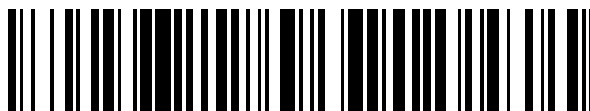


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 793 651**

51 Int. Cl.:

G01M 13/04 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.11.2018** **E 18204784 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2020** **EP 3483581**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para supervisar un juego de cojinete de cojinetes de rodamiento**

30 Prioridad:

08.11.2017 DE 102017219887

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

16.11.2020

73 Titular/es:

**SCHAEFFLER MONITORING SERVICES GMBH
(100.0%)
Kaiserstraße 100
52134 Herzogenrath, DE**

72 Inventor/es:

REICHHART, MARC

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 793 651 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para supervisar un juego de cojinete de cojinetes de rodamiento

5 La invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento para supervisar el estado del juego de cojinete de un cojinete de rodamiento, en particular del juego de cojinete de un cojinete de gran tamaño, en especial de una turbina eólica y particularmente de un cojinete principal.

10 La supervisión del estado se realiza, a este respecto, tras el montaje del cojinete de rodamiento. Por juego de cojinete se entenderá tanto un juego de cojinete positivo con huelgo de cojinete interno como un juego de cojinete negativo (cojinete pretensado) de unidades de cojinete de rodamiento. Por unidad de cojinete de rodamiento quiere decirse, en particular, un cojinete individual con piezas de adaptación (p. ej. cojinete limitador de par) o un sistema de árbol compuesto por árbol y carcasa y cualquier número de cojinetes de rodamiento.

15 Por lo que respecta a los cojinetes que han de supervisarse, se trata generalmente de cojinetes rotativos, es decir, cojinetes que en funcionamiento rotan dando vueltas alrededor de un eje de rotación (y no solo pivotan alrededor de un eje de giro a lo largo de un intervalo angular limitado). En especial, por lo que respecta al cojinete que ha de supervisarse, se trata de un cojinete de una turbina eólica, por ejemplo el denominado cojinete principal, a través del cual está montado un rotor, al que están fijadas las palas de rotor.

20 El foco se sitúa, a este respecto, en la detección lo más sencilla posible pero al mismo tiempo precisa de los daños que afectan al juego de cojinete, tal como el desgaste de las pistas de rodadura o de los cuerpos rodantes, el desgaste en el asiento de cojinete o un asentamiento o aflojamiento inadmisibles de elementos de pretensión o fijación. El juego de cojinete es un factor decisivo para el funcionamiento de un sistema de cojinete. Si el juego de cojinete aumenta (en positivo) o se reduce la pretensión del cojinete debido a los mecanismos mencionados, esto conduce a medio o largo plazo a un deterioro consecuente del sistema de cojinete hasta el punto de provocar una avería. Sin embargo, si se detecta a tiempo una variación del juego de cojinete inadmisibles, pueden adoptarse medidas pertinentes para evitar el deterioro consecuente.

30 Existen ya algunos planteamientos que tratan de medir la pretensión de cojinete y/o su influencia.

El documento DE 10 2010 035 264 A1 describe un dispositivo para ajustar un juego axial de un cojinete por medio de actuadores piezoeléctricos. El objetivo del dispositivo es compensar variaciones del juego operativo debidas a influencias de la temperatura. Para ello se mide, por medio de un sensor colocado en la carcasa, la distancia axial hasta el anillo interior del cojinete. Si varía la distancia, esto se corrige mediante el elemento piezoeléctrico hasta que se restablece el estado de partida. Una supervisión del desgaste, el asentamiento o el aflojamiento no es posible, sin embargo, con este método. Esto se debe a que, por ejemplo, el desgaste en el cojinete con el equipo regulador conduce a un aumento de la distancia y el desgaste en el cojinete opuesto conduce a una reducción de la distancia. Los efectos pueden anularse, por tanto, mutuamente. Adicionalmente, a la medición se superponen repercusiones notables de la temperatura en el funcionamiento normal. Tal dispositivo no es, por tanto, adecuado para la supervisión del estado (*condition monitoring*) de un juego de cojinete, sino solo para compensar dilataciones térmicas.

45 El documento DE 10 2009 051 498 A1 prevé un equipo de medición de pretensión, en donde se mide la distancia radial entre el anillo externo y el interno. Se recurre igualmente al valor de medición de la distancia para adaptar el juego operativo en caso de influencias de la temperatura, debiendo conseguirse en este caso la corrección del juego operativo mediante el atemperado de uno de los anillos de cojinete. En este caso sucede igualmente que el desgaste de las pistas de rodadura y/o de los cuerpos rodantes no puede detectarse claramente, ya que la medición se ve falseada, por un lado, por los efectos de la temperatura. Por otro lado, el desgaste no provocaría necesariamente una variación de la distancia radial si, por ejemplo, solo se produjeran cambios de carga axiales.

50 Los dos planteamientos mencionados anteriormente tienen como objetivo, por tanto, la adaptación o el mantenimiento constante del juego operativo mediante compensación de las influencias de temperatura, pero no detectan variaciones a largo plazo de la pretensión o del juego de cojinete por el desgaste, el asentamiento o el aflojamiento.

55 Puesto que, en particular, la distribución de temperaturas en la unidad de cojinete tiene una enorme influencia en el juego operativo, esta influencia debe descartarse en la medición y la evaluación o, al menos, minimizarse lo suficiente, para poder detectar el desgaste, el asentamiento o el aflojamiento.

60 El documento EP 2 801 729 A2 ofrece, en cambio, un planteamiento de solución para ello. En este caso se concluye igualmente, a través de una medición de la distancia, la pretensión de cojinete, pero en este caso están previstas mediciones de distancia radiales y axiales. En asociación con mediciones de distribución de temperaturas adicionales en el rodamiento puede concluirse, en este caso, claramente, la pretensión de cojinete existente y, adicionalmente, diferenciarse entre temperatura e influencia del desgaste. No obstante, con estos métodos de medición se requieren una multitud de sensores y complejos cálculos previos para determinar las correlaciones.

65 El estado de la técnica mencionado tiene en común que variaciones de carga en el funcionamiento pueden falsear en gran medida el resultado de la regulación y/o de la medición, ya que tales variaciones de carga conducen igualmente

a variaciones de la distancia.

Además, todos los rodamientos presentan divergencias de fabricación. A este respecto, puede tratarse de errores de excentricidad axial y de concentricidad, divergencias de planeidad y redondez o errores de superficie. Si se mide la distancia durante el funcionamiento entre una parte giratoria y una parte estacionaria, esto se expresa en una señal de distancia que varía periódicamente, en donde la variación cuantitativa de la distancia debido a las divergencias de fabricación puede superar notablemente la variación en la que se basa el objetivo de medición. Si no puede tenerse esto en cuenta en la evaluación, esto puede conducir a dispersiones máximas en el resultado de medición y a que este se vea comprometido.

Además, por el documento DE 103 24 924 A1 se conoce un cojinete liso, en el que entre dos anillos de cojinete está dispuesto un revestimiento antiadherente. El estado de desgaste del mismo se determina a través de una medición de la distancia entre los anillos de cojinete.

También por el documento CH 702 986 A2 se conoce, para la medición del desgaste de un cojinete de un gorrón del cigüeñal de un motor diésel, una medición de distancia.

La presente invención se basa en el objetivo de hacer posible, con un esfuerzo de medición y cálculo reducido, una supervisión del estado para un sistema de cojinete de rodamiento y, pese a ello, detectar de forma segura el desgaste, el asentamiento y el aflojamiento. A este respecto la finalidad es, por tanto, supervisar a largo plazo el juego de cojinete tras el montaje y no determinar ni corregir el juego operativo en función de la distribución de temperatura en el rodamiento.

El objetivo se consigue de acuerdo con la invención mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1 así como mediante un dispositivo con las características de la reivindicación 15. Las ventajas explicadas con respecto al procedimiento y las configuraciones preferidas pueden trasladarse, *mutatis mutandis*, también al dispositivo.

El procedimiento sirve para supervisar un juego de cojinete de un cojinete de rodamiento, en particular un juego de cojinete de un cojinete de gran tamaño, en especial de una turbina eólica, y en particular para supervisar el juego de cojinete del cojinete principal de una turbina eólica. A este respecto, para la supervisión,

- en el marco de una primera serie de medición con ayuda de al menos un sensor de distancia se mide en cada caso una distancia entre una parte rotatoria y una parte estacionaria del cojinete de rodamiento para al menos dos estados de carga en particular recurrentes periódicamente,
- con ayuda de las mediciones se establece una diferencia de las distancias medidas, también denominada en lo sucesivo valor delta de distancia; esta diferencia se determina, para los al menos dos estados de carga recurrentes, preferentemente a partir de las distancias medidas,
- en un instante posterior se repiten las mediciones de la distancia para los al menos dos estados de carga en el marco de una segunda serie de medición. Sobre la base de la variación de las diferencias de las distancias (valores delta de distancia) se concluyen, a su vez, variaciones en el juego de cojinete. En particular, también en la segunda serie de medición se determina un valor delta de distancia y se supervisa en cuanto a una variación en comparación con el valor delta de distancia de la primera serie de medición.

En general, sobre la base de las variaciones de la diferencia (del valor delta de distancia) se concluyen por tanto variaciones en el juego de cojinete. En este caso se trata, opcionalmente, de las distancias. Con ayuda de la variación, en particular en caso de un incremento o una disminución del valor delta de distancia en un valor predeterminado (absoluto y/o porcentual), se concluye, por ejemplo, una variación inadmisibles y se toman medidas apropiadas, como por ejemplo la recomendación de un reajuste del juego de cojinete o la recomendación de un reemplazo del cojinete. Alternativamente o de manera complementaria, sobre la base de la variación del valor delta de distancia se predice la duración (restante) adicional del cojinete, dado el caso, hasta una revisión requerida, etc. (*condition monitoring*).

En el procedimiento se efectúan, por tanto, en primer lugar en la primera serie de medición, preferentemente, al menos dos mediciones individuales para estados de carga diferentes y se obtienen al menos dos valores de distancia (un valor de distancia por cada estado de carga). En este caso se detectan (miden), por ejemplo, dos valores absolutos y se ponen uno en relación con el otro, a fin de obtener la diferencia de distancia. Alternativamente, la detección y la determinación de la diferencia de distancia tiene lugar mediante una medición relativa, es decir, solo se detecta la variación de la distancia, sin que se media un valor absoluto para los dos valores de distancia. Más tarde en el transcurso del funcionamiento (p. ej. tras semanas o meses desde la primera serie de medición) y en el marco del *condition monitoring* se llevan a cabo entonces, en la segunda serie de medición, de nuevo al menos dos mediciones individuales para los mismos estados de carga que en la primera serie de medición, o al menos estados de carga comparables, y se detectan de nuevo al menos dos valores de distancia.

Es particularmente importante que no se efectúe una afirmación acerca del juego de cojinete sobre la base de una medición de distancia absoluta, dado el caso también promediada, sino, más bien, solo sobre la base de la variación del valor delta de distancia en el transcurso del tiempo para al menos dos estados de carga definidos. Esto tiene lugar,

en particular, mediante una medición relativa. La ventaja fundamental en este caso radica en que la influencia de los estados de carga variables para el juego de cojinete tienen que detectarse precisamente sin esfuerzo y eliminarse del cálculo.

5 En una respectiva medición individual para la determinación de la distancia para un estado de carga definido se mide de manera continua la distancia, por ejemplo a lo largo de un cierto periodo de tiempo (p. ej. de varios segundos a minutos), y a partir de los diversos valores de medición se calcula un valor promedio como valor de distancia. Para la determinación del valor delta de distancia se recurre entonces, por ejemplo, a la distancia de los valores promedio para los diferentes estados de carga.

10 El procedimiento saca partido de los estados de carga variables presentes en una gran parte de las aplicaciones, que en los planteamientos descritos anteriormente con respecto al estado de la técnica suponían, en cambio, un problema. Dependiendo del juego de cojinete (positivo o negativo) se obtienen, en concreto, diferentes distancias dependientes de la carga entre los anillos de cojinete, sus piezas de adaptación (como por ejemplo asiento de cojinete, un anillo tensor para el tensado del cojinete, etc.) y/o el árbol y la carcasa. Cuando se mide en un determinado lugar, la distancia varía en este caso dependiendo del estado de carga debido a deformaciones elásticas de los componentes. Por estado de carga se entiende una combinación de determinadas fuerzas, momentos, temperaturas, número de revoluciones, etc. en un instante discreto, pudiendo tratarse un estado de carga también de un estado libre de carga.

20 Como estados de carga se consideran en este caso, en particular, los siguientes estados de carga variables:

- Estados de carga condicionados por la temperatura: Debido a variaciones de la temperatura puede producirse un comportamiento de dilatación diferente de los componentes individuales, que puede llevar a una variación del juego de cojinete, por ejemplo en el estado en reposo y en un estado operativo.
- 25 - Estados de carga condicionados por la carga del viento: Debido a las diferentes cargas del viento se introducen diferentes fuerzas en el cojinete, que pueden conducir igualmente a una variación del juego de cojinete.
- Estados de carga dependientes del número de revoluciones, por ejemplo debido a fuerzas centrífugas diferentes

30 En el caso más sencillo, en una aplicación, el estado de carga cambia entre dos niveles, por ejemplo dos niveles de temperatura diferentes o dos cargas del viento diferentes. Puede determinarse, por tanto, una variación relativa de la distancia entre los dos estados de carga. Siempre que el juego de cojinete permanezca constante, se obtiene para una misma variación del estado de carga también un mismo valor delta de distancia. Si se produce un deterioro que afecta al juego de cojinete (el juego de cojinete aumenta o disminuye la pretensión), esto lleva siempre a un aumento del valor delta de distancia para la misma variación del estado de carga. Mediante la supervisión del valor delta (cálculo de la tendencia) se identifica por tanto una variación del juego de cojinete. Con este modo de proceder no es forzosamente necesario conocer los estados de carga exactos o el juego de cojinete existente. Se parte del hecho de que, en el momento de la puesta en marcha, existe una pretensión de cojinete adecuada y los estados de carga se repiten de igual manera en el transcurso del tiempo. Este es el caso en la mayoría de aplicaciones.

40 Por ejemplo, se define un aumento porcentual admisible, a partir del cual el rodamiento debe comprobarse de manera más precisa. Sin embargo, si se conocen los estados de carga, se concluye también, preferentemente, mediante un cálculo previo y/o mediante el uso de una correlación almacenada en una unidad de evaluación, de manera precisa, la variación del juego.

45 Las cargas pueden ser cargas radiales, cargas axiales o momentos, que actúan por tanto en dirección radial o en dirección axial o como inclinación sobre el cojinete.

50 En el caso de un cojinete radial, por ejemplo un cojinete de rodillos radial afectado por el juego, en forma de cojinete libre, se detecta por ejemplo una distancia entre la carcasa y el árbol. Si la carga radial es una carga cambiante, es decir, que varía el sentido de la carga (inversión del sentido de carga) entre dos estados de carga, mediante la medición puede determinarse fácilmente el juego y puede detectarse adecuadamente un aumento del juego (valor delta de distancia creciente con el tiempo). El sistema también funciona, sin embargo, si hay presente una carga pulsátil. Por carga pulsátil se entiende que el valor de la carga varíe, pero que el sentido de la carga permanezca prácticamente igual.

55 Esto se debe a que, para un juego de cojinete pequeño, más cuerpos rodantes soportan carga, que para un juego de cojinete grande. Por lo tanto, la resistencia del cojinete para un juego de cojinete pequeño es mayor que para un juego de cojinete grande. Por consiguiente se obtiene, por tanto, independientemente del juego de cojinete, igualmente un valor delta de distancia diferente en el caso de carga pulsátil.

60 Para un rodamiento pretensado es válido, de manera análoga, que para una gran pretensión disminuya el valor delta medido.

65 En un perfeccionamiento oportuno se detecta un cambio entre dos estados de carga predefinidos, por ejemplo el cambio entre dos niveles de número de revoluciones, entre dos niveles de temperatura o entre dos estados de carga del viento definidos. La detección de los estados de carga tiene lugar, por ejemplo, con sensores apropiados y/o se

obtiene a partir de un control de la instalación. Cuando está presente en cada caso el estado de carga definido en el que ha de realizarse la respectiva serie de medición, se detecta la distancia. Entre las mediciones de la distancia en los al menos dos estados de carga definidos hay normalmente un cierto periodo de tiempo de segundos, minutos, horas o incluso días, ya que el cambio entre ambos estados de carga necesita un cierto tiempo. El periodo de tiempo depende, a este respecto, en particular del tipo de cambio de carga. Así, por ejemplo, variaciones de carga estocásticas condicionadas por la carga del viento se producen en periodos de tiempo muy cortos del orden de unos pocos segundos. En el caso de tales variaciones de carga (estocásticas), el periodo de tiempo se sitúa por ejemplo en el orden de algunas decenas de segundos (hasta, por ejemplo, como máximo < 1 min, < 5 min o < 10 min). En caso de variaciones de carga, por ejemplo, como consecuencia de un arranque de la instalación (frío - temperatura de régimen), el periodo de tiempo se sitúa, por ejemplo, en el intervalo de algunas decenas de minutos hasta una hora o también hasta varias horas, por ejemplo hasta 6 o incluso hasta 10 horas.

Si en una aplicación de cojinete de rodamiento hay dos estados de carga conocidos, recurrentes en particular periódicamente, como por ejemplo en el cambio de un estado libre de carga a un estado operativo definido en el intervalo de carga parcial o de carga completa, y se conoce el instante del cambio de carga, se detecta preferentemente, durante una serie de medición que dura un periodo que se extiende al menos a lo largo del cambio de carga, un cambio de un a otro estado de carga y se determinan las dos distancias antes y después del cambio de carga.

Si el instante del cambio de carga no se conoce, se efectúan preferentemente a lo largo de un periodo de tiempo suficientemente largo mediciones con las que se detecta, dentro de este periodo de tiempo, a menos un cambio y con ello un valor delta de distancia. Este periodo de tiempo se sitúa, por ejemplo, en horas, días o incluso semanas. La medición individual de la distancia como tal dura, en cambio, solo algunos segundos hasta, por ejemplo, algunos minutos (1-3 min).

En una configuración preferida, los diferentes estados de carga se generan a propósito, es decir se ajustan mediante intervenciones controladas, por ejemplo, en el control de la instalación. Se trata, por ejemplo, del cambio en el arranque de la instalación de un estado frío a un estado a temperatura de régimen.

En muchas aplicaciones de cojinete de rodamiento existen, sin embargo, variaciones más complejas de estado de carga. Como ejemplo particularmente complejo servirá, en este caso, el rodamiento principal de una turbina eólica. Una parte principal de las variaciones de carga relevantes es resultado de cargas del viento estocásticas variables, es decir, a lo largo de un corto periodo de tiempo hay un comportamiento carga-tiempo aleatorio. Por un corto periodo de tiempo se entiende en este caso un periodo de tiempo de, normalmente, varios segundos, por ejemplo de 5 a 20 s hasta algunos minutos (1-10 min). Este comportamiento carga-tiempo a corto plazo aleatorio se repite, sin embargo, visto a lo largo de un periodo de tiempo largo, al menos en forma similar. Así, a una velocidad del viento promedio constante aparecen, por ejemplo, variaciones estocásticas, es decir oscilaciones. Las experiencias muestran que estas oscilaciones son iguales o muy similares en el marco de una observación estadística. Estas oscilaciones de carga van acompañadas de distancias diferentes.

En una configuración preferida se efectúan, por lo tanto, a lo largo de un periodo de medición predefinido, en particular del orden de varios segundos hasta algunos minutos (1-10 min), una serie de medición con una pluralidad (al menos 10, preferentemente al menos 50 y más preferentemente de al menos 500) de mediciones individuales con, por ejemplo, una frecuencia del orden de, por ejemplo, 1 a 100 Hz, por ejemplo de 10 Hz. A este respecto se detecta un comportamiento carga-tiempo de las distancias recurrente en particular periódicamente. Se detecta, por tanto, prácticamente una evolución continua de las distancias a lo largo del periodo de medición. Esta evolución se evalúa con vistas a las diferencias de las distancias. Las diferencias están condicionadas, a este respecto, por las cargas variables (estocásticamente). Una serie de medición de este tipo se efectúa en un instante posterior a la segunda serie de medición en el marco de un *condition monitoring*. Las dos series de medición se evalúan y, en concreto, sobre la base de las variaciones de la diferencia de los valores de distancia individuales de la respectiva serie de medición.

Las dos series de medición se efectúan, a este respecto, preferentemente a una carga de base igual, es decir un estado de carga de base igual, dentro del cual aparecen las divergencias estocásticas. En especial, este estado de carga de base se define por una carga promedio constante (por ejemplo, velocidad del viento (carga del viento)). El estado de carga de base es, por ejemplo, una misma carga promedio (velocidad del viento) a lo largo del periodo de tiempo para la ejecución de la serie de medición y, preferentemente, también con una misma variación estadística, o similar, (desviación estándar o varianza) de la carga promedio (velocidad del viento) en el periodo de medición.

La invención saca partido, por tanto, de las variaciones estocásticas, ya que el objetivo es una supervisión a largo plazo del juego de cojinete. Se efectúan, por tanto, regularmente series de medición a lo largo de un periodo de tiempo discreto (algunos segundos hasta varios minutos). Se efectúan, por tanto, una serie de mediciones. Dentro de una serie de medición de este tipo se producen variaciones estocásticas del estado de carga y, por tanto, una variación estocástica de la señal de distancia. Puede determinarse, por tanto, por ejemplo, una diferencia de máximo y mínimo dentro de dicha serie de medición (es decir, en caso de presencia de un único estado de carga) y evaluarse en relación con una variación del juego de cojinete.

Tal procedimiento estaría sujeto, no obstante, a una dispersión considerable si se comparan los eventos de varias mediciones. Por lo tanto, se propone preferentemente determinar un parámetro estadístico como medida de la diferencia de las distancias medidas y comprobar este parámetro estadístico en cuanto a variaciones. El parámetro estadístico es, en particular, la varianza o la desviación estándar de los valores de medición individuales. En principio, también existe la posibilidad de comprobar solamente un simple valor promedio de las distancias medidas dentro de una serie de medición en cuanto a variación entre las series de medición.

Para supervisar el juego de cojinete basta, en principio, con un sensor de distancia que se sitúe en la medida de lo posible en un lugar donde, en función de la realización del rodamiento y de los estados de carga de la aplicación, aparezcan las mayores deformaciones o desplazamientos entre partes rotativas y estacionas. En este sentido, la medición de distancia no tiene que suceder necesariamente en el entorno directo del cojinete. Con frecuencia, el efecto se intensifica incluso por el efecto de palanca a una cierta distancia del cojinete. No obstante ha de tenerse en cuenta en el posicionamiento que el resultado no se vea afectado inadmisiblemente por otros efectos de deformación debidos, por ejemplo, a otros elementos de la máquina. Además resulta ventajosa una accesibilidad del sensor para poder reemplazarlo llegado el caso. Si esto no es factible, pueden colocarse, por motivos de redundancia, también varios sensores unos junto a otros.

Otro reto esencial consiste en la detección de la señal de distancia y su evaluación. Debido a las tolerancias y divergencias mecánicas en la fabricación o errores de montaje son inevitables divergencias de concentricidad, de excentricidad axial, de redondez y de planeidad, es decir, en general, errores de excentricidad axial y de concentricidad. Por errores de concentricidad se entienden, en general, variaciones radiales de la distancia de una superficie radial circundante de un componente rotatorio con respecto al eje de rotación. Por errores de excentricidad axial se entienden, en general, divergencias de una superficie frontal plana del componente rotatorio con respecto a un nivel de planitud exacto (orientado en perpendicular al eje de rotación). Puesto que se mide desde el sistema estacionario al giratorio (o a la inversa), se obtiene en el estado de parada un valor de medición diferente en función de la posición angular de las piezas rotatorias entre sí o bien, en el caso de una medición durante el funcionamiento, se obtiene un valor de distancia que varía mucho en determinadas circunstancias a lo largo del tiempo. Esto es válido, en particular, cuando no se mide en un anillo de cojinete, sino, por ejemplo, desde la carcasa en un accesorio de árbol (por ejemplo, tuerca del árbol), que no presenta ninguna tolerancia de forma y posición particular en la superficie de medición, con la que cabe esperar por tanto grandes errores de concentricidad o excentricidad axial.

En particular, en el caso del uso de solo un sensor, este problema se soluciona, preferentemente, por que las divergencias de montaje o de fabricación, a continuación abreviado como divergencias de fabricación, se compensan mediante una medición y mediante una unidad de evaluación. Preferentemente, las divergencias de fabricación se detectan en el marco de una medición de referencia y se tienen en cuenta en la posterior medición de los valores de distancia. Para la medición de referencia se rota la unidad de cojinete (al menos una o también varias revoluciones) y se detecta la posición angular y la distancia correspondiente y se almacenan de manera permanente en una unidad de evaluación. La medición de referencia se efectúa, preferentemente, en un estado libre de carga. Al menos durante la duración de la medición de referencia se garantiza que el estado de carga de la unidad de cojinete no varíe durante la medición de referencia. En mediciones posteriores, durante el funcionamiento, del resultado de medición se quita entonces preferentemente la variación de la distancia debido a divergencias de fabricación.

Para ello se hacen coincidir los valores de la medición de referencia con la medición durante el funcionamiento preferentemente en cuanto a la posición o el tiempo. Este se consigue, por ejemplo, mediante una detección de posición angular adicional, es decir los valores de la distancia se detectan en ángulos de giro definidos y solo se comparan entre sí valores de distancia, que se detectaron en ángulos de giro iguales.

Es especialmente ventajosa la previsión de al menos un marcado en una superficie de medición, con respecto a la cual mide el sensor de distancia. Un marcado de este tipo puede ser, por ejemplo, un rebaje o una elevación. A través de las correspondientes desviaciones (como consecuencia de una variación brusca de la distancia debido al rebaje / elevación en la superficie de medición) en la señal de distancia medida a lo largo del transcurso del tiempo (señal de tiempo) se hace coincidir la medición de referencia con la medición durante el funcionamiento, al asociar las desviaciones una con otra.

Preferentemente, en caso necesario, se alarga o contrae la medición de referencia para compensar las diferentes de número de revoluciones. Para las desviaciones es importante que se sitúen por encima del nivel de las distancias que cabe esperar durante el funcionamiento. Es decir, el rebaje o la elevación es superior (por ejemplo, al menos en un factor de 1,5 o 2) a una variación máxima esperable de la distancia que se va a medir.

Ventajosamente se usan tres o más sensores de distancia, siendo adicionalmente ventajoso distribuirlos a distancias angulares iguales por la circunferencia. Para la evaluación se recurre entonces, preferentemente, en cada caso a los valores delta de distancia individuales (diferencias entre los estados de carga) de los sensores de distancia individuales.

Preferentemente se detecta en particular, adicionalmente, el valor promedio simultáneo de los diversos sensores de distancia y del valor delta de distancia del valor promedio en una respectiva serie de medición. Por valor promedio

simultáneo se entiende que los diversos sensores de distancia detectan los valores de distancia al mismo tiempo, pero justamente en diferentes posiciones (angulares) y se promedian estos valores de distancia. La suma de las distancias individuales medidas (en un instante discreto) de los diversos sensores se divide, para ello, por el número de sensores.

5 Esto tiene la gran ventaja de que se reducen las influencias molestas tales como errores de excentricidad axial y concentricidad. Si un error de excentricidad axial o concentricidad fuera un serpenteo puro, se eliminaría mediante una evaluación de este tipo de la influencia que causa el falseamiento. Sin embargo, dado que a un curso sinusoidal se le suelen superponer divergencias aleatorias (por ejemplo elevaciones/depresiones onduladas o locales), no se forman durante el valor promedio simultáneo tampoco una variación de distancia periódica durante una rotación (360°). La amplitud de esta variación de distancia es, sin embargo, notablemente inferior que la de las mediciones de distancia individuales con los sensores de distancia individuales. La periodicidad, es decir, la frecuencia de la variación de distancia, se obtiene a partir del producto de la frecuencia de giro de la onda y el número de sensores.

15 A partir de la señal de distancia puede calcularse, por tanto, también el número de revoluciones real. Preferentemente, este también se calcula. En este caso existen diversas posibilidades, por ejemplo, la detección de tiempo entre dos desviaciones de las marcas antes mencionadas o a través de análisis FFT. Puede recurrirse al número de revoluciones, a su vez, para otras evaluaciones.

20 Un método particularmente ventajoso para la detección de la cantidad de las divergencias de fabricación en la señal de distancia es efectuar un desplazamiento de fase de las señales de medición de los sensores de distancia individuales. A este respecto, las señales de medición individuales se desplazan (en el tiempo) de manera correspondiente a su posición angular, es decir, la posición angular del sensor de distancia asociado, de modo que se sitúan coincidiendo una sobre otra. Es decir, los valores de medición individuales (valores de distancia) o las señales de sensor se sitúan desplazadas en el tiempo de tal manera que se sitúan una sobre otra. Entonces, los valores de medición se sitúan por tanto en cada caso uno sobre otro con respecto a la misma posición angular de medición y pueden promediarse. Se recurre al valor promedio como valor de distancia. De este modo puede extraerse la variación de la distancia debido a divergencias de fabricación de manera relativamente precisa, incluso cuando durante la medición aparecen variaciones del estado de carga.

30 En particular, cuando los valores delta de distancia son grandes debido a las variaciones de carga en comparación con los valores delta de fabricación, la medición se evalúa preferentemente a lo largo de varias revoluciones y se promedia. Esta puede quitarse entonces, de nuevo, de las señales individuales. Como resultado, disminuye notablemente la oscilación de las señales de distancia y puede extraerse la variación de la distancia debido al estado de carga.

35 Una compensación de la variación de la distancia por divergencias de concentricidad y excentricidad axial es ventajosa, en particular, cuando han de determinarse parámetros estadísticos para la determinación del valor delta de distancia tal como, por ejemplo, la desviación estándar de la variación de distancia durante una serie de medición en un estado de carga. De lo contrario, eventualmente, la variación de distancia debido a las tolerancias de fabricación sería tan dominante que se perdería el incremento del valor delta de distancia debido a variaciones del juego de cojinete en la evaluación.

45 En principio resulta también interesante, sin embargo, supervisar el comportamiento de concentricidad y excentricidad axial a lo largo del tiempo. Puesto que, debido a los procedimientos anteriormente descritos, en particular el promediado de los valores de distancia a lo largo de al menos una revolución completa, se extrae el comportamiento de concentricidad y excentricidad axial, es posible supervisar este también cualitativamente. Si, por ejemplo, se monta incorrectamente un anillo de cojinete, de modo que en parte esté presente un intersticio en la superficie de apoyo de cojinete, esto repercute en la evolución de la concentricidad y la excentricidad axial de la medición de distancia. Si más tarde, durante el funcionamiento, llega a asentarse, de modo que el intersticio se cierra, el comportamiento de excentricidad axial y concentricidad varía cualitativamente. Esto conduce, naturalmente, también a una variación del juego de cojinete.

50 En el caso más sencillo, el comportamiento de concentricidad y/o excentricidad axial se efectúa mediante una medición de referencia adicional en un estado de carga definido y se compara, en particular, con la medición de referencia anterior.

55 En caso de que haya presentes estados de carga constantes a lo largo de varias revoluciones, está previsto además, en un perfeccionamiento preferido, eliminar variaciones de los valores de distancia debido a divergencias de fabricación mediante el cálculo de valores promedio móviles, a fin de determinar (con exactitud) el presente valor de distancia debido al actual estado de carga y determinar el valor delta de distancia en otros estados de carga. Para ello se prefiere aprovechar el carácter periódico de la señal de distancia. Puesto que el número de revoluciones puede determinarse tal y como se describió anteriormente a partir de la señal, es posible definir el intervalo para la media móvil como el múltiplo n de una revolución de rotor, siendo n mayor o igual a 1 y situándose preferentemente en 2 y como máximo en 10. De este modo es posible eliminar por completo la influencia de la excentricidad axial y la concentricidad en la medición. Esto se debe a que el valor promedio de la evolución de la excentricidad axial y la concentricidad es constante a lo largo de una revolución de rotor o un múltiplo de la misma.

En la mayoría de aplicaciones de cojinete de rodamiento puede haber diferentes condiciones operativas, por ejemplo funcionamiento a carga parcial o a carga completa. Para las diversas condiciones operativas se diferencia por regla general también el nivel del cambio de estado de carga. Para poder calcular, pese a ello, tendencias significativas del valor delta de distancia o del comportamiento de excentricidad axial y concentricidad, se detectan preferentemente los parámetros operativos relevantes y se clasifican los resultados de medición del valor delta de distancia de manera correspondiente. En este caso desempeña un papel importante, en particular, la temperatura de la unidad de cojinete. Por tanto, resulta ventajoso integrar en el sensor de distancia ya un sensor de temperatura. Esto tiene sentido, en particular, cuando se elige un procedimiento de medición donde ya el sensor de distancia presenta una deriva de temperatura (por ejemplo, sensor de distancia inductivo). Puede recurrirse entonces también al valor de medición de temperatura para la clasificación de los valores delta de distancia.

Cuando se habla de una unidad de evaluación, esto no significa necesariamente que se trate de una unidad separada. El hardware o los algoritmos de evaluación y las lógicas pueden integrarse, a este respecto, en parte o por completo en un sistema de orden superior. Por ejemplo resulta ventajoso llevar a cabo la evaluación de las mediciones de distancia en una unidad de evaluación. El resultado puede transmitirse entonces, por ejemplo, al *monitoring system* ya existente, donde tiene lugar entonces la clasificación según los parámetros de estado operativo y el cálculo de tendencias.

Los procedimientos de evaluación de la medición de distancia anteriormente descritos tienen lugar, preferentemente, de manera continua. Para ello, los datos de medición, por ejemplo móviles, a lo largo de un periodo de tiempo necesario discreto, se cargan en una memoria intermedia y se evalúan y emiten de manera continua. La emisión comienza entonces, como es natural retardada en el tiempo con respecto al inicio de la medición, ya que primero debe haber presentes un cierto número de valores de medición o una cierta evolución de la medición para poder efectuar, por ejemplo, análisis FFT o un cálculo de promedio móvil. Esto requiere, en determinadas circunstancias, una gran capacidad computacional. Sin embargo, también es posible efectuar mediciones discretas a intervalos regulares, evaluarlas a continuación y emitir el valor evaluado.

A continuación, se explican con más detalle ejemplos de realización de la invención mediante las figuras. Estas muestran, en representaciones en parte muy simplificadas:

- la Fig. 1 una representación por fragmentos de una unidad de cojinete, en la que, con fines ilustrativos, están representados diferentes estados de cojinete,
- la Fig. 2A una evolución temporal de un estado de carga y, correlacionada con la misma, la evolución temporal de una distancia entre una parte rotatoria y una parte estacionaria en un estado de partida del cojinete así como
- la Fig. 2B las evoluciones según la Fig. 2A, pero tras un cierto tiempo de funcionamiento y con desgaste,
- la Fig. 3A la evolución temporal de un estado de carga que varía de manera estocástica así como una evolución, correlacionada con la misma, de la distancia entre una parte rotatoria y una parte estacionaria en un estado de partida del cojinete, así como
- la Fig. 3B las evoluciones según la Fig. 3A, pero tras un cierto tiempo de funcionamiento y con desgaste,
- la Fig. 4A la evolución temporal de la distancia entre una parte rotatoria y una parte estacionaria, que presenta divergencias de fabricación,
- la Fig. 4B la evolución temporal de la distancia de una medición de referencia para la determinación de las divergencias de fabricación, así como
- la Fig. 4C la evolución representada en la Fig. 4A de la distancia tras la corrección en cuanto a las divergencias de fabricación según la Fig. 4B.

En la figura 1 está representada a modo de ejemplo y de manera muy esquematizada una unidad de cojinete 2. Por lo que respecta a la unidad de cojinete 2 representada no se trata, necesariamente, de una situación real, sino que sirve más bien para explicar los diferentes estados en la figura 1. En la figura 1 representada, la unidad de cojinete 2 presenta dos cojinetes de rodamiento 4 distanciados uno de otro. El cojinete de rodamiento 4 representado en la mitad derecha de la imagen está configurado, a este respecto, como cojinete de rodillos de doble hilera, ajustado y pretensado. El cojinete de rodamiento 4 representado en la mitad izquierda de la imagen está configurado, en cambio, como cojinete de rodillos de una hilera en forma de cojinete suelto con juego de cojinete positivo (a diferencia del juego de cojinete negativo en un cojinete pretensado).

Un respectivo cojinete de rodamiento 4 presenta en cada caso al menos un anillo interior 6, un anillo exterior 8 así como cuerpos rodantes 10 dispuestos en medio. En el cojinete de rodamiento 4 representado en la mitad izquierda de la imagen con el juego de cojinete positivo está formado y representado, por tanto, un denominado huelgo de cojinete interno entre los cuerpos rodantes 10 y uno de los anillos 6, 8.

Los cojinetes de rodamiento 4 sirven, por lo general, para el apoyo de un rotor 12 con respecto a un estátor 14. En el ejemplo de realización, la parte situada por dentro está configurada como rotor 12, que rota durante el funcionamiento alrededor de un eje de rotación 16. A este respecto, el rotor 12 también se suele denominar como árbol. El estátor 14 es, por ejemplo, una carcasa (de cojinete) de la unidad de cojinete completa.

5 El procedimiento descrito en el presente caso se utiliza en particular en cojinetes de gran tamaño y, en especial, en un cojinete principal de una turbina eólica. Por cojinete de gran tamaño se entienden por lo general cojinetes que están configurados para soportar elevadas cargas, por ejemplo, varias toneladas, y normalmente presentan un diámetro superior a 0,5 metros y en particular superior a dos metros. El cojinete principal de una turbina eólica es un cojinete de gran tamaño de este tipo. Con el cojinete principal se soporta un rotor de la turbina eólica, no representado en detalle en este caso, que lleva en su extremo un cubo de rotor. En este están dispuestas las palas de rotor individuales, a través de las cuales se absorbe la fuerza del viento y se transforma en un movimiento de rotación del rotor.

10 El procedimiento descrito en este caso no se limita, sin embargo, necesariamente a un cojinete de gran tamaño de este tipo. Sin embargo, precisamente en tales cojinetes de gran tamaño tiene una importancia decisiva el correcto ajuste y mantenimiento de un juego de cojinete para la funcionalidad de la unidad de cojinete 2.

15 Durante el funcionamiento pueden aparecer, a este respecto, tanto fuerzas de cojinete radiales F_R como fuerzas de cojinete axiales F_A así como momentos M . Estas fuerzas de cojinete varían, a este respecto, en función de la carga, es decir, en función de las cargas que actúen actualmente sobre los componentes de cojinete individuales. En especial, debido al tamaño de la unidad de cojinete 2, tales variaciones de carga se hacen perceptibles, en particular, en variaciones de la distancia entre una parte rotatoria, por ejemplo el rotor 12, y una parte estacionaria, por ejemplo el estátor 14.

20 En la figura 1 está representados, a modo de ejemplo, dos sensores de distancia 18, que están configurados para la medición de una distancia radial a_R o de una distancia axial a_A . Los sensores de distancia 18 miden, a este respecto, en cada caso en una superficie de medición no representada en más detalle en este caso. Esta está dispuesta, por ejemplo, en el rotor 18 o en un componente auxiliar. En la supervisión del juego de cojinete se supervisa y evalúa al menos una de las distancias, preferentemente ambas en el marco de un *condition monitoring*. Por motivos de simplicidad se habla en lo sucesivo únicamente de una distancia a .

25 Por estados de carga se entienden, en general, momentos, fuerzas, presiones, temperaturas o incluso números de revoluciones, que actúan sobre el cojinete de rodamiento 4. Estos estados de carga son, en parte, estados de carga derivados de cargas externas aplicadas sobre el cojinete, en especial, por ejemplo, cargas del viento, como causa principal de los estados de carga variables. Se obtienen diferentes estados de carga también, por ejemplo, por un funcionamiento libre de carga, un funcionamiento a carga parcial y un funcionamiento a carga completa. También se obtienen diferentes estados de carga, por ejemplo, en el arranque, cuando la instalación y el cojinete de rodamiento 4 todavía presentan una temperatura ambiente y todos los componentes del cojinete están prácticamente al mismo nivel de temperatura, y en una posterior situación de funcionamiento, con una temperatura operativa aumentada. Esta se caracteriza también por gradientes de temperatura entre los componentes individuales, lo que puede llevar a tensiones, etc. y por tanto a diferentes momentos y fuerzas.

30 Las figuras 2A, 2B muestran, en cada caso, en las mitades inferiores de la imagen una evolución temporal de un estado de carga L . Este está representado de manera simplificada por una función escalonada entre dos estados de carga L_1 , L_2 . Los estados de carga cambian dentro de un periodo de medición ΔT . De manera correlacionada con los estados de carga L variables, también varía la distancia a medida. Esta se reduce en el ejemplo de realización en una diferencia de distancia Δa . Esta también se denomina valor delta de distancia.

35 Para la detección de ambas distancias a_1 , a_2 en los estados de carga L_1 , L_2 se efectúan, en el estado de partida de acuerdo con la figura 2a, dos mediciones individuales en el instante t_1 y t_2 . El periodo de medición ΔT , es decir el intervalo temporal entre las dos mediciones individuales, se sitúa por ejemplo en el orden de minutos o incluso horas, en función de qué duración de tiempo se requiera para el cambio de los dos estados de carga entre los estados de carga L_1 y L_2 . Ambas mediciones individuales definen, a este respecto, una primera serie de medición.

40 Con un intervalo temporal de, por ejemplo, varios minutos, horas, días, semanas, meses o incluso años se efectúa una segunda serie de medición para los mismos estados de carga L , es decir, para el mismo cambio de carga. El cambio de carga aquí representado entre dos estados de carga L_1 , L_2 discretos son, por ejemplo, una variación de carga en el arranque de la instalación del estado frío a un estado a temperatura de régimen (y en caso de relaciones de carga por lo demás iguales, como, por ejemplo, las cargas del viento).

45 La figura 2B muestra una situación según la cual ya se ha producido un desgaste del cojinete. Esto conduce, en principio, a que la diferencia $\Delta a'$ entre los valores de distancia a_1' , a_2' ahora medidos se ha incrementado con respecto al estado anteriormente mostrado en la figura 2A, en particular el estado de partida.

50 La variación de la diferencia Δa (variación del valor delta de distancia) está correlacionada con una variación del juego de cojinete. El juego de cojinete se supervisa y evalúa, por tanto, con ayuda de este valor delta de distancia Δa . En función de la variación del valor delta de distancia se toman entonces medidas pertinentes y se concluye, en general, el juego de cojinete.

55 Si en el caso de una turbina eólica se observan las variaciones de carga provocadas por la carga del viento, se tratará

en este caso –incluso en caso de cargas del viento medias constantes, por ejemplo a lo largo de un periodo de tiempo de varios minutos– de relaciones de carga variables, sujetas normalmente a una variación estocástica. Esta situación está representada en las figuras 3A, 3B. La figura 3A muestra, de nuevo, las relaciones en un estado de partida y la figura 3B las relaciones tras una cierta duración de funcionamiento y desgaste.

5 En las mitades inferiores de la imagen está representada en cada caso la evolución del estado de carga. En el periodo de medición ΔT se efectúan ahora una pluralidad de mediciones individuales, de modo que se determina una evolución de las distancias a a lo largo del tiempo. Por tanto, mediante la pluralidad de las mediciones se determina prácticamente una evolución continua de los valores de distancia, que varían con respecto a la evolución de la variación de los estados de carga L. Tanto la variación del estado de carga L como la de las distancias a son, por tanto, funciones dependientes del tiempo. Los valores detectados de la distancia a se someten a una evaluación estadística, que conduce a un parámetro estadístico que es al menos una medida de las diferencias Δa de las distancias a para la pluralidad de mediciones individuales. Este parámetro estadístico es, por ejemplo, en el caso más sencillo, un valor promedio. Preferentemente se recurre, sin embargo, como parámetro a una desviación, por ejemplo una desviación estándar o una varianza del valor promedio para la evaluación.

10 Como puede observarse con ayuda de la representación en la figura 3B, que muestra la situación tras un desgaste, un desgaste además de a una variación del valor promedio también conduce a un claro incremento de la desviación o varianza del valor promedio. Se recurre a este parámetro (estadístico) como parámetro de evaluación para la valoración de variaciones en el juego de cojinete.

15 Al llevar a cabo las mediciones de distancia, se superponen influencias dependientes de la carga sobre el valor delta de distancia Δa debido a tolerancias de fabricación y divergencias de fabricación, tales como errores de excentricidad axial y concentricidad. En parte, estas divergencias de fabricación son mayores que las variaciones de la distancia dependientes de la carga.

Un punto de vista esencial en el procedimiento es, por tanto, la corrección y el arreglo de los valores de distancia a medidos en tales variaciones de distancia condicionadas por la fabricación.

20 Como aclaración, en la figura 4A está representada una evolución a modo de ejemplo de las distancias a a lo largo del tiempo, en concreto entre los instantes t_1 , t_2 , que definen exactamente un periodo, es decir una revolución completa del rotor 12 alrededor del eje de rotación 16. En los instantes t_1 , t_2 pueden identificarse en cada caso claras desviaciones hacia arriba. Estas se han provocado a propósito mediante correspondientes marcados en forma de elevaciones o rebajes dentro de la superficie de medición.

25 En la figura 4A está representada una evolución en la detección de una pluralidad de distancias para al menos un periodo, en donde, además de las variaciones de la distancia dependientes de la carga, también están superpuestas las variaciones de la distancia condicionadas por la fabricación.

30 En la figura 4B está representada como curva de referencia la evolución de las distancias a como consecuencia únicamente de las divergencias de fabricación. Esta medición de referencia se efectúa, en particular, en un estado libre de carga.

35 Para la evaluación de la evolución de la distancia medida de acuerdo con la figura 4A, para la extracción de una evolución de la distancia que sea puramente condicionada por la carga, se corrige la evolución de la distancia medida (Fig. 4A) en la evolución de la distancia de acuerdo con la curva de referencia (Fig. 4B). En especial se quita la curva de referencia de acuerdo con la figura 4Bb de la curva medida de acuerdo con la figura 4A. Se obtiene entonces una evolución de la distancia puramente condicionada por la carga (evolución corregida), tal como se representa a modo de ejemplo en la figura 4C. Se recurre entonces a esta para la evaluación posterior. Es decir, en el marco de una segunda serie de medición en un instante posterior, se determina de nuevo una evolución corregida dependiente de la carga y, tal como se describió anteriormente, se evalúan las dos evaluaciones de distancia con respecto a las variaciones de las diferencias de los valores de distancia.

40 En principio existe la posibilidad y el riesgo de que, en el transcurso del funcionamiento, varíen las divergencias inicialmente condicionadas por el montaje o la fabricación, tales como errores de excentricidad axial y concentricidad. Esto puede deberse, por ejemplo, al desgaste o al aflojamiento de elementos de pretensado. Además, asentamientos en juntas de montaje (por ejemplo, asiento de cojinete) conducen a una variación de la concentricidad y la excentricidad axial. Convenientemente se supervisan o detectan, por tanto, también la evolución y el desarrollo de las divergencias condicionadas por la fabricación y variaciones de la distancia. Para ello se efectúa, por ejemplo, en instantes recurrentes tras una cierta duración de funcionamiento –por ejemplo antes de una segunda serie de medición– una nueva medición de referencia. La evolución de referencia determinada en esta nueva medición de referencia se quita entonces de la evolución de la distancia medida en la segunda serie de medición, para obtener la evolución puramente condicionada por la carga de los valores de distancia a. Las evoluciones de la distancia corregidas de acuerdo con las dos series de medición se evalúan entonces –de manera análoga al procedimiento representado en las figuras 3A, 3B.

En relación con las figuras 2 y 3 cabe señalar, también, que el nivel promedio de la distancia a en los ejemplos de realización descritos aumenta (Fig. 2) o, respectivamente, disminuye (Fig. 3) con el desgaste. El valor delta de distancia Aa aumenta, sin embargo, respectivamente en ambos casos. El desgaste conduce siempre a un mayor valor delta de distancia Δa .

5

Lista de referencias

2	unidad de cojinete
4	cojinete de rodamiento
6	anillo interior
8	anillo exterior
10	cuerpo rodante
12	rotor
14	estátor
16	eje de rotación
18	sensor de distancia
F_R	fuerza radial
F_A	fuerza axial
a_R	distancia radial
a_A	distancia axial
L	estado de carga
ΔT	periodo de medición
Δa	diferencia de distancia

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para supervisar un juego de cojinete de un cojinete de rodamiento (4), en particular un juego de cojinete de un cojinete de gran tamaño, en especial de una turbina eólica y, en particular, el juego de cojinete del cojinete principal de una turbina eólica, caracterizado por que
- en el marco de una primera serie de medición con ayuda de al menos un sensor de distancia (18) se detecta en cada caso una distancia (a, a₁, a₂) entre una parte rotatoria (12) y una parte estacionaria (14) en al menos dos estados de carga diferentes, recurrentes, y se establece una diferencia (Δa) entre las distancias (a, a₁, a₂) medidas,
 - 10 - en un instante posterior se repite la detección de la distancia (a, a₁, a₂) para los al menos dos estados de carga diferentes recurrentes, en el marco de una segunda serie de medición,
 - sobre la base de las variaciones de la diferencia (Δa) entre las distancias (a, a₁, a₂) medidas en las dos series de medición se concluyen variaciones en el juego de cojinete.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación anterior, en donde se detecta un cambio entre los estados de carga y/o se ajustan los estados de carga diferentes.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde, durante una respectiva serie de medición, a lo largo de un periodo de medición (ΔT) predefinido se efectúan una pluralidad de mediciones y se detecta un comportamiento carga-tiempo (por ejemplo, provocado por cargas variables de manera estocástica), que se repite en particular periódicamente, de las distancias (a) y se evalúa con respecto a las diferencias (Δa) de las distancias (a).
- 20 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se efectúa una evaluación estadística del comportamiento carga-tiempo de las distancias (a) y se recurre a un parámetro estadístico, por ejemplo un valor promedio o una dispersión media de las distancias (a) medidas, como medida de la diferencia (Δa) entre las distancias (a) medidas, y este parámetro se supervisa en cuanto a una variación.
- 25 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde se efectúa o está almacenada una medición de referencia a lo largo de al menos una revolución del cojinete de rodamiento (4), a fin de detectar divergencias de fabricación tales como errores de excentricidad axial y concentricidad y eliminar del cálculo o valorar por separado las divergencias en las series de medición, en donde la medición de referencia se determina en particular con un estado de carga constante.
- 30 6. Procedimiento según la reivindicación anterior, en donde la medición de referencia y una medición de distancia posterior se hacen coincidir en posición y tiempo.
- 35 7. Procedimiento según la reivindicación anterior, en donde está prevista al menos una marca, como por ejemplo un rebaje o una elevación, sobre una superficie de medición, con respecto a la cual mide el sensor de distancia, con el fin de hacer coincidir entre sí la medición de referencia y las mediciones.
- 40 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde alrededor de la circunferencia, en particular distribuidos uniformemente, están dispuestos varios sensores de distancia (18), por ejemplo tres o más, en donde, preferentemente, se detecta un valor de distancia simultáneo, en particular el valor promedio de los diversos sensores de distancia (18), así como la variación de la distancia (Δa) de los mismos.
- 45 9. Procedimiento según la reivindicación anterior, en donde se efectúa un desplazamiento de fase de las señales de sensor individuales de los diversos sensores de distancia (18) dispuestos de manera distribuida para una determinación de divergencia de fabricación, de tal manera que las señales se solapan.
- 50 10. Procedimiento según una de las dos reivindicaciones anteriores, en el que los valores de medición determinados por los sensores de distancia (18) se evalúan y promedian a lo largo de varias revoluciones.
- 55 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde se supervisa un comportamiento de concentricidad y excentricidad axial a lo largo del tiempo.
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 11, en el que, a partir de los valores de distancia (a) discretos medidos de los sensores de distancia (18) se reproduce de manera recurrente una evolución de la distancia a lo largo de una revolución y se supervisa en cuanto a variaciones.
- 60 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 12, en donde se determina un valor promedio móvil de la evolución de la distancia, recurriéndose preferentemente como intervalo para el cálculo del valor promedio móvil a una revolución múltiple.
- 65 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones, en donde se recurre a parámetros operativos adicionales, como la potencia, el número de revoluciones, la carga o la temperatura, para identificar estados operativos comparables, a fin de comparar valores de medición de distancia de estados operativos iguales y, en particular, clasificarlos.

- 5 15. Dispositivo con al menos un sensor de distancia (18) para medir una distancia (a , a_1 , a_2) entre un componente rotatorio (12) y un componente estacionario (14) de un cojinete de rodamiento (4) caracterizado por que el dispositivo comprende un equipo de evaluación que está configurado para llevar a cabo el procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

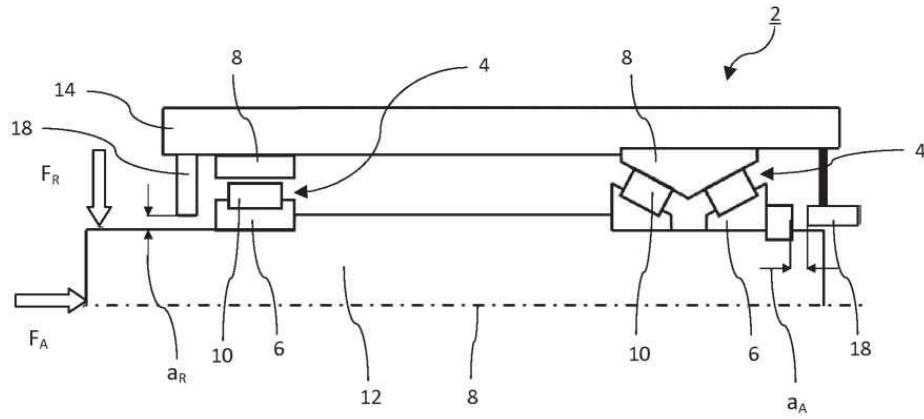


FIG 1

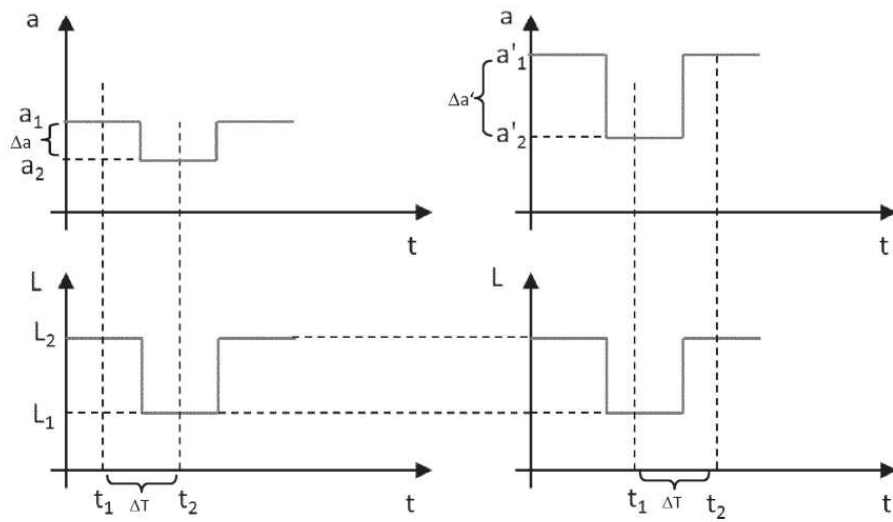


FIG 2A

FIG 2B

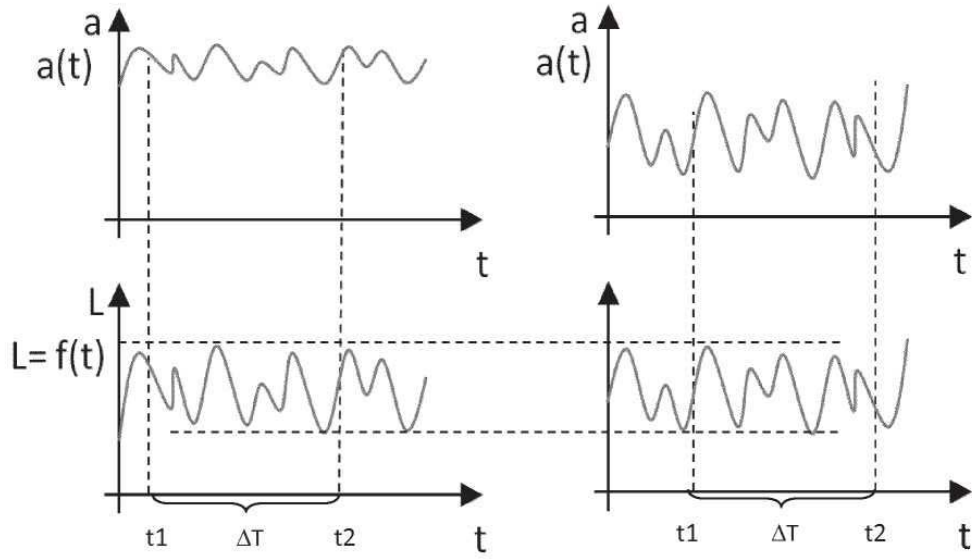


FIG 3A

FIG 3B

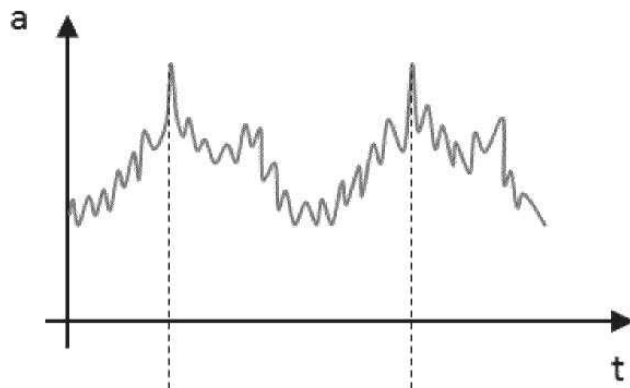


FIG 4A

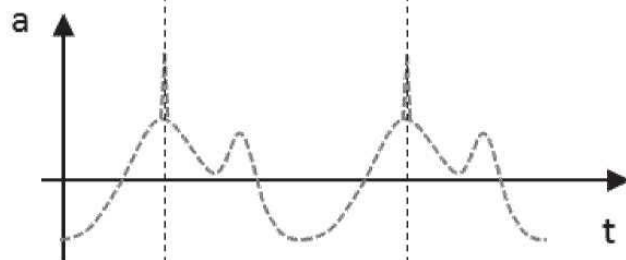


Fig 4B

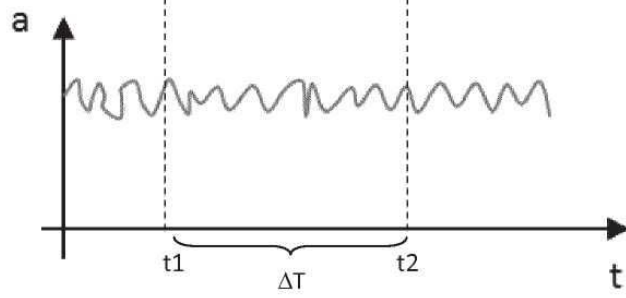


Fig 4C