus Aplicaciones", Editorial Vandenhoeck y Ruprecht, Göttingen, página 270.

Para la determinación de la pendiente b se procede como sigue:

a) Se establece una base de datos 6. La base de datos 6 comprende n valores correlativos de x e y (Fig. 2)

b) cálculo de $\bar{x}$ e $\bar{y}$ de la base de datos 6, así como de la variable $\sum x_i y_i$

$$\text{c) cálculo de } s_{xy} = \frac{1}{n-1} \left(\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y} \right) \quad (i=1 \dots n)$$

$$\text{d) cálculo de } s_{x^2} = \frac{1}{n-1} \left(\sum x_i^2 - n \bar{x}^2 \right) \quad (i=1 \dots n)$$

e) cálculo de $s_y^2 = \frac{1}{n-1} (\sum y_i - \bar{y})^2 \quad (i=1 \dots n)$

f) la pendiente se origina a partir de $b = \frac{s_{xy}}{s_x^2}$

g) cálculo de $a = (n-1) (s_y^2 - b^2 s_x^2)$,

Por consiguiente, se origina la ecuación de la recta de regresión

$$y = \bar{y} + b(x - \bar{x}) .$$

A continuación, se fija un número de confidencialidad de, por ejemplo, el 95%, es decir $\gamma = 0,95$, a partir del cual se calcula una variable F (c):

h) $F(c) = \frac{1}{2}(1 + \gamma) = 0,975$

i) Con $F(c) = 0,975$ y $n-2$ (n = número de valores medidos) grados de libertad, la distribución de t (distribución de estudiantes) proporciona un valor c (0,975 corresponde a la integral de la distribución de t hasta la posición $x=c$).

Δm se origina a partir de

j) $\frac{c\sqrt{a}}{s_x \sqrt{(n-1)(n-2)}} .$

Por consiguiente, se origina una incertidumbre de la pendiente m:

$$b - \Delta m \leq m \leq b + \Delta m .$$

Se calcula, por tanto, la incertidumbre en ΔI de la pendiente m en el fulcro (Fig. 2) en función de las características de dispersión de la base de datos actual 6. Por tanto, $\Delta I = f(\Delta m, \alpha)$ puede calcularse por los teoremas de Tales o goniometría. Puede realizarse asimismo una normalización de ΔI .

• Continuidad S de los Valores y de la Base de Datos

Una segmentación de una base de datos 6 proporciona, ante todo, información sobre la dirección actual de curvatura de la base de datos 6 utilizada. La base de datos 6 es una cantidad parcial verdadera o falsa de una provisión de datos 54, que comprende todos los puntos de medida 15 disponibles. Una segmentación significa, que los puntos de medida, o sea, las parejas de datos (x, y) de la base de datos 6 se dividen en al menos tres segmentos 45, 48, 52. Para cada segmento 44, 48, 52 se determina una curva lineal de ajuste 36, 39, 42. La dirección de curvatura de la base de datos 6 se determina por formación de los valores medios de los segmentos g_1 , g_2 y g_3 y cálculo de la segunda derivada numérica.

En este procedimiento puede asumirse que el cálculo de la curva de ajuste (curva de extrapolación) se lleva a cabo cíclicamente a partir de una base de datos dinámica y flexible 6, es decir, un rango de datos 3 (Fig. 3) de longitud constante o variable se desplaza un intervalo Δx dado en cada caso (variable independiente) tras cada ciclo aislado de extrapolación en la dirección de crecimiento de la variable x. En la práctica, el avance Δx del rango de datos 3, es decir, de la base de datos 6, puede ocurrir como máximo en el ciclo temporal, generándose nuevos valores medidos 15 (por ejemplo, $\Delta x = 5$ s). El término de la continuidad S no ha de entenderse en este contexto como definición matemática, sino como medida de la variación de la evolución del punto de la base de datos 6 en relación al último paso de extrapolación. Para poder hacer una afirmación sobre la continuidad de la evolución de los valores "y" y, por tanto, de manera implícita, una afirmación sobre la extrapolabilidad de la evolución, se subdivide el rango de datos 3 (Fig. 3) en por lo menos tres segmentos 45, 48, 52. Para cada segmento 45, 48, 52 se calcula, en cada caso, un valor

medio y, en cada caso, una función lineal de adaptación y_1, y_2, y_3 con las pendientes c_1, c_2 y c_3 (Fig. 3), en un paso intermedio. Si los valores medios de las tres rectas de regresión 36, 39, 42 se designan por g_1, g_2 (segmento medio) y g_3 , puede determinarse la dirección actual de curvatura de la variación de la pendiente con la medida numérica de la curvatura p

$$p = g_1 - 2 * g_2 + g_3$$

En el ejemplo de la Figura 3 q es negativa. Esto significa una curvatura derecha. Para $p = 0$ los tres valores medios se encuentran sobre una recta. A partir de una familia de curvas, ese tipo de curva se ajusta interactivamente al rango de valores de toda la base actual de datos.

Las funciones de ajuste (funciones de regresión) de la familia de curvas para la curva de extrapolación de las correlaciones de datos tienen que satisfacer la condición del transcurso monótono, porque las funciones no-monótonas pueden conducir a considerables incertidumbres de extrapolación. Generalmente pueden emplearse todas las funciones, que puedan transferirse en estructuras lineales de la forma $y = a_0 + a_1 * x$, o sea:

$$\text{Función lineal} \rightarrow f(x) = y = a_0 + a_1 * x$$

$$\text{Función potencial} \rightarrow f(x) = \ln y = \ln a_0 + a_1 * \ln x$$

$$\text{Función logarítmica} \rightarrow f(x) = y = a_0 + a_1 * \ln x$$

$$\text{Función exponencial} \rightarrow f(x) = \ln y = \ln a_0 + a_1 x$$

entre otras.

El tipo de curva seleccionado de la familia de curvas tiene que satisfacer las siguientes condiciones:

La dirección de curvatura de la curva, que se determina a partir de la extrapolación, tiene que coincidir con la de p y el cociente Q_k de numerador = (dado el caso, valor medio ponderado del cuadrado de la distancia entre los valores medidos y la curva de extrapolación) y denominador = cuadrado del valor medio del rango de valores y de la curva de extrapolación en la zona del rango de datos (además, por ejemplo, $y^2_{\min k} = [(y_{\max k} + y_{\min k})/2]^2$, siendo $y_{\max}$ el valor máximo de Y y correspondiendo $y_{\min}$ al valor mínimo de Y de la curva k-ésima, y sirve para la normalización) tiene que ser mínimo:

$$Q_k = f(k) = \frac{\sum w_i * (y_i(x_i) - f_k(x_i))^2}{y^2_{\min k} * \sum w_i} = \min (i = 1..min) .$$

k es, además, un numerador de los tipos de curva de extrapolación disponibles (familia de curvas); $y_i(x_i)$ es el valor medido en la posición x_i ; $f_k(x_i)$ es el valor funcional del tipo k-ésimo de curva de extrapolación en la posición x_i ; w_i es un factor de ponderación para cada valor medido individual o para todos los valores medidos de un segmento.

La evaluación de la continuidad S se efectúa como sigue: comparación de las tres pendientes de las rectas C_1, C_2, C_3 con las pendientes de la curva de extrapolación en los respectivos puntos centrales (x_{s1}, x_{s2}, x_{s3}) de los tres segmentos del rango de datos. Aquí es posible y razonable una compensación diferente de las tres diferencias de pendiente. Así se pueden evaluar más fuertemente los valores más actuales en el último segmento, para reconocer más rápidamente una modificación del transcurso de la curva. Las tres diferencias de pendiente son una medida de la continuidad de evolución del transcurso de la curva.

S se calcula como sigue: O_1 a O_3 son las pendientes de la k-ésima curva de ajuste 36, 39, 42 seleccionada en los, en cada caso, semianchos de segmento; C_1 a C_3 las pendientes de los ajustes de los segmentos lineales (Fig. 3).

Por consiguiente, resulta válido:

$$S = \frac{\sum \gamma_i * (C_i - O_i)^2}{\sum \gamma_i}; \quad i = 1 \dots 3 \quad (\text{zonas de segmentos})$$

con γ_i : coeficientes de compensación 1...n.

El rango de valores de S es como sigue: 0 (continuidad abs.), es decir las pendientes de la función de extrapolación en los centros de los segmentos son idénticas a la recta de regresión de los segmentos individuales 45, 48, 52 a $+\infty$, es decir, no existe ninguna coincidencia de las pendientes.

• *Constancia Temporal C de las Extrapolaciones*

La varianza temporal de una serie de extrapolaciones es un indicador importante y adicional de la seguridad de la predicción, ya que se pueden generar altos valores absolutos de la varianza, por ejemplo, de la medida de la calidad de condiciones inestables de extrapolación y, por tanto, dudosa fuerza expresiva. La consulta de la constancia temporal de una extrapolación puede realizarse, en falta de una medida firme de la calidad, con la variable amplitud de extrapolación (x_s) o, en caso de fijación de la amplitud de extrapolación - por ejemplo, x_s puede corresponder al sobrepaso de un valor límite firme - a través del número confidencial entonces variable. La Figura 4 muestra una evolución temporal ejemplar de la medida de la calidad K(t) con diversos valores 58. Para esta evolución de los valores se determina una función de adaptación q a partir de una familia de curvas. El cálculo de las respectivas variables se lleva a cabo interactivamente, por ejemplo, con el procedimiento de Newton. El análisis temporal de la varianza se lleva a cabo con ayuda de una curva de regresión (por ejemplo, mediante un polinomio de 1^{er} orden o mayor, siendo el orden función de n), en cada caso, a los últimos n (por ejemplo, n=10) valores temporales de la amplitud de extrapolación y/o números confidentiales. De este modo pueden evaluarse también los valores variables linealmente con el tiempo de las variables a analizar, con precisión en su variabilidad. La evaluación de la varianza temporal de la amplitud de extrapolación se calcula como sigue:

$$C = \frac{\sum \gamma_i \cdot (K(t_i) - q(t))^2}{q^2_{\text{mitt}_K} \cdot \sum \gamma_i}$$

i = número de interacciones.

También aquí, los coeficientes de compensación γ_i pueden evaluar los valores más actuales diferentes/mayores que los más antiguos. Además, $q^2_{\text{mitt}_K}$ corresponde a $y^2_{\text{mitt}_K}$. El rango de valores de C se encuentra entre C=0 (ninguna dispersión temporal de las variables, todos los puntos variables se encuentran sobre la recta de regresión) y $+\infty$ (sucesión dispersa de variables).

• *Combinación de V, ΔI_{norm} , S y C para la medida de la calidad K*

La medida de la calidad K relaciona las variables V, ΔI_{norm} , S y C, por ejemplo, como sigue:

$$K = \frac{V \cdot \Delta I}{S \cdot C} .$$

El rango de valores de K se encuentra entre 0 (extrapolación anulada) y $+\infty$ (extrapolación exacta). Puede realizarse una normalización de K, por ejemplo, a través de una relación no lineal:

$$K_{\text{norm}} = 1 - e^{-K} ,$$

La instalación es, por ejemplo, un rotor de una turbina de gas. Mediante la determinación de K del parámetro frecuencia del rotor se constata que, en un determinado periodo de tiempo ($x_s - x_n$), se verifica una superación inadmisible del valor límite. Por ello se regulará la frecuencia hacia abajo.

La Figura 5 muestra esquemáticamente una turbina de gas 1 en un corte longitudinal.

Una turbina de gas 1 se selecciona como pieza ejemplar para una máquina, en la que se miden parámetros como la temperatura, vibración, rendimiento eléctrico u otros parámetros. A lo largo de un eje 4 se disponen un compresor 7, una cámara de combustión 10 y una pieza de turbina 13 en serie. La pieza de turbina 13 presenta un canal de gas recalentado 16. En el canal de gas recalentado 16 se disponen álabes de la turbina de gas 20. Los límites de los álabes propulsores y de los álabes móviles se prevén consecutivamente variables. Los álabes de la turbina de gas 20 se enfrían, por ejemplo, a través de un enfriamiento combinado de aire y/o vapor. A tal efecto se extrae, por ejemplo, aire del compresor del compresor 7 y se alimenta a través de una alimentación de aire 23 a los álabes de la turbina de gas 22. A través de una alimentación de vapor 26 se alimenta, por ejemplo, también vapor a los álabes de la turbina de gas 20.

En la Figura 6 se muestra un detalle de una pieza de turbina 13 en representación simplificada, en un corte longitudinal. La pieza de turbina 13 presenta un eje 4, que se extiende a lo largo de un eje de rotación 41. La pieza de

ES 2 286 184 T3

turbina 13 presenta adicionalmente una zona de entrada 49, una zona de paletaje 51, así como una zona de salida 53, consecutivamente a lo largo del eje de rotación 41. En la zona de paletaje 51 se disponen álabes móviles rotatorios 20 y álabes directrices fijos 20. Los álabes móviles 20 se fijan, además, al eje 4, mientras que los álabes directrices 20 se disponen en un portador de álabes directrices 47 inmediato al eje 4.

Un canal anular de flujo para un medio circulante A, por ejemplo, vapor recalentado, está formado por el eje 4, la zona de paletaje 51, así como el portador de álabes directrices 47. La zona de entrada 49 que sirve para la alimentación del medio circulante A queda limitada en dirección radial por una carcasa de entrada 55 dispuesta aguas arriba del portador de álabes directrices 47. Una carcasa de salida 57 se dispone es aguas abajo en el portador de álabes directrices 47 y limita la zona de salida 53 en dirección radial, es decir, perpendicular al eje de rotación 41. Durante la operación de la turbina de gas 1, el medio circulante A circula desde la zona de entrada 49 hasta la zona de paletaje 51, donde el medio circulante efectúa trabajo bajo expansión, y abandona posteriormente la turbina de gas 1 a través de la zona de salida 53. El medio circulante A se acumula, a continuación, en un condensador aguas abajo de la carcasa de salida 57, no representado en detalle en la Figura 5, para una turbina de vapor.

Durante el paso por la zona de paletaje 51 se expande el medio circulante A y efectúa trabajo en los álabes móviles 20, desplazándose estos en rotación.

La Figura 7 muestra una vista en perspectiva de un álabe móvil 20, que se extiende a lo largo de un eje radial 60. El álabe móvil presenta a lo largo del eje radial 60, consecutivamente, una zona de fijación 63, una plataforma de álabes 66 adyacente, así como una zona de paletas de álabes 69. En la zona de fijación 63 se diseña un pie de álabe 72, que sirve para la fijación del álabe 20 al eje 4 de una turbina de gas 1. El pie de álabe 72 se configura, por ejemplo, como cabeza de martillo. En los álabes móviles 20 habituales se utilizan materiales metálicos macizos en todas las zonas 63, 66, 69. El álabe móvil 20 puede estar fabricado, en este contexto, mediante un procedimiento de fundición, de forja, de fresado o combinaciones de estos. Además, la pieza presenta ya múltiples fallos directamente después de la elaboración.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la evaluación de las condiciones de operación de una máquina (1) o instalación, para la que se mide en múltiples ocasiones, por lo menos, un parámetro, para constituir una base de datos (6), que consiste en valores $(x_1, y_1) \dots (x_n, y_n)$ del parámetro, calculándose una medida de la calidad (K) de una extrapolación sobre la base de la base de datos (6), **caracterizado** porque en el procedimiento la medida de la calidad (K) es una función de por lo menos dos variables del grupo V, ΔI , S, C; siendo V una relación del rango de valores de la base de datos (6) para el rango de extrapolación x_s , que se determina mediante $x_s > x_1, x_n$; siendo ΔI la incertidumbre x de la curva de ajuste (21) en dirección x , siendo S la continuidad como una medida de la variación de los valores y y de la base de datos (6) y C la constancia temporal de la extrapolación.

2. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque la evaluación de las condiciones de operación se emplea, para influir apropiadamente sobre el parámetro, en función de la medida de la calidad (K).

3. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque mediante la evaluación de las condiciones de operación se eleva la seguridad operacional de la máquina (1) o de la instalación, influyéndose apropiadamente sobre el parámetro, en función de la medida de la calidad (K).

4. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque la evaluación de las condiciones de operación se utiliza para una optimización del funcionamiento de la máquina (1) o de la instalación.

5. Procedimiento acorde a la Reivindicación 3, **caracterizado** porque para el parámetro se prescribe un valor límite (18), y porque se determina un intervalo de tiempo, en el que no ocurre ninguna superación del valor límite (18) del parámetro.

6. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque la selección de las variables se efectúa de forma que la medida de la calidad (K) sea independiente de la pendiente de una curva de ajuste a la base de datos (6).

7. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque la medida de la calidad (K) está normalizada, particularmente por $1 - e^{-K}$.

8. Procedimiento acorde a la Reivindicación 7, **caracterizado** porque la medida de la calidad (K) se normaliza a un rango de valores del 0 al 100%.

9. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque la medida de la calidad (K) es dada por:

$$K = \frac{V * \Delta I}{S * C}.$$

10. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1 ó 9, **caracterizado** porque la relación (V) del rango de valores de la base de datos (6) es dada por $(x_n - x_1) / (x_s - x_1)$.

11. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque la base de datos (6) se subdivide en por lo menos tres segmentos (45, 48, 52); porque para cada segmento (45, 48, 52) de la base de datos (6) se calcula, en cada caso, un valor medio g_1, g_2, g_3 , y, en cada caso, una función lineal de adaptación y_1, y_2, y_3 (36, 39, 42) con las pendientes c_1, c_2 y c_3 ; porque se calcula una medida numérica de la curvatura p

$$p = g_1 - 2 * g_2 + g_3,$$

que expresa la dirección actual de curvatura de la variación de la pendiente; que a partir de una familia de curvas de tipos de curva de al menos el grupo:

Función lineal $\rightarrow f(x) = y = a_0 + a_1 * x$

Función potencial $\rightarrow f(x) = \ln y = \ln a_0 + a_1 * \ln x$

Función logarítmica $\rightarrow f(x) = y = a_0 + a_1 * \ln x$

Función exponencial $\rightarrow f(x) = \ln y = \ln a_0 + a_1 x$

se selecciona iterativamente el tipo de curva de la función de adaptación y se adapta al rango de valores de toda la base de datos actual (6), teniendo que cumplir el tipo de curva seleccionado a partir de la familia de curvas las siguientes condiciones:

- 5 la dirección de curvatura de la curva, que se determina a partir de la extrapolación, tiene que coincidir con la de p y el cociente Q_k de numerador (= dado el caso, valor medio ponderado del cuadrado de la distancia entre los valores medidos y la curva de extrapolación) y denominador (= cuadrado del valor medio del rango de valores y de la curva de extrapolación en la zona del rango de datos) tiene que ser mínimo:

$$Q_k = f(k) = \frac{\sum w_i * (y_i(x_i) - f_k(x_i))^2}{y_{\min_k}^2 * \sum w_i} = \min \quad (i = 1..n)$$

siendo k un numerador de los tipos de curva disponibles (familia de curvas) para la extrapolación, particularmente, $y_{\min_k}^2 = [(y_{\max_k} + y_{\min_k})/2]^2$, siendo $y_i(x_i)$ el valor medido en la posición x_i , siendo $f_k(x_i)$ el valor funcional del tipo k-ésimo de curva para la extrapolación en la posición x_i , siendo w_i un factor de ponderación para cada valor medido individual o para todos los valores medidos de un segmento; de forma que la continuidad (S) se calcula como sigue:

$$S = \frac{\sum \gamma_i * (C_i - O_i)^2}{\sum \gamma_i};$$

siendo $i = 1..3$ una enumeración para las zonas de segmento, siendo γ_i : coeficientes de compensación $1..n$; O_1 a O_3 , las pendientes de la curva k-ésima seleccionada (36, 39, 42) para la extrapolación en los, en cada caso, semianchos del segmento; y C_1 a C_3 , las pendientes de los ajustes de los segmentos lineales.

12. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque la incertidumbre x se determina como sigue:

Selección de una función de extrapolación, que puede convertirse en estructuras lineales, o sea, se selecciona al menos del grupo

Función lineal $\rightarrow f(x) = y = a_0 + a_1 * x$

Función potencial $\rightarrow f(x) = \ln y = \ln a_0 + a_1 * \ln x$

Función logarítmica $\rightarrow f(x) = y = a_0 + a_1 * \ln x$

Función exponencial $\rightarrow f(x) = \ln y = \ln a_0 + a_1 x$,

establecimiento de una base de datos (6), comprendiendo la base de datos (6) n valores de x e y correlativos

cálculo de $\bar{x}$ e $\bar{y}$ de la base de datos (6) así como de la variable $\sum x_i y_i$

$$\text{cálculo de } S_{xy} = \frac{1}{n-1} (\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}) \quad (i=1..n)$$

$$\text{cálculo de } S_{x'} = \frac{1}{n-1} (\sum x_i - \bar{x})^2 \quad (i=1..n)$$

$$\text{cálculo de } S_{y'} = \frac{1}{n-1} (\sum y_i - \bar{y})^2 \quad (i=1..n)$$

$$\text{cálculo de una pendiente } b = \frac{S_{xy}}{S_{x'}}$$

cálculo de $a = (n-1) (s_y^2 - b^2 s_x^2)$,

determinación de una ecuación de una recta de regresión

$$y = \bar{y} + b(x - \bar{x}) ,$$

con un número confidencial γ se calcula una variable F (c)

$$F(c) = \frac{1}{2}(1 + \gamma) ,$$

con F(c) y n-2 (n = número de valores medidos) grados de libertad, la distribución de t (distribución de estudiantes) proporciona un valor c,

determinación de Δm

$$\frac{c\sqrt{a}}{s_x \sqrt{(n-1)(n-2)}} ,$$

resultando una incertidumbre de la pendiente m:

$$b - \Delta m \leq m \leq b + \Delta m ,$$

determinación de las ecuaciones lineales (27, 21) con las pendientes $b - \Delta m$, $b + \Delta m$,

determinación de los puntos de corte ($I_{\min}$, constante) e ($I_{\max}$, constante) de la recta con una paralela ($y = \text{constante}$), que corresponde a un valor límite (18),

determinación de los correspondientes valores de x $I_{\max}$ y $I_{\min}$, siendo $I_{\max} > I_{\min}$,

cálculo de $\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$.

13. Procedimiento acorde a la Reivindicación 11, **caracterizado** porque el rango de valores de la continuidad (S) se encuentra en el rango de 0 a $+\infty$.

14. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque la medida de la calidad (K) varía con el tiempo, y porque una evaluación de la varianza temporal de la amplitud de extrapolación (C) se calcula como sigue:

$$C = \frac{\sum \gamma_i * (K(t_i) - q(t))^2}{q_{\text{mitt}_k}^2 * \sum \gamma_i}$$

siendo i un número de interacciones, siendo, $q_{\text{mitt}_k}^2 = [(q_{\text{max}_k} + q_{\text{min}_k})/2]^2$ siendo Δi un factor de ponderación.

FIG 1

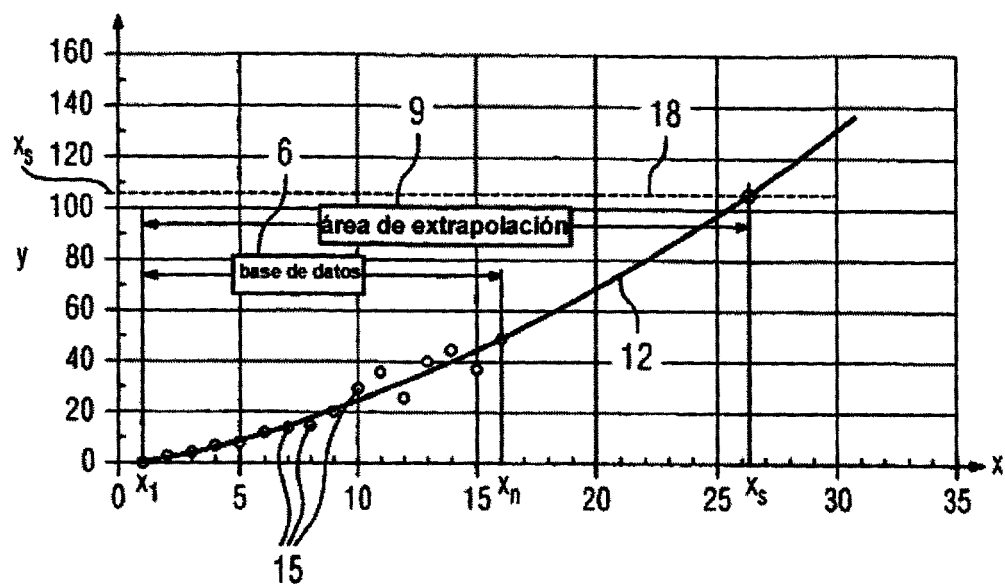


FIG 2

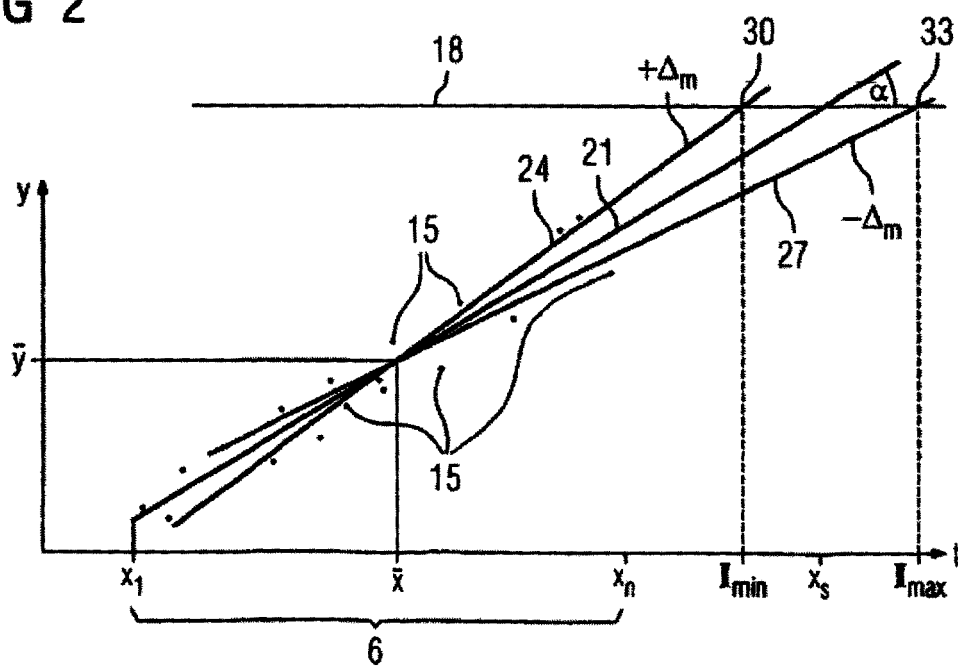


FIG 3

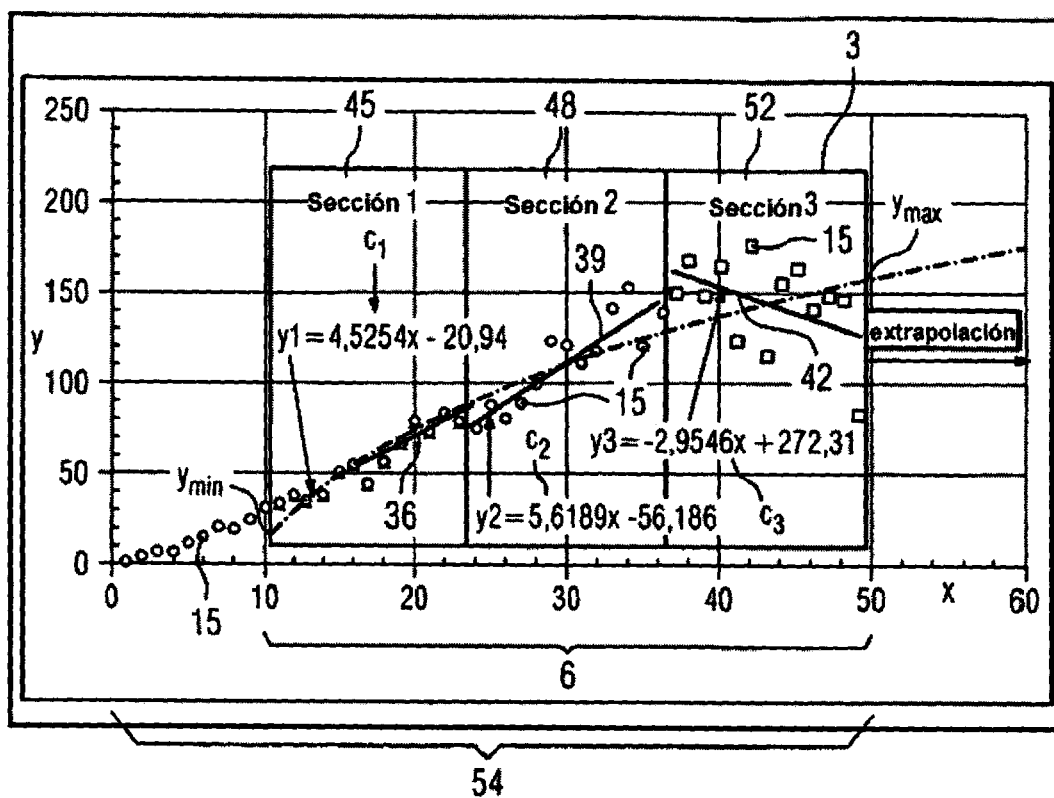


FIG 4

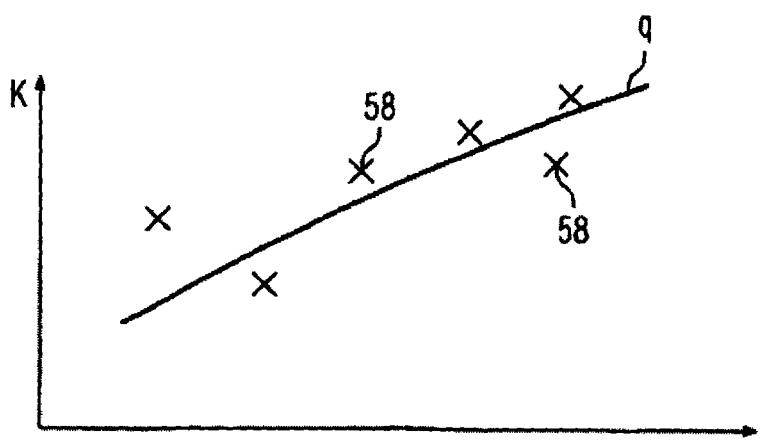


FIG 5

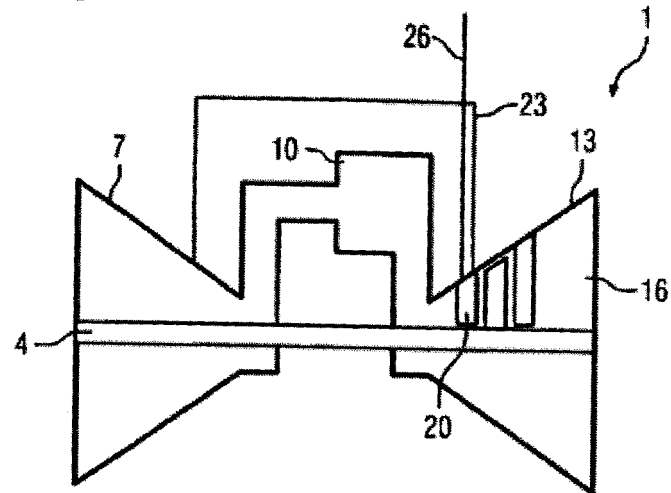


FIG 6

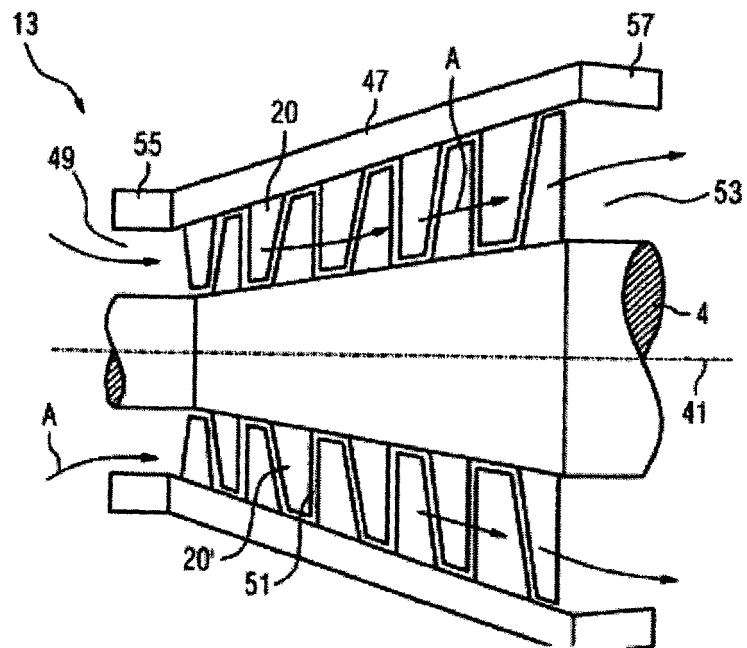


FIG 7

