

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 689 027**

51 Int. Cl.:

**G01H 1/00** (2006.01)

**G05B 23/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.12.2014 PCT/RU2014/000902**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.06.2016 WO16089238**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2014 E 14873124 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.06.2018 EP 3186598**

54 Título: **Monitorización de un dispositivo que tiene una parte móvil**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**08.11.2018**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Werner-von-Siemens-Straße 1  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**KOZIONOV, ALEXEY PETROVICH;  
MANGUTOV, OLEG VLADIMIROVICH y  
MOKHOV, ILYA IGOREVICH**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 689 027 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**

Monitorización de un dispositivo que tiene una parte movable

5 La presente invención se refiere a un aparato para la monitorización de un dispositivo que tiene una parte movable, especialmente un dispositivo rotatorio. Además, la invención se refiere a un método para la monitorización de un dispositivo que tiene una parte movable, especialmente un dispositivo rotatorio. Finalmente, la invención se refiere a un producto de programa informático.

10 El análisis de vibración es una técnica ampliamente utilizada para la monitorización de condiciones de los dispositivos que tienen una parte movable tales como motores, dispositivos de motor, otros dispositivos rotables o similares. El análisis de vibración se usa para determinar un estado de error del dispositivo a fin de obtener información sobre la disponibilidad del dispositivo para su operación determinada.

15 Una técnica más comúnmente utilizada para la prevención de fallas de sistemas o dispositivos de maquinaria rotatoria, respectivamente, se basa en la monitorización de temperatura, monitorización de desechos de aceite o monitorización de vibraciones. El análisis de vibración ofrece amplias posibilidades de técnica de prevención de fallas o monitorización, respectivamente, lo que permite detectar una falla en una etapa temprana de su desarrollo. En algunos casos, permite identificar el problema particular o el evento de origen.

Sin embargo, si los cambios en el dispositivo aparecen debido a la provisión de enmiendas en su condición mecánica, esto afecta la firma de vibración del dispositivo. Por lo tanto, se deben proporcionar adaptaciones para permitir una mayor monitorización del dispositivo.

20 La monitorización del dispositivo es especialmente importante cuando el dispositivo se utiliza en un sistema de infraestructura especialmente importante, como en la producción de petróleo, sistemas de suministro de agua en la ciudad, eliminación de aguas residuales o similares. Tales dispositivos a menudo se usan en condiciones pesadas y/o en un régimen de 24 horas. Por lo tanto, tales dispositivos forman componentes regularmente costosos y voluminosos, especialmente cuando son parte de una infraestructura de una ciudad, una región o similar. Una falla de un dispositivo de este tipo es generalmente importante y un incidente costoso. La falla de tales dispositivos puede ocurrir repentina o lentamente con la degradación de las características del dispositivo por el tiempo.

25 El documento WO 2004/059399 A2 describe un método y un sistema para el diagnóstico y pronóstico de un sistema mecánico. En particular, el documento WO 2004/059399 A2 describe un aparato para la monitorización de un dispositivo con una parte movable en el que el aparato emplea una etapa de clasificación. Aquí, las características se agrupan primero de acuerdo con los modos de falla conocidos y la ocurrencia del modo de falla es luego detectada por la clasificación de una clase. La clasificación se aplica a grupos de características.

30 El documento EP 2 208 981 A1 describe un método adicional de monitorización de la máquina para la detección y/o predicción en tiempo real.

Es un objeto de la invención mejorar la detección de errores de un dispositivo.

35 El objeto se resuelve mediante un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 así como un método de acuerdo con la reivindicación 8 así como un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 9. Se exponen aspectos adicionales de al menos algunas realizaciones de ejemplo de los aspectos de la invención. en las respectivas reivindicaciones dependientes.

40 De acuerdo con un primer aspecto relacionado con el aparato, el aparato comprende un módulo de control que está configurado para recibir una señal de vibración medida del dispositivo proporcionada por un sensor conectado con el dispositivo, para proporcionar un espectro de la señal de vibración medida, para preprocesar el espectro, para determinar las frecuencias base y las frecuencias laterales, donde las frecuencias base son frecuencias cuya potencia máxima corresponde a frecuencias propias del dispositivo o frecuencias defectuosas, y en donde las frecuencias laterales corresponden a las otras frecuencias, para procesar las frecuencias base y las frecuencias laterales aplicando separadamente una clasificación de una clase en las frecuencias base y las frecuencias laterales, para combinar los resultados de las clasificaciones de una clase obteniendo así una señal de clasificación que representa un nivel de confianza, y emitir una señal de apoyo de decisión basada en la señal de clasificación, cuya decisión respalda una señal que indica un estado de error del dispositivo monitorizado.

45 De acuerdo con un segundo aspecto relacionado con el método, el método comprende los pasos de: recibir una señal de vibración de método del dispositivo proporcionada por un sensor conectado con el dispositivo, proporcionando un espectro de la señal de vibración medida, preprocesando el espectro, en orden para determinar frecuencias base y frecuencias laterales, donde las frecuencias base son frecuencias cuya potencia máxima corresponde a frecuencias propias del dispositivo o frecuencias defectuosas, y en donde las frecuencias laterales corresponden a las frecuencias adicionales, procesando las frecuencias base y las frecuencias laterales aplicando por separado una clasificación de una clase en las frecuencias base y las frecuencias laterales, combinando los resultados de las clasificaciones de una clase obteniendo así una señal de clasificación que representa un nivel de confianza y emitiendo una señal de apoyo

a la decisión basada en la señal de clasificación, cuya señal de apoyo a la decisión indica estado de error del dispositivo monitorizado.

5 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporcionan uno o más productos de programas informáticos que incluyen un programa para un dispositivo de procesamiento, que comprende porciones de código de software de un programa para realizar los pasos del método de acuerdo con la invención cuando el programa se ejecuta en el dispositivo de procesamiento. Los productos del programa informático comprenden otros componentes ejecutables por ordenador que, cuando el programa se ejecuta en un ordenador, está configurado para llevar a cabo el método respectivo como se menciona aquí anteriormente. El producto/productos del programa informático anterior se puede realizar como un medio de almacenamiento legible por ordenador.

10 Teniendo en cuenta los enfoques de diagnóstico, los enfoques de dominio del tiempo, enfoques de dominio de frecuencia y enfoques de dominio de tiempo-frecuencia se pueden identificar. Los diferentes enfoques se pueden combinar para mejorar el análisis de vibración.

15 El aparato es un dispositivo que comprende preferiblemente una carcasa, en el que la carcasa incluye componentes de hardware electrónicos con el fin de proporcionar la operación deseada del aparato. Sin embargo, el aparato también puede ser proporcionado por un dispositivo de procesamiento, especialmente un ordenador, que ejecuta un cierto programa sobre el mismo, para proporcionar la operación deseada del aparato. Sin embargo, el aparato puede ser una combinación de componentes de hardware y un dispositivo de procesamiento. Además, el aparato también puede ser un chip de silicio que tiene componentes de hardware y/o un dispositivo de procesamiento integrado sobre el mismo.

20 El módulo de control es preferiblemente una parte del aparato que a su vez contiene una circuitería de hardware electrónico y/o un dispositivo de procesamiento. Preferiblemente, el módulo de control es integral con el aparato. Sin embargo, también puede ser un componente separado del aparato. Especialmente, el módulo de control puede ser un chip de silicio, más preferiblemente, puede ser una porción de un chip de silicio que proporciona el aparato.

25 El módulo de control está configurado para recibir la señal de vibración medida del dispositivo que es suministrada por un sensor respectivo, especialmente un sensor de vibración, que está conectado con el dispositivo. Por lo tanto, el sensor puede estar en comunicación con el módulo de control y/o el aparato, respectivamente. Para este fin, la comunicación puede ser un enlace de comunicación por cable, un enlace de comunicación inalámbrico, o combinaciones de los mismos.

30 El módulo de control está configurado para proporcionar el espectro de la señal de vibración medida recibida del sensor. El espectro se puede lograr proporcionando el cálculo respectivo en el caso del procesamiento de señal digital. Sin embargo, también puede basarse en el procesamiento de señales analógicas mediante el uso de circuitos adecuados. El espectro se obtiene preferiblemente mediante la ejecución de una transformación de Fourier. Sin embargo, también se puede aplicar otra transformación adecuada, por ejemplo, transformación de Laplace, transformación Z, o similares. Preferiblemente, la transformación está adaptada a la señal de vibración, el dispositivo, la falla de detección y/o similares.

35 El módulo de control está configurado además para preprocesar el espectro, a fin de determinar las frecuencias base y las frecuencias laterales. Para este propósito, el espectro está sujeto a alguna operación de modo que se puedan determinar las frecuencias cuya potencia máxima corresponda a las frecuencias propias del dispositivo o a las frecuencias defectuosas. Estas frecuencias están asignadas a frecuencias base. Las otras frecuencias están asignadas a frecuencias laterales.

40 A continuación, el módulo de control está configurado para procesar las frecuencias base y las frecuencias laterales aplicando por separado una clasificación de una clase en las frecuencias base y las frecuencias laterales. Por lo tanto, las frecuencias base y las frecuencias laterales son operadas por separado por el módulo de control. La clasificación de una clase puede basarse en algoritmos adecuados, tales como máquinas de vectores de soporte o similares.

45 El resultado de las clasificaciones de una clase mencionadas anteriormente es luego combinado por el módulo de control para que se obtenga una señal de clasificación que represente un nivel de confianza. Basado en esta señal de clasificación, el módulo de control está configurado para emitir una señal de soporte de decisión, cuya señal de soporte de decisión indica un estado de error del dispositivo monitorizado. Por lo tanto, el aparato de acuerdo con la invención permite una decisión adecuada ya sea que el dispositivo sea defectuoso o no. Además, la invención permite predecir con preferencia una falla del dispositivo, de modo que se puede planificar el mantenimiento del dispositivo para evitar el apagado completo del dispositivo. Esto puede ser importante para dispositivos que funcionan en sistemas de infraestructura.

55 Hasta cierto punto, la señal de vibración medida suministrada desde el sensor puede analizarse directamente mediante análisis de forma de onda pura. Esta no es ciertamente la forma más fácil de hacer análisis, sin embargo, puede hacerse principalmente.

Además, el análisis espectral puede basarse en el acondicionamiento de la señal antes del uso de mediciones de nivel general. En este caso, solo se consideran los componentes en la señal medida con una cierta banda de frecuencia.

En este caso, la información de diagnóstico se puede encontrar en la relación entre amplitudes y fases de ciertos componentes y sus armónicos.

Adicionalmente, un análisis envolvente puede ser proporcionado para diagnósticos para la investigación de maquinaria o dispositivos, respectivamente, donde las fallas tienen un efecto de modulación de amplitud en las frecuencias características de la maquinaria. Los ejemplos incluyen fallas en cajas de engranajes, turbinas, motores de inducción o similares. El análisis envolvente es una herramienta para el diagnóstico de fallas locales como grietas y espaciamientos en cojinetes de elementos rodantes. La detección envolvente o demodulación de amplitud es una técnica para extraer la señal de modulación de una señal modulada en amplitud. El resultado es un historial de tiempo de la señal de modulación. Esta señal puede estudiarse o interpretarse, respectivamente, tal como está en el dominio del tiempo, o puede someterse a un análisis de frecuencia posterior. Preferiblemente, el análisis envolvente se basa en el espectro de frecuencia de transformación rápida de Fourier de la señal de modulación.

También se puede proporcionar un análisis de Cepstrum. Los espectros de una máquina rotatoria pueden ser bastante complejos, contienen varios conjuntos de armónicos de partes rotatorias y pueden ser varios conjuntos de bandas laterales de diversas modulaciones. Cepstrum es una herramienta para la detección de periodicidad en un espectro de frecuencias. El análisis de Cepstrum convierte un espectro nuevamente en una firma de dominio de tiempo que tiene picos con respecto al período de los espaciamientos de frecuencia comunes en el espectro. Estos picos se pueden usar para encontrar picos de desgaste de cojinetes en los espectros originales. Los picos significativos en el Cepstrum corresponden a las posibles frecuencias de cojinetes fundamentales.

$$Cepstrum = FFT(\log(|FFT(x(t))|)) + j2\pi m$$

El análisis de Cepstrum se usa para detectar bandas laterales espaciadas a intervalos iguales alrededor de una o varias frecuencias de cojinetes. La presencia de tales bandas laterales es de interés en el análisis de las señales de vibración de la caja de engranajes, ya que una serie de fallas o errores, respectivamente, tienden a causar la modulación del patrón de vibración resultante del engranado de los dientes y esta modulación, modulación de amplitud o frecuencia, da lugar a bandas laterales en el espectro de frecuencia. Por ejemplo, las bandas laterales se agrupan alrededor de la frecuencia del engranado de los dientes y sus armónicos, espaciados en múltiplos de las frecuencias de modulación, y la determinación de estas frecuencias de modulación puede ser muy útil en el diagnóstico de la falla o error, respectivamente.

Además, el análisis de orden se puede aplicar preferiblemente en el caso de variaciones de velocidad de maquinaria o dispositivos rotatorios, respectivamente. Un proceso de transformación de Fourier, especialmente el proceso de transformación rápida de Fourier, transforma los datos del dominio del tiempo en el dominio de la frecuencia, creando un espectro. Las señales que son periódicas o repetitivas, respectivamente, en el dominio del tiempo aparecen como picos en el dominio de la frecuencia. En el análisis de orden, el proceso de transformación de Fourier transforma los datos del dominio de revolución en un espectro de orden. Las señales que son periódicas en el dominio de revolución aparecen como picos en el dominio de la orden. Por ejemplo, si un pico de vibración ocurre dos veces cada revolución en la misma posición del eje, aparece un pico en el segundo orden en el espectro de orden.

Además, se puede proporcionar un enfoque de reconocimiento de patrones. Este enfoque apunta a clasificar o hacer patrones, respectivamente, basados ya sea en un conocimiento previo o en información estadística extraída de los patrones. Los patrones a clasificar son generalmente grupos de mediciones u observaciones, definiendo puntos en un espacio multidimensional apropiado.

Preferiblemente, un sistema completo de reconocimiento de patrones comprende un sensor que reúne las observaciones para clasificarlo o describirlo, un mecanismo de extracción de características que computa una información numérica o simbólica de las observaciones y un esquema de clasificación o descripción que hace el trabajo de clasificar o describir observaciones, confiando en las características extraídas. El esquema de clasificación o descripción generalmente se basa en la disponibilidad de un conjunto de patrones que ya han sido clasificados o descritos. Este conjunto de patrones se denomina un conjunto de entrenamiento, y la estrategia de aprendizaje resultante se caracteriza por el aprendizaje supervisado.

De acuerdo con la disponibilidad de un conocimiento previo se podrían considerar dos enfoques básicos. En primer lugar, la situación se considera cuando no hay conocimiento sobre fallas o errores particulares, respectivamente, y los patrones relacionados no están disponibles y solo están disponibles los datos correspondientes al comportamiento normal. En segundo lugar, cuando se conocen los patrones relacionados con la falla, por lo tanto, es posible clasificar la condición del sistema con respecto a esas fallas conocidas. Los dos enfoques mencionados anteriormente se pueden considerar como parte de un sistema donde la presencia de falla se identifica utilizando el primer enfoque y el diagnóstico/clasificación del tipo de falla se realiza posteriormente.

Además, se proporciona una clasificación de un lado según la invención. Una idea de la clasificación de un lado es en el campo de la monitorización de condición y análisis de fallas que los datos industriales reales, que se pueden recopilar normalmente corresponden a las condiciones normales de operación del dispositivo, mientras que la mala recopilación de datos es costosa, y el modelado de fallas no está siempre disponible. El clasificador está entrenado en datos

industriales reales como datos "buenos" para que el clasificador pueda conocer el comportamiento del sistema y luego genere una alarma al detectar desviaciones de este estado normal.

5 Adicionalmente, se puede usar una configuración de umbral para la detección de comportamiento anormal. Sin embargo, la configuración del umbral como tal requiere cierto conocimiento y experiencia del experto sobre el dispositivo y la naturaleza del proceso para permitir que el umbral se establezca correctamente. La configuración del umbral se puede aplicar en el dominio del tiempo definiendo límites inferiores y/o superiores para las señales medidas o para las características de esas señales. Por ejemplo, el nivel general de vibración no debe ser mayor que el valor umbral, por lo que el sistema genera una alarma en caso de que se exceda el valor umbral.

10 Además, se puede usar el concepto de nubes neuronales. Esta técnica se aplica al campo del análisis de vibración. La aplicación de métodos neuro-difusos es un intento de hacer que el sistema de monitorización de condición experta sea más inteligente y capaz de enfrentar los complejos problemas del mundo real manteniendo los costes de monitorización razonables. El concepto presentado a continuación conduce a un método eficiente de encapsulación de datos para la clasificación de un solo lado.

15 La idea principal es que algunos defectos particulares generan un aumento notable de la amplitud en las frecuencias que podrían calcularse a partir de, por ejemplo, el cojinete o parámetros de la caja de engranajes como el dispositivo. Al monitorizar las amplitudes dentro de las bandas de frecuencia proporcionadas alrededor de estas frecuencias, un experto puede decidir si esta situación corresponde a un estado normal del dispositivo o un estado de falla o un estado de error, respectivamente. Se desarrolla un método de evaluación que tiene como objetivo realizar un diagnóstico del dispositivo o de la maquinaria rotatoria, respectivamente, sin conocimiento previo sobre la estructura interna del dispositivo y su entorno de sistema. Este método de evaluación puede interpretar por ejemplo, datos de vibración para distinguir las situaciones normales que se utilizaron para su entrenamiento de situaciones críticas y anormales que se asignan a un estado de error. La aplicación del modelado neuro-difuso permite detectar variaciones del comportamiento estándar. Para esta aplicación en particular, una serie de espectros, espectros especiales de Fourier medidos para el sistema en estado normal se utilizan para la creación de una superficie de encapsulado (NC). Después de haber terminado una fase de entrenamiento, el método mencionado anteriormente se utiliza para la clasificación de estados mediante el cálculo de los valores de confianza de los mismos.

20 Los picos del espectro pueden generar diferentes niveles de alarma que dependen del nivel de confianza correspondiente. Si hay un cambio crítico en el espectro, el nivel de confianza disminuye del 100% al 0%. Mediante la configuración de niveles de alarma o valores de umbral apropiados, respectivamente, se puede estimar si la situación corresponde a una condición no crítica (buena), crítica (advertencia) o extremadamente crítica (estado de alarma). Se representa un modelo que preferiblemente admite un operador humano o un experto, respectivamente, en la tarea de estimar la vida útil restante del sistema y evitar frenar. Además, la evolución del valor de confianza se puede seguir durante semanas o meses si el NC se instala como un sistema de monitorización en línea que realiza mediciones periódicas con una frecuencia de orden minuto. Esto representa una etapa importante para el concepto del sistema de diagnóstico del tiempo de vida real, ya que el método de evaluación desarrollado permite la detección de efectos del sistema y también el diagnóstico eficiente del estado del sistema o el estado del dispositivo, respectivamente.

25 La agrupación es una herramienta complementaria que respalda la tarea de reconocimiento de patrones. En una realización particular, el espacio de medición se puede agrupar con respecto al estado del sistema y más tarde comprobando si los nuevos puntos de medición pertenecen a ciertos grupos para que se pueda estimar el estado desconocido del sistema.

30 El algoritmo vecinos más cercano  $k$  ( $k$ -NN) es un método de agrupación. Este método permite clasificar objetos en función de los ejemplos de entrenamiento más cercanos en el espacio de características. El  $k$ -NN es un tipo de aprendizaje basado en el instante, o aprendizaje perezoso donde la función solo se aproxima localmente y todos los cálculos se difieren hasta la clasificación.

35 Los ejemplos de entrenamiento son vectores en un espacio de características multidimensionales, cada uno con una etiqueta de clase. La cara de entrenamiento del algoritmo consiste solo en almacenar los vectores de características y las etiquetas de clase de las muestras de entrenamiento.

40 En la cara de clasificación,  $k$  es una constante definida por el usuario, y una no etiquetada se clasifica asignando la etiqueta que es más frecuente entre las muestras de entrenamiento  $k$  más cercanas al punto de consulta. Además, una consulta o punto de prueba se puede clasificar asignando la etiqueta. De acuerdo con una realización, la distancia euclidiana se usa como distancia métrica. Sin embargo, en casos como la clasificación de texto, se usa una métrica como la métrica de solapamiento o la distancia de corte, respectivamente. En la agrupación difusa, cada punto tiene un grado de pertenencia a los grupos, como en la lógica difusa, en lugar de pertenecer por completo a un solo grupo clásico. Por lo tanto, los puntos en el borde de un grupo, pueden pertenecer a un grupo en menor grado que los puntos en el centro de este grupo. Para cada punto  $x$ , un coeficiente proporciona el grado de ser parte del grupo  $k$ -TH UK ( $x$ ). Preferiblemente, la suma de esos coeficientes para cualquier  $x$  dada se define preferiblemente como 1.

45 Los métodos de agrupamiento se usan para separar los regímenes de la operación del dispositivo por agrupamiento en función de los parámetros de proceso seleccionados, por ejemplo por valores RPM o características de carga. Para cada grupo, régimen o conjunto de estados de referencia seleccionados, la instancia de clasificación de un lado está

entrenada para identificar la apariencia de un comportamiento anormal del equipo o dispositivo, respectivamente, en un régimen o modo de operación dado. Por lo tanto, la detección del comportamiento anormal se puede lograr con un alto grado de precisión.

5 Después de observar el comportamiento anormal de la máquina o dispositivo, respectivamente, se pueden llevar a cabo análisis más detallados de la causa raíz de la falla. Esto se puede hacer mediante el uso de un sistema experto que es un conjunto de métodos que permiten el uso de un conocimiento experto formalizado eficazmente. Un sistema experto basado en reglas es un enfoque para detectar y clasificar fallas del dispositivo, especialmente el dispositivo rotatorio.

10 Al combinar el enfoque de configuración de umbral en el dominio de la frecuencia y el conocimiento experto relacionado con patrones de fallas particulares, esto se puede usar para los análisis de fallas de dispositivos en rotación.

Por lo tanto, la invención proporciona una monitorización fácil de dispositivos, especialmente dispositivos rotatorios mediante el uso de la vibración del dispositivo.

15 El método de la invención se basa en el análisis de un espectro proporcionado por un sensor instalado en el dispositivo. El espectro es preferiblemente un espectro de transformación completo. En un régimen normal, la dependencia entre las frecuencias espaciales y laterales es estable, mientras que en un régimen anormal, esta dependencia se romperá. La dependencia rota puede ser causada, por ejemplo, por una mayor potencia de vibraciones propias o por una mayor potencia de frecuencias laterales que pueden corresponder al comportamiento de falla. Esta dependencia es preferiblemente aproximada por un clasificador neuronal de una clase, especialmente nubes neuronales (NC).

20 Sin embargo, de antemano, el clasificador de una clase debe ser aprendido. La aplicación de nubes neuronales se puede realizar de la siguiente manera:

Entrenamiento del clasificador de una clase en datos normales

Prueba del clasificador de una clase.

De acuerdo con el concepto de la invención, este enfoque permite mejorar la decisión relacionada con el estado de error del dispositivo.

25 De acuerdo con una realización ejemplar, el módulo de control está configurado para reducir el nivel de ruido de la transformación de vibración durante el preprocesado. Esto mejora la precisión al determinar las frecuencias base y las frecuencias laterales.

30 Además, de acuerdo con una realización ejemplar adicional, el módulo de control está configurado para aplicar un valor umbral en la transformada de vibración durante el preprocesamiento. Este enfoque mejora aún más la precisión para determinar las frecuencias base y las frecuencias laterales.

Un enfoque para mejorar la invención de acuerdo con otra realización a modo de ejemplo es que el módulo de control está configurado para determinar por separado la suma de la potencia de las frecuencias base y las frecuencias laterales, respectivamente. Esto es útil para preparar el siguiente paso de procesamiento y proporcionar el enfoque neural-difuso relacionado con la clasificación.

35 De acuerdo con aún otra realización ejemplar, el módulo de control está configurado para considerar la dependencia entre las frecuencias base y las frecuencias laterales durante el procesamiento. Esto permite mejorar la calidad del paso de procesamiento con respecto a la clasificación.

40 Preferiblemente, el módulo de control comprende además nubes neuronales para proporcionar una clasificación de una clase. Por lo tanto, el procesamiento puede basarse en medios que ya están presentes para que la invención se pueda realizar fácilmente.

De acuerdo con otra realización a modo de ejemplo, el módulo de control está configurado para entrenar una clasificación de una clase basándose en los datos recibidos de la señal de vibración durante el funcionamiento sin errores. Esto permite un entrenamiento fácil de la clasificación de una clase para identificar el estado operativo normal del dispositivo.

45 De acuerdo con aún otra realización, el módulo de control está configurado para usar una máquina de vectores de soporte con el fin de proporcionar una clasificación de una clase. La máquina de vectores de soporte es un algoritmo que se puede aplicar fácilmente para realizar la invención.

50 Las enseñanzas de la presente invención pueden entenderse fácilmente y al menos aparecerán algunos detalles específicos adicionales al considerar la siguiente descripción detallada de al menos una realización a modo de ejemplo junto con los dibujos adjuntos que muestran esquemáticamente la invención aplicada a la monitorización del dispositivo que tiene una parte móvil.

En el dibujo se muestra:

La figura 1 muestra esquemáticamente un diagrama que representa una señal de vibración de una máquina rotativa que tiene en su cojinete un daño interno de carrera;

La figura 2 muestra esquemáticamente, en un diagrama de la izquierda, un análisis espectral basado en FFT de una señal de acuerdo con la figura 1, mientras que, en el diagrama de la derecha, se aplica un análisis envolvente;

5 La figura 3 muestra esquemáticamente tres diagramas, en donde el diagrama superior muestra un espectro de la señal de vibración, un diagrama medio muestra un espectro envolvente de acuerdo con el diagrama superior, y el diagrama inferior muestra un espectro envolvente sin falta del cojinete;

La figura 4 muestra esquemáticamente dos diagramas, en donde el diagrama superior muestra un espectro de una señal de vibración, y en el que el diagrama inferior muestra un espectro respectivo del diagrama superior;

10 La figura 5 muestra esquemáticamente un diagrama que representa una serie temporal de un cojinete;

La figura 6 es un diagrama que muestra esquemáticamente un espectro de orden de la serie temporal de acuerdo con la figura 5;

La figura 7 es un diagrama que representa esquemáticamente un ajuste de umbral para un espectro para proporcionar alarma y advertencia;

15 La figura 8 muestra esquemáticamente dos diagramas, en donde el diagrama de la izquierda muestra contornos de densidad de datos espectrales y el diagrama de la derecha muestra una superficie tridimensional correspondiente;

La figura 9 muestra esquemáticamente una operación de acuerdo con la invención;

La figura 10 es un diagrama que muestra esquemáticamente las potencias de frecuencia de base y lateral de un espectro de un molino;

20 La figura 11 es un diagrama que muestra el funcionamiento del procesamiento de acuerdo con la invención en base a un valor de confianza del comportamiento normal; y

La figura 12 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques que representa un enfoque de red de funciones básicas radiales (RBF).

25 La figura 1 muestra un diagrama ejemplar que representa una forma de onda que ilustra una señal 12 de vibración que representa un daño de pista interior del cojinete que está modulado a la frecuencia del eje. El cojinete 20 es una parte de un dispositivo rotatorio a controlar que no se representa adicionalmente en los dibujos. Las métricas de señal y los parámetros estadísticos utilizados para detectar los daños en equipos rotativos son los siguientes:

El nivel de pico simplemente se define como una diferencia media entre los niveles de vibración máximo y mínimo:

$$\text{Pico} = \frac{\text{max} - \text{min}}{2}$$

30 El valor del Cuadrado Medio de la Raíz (RMS) de la señal es el segundo momento estadístico normalizado de la señal. Para señales discretas, se define como:

$$\text{rms} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}}$$

35 El RMS de la señal se usa comúnmente para describir el estado estable de una señal variable en el tiempo. La medición del nivel de vibración global en una amplia banda de frecuencias es la técnica más básica de monitorización de vibraciones. El nivel de vibración medido tiene tendencia a lo largo del tiempo como indicador de la condición de la máquina o del dispositivo, respectivamente. Típicamente, como se considera un pico global del nivel de vibración o un valor RMS, sin embargo, el valor RMS es en algunos casos preferible para evitar la influencia de, por ejemplo, ruido estadísticamente insignificante. Cabe mencionar que el análisis del nivel general de vibración puede indicar la falla de una máquina relativamente simple, pero no proporcionará ninguna información de diagnóstico. Además, la falla se detectará solo después de que haya causado un aumento significativo del nivel general de vibración y, por lo tanto, para máquinas complejas, las fallas pueden pasar desapercibidas. Teniendo en cuenta los tipos de fallas particulares, se puede ver que la forma de la señal puede ser un mejor indicador de daño que el nivel general de vibración. Por ejemplo, las fallas que producen impulsos a corto plazo, como fallas en los cojinetes o fallas dentadas del engranaje localizadas, probablemente no afecten significativamente el nivel general de vibración, pero pueden causar un cambio significativo en la forma de la señal. El factor de cresta y la curtosis a menudo se usan como medida no dimensional de la forma de la onda de señal.

45 El factor de cresta se define como una relación de los valores de pico y RMS de la señal:

$$C = \frac{|x|_{\text{pico}}}{x_{\text{rms}}}$$

El factor de cresta se usa como una medida de la naturaleza impulsiva de la señal. Aumentará en caso de presencia de impulsos discretos que no son lo suficientemente frecuentes como para influir en el nivel de RMS. El sesgo y la curtosis son respectivamente el 3° y 4° momento estadístico de la señal

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{3/2}}$$

5

donde  $\mu_3$  es el tercer momento sobre la media,  $\sigma$  es la desviación estándar,  $\bar{x}$  es la media de la muestra.

$$\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3,$$

donde  $\mu_4$  es el cuarto momento sobre la media,  $\sigma$  es la desviación estándar.

10 Esas medidas son utilizadas para detectar efectivamente los cambios en la distribución estadística de la señal. Debe mencionarse que los parámetros, que son independientes de la magnitud real del nivel de vibración, proporcionan una indicación temprana de cambios significativos que generalmente aparecen en la etapa inicial del desarrollo del defecto.

15 El análisis de bandas de frecuencias usando algunos de los parámetros mencionados anteriormente puede mejorarse significativamente utilizando el filtrado previo de los datos medidos. Por medio del filtrado de datos, la señal 12 de vibración se puede dividir en varias bandas de frecuencia. La idea detrás de este enfoque es que en algunos casos la falla puede no causar un cambio significativo en la señal 12 de vibración global, por ejemplo dominando las vibraciones no relacionadas con fallas con mayor energía pero puede volverse reconocible dentro de una banda de frecuencias que no se ve tan afectada por esas vibraciones sin falla.

20 Los métodos de recuento cíclico se pueden emplear en el análisis de fatiga. El conteo cíclico se puede usar para resumir historias irregulares de carga versus tiempo al proporcionar el número de veces que ocurren los ciclos de varios tamaños. La definición de un ciclo varía con el método de conteo cíclico. Estas prácticas cubren los procedimientos utilizados para obtener recuentos de ciclos por varios métodos, incluido el conteo de pasos a nivel, recuento de picos, conteo de rango simple, conteo de pares de rango y conteo de flujo de lluvia. Los recuentos de ciclos se pueden realizar para historias de tiempo de fuerza, tensión, esfuerzo, par, aceleración, desviación u otros parámetros de carga de interés.

25 Las ventajas de los métodos de análisis de dominio de tiempo son la simplicidad de uso e implementación. Pueden servir como métodos rentables para la supervisión de componentes de máquinas relativamente simples que son relativamente baratos y fácilmente reemplazables, como por ejemplo, pequeñas bombas o generadores. Las métricas de señales de dominio de tiempo se pueden usar para detectar una falla inminente de estos componentes, lo que permite realizar los procedimientos de mantenimiento requeridos antes del daño total del componente o de la máquina completa. Sin embargo, para máquinas más costosas o más complejas, es más importante detectar daños en una etapa temprana e identificar con mayor precisión la causa raíz de la falla.

30 La figura 2 muestra un análisis espectral basado en el acondicionamiento previo de la señal. En este caso, solo se consideran los componentes en la señal 12 medida dentro de una cierta banda de frecuencia. Aquí, la información de diagnóstico se puede encontrar en la relación entre amplitudes y caras de ciertos componentes y sus armónicos.

35 La transformación discreta de Fourier (DFT) descompone una secuencia de valores en componentes de diferentes frecuencias.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi}{N} kn}, \quad k = 0, \dots, N-1$$

40 Y una transformación rápida de Fourier (FFT) es un algoritmo eficiente para calcular el DFT y su inverso. La FFT permite calcular el espectro de la señal y comparar la forma del espectro con, por ejemplo, la forma que se grabó previamente para una nueva máquina o forma relacionada con defectos conocidos. La técnica de análisis de

frecuencia se puede usar tanto en la monitorización de condición como en el diagnóstico de máquinas y también para la protección contra fallas.

5 La figura 3 muestra un diagrama con respecto al análisis envolvente. Se puede usar para hacer una demodulación de amplitud, es decir, detección de la representación espectral y temporal de la señal de modulación, e identificar las ocurrencias de eventos impulsivos en maquinaria 20 rotativa.

10 Una ventaja de este método es el hecho de que las características de las señales de interés aparecen preferiblemente solo si aparece un defecto o error, respectivamente, por lo que no es necesario adaptar el sistema para detectar posibles defectos haciendo y comparando varias mediciones periódicas. Las características de señal de interés se detectan mediante una única medición de vibración, no absoluta, sino de valor relativo, por lo que el método es poco sensible a la precisión de las mediciones. Permite la detección e identificación sobre por ejemplo, aproximadamente 10 diferentes tipos de defectos de instalación y operación de cojinetes de elementos rodantes, muchos tipos de defectos de cojinete, engranajes, impulsores de bomba y muchas otras unidades con elementos de fricción, y pueden proporcionar predicciones de condición a largo plazo para cada uno de ellos.

15 La figura 4 muestra esquemáticamente dos diagramas con respecto a los análisis de Cepstrum. Por ejemplo, las bandas laterales se agrupan alrededor de una frecuencia del engranado de los dientes de una caja de engranajes y sus armónicos, espaciados en múltiplos de las frecuencias de modulación, y la determinación de estas frecuencias de modulación puede ser muy útil en el diagnóstico de la falla.

20 Desde el punto de vista matemático, cepstrum normalmente se define como el espectro de potencia del logaritmo del espectro de potencia. Como la calibración absoluta es de segunda importancia (siempre que se mantenga la coherencia) y dado que el espectro de potencia logarítmica se expresaría normalmente en dB, la unidad de amplitud del cepstrum se considera en este documento como (dB)<sup>2</sup>. En ocasiones, sin embargo, el término cepstrum también se puede aplicar al espectro de amplitud, por ejemplo, raíz cuadrada del espectro de potencia, y esto se distinguirá por tener las unidades dB.

25 La figura 5 muestra esquemáticamente una serie de tiempo con respecto a otros análisis de órdenes de suministro. El análisis de orden se utiliza para resolver el problema de las variaciones de velocidad de las máquinas rotatorias. El proceso FFT transforma los datos de dominio de tiempo en el dominio de frecuencia, creando un espectro. Las señales que son periódicas o repetitivas, respectivamente, en el dominio del tiempo aparecen como picos en el dominio de la frecuencia. En el análisis de orden, la FFT transforma los datos de dominio de revolución en un espectro de orden. Las señales que son periódicas en el dominio de revolución aparecen como picos en el dominio de orden. Por ejemplo, si un pico de vibración ocurre dos veces cada revolución en la misma posición del eje, aparece un pico en el segundo orden en el espectro de orden.

30 Por ejemplo, hay impactos causados por el diente de niebla en la caja de engranajes. Esto da como resultado el diagrama de acuerdo con la figura 6. El número de dientes en el eje de salida de la caja de engranajes es 27. Los pedidos 27<sup>o</sup>, 54<sup>o</sup> y 81<sup>o</sup> tienen una gran amplitud (véase la figura 6). Corresponden a la frecuencia de engrane y sus 2<sup>o</sup> y 3<sup>o</sup> armónicos. Para calcular el espectro de orden para la serie de tiempo medida recogida en la máquina rotativa con una velocidad variable, se requiere preferentemente una señal de tacho o de faser de tecla. Después de volver a muestrear la señal original, cuyo objetivo es hacer un número igual de muestras de datos para cada revolución, se puede calcular el espectro de orden. Para la velocidad de rotación constante, el espectro de orden sería similar al espectro de frecuencia con el primer orden correspondiente a la frecuencia de rotación.

35 La figura 7 muestra esquemáticamente un diagrama, en el que se representan configuraciones de umbral para la alarma 32 y la advertencia 34 basadas en un espectro 14. El ajuste 32, 34 de umbral se aplica en el dominio del tiempo definiendo límites inferiores y/o superiores para la señal medida o para las características de esas señales. Por ejemplo, el nivel de vibración global no puede ser mayor que un valor umbral dado y el sistema genera una alarma en caso de que se detecte una situación de este tipo. Este enfoque también se puede usar para los análisis de dominio de frecuencia definiendo el conjunto de umbrales para bandas de frecuencia predefinidas que se muestra en la figura 7.

40 La figura 8 muestra esquemáticamente un contorno 36 de densidad de datos en un diagrama izquierdo, y en un diagrama derecho, una superficie 38 tridimensional correspondiente. Los picos del espectro 14 generan diferentes niveles de alarma, que dependen del nivel de confianza correspondiente. Si hay un cambio crítico en el espectro 14, el nivel de confianza disminuye del 100% al 0%. Mediante la configuración de los niveles de alarma apropiados, el sistema puede estimar si bien la situación corresponde a la no crítica (buena), crítica (advertencia) o extremadamente crítica (alarma). Se representa un modelo para apoyar al experto humano en la tarea de estimar la vida útil restante del sistema y prevenir las averías. Además, la evolución del valor de confianza se puede seguir durante semanas o meses si el NC se instala como un sistema de monitorización en línea, realizando mediciones periódicas con una frecuencia de orden minuto. Esto representa una etapa importante para el concepto del sistema de diagnóstico en tiempo real, ya que el método de evaluación desarrollado permite la detección de defectos del sistema y también el diagnóstico eficiente del estado del sistema.

45 Las figuras 9 a 11 muestran el funcionamiento de un aparato de la invención. El cojinete 20 de elemento rodante como se representa en la figura 3 se considera como un ejemplo. Los rodillos o bolas, respectivamente, rodando sobre una

falla local en el cojinete 20 producen una serie de impactos de fuerza. Si la velocidad de rotación de las carreras es constante, la tasa de repetición de los impactos está determinada únicamente por la geometría del cojinete 20. Las tasas de repetición se denotan como frecuencias de cojinetes y son las siguientes:

BPFO, Carrera exterior de Frecuencia Pasante de Bola, falla local en la carrera

5 BPFI, carrera interna de frecuencia Pasante de la bola, falla local en la carrera interna

BFF, Frecuencia de falla de bola =  $2 * BSF$ , frecuencia de giro de bola, falla local en elemento rodante

FTF, Frecuencia fundamental del tren, falla en la jaula o flojedad mecánica.

10 El espectro 14 de la vibración 12 medido en la máquina que contiene el cojinete 20 defectuoso contiene una o más de las frecuencias de cojinete. La información sobre los picos en estas frecuencias se puede extraer utilizando los métodos mencionados anteriormente. Y esta información será una entrada para el sistema experto. La base de reglas del sistema experto contiene conexiones entre las frecuencias calculadas para un cojinete particular y las fallas 42 correspondientes. Por ejemplo, una regla puede verse como "si hay un pico en BPFO, entonces la fallo 42 es desgaste de carrera externa". Para un equipo en particular, las frecuencias críticas podrían precalcularse en función de la geometría de las partes del equipo.

15 La figura 9 muestra las tareas que proporciona el aparato de la invención. El aparato, especialmente el módulo 10 de control, recibe una señal 12 de vibración medida del cojinete 20 de elemento rodante que es proporcionado por un sensor respectivo conectado con el cojinete 20. La señal 12 de vibración proviene de un molino (no mostrado). El módulo 10 de control del aparato transforma la señal 12 de vibración en un espectro 14 aplicando una transformación rápida de Fourier de la señal 12 de vibración. Luego, el espectro 14 recibido se procesa previamente para determinar las frecuencias 16 base y las frecuencias 18 laterales. Las frecuencias 16 base son frecuencias cuya potencia máxima corresponde a frecuencias propias del dispositivo 20 o frecuencias defectuosas. Las frecuencias 18 laterales corresponden a las frecuencias adicionales.

25 En esta realización, el módulo 10 de control proporciona una reducción de ruido y aplica un umbral, en el que los valores relacionados con la frecuencia que exceden el umbral se identifican como frecuencias 16 base. Todas las frecuencias adicionales se determinan como frecuencias 18 laterales. A continuación, los resultados de las clasificaciones 22 de una clase se combinan obteniendo de este modo una señal 24 de clasificación que representa un nivel de confianza. Esto se logra utilizando un enfoque neural-difuso. Como puede verse en la figura 9, a este respecto una campana 40 gaussiana tridimensional, en la que se ubica una señal 24 de clasificación, la campana 40 representa un estado sin error, en el que una señal 24 de clasificación fuera de la campana 40 representa un estado de error del dispositivo 20 (figura 9). El módulo 10 de control emite a continuación una señal de soporte de decisión basada en la señal 24 de clasificación, cuya señal indica un estado de error del dispositivo 20 monitorizado. El soporte de decisión está en la porción derecha de la figura 9 con un valor de confianza entre 0 y 1.

35 La figura 10 muestra las potencias de las frecuencias 16 base y las frecuencias 18 laterales de un espectro 14 recibidas de una señal 12 de vibración del molino que está sometido a FFT. La figura 11 muestra esquemáticamente un diagrama del valor de confianza del comportamiento normal. En la porción izquierda se indica una etapa 44 de entrenamiento, en donde la porción media y la derecha se refieren a la etapa 46 de prueba. Como se puede ver en la figura 11, se identificaron dos situaciones 48, 50 de alerta, en donde una tercera porción 52 no ha sido decidida, ya que se necesita más información.

40 El funcionamiento de la clasificación 22 de una clase se detalla adicionalmente con respecto a la figura 12. Actualmente, se usa un algoritmo de clasificación de nube 30 neural como máquina de vector de soporte. La estimación de una función de membresía consiste preferiblemente en dos pasos: primero, la agrupación por el algoritmo de agrupación de medios K avanzados (AKM) y, segundo, una aproximación de agrupamientos por aproximación de red de funciones básicas radiales (RBF) (ver figura 12). AKM es una modificación del algoritmo de medios K con un cálculo adaptativo del número óptimo de grupos para el número máximo dado de grupos (centroides).

45 El propio AKM consiste preferiblemente en los siguientes pasos:

- Establezca un número inicial de centroides K y un límite máximo y mínimo.
  - Llame al algoritmo medios K para posicionar los centroides K.
  - Inserte o borre los centroides de acuerdo con las siguientes premisas:
  - 50 • Si las distancias de los datos están por encima de una cierta distancia del centroide más cercano, genere un nuevo centroide.
  - Si alguno de los grupos contiene menos de una cierta cantidad de datos, entonces elimine el centroide correspondiente.
  - Si la distancia entre algunos centroides es menor que un cierto valor, entonces combine esos grupos en uno.
  - Pasa al paso 2 a menos que se alcance un cierto número de épocas, o el número de centroides y sus coordenadas se hayan estabilizado.
- 55

El resultado del algoritmo AKM son centros de grupos que representan datos históricos relacionados con el comportamiento normal. Esto se usa como un conjunto de entrenamiento. Después de todo, los centros de grupos se han extraído de los datos de entrada, los datos se encapsulan con una hipersuperficie (función de pertenencia). Para este propósito, se usan distribuciones gaussianas (campana gaussiana) 56.

5

$$R_i = e^{-\frac{|x-m_i|}{2\sigma^2}}$$

donde  $m_i$  son centros de la campana 56 gaussiana,  $\sigma$  es un ancho de la campana 56 gaussiana,  $x$  es datos de entrada.

10

Los centros de grupos AKM se asignan a los centros de las correspondientes campanas 56 gaussianas, como puede verse a partir de la figura 12 con respecto a L1. La suma de todas las campanas 56 gaussianas se calcula para obtener la función de membresía. La suma de las campanas 56 gaussianas será preferiblemente una unidad en el caso de que estas campanas 56 se solapen. A continuación, se aplica la normalización 54 para hacer que los valores de confianza  $P^C$  se calculen mediante las nubes 30 neuronales en los límites entre 0 a 1 (véase la figura 12).

15

Las nubes 30 neuronales encapsulan toda la historia previa de los parámetros seleccionados para un período de entrenamiento dado. Después del entrenamiento, las nubes 30 neuronales calculan un valor de confianza para cada nuevo estado del cojinete 20, que describe el valor de confianza del comportamiento normal.

De acuerdo con la invención, las nubes 30 neuronales unidimensionales construyen la función de membresía para el error de modelo de la simulación de fatiga térmico-mecánica (TF) y proporciona una salida difusa de valores de confianza entre 0 y 1.

20

Si se desea, las diferentes funciones y realizaciones discutidas en este documento pueden realizarse en un orden diferente o en una desviación y/o actualmente entre sí de varias maneras. Además, si se desea, una o más de las funciones y/o realizaciones descritas anteriormente pueden ser opcionales o pueden combinarse, preferiblemente de una manera arbitraria.

25

Aunque se establecen diversos aspectos de la invención en las reivindicaciones independientes, otros aspectos de la invención comprenden otras combinaciones de las características de las realizaciones descritas y/o las reivindicaciones dependientes con las características de las reivindicaciones independientes, y no solo las combinaciones explícitamente establecidas en las reivindicaciones.

También se observa aquí que, aunque lo anterior describe realizaciones de ejemplo de la invención, esta descripción no debe considerarse como limitativa del alcance. Más bien, hay varias variaciones y modificaciones que pueden realizarse sin apartarse del alcance de la presente invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato para monitorizar un dispositivo (20) que tiene una parte movable, especialmente un dispositivo (20) rotativo, comprendiendo el aparato:
  - un módulo (10) de control configurado para
  - 5 recibir una señal (12) de vibración medida del dispositivo (20) proporcionada por un sensor conectado con el dispositivo (20),
  - proporcionar un espectro (14) de la señal (12) de vibración medida,
  - preprocesar el espectro (14), para determinar las frecuencias (16) base y las frecuencias (18) laterales, donde las
  - 10 frecuencias (16) base son frecuencias cuya potencia máxima corresponde a frecuencias propias del dispositivo (20) o frecuencias defectuosas, y donde las frecuencias (18) laterales corresponden a las otras frecuencias,
  - procesar las frecuencias (16) base y las frecuencias (18) laterales aplicando por separado una clasificación (22) de una clase en las frecuencias (16) base y las frecuencias (18) laterales,
  - combinar (26) los resultados de las clasificaciones (22) de una clase obteniendo así una señal (24) de clasificación que representa un nivel de confianza, y
  - 15 emitir una señal de soporte de decisión basada en la señal (24) de clasificación, cuya señal de soporte de decisión indica un estado de error del dispositivo (20) monitorizado.
2. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el módulo (10) de control está configurado para reducir el nivel de ruido de la transformación (28) de vibración durante el preprocesamiento.
3. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque el módulo (10) de control está configurado
- 20 para aplicar un valor umbral sobre la transformación de vibración durante el preprocesamiento.
4. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque el módulo (10) de control está configurado para determinar por separado la suma de la potencia de las frecuencias (16) base y las frecuencias (18) laterales, respectivamente.
5. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque el módulo (10) de
- 25 control comprende nubes (30) neuronales para proporcionar una clasificación (22) de una clase.
6. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el módulo (10) de control está configurado para entrenar una clasificación (22) de una clase basada en datos recibidos de la señal (12) de vibración durante un funcionamiento sin errores.
7. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque el módulo (10) de
- 30 control está configurado para usar una máquina de vector de soporte para proporcionar una clasificación (22) de una clase.
8. Un método para monitorizar un dispositivo (20) que tiene una parte movable, especialmente un dispositivo rotativo, comprendiendo el método los pasos de:
  - recibir una señal (12) de vibración medida del dispositivo (20) proporcionada por un sensor conectado con el dispositivo
  - 35 (20),
  - proporcionar un espectro (14) de la señal (12) de vibración medida,
  - preprocesar el espectro (14), para determinar las frecuencias (16) base y las frecuencias (18) laterales, donde las
  - frecuencias (16) base son frecuencias cuya potencia máxima corresponde a frecuencias propias del dispositivo (20) o
  - frecuencias defectuosas. y donde las frecuencias (18) laterales corresponden a las otras frecuencias,
  - 40 procesar las frecuencias (16) base y las frecuencias (18) laterales aplicando separadamente una clasificación (22) de una clase en las frecuencias (16) base y las frecuencias (18) laterales,
  - combinar los resultados de las clasificaciones (22) de una clase obteniendo así una señal (24) de clasificación que
  - representa un nivel de confianza, y
  - emitir una señal de soporte de decisión basada en la señal (24) de clasificación, cuya señal de soporte de decisión
  - 45 indica un estado de error del dispositivo (20) monitorizado.
9. Un producto de programa informático que incluye un programa para un dispositivo de procesamiento, que comprende porciones de código de software de un programa para realizar los pasos de un método de acuerdo con la reivindicación 8 cuando el programa se ejecuta en el dispositivo de procesamiento.

FIG 1

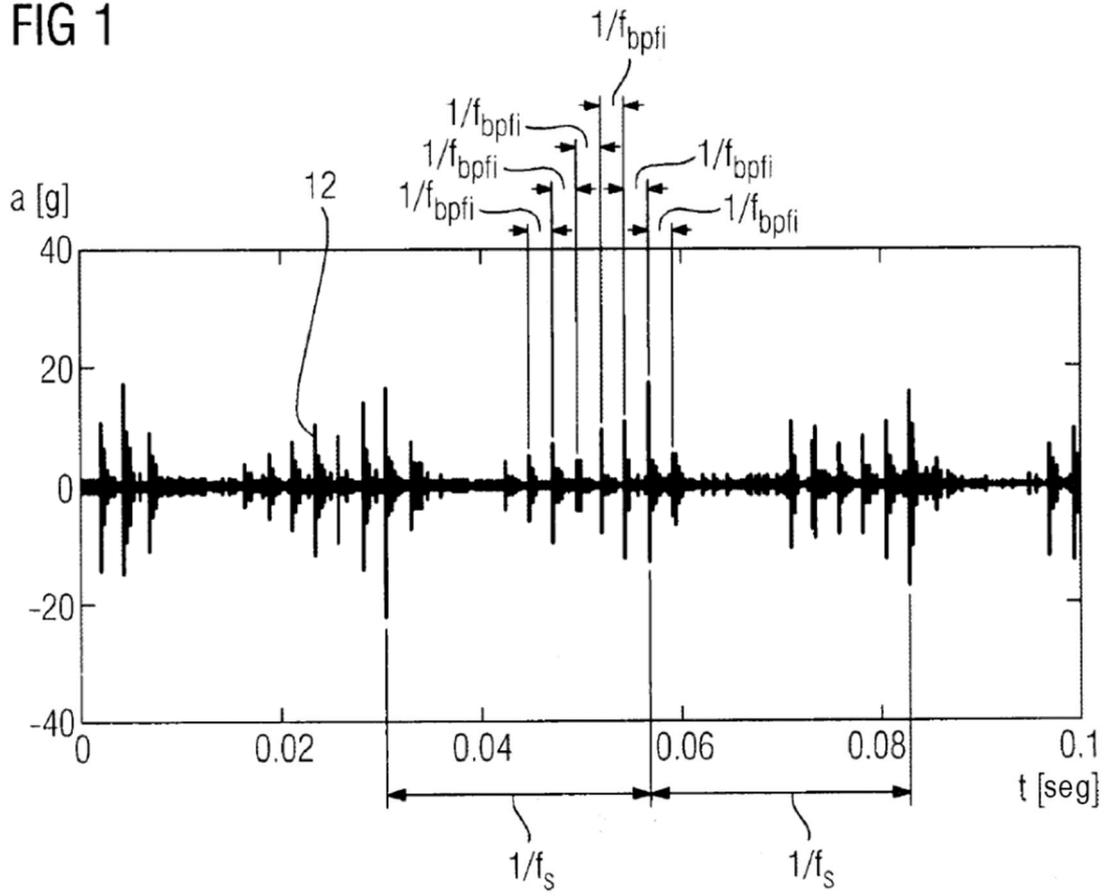


FIG 2

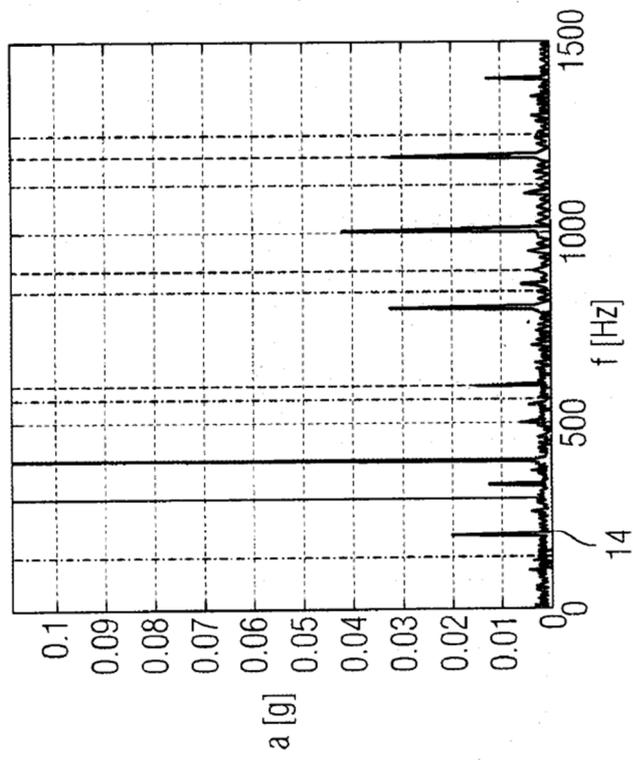
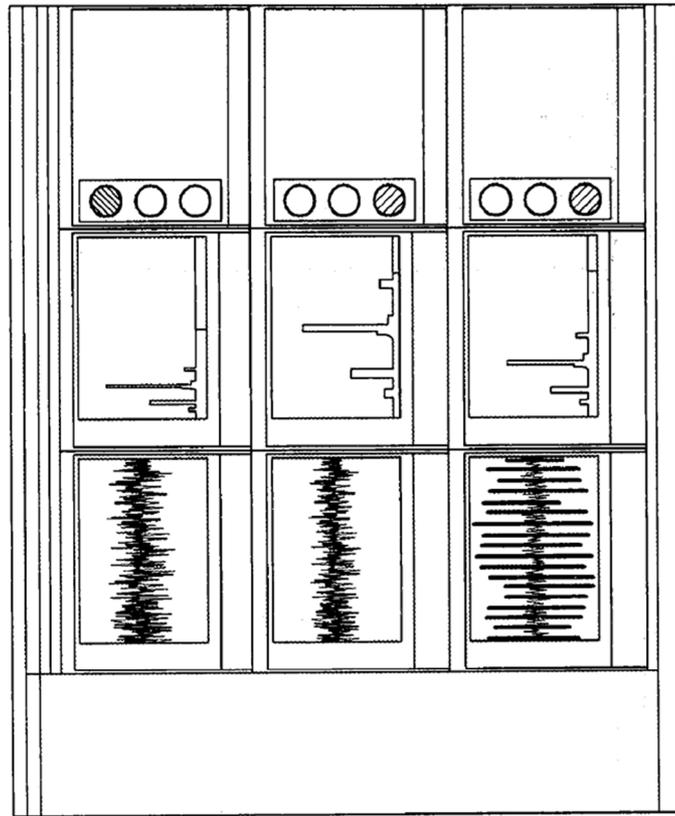


FIG 3

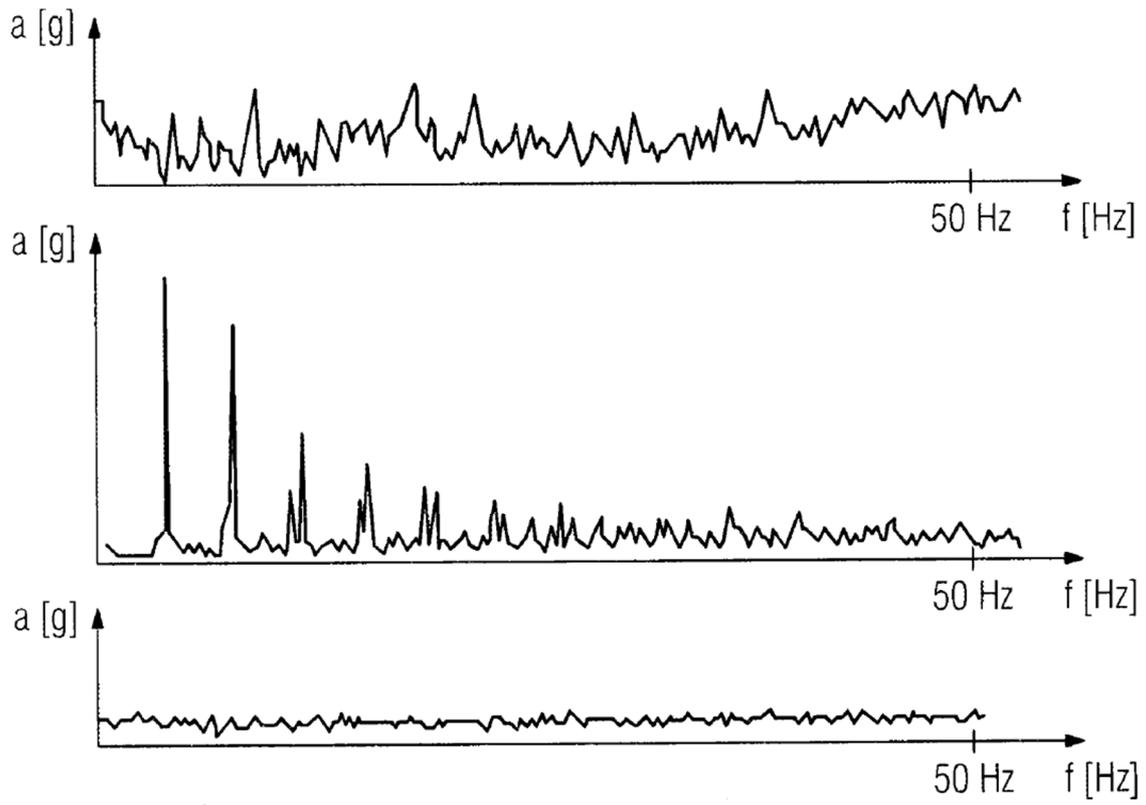
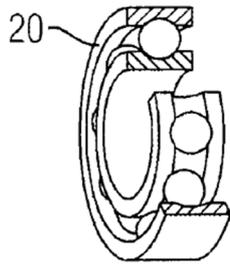


FIG 4

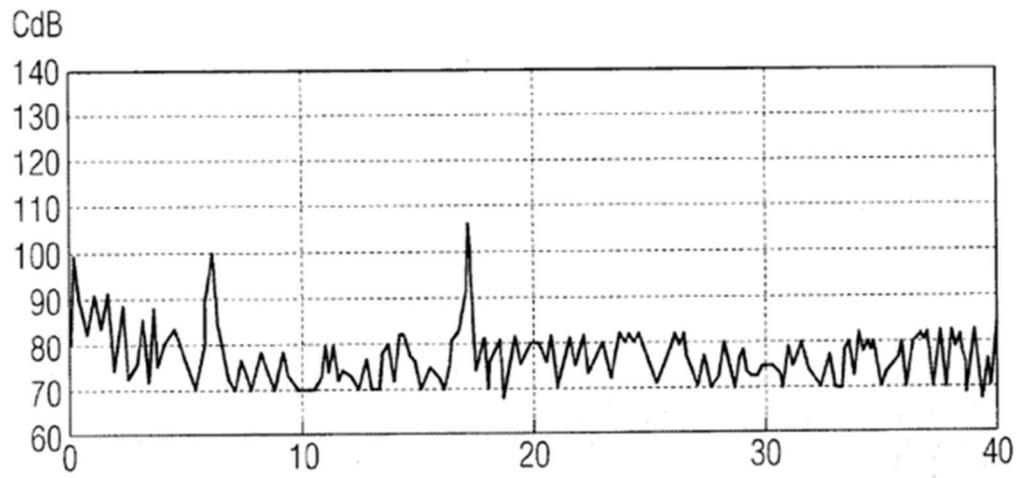
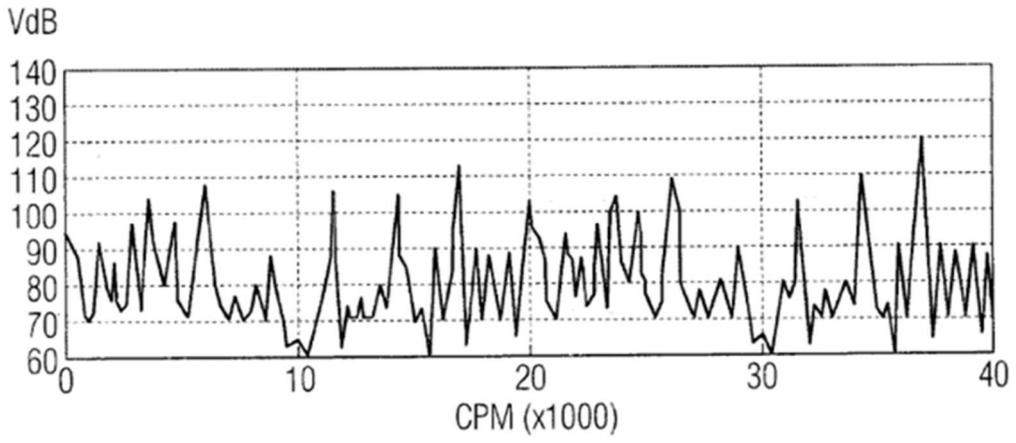


FIG 5

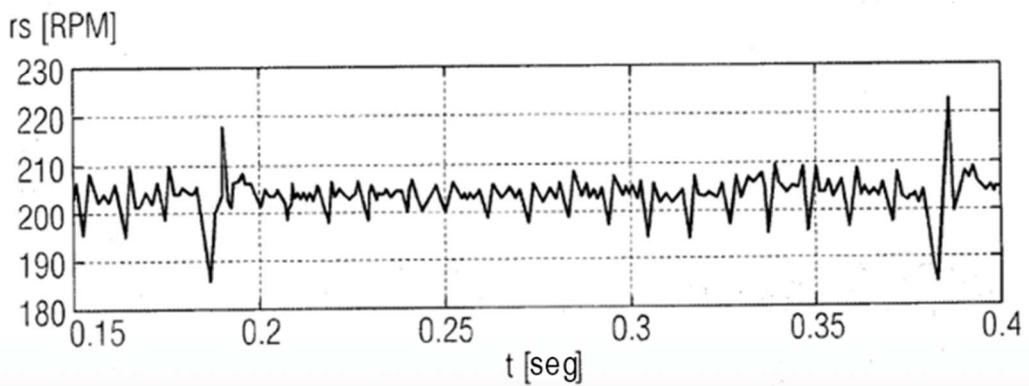


FIG 6

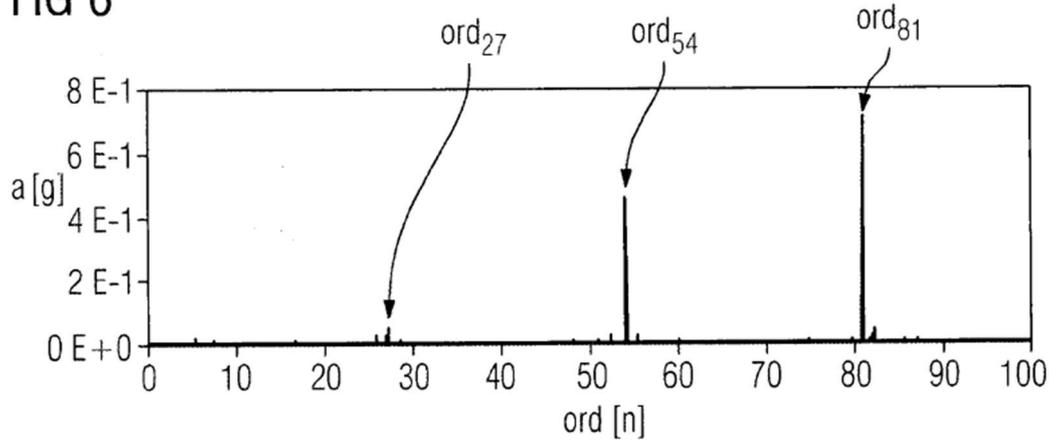


FIG 7

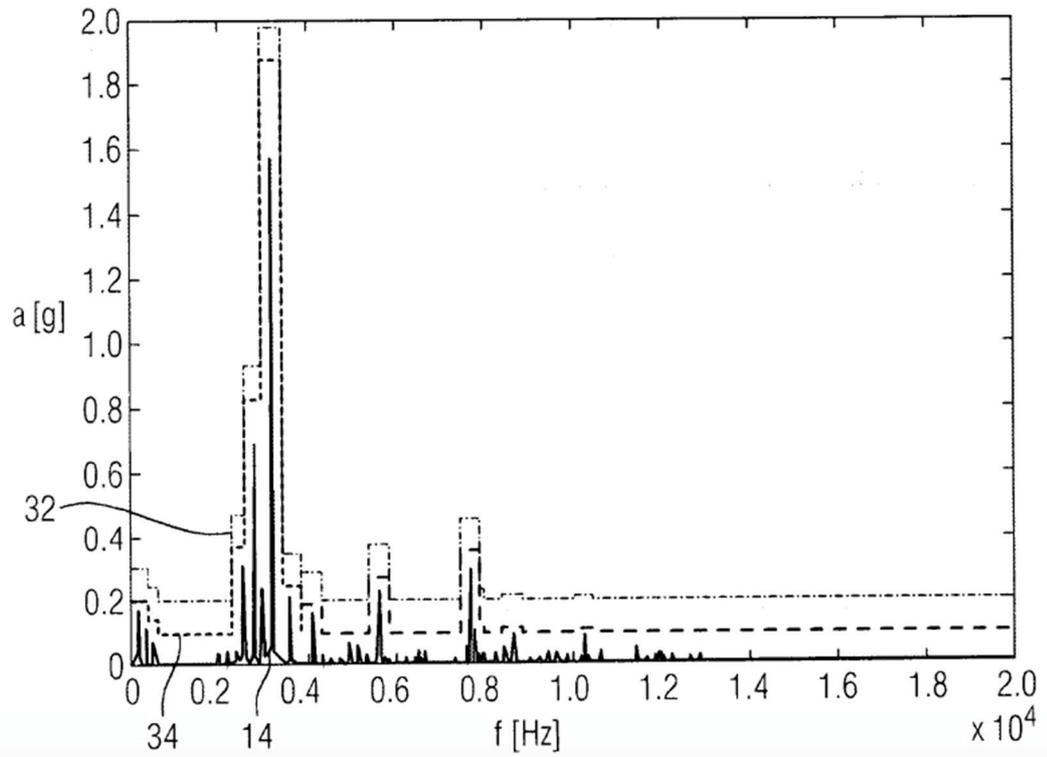
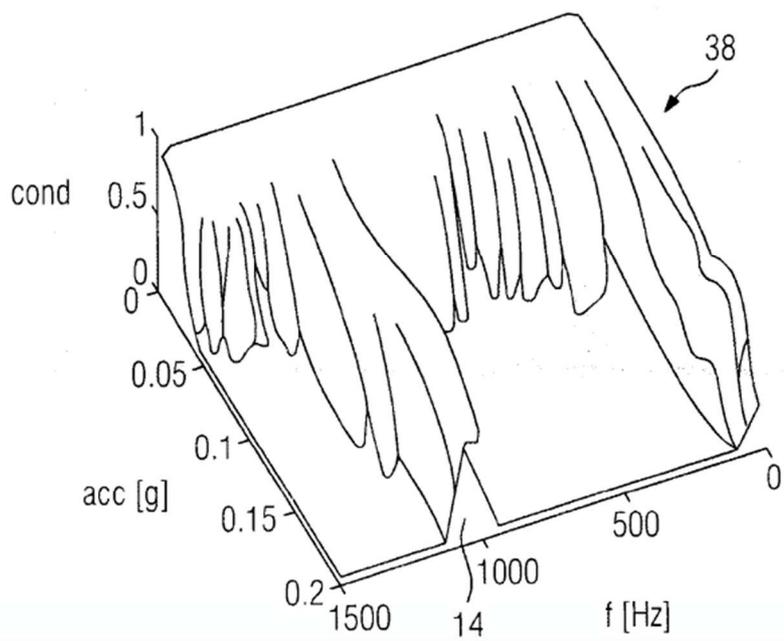
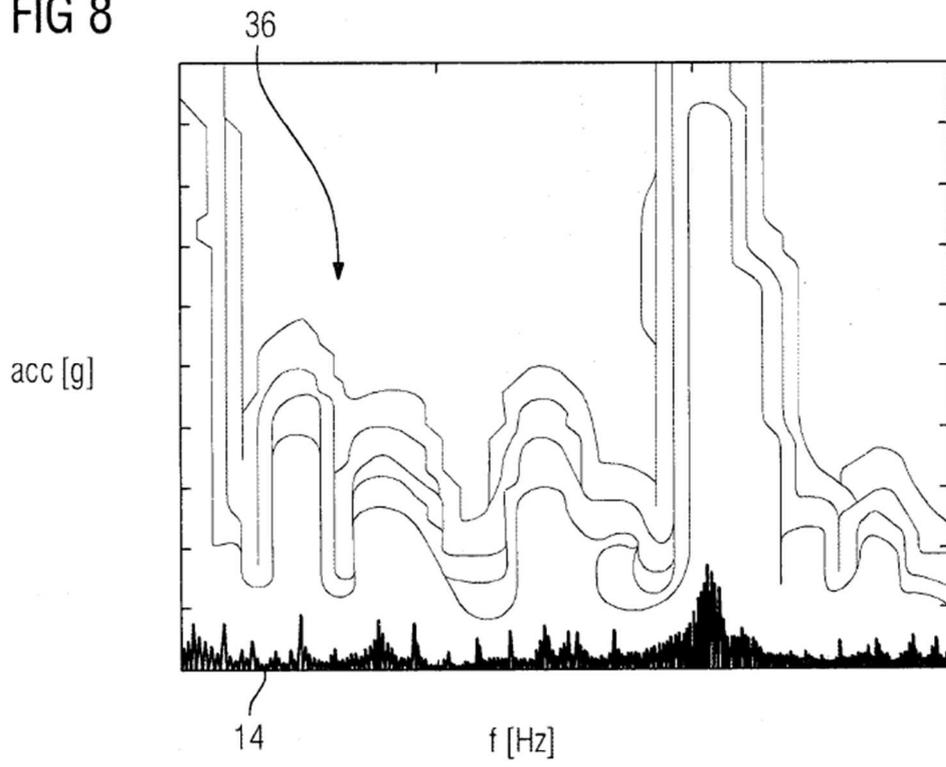


FIG 8



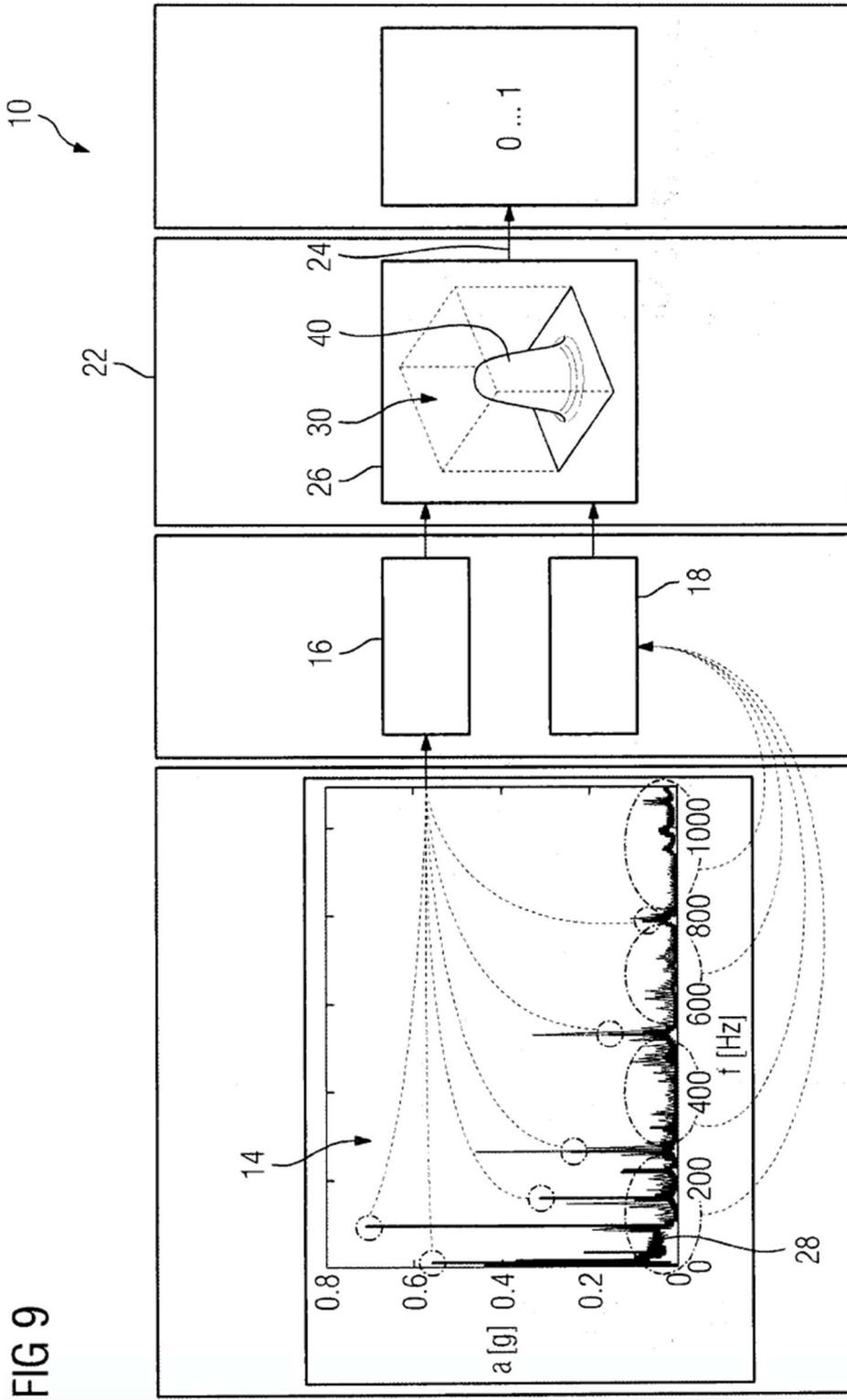
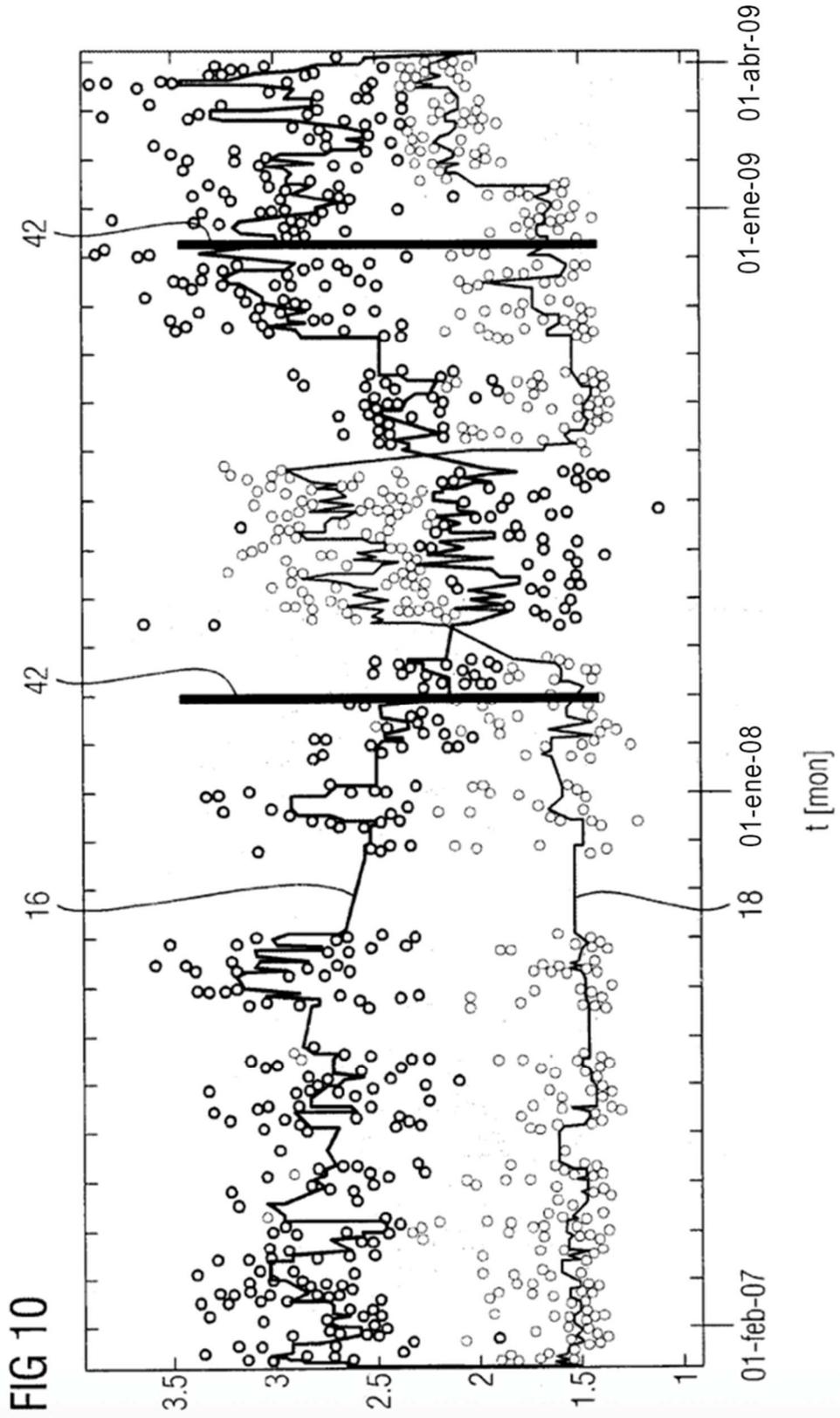


FIG 9



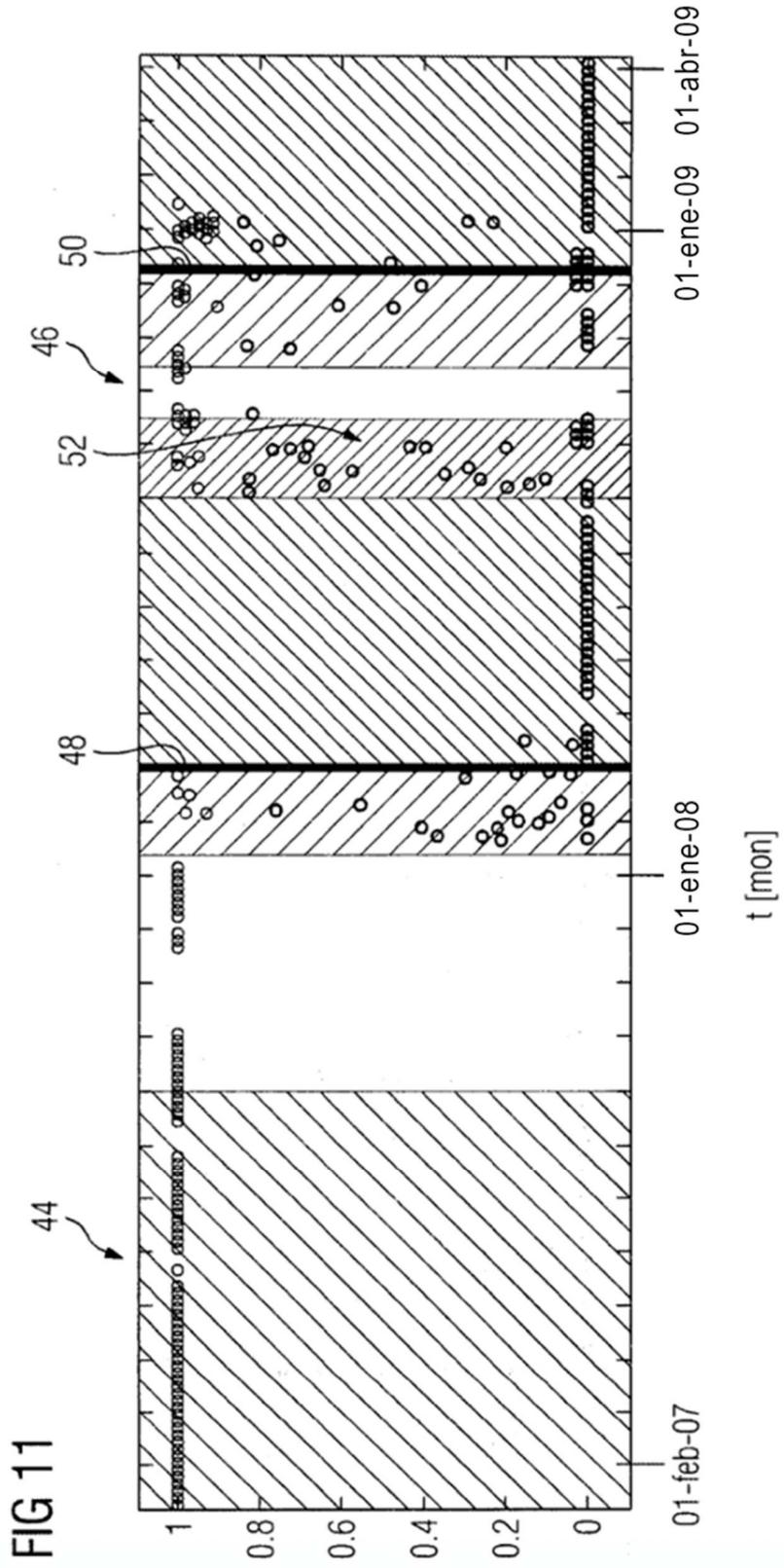


FIG 12

