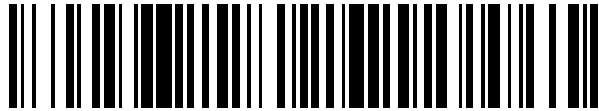


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 774 006**

51 Int. Cl.:

G01M 13/02 (2009.01)

G01M 13/04 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.01.2015 PCT/IB2015/050165**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.07.2015 WO15104678**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.01.2015 E 15707772 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2019 EP 3092472**

54 Título: **Método y dispositivo para proporcionar una evaluación de condición de una estructura mecánica que incluye un componente de máquina giratoria**

30 Prioridad:

10.01.2014 NO 20140031

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

16.07.2020

73 Titular/es:

**VIBSIM (100.0%)
Økernveien 207B
0584 Oslo, NO**

72 Inventor/es:

BARIKMO, AASMUND

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 774 006 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

Método y dispositivo para proporcionar una evaluación de condición de una estructura mecánica que incluye un componente de máquina giratoria

Campo técnico

5 La invención se relaciona con un método para proporcionar una evaluación de condición de una estructura mecánica que incluye un componente de máquina rotativa. La invención también se relaciona con un programa de ordenador y un dispositivo para implementar el método.

Antecedentes

10 Las estructuras mecánicas que incluyen uno o más componentes de máquinas rotativas, incluyendo sistemas mecánicos, máquinas, vehículos, motores o máquinas impulsoras, generadores, transmisiones por engranajes, turbinas etc., en general están sujetas a desgaste y fallas o defectos durante la operación. Por lo tanto es necesario detectar e identificar diferentes condiciones en una estructura mecánica. En particular, es necesario detectar e identificar fallas en una etapa temprana de tal manera que permita que las medidas necesarias, tal como reemplazo o reparación de ciertos elementos, se implementen de una manera conveniente y rentable.

15 Ya se conocen soluciones para la detección temprana de fallas o defectos en estructuras mecánicas, especialmente elementos de máquinas rotativas.

El documento US 7 421 349 describe un dispositivo y un método para detectar una falla en desarrollo en un cojinete de bolas, donde se miden las vibraciones de un aparato que contiene el cojinete de bolas. El método comprende la búsqueda de una firma de falla en el espectro de frecuencia de la señal de vibración.

20 El documento US 2013/0096848 enseña un método y un sistema para detectar fallas de cojinetes de rodillo en máquinas rotativas. Una señal de sensor es medida desde un sensor de vibración. Una falla en un cojinete es detectada generando una curva envolvente alrededor de la señal de medición y transformando esta curva envolvente en un espectro de frecuencia.

25 El documento US 2004/034483 divulga un método para detectar el desequilibrio de rotor, con base en mediciones de vibración.

30 La técnica anterior presenta soluciones para detectar si una estructura mecánica que incluye un elemento de máquina rotativa se considera que está en una condición normal o en una condición de falla en desarrollo. Por lo tanto todavía hay una necesidad de proporcionar una solución que sea capaz de distinguir entre diferentes condiciones de falla en desarrollo para la estructura mecánica. También hay una necesidad de poder advertir de condiciones de falla en una etapa más temprana que lo que hacen las soluciones conocidas.

Resumen

35 De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un método para proporcionar una evaluación de condición de una estructura mecánica que incluye un componente de máquina rotativa. El método comprende proporcionar una señal de entrada que represente vibraciones mecánicas en la estructura mecánica; proporcionar una señal de referencia; y seleccionar, sobre la base de la señal de entrada y la señal de referencia, una entre una pluralidad de evaluaciones de condición predeterminadas para la estructura mecánica. La señal de referencia es generada sobre la base de al menos un parámetro para el componente de máquina rotativa y una velocidad de rotación para el componente de máquina rotativa. De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un programa de ordenador. El programa de ordenador comprende instrucciones de procesamiento que, cuando son ejecutadas por una unidad de procesamiento electrónico, producen que la unidad de procesamiento electrónico realice el método como se resumió anteriormente.

40 La invención también se relaciona con un dispositivo para proporcionar una evaluación de condición de una estructura mecánica que incluye un componente de máquina rotativa. El dispositivo comprende una unidad de procesamiento electrónico y una memoria, conteniendo la memoria un programa de ordenador como se mencionó anteriormente.

45 La invención se describe en las reivindicaciones de patente.

Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá con más detalle con la ayuda de realizaciones y con referencia a los dibujos.

50 La figura 1 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un sistema para proporcionar una evaluación de condición de una estructura mecánica que incluye un componente de máquina rotativa.

La figura 2 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra los principios de un método para proporcionar una evaluación de condición de una estructura mecánica, por ejemplo, una caja de engranajes, que incluye un componente de máquina rotativa en la forma de un engranaje.

5 La figura 3 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra los principios de un método para proporcionar una evaluación de condición de una estructura mecánica que incluye un componente de máquina rotativa en la forma de un cojinete de bolas.

La figura 4 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra los posibles principios de generación de pulsos de choque en un módulo de generación de señal de referencia.

La figura 5 es una figura esquemática que ilustra ciertos parámetros para un cojinete de bolas.

10 Descripción detallada de realizaciones

La figura 1 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un sistema 100 para proporcionar una evaluación de condición de una estructura 101 mecánica que incluye un componente de máquina rotativa.

La estructura 101 mecánica, que incluye un componente de máquina rotativa, puede, por ejemplo, contener un engranaje dentado.

15 Por ejemplo, la estructura 101 puede ser un dispositivo para la conversión de velocidad de rotación y el torque en movimiento de rotación, tal como una caja de engranajes o un accionamiento angular para una hélice de barco. Realizaciones de este tipo también se describen con más detalle a continuación con referencia a la figura 2.

20 La estructura 101 mecánica que incluye un componente de máquina rotativa puede contener alternativamente un cojinete rotativo. Tal estructura 101 puede ser, por ejemplo, un motor o máquina impulsora, un generador, compresor, bomba o ventilador. Realizaciones de este tipo también se describen con más detalle a continuación con referencia a la figura 3.

25 El sistema 100 comprende un dispositivo 102 sensor para proporcionar una señal de medición que representa vibraciones mecánicas en la estructura 101 mecánica. El dispositivo 102 sensor puede comprender un micrófono o un sensor de vibración. El dispositivo 102 sensor puede ser, por ejemplo, de un tipo electromagnético o piezoeléctrico. El dispositivo 102 sensor puede ser un acelerómetro, por ejemplo, un acelerómetro piezoeléctrico. Los acelerómetros piezoeléctricos pueden tener una respuesta de señal constante sobre un rango de frecuencia de hasta, por ejemplo, 20 kHz o más. La señal de aceleración puede ser integrada para dar velocidad y doblemente integrada para dar posición.

30 El dispositivo 102 sensor se puede montar en una pared externa de la estructura 101 mecánica, de tal manera que las vibraciones son transferidas lo más directamente posible al dispositivo 102 sensor. Alternativamente, el dispositivo 102 sensor se puede instalar a una distancia de la estructura 101 mecánica, por ejemplo, con aire en medio. Esto puede ser más apropiado en casos donde las frecuencias más bajas que el rango audible (por ejemplo, <20 Hz) no representan vibraciones particularmente relevantes. En otra variante alternativa, el dispositivo 102 sensor se puede instalar dentro del exterior de la estructura 101 mecánica.

35 La señal de medición que es emitida por el dispositivo 102 sensor se muestrea, cuantifica y convierte de analógica a digital en el dispositivo 103 de conversión de señal. Para este propósito, el dispositivo 103 de conversión de señal puede comprender un circuito de muestreo electrónico que muestrea la señal de medición analógica y preferiblemente mantiene el valor de la señal en un período de muestreo, y un convertidor de A/D que emite representaciones digitales, discretas en tiempo de la señal de medición. Para el muestreo y conversión de A/D, se puede usar una tasa de muestreo que se puede seleccionar convenientemente a la luz de las variaciones en las vibraciones que van a ser medidas. Para una aplicación típica, las vibraciones que van a ser medidas pueden comprender el rango acústico audible (por ejemplo, 20-20000 Hz). Realizaciones y aplicaciones también son concebibles cuando las vibraciones pueden comprender un rango de frecuencias más bajas, frecuencias no audibles (por ejemplo, 1-20 Hz).

45 En tal caso una tasa de muestreo conveniente puede ser una tasa de muestreo que de otro modo se usa para el muestreo regular de señales de audio, por ejemplo, aproximadamente 44 kHz. La tasa de muestreo puede estar de otro modo en el rango de, por ejemplo, 10 kHz-60 kHz.

50 En algunas realizaciones o aplicaciones puede ser deseable medir las vibraciones en un rango ultrasónico. En ese caso, es conveniente elegir una tasa de muestreo de típicamente al menos el doble del componente de frecuencia más alto deseado en la señal medida.

La señal digital resultante, emitida por el dispositivo 103 de conversión de señal, es almacenada ventajosamente en una memoria, tal como una memoria intermedia 104 de anillo. En el módulo 105, luego se toma una muestra de señal de estos datos, que corresponde a un segmento de tiempo, que es tomada en cuenta como señal de entrada

para el procesamiento en el dispositivo 106 de procesamiento. El segmento de tiempo puede ser, por ejemplo, aproximadamente 3 segundos, o en el rango de 1 a 5 segundos.

5 El dispositivo 106 de procesamiento puede comprender una unidad 108 de procesamiento digital, tal como un microprocesador o microcontrolador, una memoria, circuitos de E/S etc. La memoria puede comprender una memoria volátil o no volátil, donde una parte de la memoria contiene una serie de instrucciones de programa que hacen que el dispositivo de procesamiento realice un método como se divulga en la presente especificación cuando son ejecutadas las instrucciones de programa.

El procesamiento hace uso de al menos una señal de referencia, indicada esquemáticamente por 107. Tales señales de referencia pueden representarse en una parte de la memoria de la unidad 108 de procesamiento.

10 El procesamiento comprende además seleccionar, sobre la base de la señal de medición y un número de señales de referencia, una entre una pluralidad de evaluaciones de condición predeterminadas para la estructura mecánica.

15 Durante el procesamiento, sobre la base de la señal de medición y las señales de referencia, se selecciona una evaluación entre una pluralidad de evaluaciones de condición predeterminadas para la estructura mecánica. Adicionalmente, sobre la base de esta evaluación, se selecciona un mensaje con relación a la condición. Este mensaje puede ser, por ejemplo, desplegado en una pantalla en un dispositivo 109 de advertencia.

20 El mensaje puede ser, por ejemplo, desplegado en texto sin formato en la pantalla. El mensaje puede comprender una identificación del componente de máquina relevante al cual se aplica la condición, y una descripción más detallada de la condición. El mensaje también puede comprender un valor que indica "volumen" o el grado de una falla, degradación o similar del componente de máquina relevante. En el ejemplo ilustrativo, el mensaje puede leer "Cojinete de bolas no. 4 tiene una indentación en el anillo externo, volumen = 43".

La figura 2 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra los principios de un método para proporcionar una evaluación de condición de una estructura mecánica que incluye un componente de máquina rotativa en la forma de un engranaje. La estructura mecánica puede en este ejemplo ser una caja de engranajes, por ejemplo, para un vehículo.

25 El método comprende, en la etapa indicada por 210, proporcionar una señal de medición que represente vibraciones mecánicas en la estructura mecánica con la ayuda de un sensor de vibración o micrófono. Esta señal se puede además muestrear, cuantificar y convertir de A/D, y se puede tomar un segmento de tiempo limitado de la señal digital resultante, como se explica con referencia a la figura 1 anterior. La señal resultante, que tiene una duración limitada que corresponde al segmento de tiempo, es dada por $x(n)$ en la figura 2, y se usa como señal de entrada para el procesamiento indicado por el módulo 230 punteado.

30 En el módulo 230 de procesamiento, el método comprende además seleccionar, sobre la base de la señal de entrada y un número de señales de referencia, una entre una pluralidad de evaluaciones de condición predeterminadas para la estructura mecánica.

35 El Solicitante ha encontrado que los engranajes deformados circunferencialmente y la deformación circunferencial causadas por cojinetes dañados o árboles desalineados llevarán a vibraciones en la estructura mecánica que se caracterizan por señales de vibración moduladas en amplitud. La onda portadora es dada por la frecuencia de engranaje de diente y la frecuencia de modulación es dada por la frecuencia de rotación del árbol que representa la deformación circunferencial. Tal deformación circunferencial por lo tanto se puede detectar con la ayuda de la modulación de amplitud.

40 En general los engranajes degradados darán como resultado vibraciones en la estructura mecánica con amplitud y distorsión aumentadas de la señal de engranaje sinusoidal. Esto puede describirse como un aumento general de nivel de señal y un aumento relativo de los componentes de frecuencia del orden superior. Por lo tanto este tipo de degradación se puede detectar con la ayuda de análisis de espectro de frecuencia.

45 Un diente dañado en un engranaje llevará a un aumento en la señal de engranaje cada vez que se engrane el diente dañado. Estos aumentos tendrán una distancia en tiempo igual al período de rotación para el engranaje que contiene el diente dañado. Por lo tanto este tipo de diente dañado puede detectarse sustrayendo la firma de vibración de un diente de la firma de vibración de otro diente.

El período de tiempo entre cada vez que la sustracción da una contribución sustancial coincide con el período de rotación del engranaje que contiene el diente dañado.

50 En esta realización, la señal de referencia comprende una señal periódica, modulada, estacionaria, típicamente una señal sinusoidal modulada en amplitud. La provisión de la señal de referencia puede efectuarse generando la señal de referencia en el módulo 220 de generación de señal.

La señal de referencia es generada en el módulo 220 de generación de señal sobre la base de al menos un parámetro para el componente de máquina rotativa, en este caso el engranaje, y una velocidad de rotación para el

componente de máquina rotativa, en este caso el engranaje. Más específicamente, la señal de referencia se puede generar para un tipo predeterminado de falla, degeneración, desgaste o similar para un engranaje particular en la estructura 101 mecánica, sobre la base de un primer parámetro 221 y un segundo parámetro 222.

5 El primer parámetro 221 para el engranaje puede, por ejemplo, representar el número de dientes en el engranaje en cuestión.

El segundo parámetro 222 puede representar la velocidad de rotación del engranaje, y de este modo un factor por el cual se debe multiplicar el número de dientes durante el cálculo de las frecuencias respectivamente para el engranaje de diente y cada uno de los engranajes incluidos.

La velocidad de rotación del engranaje se puede determinar, por ejemplo, en una de las siguientes tres formas:

- 10 • La velocidad de rotación puede ser un valor fijo, predeterminado. Este puede ser, por ejemplo, el caso donde el engranaje es accionado por un motor sincrónico suministrado con corriente alterna de frecuencia conocida.
- La velocidad de rotación se puede medir por medio de un contador de revoluciones o un equipo de medición similar para la velocidad de rotación.
- 15 • La velocidad de rotación se puede determinar con la ayuda de control automático de frecuencia, AFC. En tal caso, un circuito para control automático de frecuencia puede adaptarse para "escuchar" el engranaje, por ejemplo, mediante la provisión de la señal 210 como se mencionó anteriormente.

20 El módulo 220 de generación de señal de referencia puede ser esencialmente un modulador de AM (modulador de amplitud), que emite una señal de salida con onda portadora, bandas laterales superior e inferior. El módulo de generación de señal de referencia puede emitir una primera señal 225 de referencia que indica la frecuencia de engranaje de diente y una segunda señal 224 de referencia que indica la velocidad de rotación del engranaje en cuestión.

25 En esta realización, la etapa de seleccionar una de una pluralidad de evaluaciones de condición puede comprender la modulación de amplitud de la señal de entrada. Por lo tanto la señal de entrada $x(t)$ es pasada a un desmodulador 231 de AM. La primera señal 225 de referencia, que indica la frecuencia de engranaje de diente, también es pasada a este desmodulador.

La señal de salida del desmodulador 231 de AM, indicada por $y(t)$, es pasada a un filtro 232, más específicamente a un filtro de paso de banda, o alternativamente a un filtro de paso bajo. La segunda señal 225 de referencia que indica la velocidad de rotación también es pasada al filtro.

30 El desmodulador 231 de AM puede, por ejemplo, comprender un receptor superheterodino. En este caso, la frecuencia de engranaje de diente se usa para el oscilador local y la velocidad 224 de rotación se usa como frecuencia central del filtro 232 de paso de banda.

Señal modulada en amplitud de una transmisión por engranajes

35 Una señal modulada en amplitud de una transmisión por engranajes que incluye un engranaje puede describirse como una señal de radio de AM donde la vibración del engranaje corresponde a la onda portadora. La asimetría de los engranajes corresponde a la música de dos tonos. Uno de los tonos proviene de la frecuencia de rotación de uno de los engranajes. El otro tono proviene de la frecuencia de rotación del otro engranaje.

$$x(t) = A \sin \alpha + (A \sin \alpha * B \sin \beta)$$

$$x(t) = A \sin \alpha + \frac{1}{2} * A * B * \sin(\alpha + \beta) + \frac{1}{2} * A * B * \sin(\alpha - \beta)$$

A $\sin \alpha$ es la vibración de engranaje de diente, que corresponde a la onda portadora en la radio de AM.

40 B $\sin \beta$ es la modulación del engranaje b, que corresponde a un tono en música de la radio de AM.

A es el valor de la vibración de engranaje de diente

B es el valor de la modulación de un engranaje b.

$\alpha = 2 * \pi * f_a * t$ es la frecuencia del engranaje

$\beta = 2 * \pi * f_b * t$ es la frecuencia de rotación de engranaje b.

45 Desmodulación por el principio superheterodino

La sección a continuación proporciona una explicación adicional de desmodulación por el principio superheterodino, el cual puede usarse ventajosamente en el desmodulador 231 de AM.

La desmodulación por el principio superheterodino proviene de la expresión:

$$\sin r * \sin s = \frac{1}{2} \sin (r+s) + \frac{1}{2} \sin (r-s)$$

Vibración es $x(t) = A \sin \alpha + \frac{1}{2} * A * B * \sin(\alpha+\beta) + \frac{1}{2} * A * B * \sin(\alpha-\beta)$

Oscilador local $l_o(t) = \sin \alpha$ (que corresponde a la señal 225 en la figura 2)

5

$$y(t) = x(t) * l_o(t)$$

$$y(t) = (A \sin \alpha + \frac{1}{2} * A * B * \sin(\alpha+\beta) + \frac{1}{2} * A * B * \sin(\alpha-\beta)) * \sin \alpha$$

$$y(t) = (A \sin \alpha * \sin \alpha) + \frac{1}{2} * A * B * \sin(\alpha+\beta + \alpha) + \frac{1}{2} * A * B * \sin(\alpha+\beta - \alpha) + \frac{1}{2} * A * B * \sin(\alpha-\beta + \alpha) + \frac{1}{2} * A * B * \sin(\alpha-\beta - \alpha)$$

$$y(t) = (A \sin \alpha * \sin \alpha) + \frac{1}{2} * A * B * \sin(2\alpha+\beta) + \frac{1}{2} * A * B * \sin(\beta) + \frac{1}{2} * A * B * \sin(2\alpha-\beta) + \frac{1}{2} * A * B * \sin(-\beta)$$

El filtro de paso de banda ajustado a la frecuencia β expresa asimetría en el engranaje B.

10

$$z(t) = \frac{1}{2} * A * B * \sin(\beta)$$

Debe entenderse que el desmodulador 231 de AM puede, por ejemplo, comprender un receptor superheterodino de una etapa o un receptor superheterodino de dos etapas.

15

Adicionalmente, volviendo a la realización de la figura 2: la señal de salida del filtro 232 de paso de banda, indicada por $z(n)$, es pasada a un módulo 233 de cálculo, donde se calcula un valor que representa una medición estadística para la señal $z(n)$. En un ejemplo, la medición estadística puede ser una desviación estándar para $z(n)$. En un ejemplo alternativo, la medición estadística puede ser una media aritmética del valor numérico para la señal $z(n)$. La desviación estándar o la media se puede calcular típicamente durante la duración del segmento de tiempo de la señal de entrada $x(n)$.

20

Este valor es pasado a un módulo 234 de comparación donde se compara con un parámetro 239 limitante. El parámetro 239 limitante es establecido por un operador y está basado en la experiencia de operación de la estructura mecánica.

25

El parámetro 239 limitante puede ser uno de un número de parámetros limitantes que se mantienen almacenados en una memoria. Cada uno de los parámetros limitantes puede asociarse con un componente relevante de máquina rotativa particular, en este caso un engranaje particular, y una evaluación de condición para el componente de máquina, es decir, el engranaje.

30

Si el valor que representa la medición estadística para la señal $z(n)$ excede el parámetro 239 limitante, se emite una señal 236 de salida en 235 que identifica el componente relevante de máquina rotativa, en este caso el engranaje. Adicionalmente, se emite una señal 238 de salida en 237 que indica un grado de falla del componente relevante de máquina rotativa, es decir, el engranaje.

35

Las señales 236, 237 de salida son la base del mensaje que es dado para identificar el componente rotativo relevante, es decir, el engranaje, y para indicar su evaluación de condición. El mensaje típicamente puede identificar el engranaje e indicar que el engranaje no está deformado circunferencialmente; que el engranaje está desgastado o degradado; que hay un diente dañado en el engranaje etc., e indicar el grado de falla del engranaje. El grado de falla es estimado de acuerdo con la medición estadística que fue calculada en el módulo 233 de cálculo.

40

La etapa de seleccionar, sobre la base de la señal de entrada y la señal de referencia, una entre una pluralidad de evaluaciones de condición predeterminadas para la estructura mecánica puede llevarse a cabo usando una pluralidad de módulos 230 de procesamiento. Una y la misma señal 210 de medición típicamente se puede pasar a cada uno de los módulos de procesamiento. Adicionalmente, se puede usar la misma pluralidad de módulos 220 generadores de señal y se pueden pasar señales 224, 225 separadas a los respectivos módulos 230 de procesamiento. La selección de una de la pluralidad de evaluaciones de condición predeterminadas se puede hacer entonces sobre la base de una comparación de la señal 238 de salida para los respectivos módulos de

procesamiento, que indica el grado de falla del componente rotativo, en este caso el engranaje. Cuando el componente es un engranaje, es conveniente usar dos módulos 230 de procesamiento.

El método puede terminarse en la etapa de finalización 240.

5 La figura 3 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra los principios de un método para proporcionar una evaluación de condición de una estructura mecánica que incluye un componente de máquina rotativa, en esta realización en la forma de un cojinete de bolas. La estructura mecánica puede ser en este caso un motor o máquina impulsora, generador u otro dispositivo con al menos una parte rotativa.

10 El método comprende, en la etapa indicada por 310, proporcionar una señal de medición que represente vibraciones mecánicas en la estructura mecánica con la ayuda de un sensor de vibración o micrófono. Esta señal se puede además muestrear, cuantificar y convertir de A/D, y se puede tomar un segmento de tiempo limitado de la señal digital resultante, como se explica con referencia a la figura 1 anterior. La señal resultante, que tiene una duración limitada que corresponde al segmento de tiempo, se indica por $x(n)$ en la figura 3, y se usa como señal de entrada para el procesamiento indicado por el módulo 330 de procesamiento punteado.

15 En el módulo 330 de procesamiento, el método comprende además seleccionar, sobre la base de la señal de entrada y un número de señales de referencia, una entre una pluralidad de evaluaciones de condición predeterminadas para la estructura mecánica.

20 Un cojinete de bolas que está en una buena condición genera ruido que es blanco en frecuencia y Gaussiano en amplitud. Las fallas típicamente pueden surgir tal como indentaciones en una bola, en la rodadura interna o en la rodadura externa. Cuando las bolas ruedan sobre una indentación, se producen pulsos de choque regulares. El Solicitante ha encontrado que al observar el tiempo entre los pulsos de choque, se puede derivar una indicación de donde está la indentación en el anillo externo, anillo interno o en una bola.

25 Por lo tanto este tipo de falla en un cojinete de bolas se puede detectar ejecutando al menos un generador sintético de pulsos de choque que tenga un tiempo de ciclo igual al tiempo entre los pulsos de choque descritos anteriormente. Esto podrá detectar posibles fallas ya sea en el anillo externo, anillo interno o en una bola. Para poder detectar posibles fallas en el anillo externo, anillo interno y bola, se deben usar tres generadores de pulsos de choque para la generación de tres señales de pulso de choque.

La señal medida del cojinete de bolas está correlacionada con la señal de cada uno de los generadores sintéticos de pulsos de choque. Los resultados de correlación pueden decirnos si el daño está en el anillo externo, anillo interno o bola y qué tan grande es el síntoma.

30 En esta realización, por lo tanto las señales de referencia comprenden una señal de pulso periódica. Cada pulso en la señal de pulso periódica puede ser, por ejemplo, del tipo "seno atenuado" (o "coseno atenuado"), es decir, una señal seno (o coseno) con amplitud que disminuye con el tiempo, en cada pulso. La atenuación en cada pulso puede ser, por ejemplo, lineal (donde cada pulso es del tipo " $\text{sen}(x)/x$ ") o exponencial.

35 Alternativamente, la señal de pulso periódica puede ser una señal de pulso periódica, rectangular, como se indica esquemáticamente en la figura 3.

La provisión de las señales de referencia puede efectuarse generando la señal de referencia en el módulo 320 de generación de señal de referencia.

40 La señal de referencia es generada en el módulo 320 de generación de señal de referencia sobre la base de un primer parámetro 321 para el componente de máquina rotativa, en este caso el cojinete de bolas, un segundo parámetro 322 que indica la velocidad de rotación f_r , y ventajosamente un tercer parámetro 323 que indica una variación en el tiempo de ciclo de los pulsos de choque. Los posibles parámetros para el cojinete de bolas se discuten con referencia a las figuras 4 y 5 a continuación.

45 Puede ser una ventaja variar ligeramente el tiempo de ciclo entre los pulsos de choque, por ejemplo, +/-1% o +/- 2% de un valor nominal, dentro de un intervalo de tiempo que puede corresponder al segmento de tiempo para la medición de vibración (es decir, aproximadamente 3 segundos, o en el rango de 1 a 5 segundos).

El módulo 320 de generación de señal de referencia emite una señal 324 de referencia, también indicada por $d(n)$, que indica una señal de vibración esperada para un cojinete de bolas con un tipo particular de falla. La funcionalidad para el módulo de generación de señal de referencia se especifica además con referencia a la figura 4 a continuación.

50 La señal de entrada $x(n)$ es pasada a un módulo 331 de correlación cruzada. La señal 324 de referencia también es pasada a este módulo. En el módulo de correlación cruzada, la señal de referencia y la señal de vibración medida son comparadas mediante correlación cruzada.

La señal de salida del módulo 331 de correlación cruzada es pasada a un módulo 332 de valor medio, donde se calcula un valor que representa una media aritmética del valor numérico para la señal emitida desde el módulo de

correlación cruzada. La media se puede calcular típicamente sobre la duración del segmento de tiempo para la señal de entrada $x(n)$.

5 Este valor es pasado a un módulo 334 de comparación, donde se compara con un parámetro 339 limitante. El parámetro 339 limitante puede ser uno de un número de parámetros limitantes que se mantienen almacenados en una memoria. Cada uno de los parámetros limitantes se puede asociar con un componente relevante de máquina rotativa particular, en este caso un cojinete de bolas particular, y una evaluación de condición para el componente de máquina, es decir, el cojinete de bolas.

10 Si el valor que representa la media del valor numérico para la señal $z(t)$ excede el parámetro 339 limitante, se emite una señal 336 de salida en 335 que identifica el componente relevante de máquina rotativa, en este caso el cojinete de bolas. Adicionalmente, se emite una señal 338 de salida en 337, que indica un grado de falla del componente relevante de máquina rotativa, es decir, el cojinete de bolas. El grado de falla es derivado de la media calculada en el módulo 332 de valor medio.

15 Las señales 335, 337 de salida son la base de los mensajes que se emiten para identificar el componente rotativo relevante, es decir, el cojinete de bolas, y para indicar la evaluación de condición del cojinete de bolas. El mensaje típicamente puede identificar el cojinete de bolas e indicar que hay daño en una rodadura externa en el cojinete, daño en una rodadura interna en el cojinete, o daño en una bola o elemento rodante en el cojinete.

Los fabricantes de cojinetes de bolas individuales suministran información sobre y opcionalmente programas sobre cómo se pueden calcular convenientemente tales frecuencias de pulso de choque para tipos particulares de cojinetes.

20 La etapa de seleccionar, sobre la base de la señal de entrada y la señal de referencia, una entre una pluralidad de evaluaciones de condición predeterminadas para la estructura mecánica, puede llevarse a cabo usando una pluralidad de módulos 330 de procesamiento. Una y la misma señal 310 de medición típicamente se puede pasar a cada uno de los módulos 330 de procesamiento. Adicionalmente, se puede usar la misma pluralidad de módulos 320 de generación de señal, y se pueden pasar señales 324 de referencia separadas (señales de pulso de choque) a los respectivos módulos 330 de procesamiento. La selección de una de la pluralidad de evaluaciones de condición predeterminadas se puede hacer entonces sobre la base de una comparación de la señal 338 de salida para los respectivos módulos de procesamiento, que indica el grado de falla del componente rotativo, en este caso el cojinete de bolas. Cuando el componente es un cojinete de bolas, es conveniente usar tres módulos 230 de procesamiento.

El método puede terminarse en la etapa de finalización 240.

30 La figura 4 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra los posibles principios de generación de señales de referencia para la realización mostrada en la figura 3, es decir, para generar pulsos de choque en el módulo 320 de generación de señal de referencia.

35 En la figura 4, 420 indica un módulo generador de onda triangular o de diente de sierra para generar una señal de variación que representa pequeñas variaciones periódicas en el período entre los pulsos en la señal de pulso de choque deseada. Los parámetros de entrada para el módulo 420 generador pueden comprender un período mín/máx y una amplitud mín/máx para la señal de variación.

40 En 430 se indica un módulo para calcular las frecuencias de cojinete. Los parámetros de entrada para esto pueden ser datos de geometría de cojinete de bolas, incluyendo el número de bolas en el cojinete (n), 431, diámetro de bola (BD), 432, diámetro de paso (PD), 433, ángulo de contacto (β), 434, revoluciones por segundo (fr), 435. Las frecuencias de pulso de choque pueden ser, por ejemplo, calculadas a partir de las fórmulas a continuación. Véase también la ilustración del diámetro de bola (BD), diámetro de paso (PD) y ángulo de contacto para un cojinete de bolas que se muestra en la figura 5.

BPFO, Defecto de Rodadura Externa:

$$f(Hz) = \frac{n}{2} fr \left(1 - \frac{BD}{PD} \cos\beta\right)$$

BPFI, Defecto de Rodadura Interna:

$$f(Hz) = \frac{n}{2} fr \left(1 + \frac{BD}{PD} \cos\beta\right)$$

BFF, un Defecto de Bola:

$$f(Hz) = \frac{PD}{BD} fr \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos\beta\right) \left(\frac{BD}{PD} \cos\beta\right)\right]$$

n = número de bolas en el cojinete

f_r = rev/s relativas entre anillos o rodaduras internas o externas.

Adicionalmente en la figura 4, 440 indica un módulo inversor. El módulo 440 inversor puede, por ejemplo, recibir un valor de frecuencia (tal como 333 Hz), y luego emitirá un valor de tiempo de ciclo correspondiente 1/el valor de frecuencia (en tal caso 3000 microsegundos).

- 5 El módulo 450 de suma agrega el tiempo de ciclo dado por el módulo 430 de cálculo de frecuencia de cojinete y la variación periódica dada por el módulo 420 generador de onda triangular o de diente de sierra. Esta suma es pasada a un generador 460 de pulsos que emite de este modo una señal de pulso de choque que tiene un período esencialmente como el dado por las fórmulas para las frecuencias de cojinete mencionadas anteriormente, pero con una variación periódica más pequeña.
- 10 La figura 5 es una figura esquemática que ilustra ciertos parámetros posibles para un cojinete de bolas. Más específicamente, ilustra el diámetro de bola (BD), diámetro de paso (PD) y ángulo de contacto de cojinete de bolas (β), ya mencionados con referencia a la figura 4 anterior.

En lo anterior, se describe que las etapas de método para seleccionar la evaluación de condición relevante para la estructura mecánica se pueden llevar a cabo de diferentes formas.

- 15 En la realización mostrada en la figura 2, donde el componente de máquina rotativa incluye una transmisión por engranajes, las señales de referencia comprenden una señal periódica estacionaria, y la etapa de seleccionar una evaluación de condición comprende la desmodulación de amplitud de la señal de entrada.

- 20 En la realización mostrada en la figura 3, donde el componente de máquina rotativa incluye un cojinete rotativo, las señales de referencia comprenden una señal de pulso periódica, y la etapa de seleccionar una evaluación de condición comprende calcular la correlación cruzada entre la señal de entrada y las señales de referencia respectivas.

- 25 Tanto en las realizaciones mencionadas anteriormente, como en otras realizaciones, la etapa de método de seleccionar una de una pluralidad de evaluaciones de condición puede comprender procesar la señal de entrada y señal de referencia en el dominio de tiempo. Tanto en las realizaciones mencionadas anteriormente, como en otras realizaciones, la señal de referencia se puede generar sobre la base de al menos un parámetro para el componente de máquina rotativa (por ejemplo, el engranaje, el cojinete rotativo) y una velocidad de rotación para el componente de máquina rotativa.

- 30 Las correas de transmisión también deben considerarse como cubiertas por el término "componente de máquina rotativa". Por ejemplo, la invención se puede usar para proporcionar una evaluación de condición de una correa dentada, usando una ejecución idéntica o similar como la presentada para los engranajes. De manera similar, la invención se puede usar para proporcionar una evaluación de condición de una correa en V, con una ejecución idéntica o similar como la presentada para un cojinete de bolas.

- 35 En posibles realizaciones adicionales, las señales de referencia pueden incluir un patrón prealmacenado, y la etapa de seleccionar una de una pluralidad de evaluaciones de condición puede comprender el uso de un algoritmo de reconocimiento de tal tipo como se usa en el reconocimiento digital de patrones.

- 40 El método puede implementarse como un programa de ordenador. Esto puede comprender instrucciones de procesamiento que, cuando se ejecutan mediante una unidad de procesamiento electrónico, producen que la unidad de procesamiento electrónico realice el método como se describió anteriormente. El programa de ordenador se puede almacenar en una memoria o en un medio de almacenamiento. El programa de ordenador también se puede representar mediante una señal propagada que se transmite en una red de comunicación, por ejemplo, el Internet.

- 45 Un dispositivo para proporcionar una evaluación de condición de una estructura mecánica, que emplea el método como se describió, puede comprender al menos una unidad de procesamiento electrónico y una memoria, manteniendo almacenado la memoria un programa de ordenador como se indicó anteriormente, es decir, un programa de ordenador que implementa el método como se describe cuando es ejecutado por la unidad de procesamiento. La unidad de procesamiento puede conectarse además a unidades de E/S adecuadas, típicamente a través de un sistema de bus, permitiendo de esa manera que el dispositivo reciba, por ejemplo, una señal de medición externa de un sensor de vibración, emita señales a una pantalla etc. Tal dispositivo puede ser, por ejemplo, implementado como un teléfono inteligente, que contiene todos los recursos de procesamiento y memoria necesarios, y donde un micrófono incorporado puede proporcionar señales 210, 310 de medición, y la pantalla puede mostrar mensajes 236, 238, 336, 237 con respecto a, entre otros, evaluación de condición. El programa de ordenador como se describe puede en tal caso estar contenido como una aplicación en la memoria del teléfono inteligente.
- 50

Aunque el método de acuerdo con la invención en la realización detallada anterior se ha divulgado como que es capaz de ser ejecutado por una unidad electrónica, tal como un microprocesador o un microcontrolador, debe entenderse que las implementaciones llevadas a cabo usando circuitos analógicos y digitales discretos y/o integrados, también pueden yacer dentro del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un método para proporcionar una evaluación de condición de una estructura (101) mecánica que incluye un componente de máquina rotativa, comprendiendo el método:
- proporcionar una señal de entrada que representa vibraciones mecánicas en la estructura mecánica;
- 5 proporcionar una señal de referencia;
- seleccionar, sobre la base de la señal de entrada y la señal de referencia, una entre una pluralidad de evaluaciones de condición predeterminadas para la estructura mecánica,
- en donde la señal de referencia es generada sobre la base de al menos un parámetro para el componente de máquina rotativa y una velocidad de rotación para el componente de máquina rotativa,
- 10 caracterizado porque
- el componente de máquina comprende una transmisión por engranajes, y la provisión de la señal de referencia comprende generar una señal periódica estacionaria modulada, y la etapa de seleccionar una de una pluralidad de evaluaciones de condición comprende la desmodulación de amplitud de la señal de entrada,
- o
- 15 el componente de máquina comprende un cojinete rotativo, y la provisión de la señal de referencia comprende generar una señal de pulso periódica, y la etapa de seleccionar una de una pluralidad de evaluaciones de condición comprende calcular la correlación cruzada entre la señal de entrada y la señal de referencia.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la etapa de seleccionar una de una pluralidad de evaluaciones de condición comprende procesar la señal de entrada y la señal de referencia en el dominio de tiempo.
- 20 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el componente de máquina comprende una transmisión por engranajes, y la provisión de la señal de referencia comprende generar una señal periódica estacionaria modulada, y la etapa de seleccionar una de una pluralidad de evaluaciones de condición comprende la desmodulación de amplitud de la señal de entrada, y
- en donde la pluralidad de evaluaciones de condición comprende:
- 25 una evaluación de un engranaje deformado circunferencialmente;
- una evaluación de un engranaje desgastado o degradado; y
- una evaluación de un diente dañado en un engranaje.
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1,
- 30 en donde el componente de máquina comprende un cojinete rotativo, y la provisión de la señal de referencia comprende generar una señal de pulso periódica, y
- la etapa de seleccionar una de una pluralidad de evaluaciones de condición comprende calcular la correlación cruzada entre la señal de entrada y la señal de referencia, y
- en donde la pluralidad de evaluaciones de condición comprende:
- una evaluación de daños en una rodadura externa del cojinete;
- 35 una evaluación de daños en la rodadura interna del cojinete; y
- una evaluación de daños en una bola o elemento rodante en el cojinete.
5. Un programa de ordenador, que comprende instrucciones de procesamiento que, cuando son ejecutadas por una unidad de procesamiento electrónico, producen que la unidad de procesamiento electrónico realice el método como se describe en una de las reivindicaciones 1-4.
- 40 6. Un programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 5,
- almacenado en una memoria o en un medio de almacenamiento, o representado por una señal propagada que es transmitida en una red de comunicación.
7. Un dispositivo para proporcionar una evaluación de condición de una estructura mecánica, que comprende una unidad de procesamiento electrónico y una memoria,

manteniendo almacenado la memoria un programa de ordenador como se describe en la reivindicación 6.

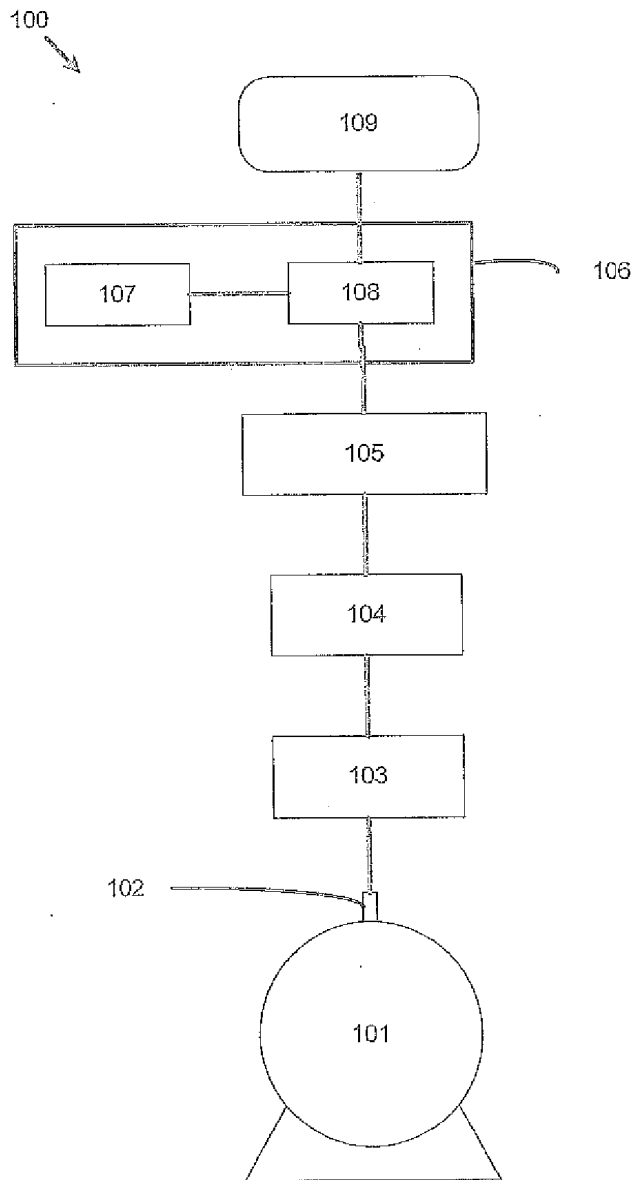
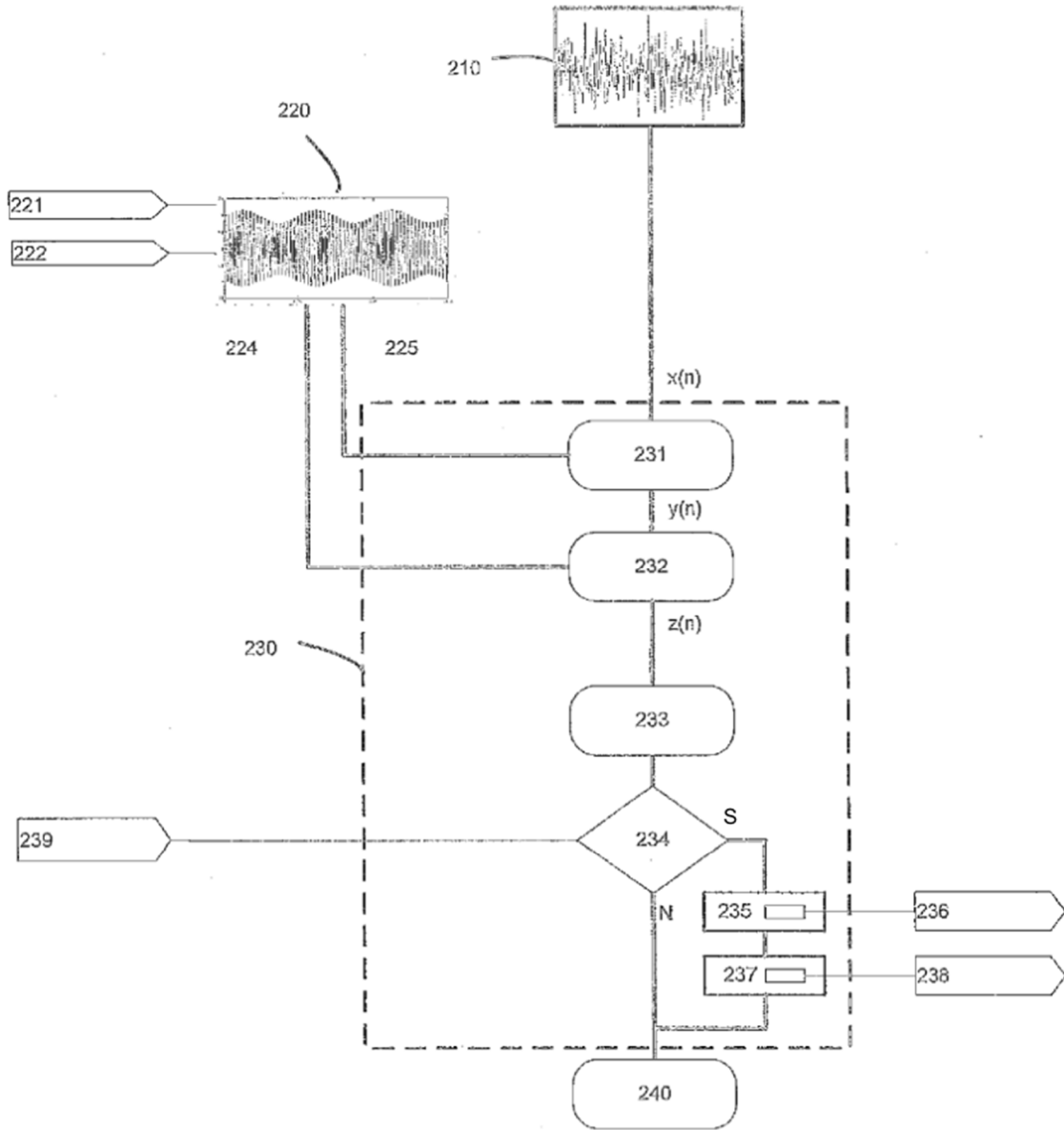


Fig. 1



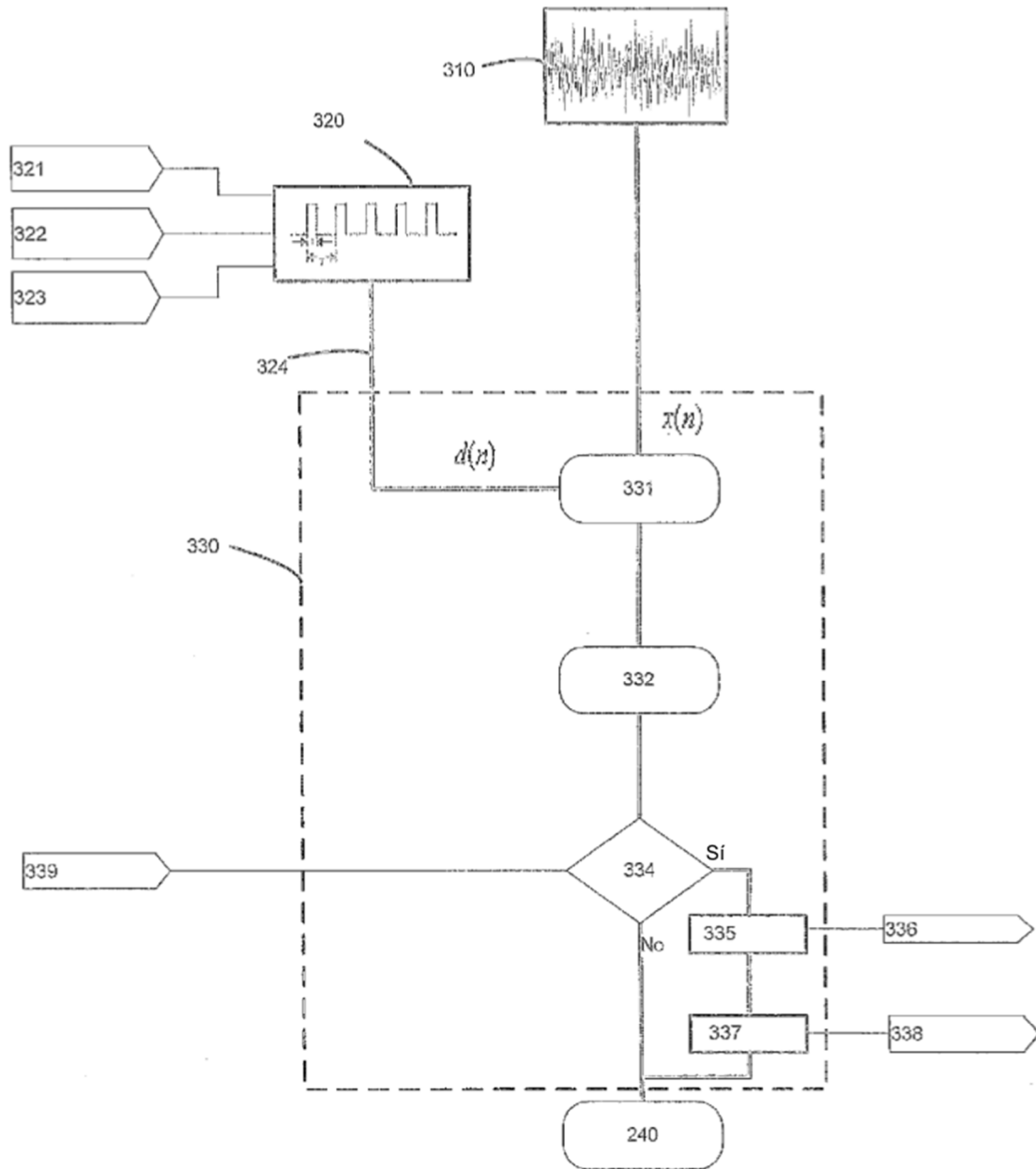


Fig. 3

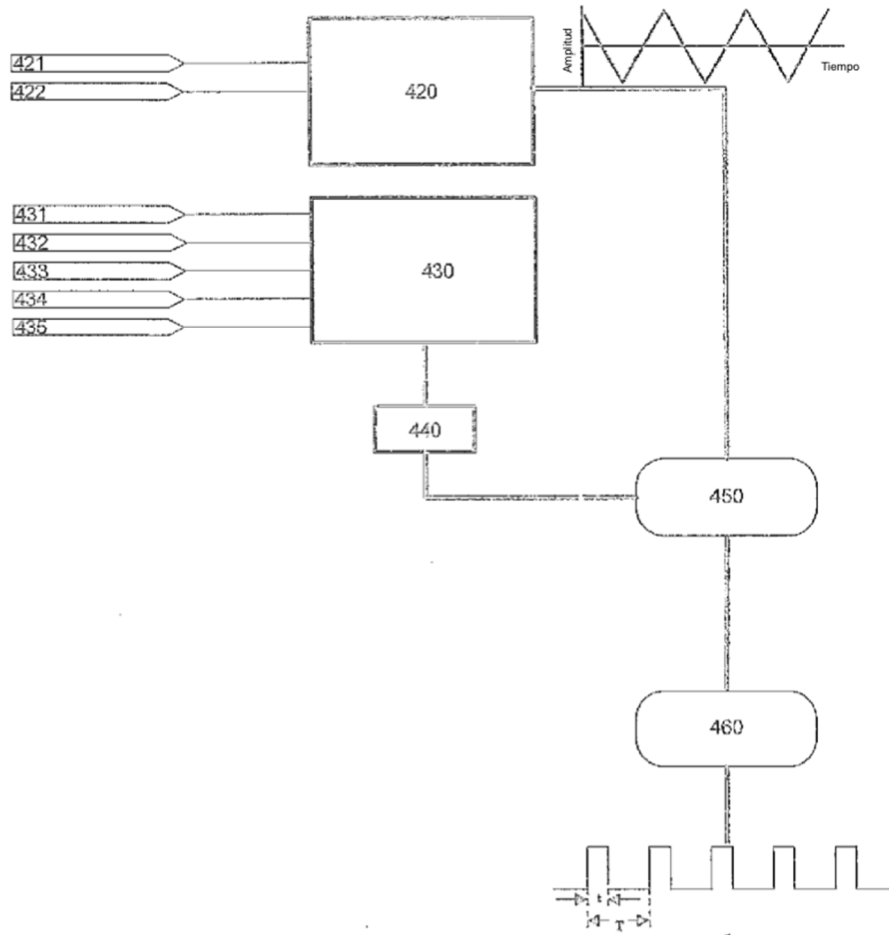


Fig. 4

Ángulo de contacto β

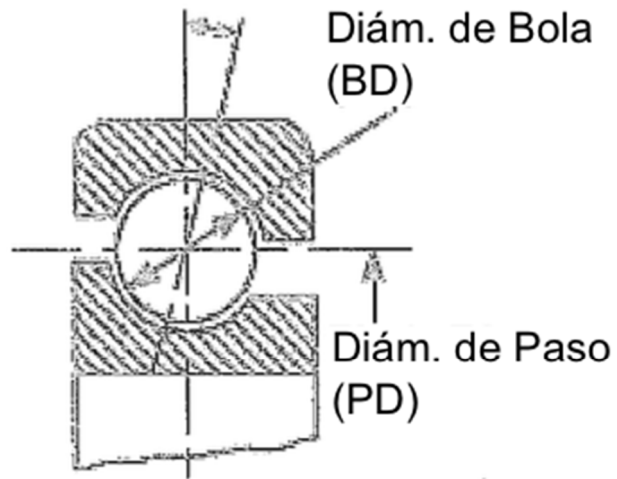


Fig. 5