

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 514**

51 Int. Cl.:

**F03D 80/70** (2006.01)

**F03D 17/00** (2006.01)

**G01M 13/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.03.2015 E 15159311 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017 EP 2927662**

54 Título: **Procedimiento y sistema para el seguimiento del estado de un rodamiento de rodillos de una turbina eólica**

30 Prioridad:

**02.04.2014 DE 102014005090**

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

**12.01.2018**

73 Titular/es:

**INNOGY SE (100.0%)  
Opernplatz 1  
45128 Essen, DE**

72 Inventor/es:

**FRANKE, JAN-BERND**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 649 514 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 sistema para el seguimiento del estado de un rodamiento de rodillos de una turbina eólica

El objeto se refiere a un procedimiento así como a un sistema para el seguimiento del estado de un rodamiento de rodillos de una turbina eólica.

5 Las turbinas eólicas están equipadas de piezas altamente cargadas mecánicamente. En especial los rodamientos y ejes de las turbinas eólicas, en particular los del rotor están expuestos a vientos fuertemente cambiantes y por ello a cargas mecánicas altamente oscilantes. Debido a la alta carga mecánica, los rodamientos de rodillos presentan una vida útil limitada. A este respecto cuentan en especial los rodamientos del eje rotor, que con el tiempo se desgastan o fatigan. El desgaste y fatiga dependen también de la calidad de la terminación y de la construcción de los  
10 rodamientos de rodillos. En rodamientos de rodillos cualitativamente inferiores o constructivamente mal diseñados, el final de la vida útil puede alcanzarse considerablemente más rápidamente de lo que estaba planeado originalmente. Esto lleva a la necesidad de realizar trabajos de reparación extraordinarios en las turbinas eólicas. En la zona marina los costes para un cambio extraordinario de un rodamiento de rodillos en un rotor pueden costar 1 millón de euros o más por cada turbina eólica. A esto se añaden los costes de la avería de la turbina eólica en el tiempo hasta que se  
15 puede realizar la reparación.

En este sentido, para el funcionamiento de una turbina eólica, en especial en la zona marina, es necesario saber con seguridad de los daños eventuales del rodamiento de rodillos lo más pronto posible. Si el rodamiento de rodillos está primero ligeramente dañado y el operario lo sabe con seguridad, ya puede planear el cambio. Esto lleva a tiempos de vida menores de la turbina eólica y a costes menores para los barcos de instalación requeridos. Un rodamiento  
20 de rodillos que está cerca de una avería total, puede aún operarse si procede por medio de un recorte de la potencia/revoluciones de la turbina eólica durante un espacio de tiempo algo mayor. Entonces la avería por una parada de servicio no es tan dramática, aunque en una operación recortada se producen considerablemente menos ingresos.

Del documento EP 2 476 901 A1 se conoce un procedimiento para el seguimiento automático de una turbina eólica, por el que por medio de un modelo de cálculo primero se fija un valor nominal para un parámetro de estado, por ejemplo una temperatura para rodamientos de rodillo de una turbina eólica, antes de que pueda tener lugar una identificación de un daño de un rodamiento de rodillo finalmente mediante una comparación de los valores actuales medidos de la temperatura de un rodamiento de rodillos. Desventajoso en el procedimiento mencionado es sin embargo el que para la construcción de un modelo lo más real posible es necesario una pluralidad de parámetros de  
25 medida. Esto requiere un gran número de sensores, lo cual está unido a un alto factor de coste.

Del documento DE 10 2004 048 649 A1 se conoce un procedimiento para el seguimiento del estado de un rodamiento de rodillos de un dispositivo con rodamientos de rodillos que para una determinación más precisa del estado de un rodamiento de rodillos junto a la determinación de magnitudes medidas directamente sobre el rodamiento de rodillos propone la inclusión de otras magnitudes de medida de la grasa lubricante, como el valor del  
35 pH, el valor de conductividad eléctrica, la temperatura, el volumen de caudal o la presión de la grasa lubricante. En este procedimiento es igualmente desventajoso el que con un número creciente de magnitudes de medida, que influyen en la valoración, también deben integrarse más sensores en el procedimiento, lo cual de nuevo está unido a un mayor gasto y costes más elevados.

Con esto el objeto tiene como tarea el proporcionar un procedimiento suficientemente fiable y a la vez sencillo y barato con el que puedan reconocerse a tiempo defectos amenazadores sobre rodamientos de rodillos de turbinas eólicas.

Esta tarea se resuelve en concreto por medio de un procedimiento según la reivindicación 1. La temperatura de un rodamiento de rodillos da información sobre el estado del rodamiento. Sin embargo se ha sabido que la temperatura del rodamiento además depende fuertemente de la temperatura del entorno. Aparte de la carga mecánica del rodamiento, la cual lleva a pérdidas por rozamiento y con ello a pérdidas de calor, la temperatura del entorno también es esencial para la temperatura del rodamiento.  
45

Por un lado la temperatura del rodamiento oscila considerablemente debido a la carga mecánica, ya que las fuerzas del viento en el transcurso de un espacio de tiempo de un mes o un año varían fuertemente y con ello el punto de trabajo requerido por el número de revoluciones de la instalación de energía eólica oscila considerablemente. Por  
50 otro lado sin embargo también oscila considerablemente la temperatura del entorno en el transcurso de las estaciones.

En caso de daño en una de las pistas en el anillo interior o exterior de un rodamiento de rodillos se eleva la pérdida de potencia del rodamiento. En particular al aumentar la rugosidad de las superficies debido a pequeñas roturas sobre las pistas, aumenta el rozamiento. El aumento del rozamiento lleva a un aumento de la temperatura del rodamiento. Debido a las muy pequeñas potencias de fricción, el aumento de la temperatura se manifiesta sin embargo solo muy poco. Debido a los puntos de trabajo fuertemente oscilantes de la instalación de energía eólica estos pequeños aumentos de temperatura no se notan, ya que los aumentos de temperatura debidos a las  
55

condiciones de carga oscilantes se manifiestan claramente con mayor fuerza. Un rodamiento intacto experimenta igualmente un aumento de la temperatura al aumentar la temperatura de la góndola. El aumento de la temperatura del alojamiento considerado por sí solo no es por tanto un indicador seguro del inicio del daño del rodamiento.

5 Con ayuda de un sensor dispuesto sobre el rodamiento, en particular en el anillo externo del rodamiento, es posible determinar la temperatura del rodamiento. La temperatura se evalúa regularmente para gestión de la instalación de energía eólica.

Sin embargo sólo es habitual esta temperatura, que se evalúa durante la gestión y al sobrepasar un valor límite de la temperatura del rodamiento se emite una señal. Esto puede conducir a una parada de la instalación o se puede introducir una parada de la instalación.

10 El punto de temperatura determinado habitual sólo indica un rodamiento ya defectuoso, de manera que es necesario directamente un cambio. Para alcanzar ahora información en concreto a tiempo sobre un posible defecto, los valores determinados hasta ahora son imprecisos. Se sabe que junto a la temperatura del rodamiento se debe considerar también la temperatura del entorno, en particular la temperatura de la góndola. Solo cuando se considera esta temperatura de la góndola se puede normalizar un cambio de la temperatura del rodamiento. Si la temperatura del rodamiento así ajustada alrededor de la temperatura del entorno cambia en el medio solo unos pocos grados Kelvin, esto puede ser un indicio de que el rodamiento tiene un problema técnico y debe ser cambiado eventualmente en un futuro a medio plazo.

15 Con la ayuda del seguimiento simultáneo de la temperatura del rodamiento así como de la temperatura de la góndola y de la evaluación de una temperatura estándar construida a partir de la diferencia o de un cociente de ambas temperaturas es posible detectar ya daños del rodamiento pequeños en un instante lo más temprano posible. Entonces es posible evitar la parada de la instalación y eventualmente disponer a tiempo las medidas de mantenimiento requeridas.

20 Se sabe que por medio de una evaluación combinada de al menos la temperatura del rodamiento así como también de la temperatura de la góndola la oscilación de temperatura requerida por las estaciones así como la oscilación de temperatura del rodamiento requerida por el momento del día puede quedar oculta. La observación conjunta conduce a que la temperatura del rodamiento medida puede transformarse en una temperatura que reproduzca solo la pérdida por rozamiento en el rodamiento. Esta temperatura real del rodamiento puede entenderse como temperatura estándar.

25 Como temperatura estándar se determina una diferencia o un cociente entre la temperatura del rodamiento y la temperatura de la góndola. En particular es posible o calcular el cociente o la diferencia de la temperatura del rodamiento. La temperatura estándar no depende ya entonces de la temperatura del entorno o de la temperatura de la góndola, ya que el cambio de la temperatura del rodamiento requerido debido a la temperatura del entorno se compensa. La temperatura estándar representa la temperatura en el rodamiento que se ajusta debido a las pérdidas por rozamiento, independientemente de la temperatura del entorno.

30 Con ayuda del valor de temperatura estándar así determinado, el rodamiento puede ser evaluado sustancialmente más precisamente en su funcionalidad. Cambios en la temperatura estándar pueden utilizarse para inferir a tiempo un problema técnico dentro del tiempo útil o del final inminente del rodamiento.

35 La temperatura del rodamiento se evalúa junto con la temperatura de la góndola de forma estadística. Para ello se determinan los valores medios para intervalos de tiempo prefijados. Los intervalos de tiempo prefijados pueden ser días, semanas o meses, así como trimestres. Los valores medios pueden calcularse como media aritmética, tanto para las temperaturas medidas como también para la temperatura estándar, las cuales calculan la diferencia entre la temperatura del rodamiento y la temperatura medida de la góndola. En particular es posible a partir de una distribución de frecuencia sobre un intervalo de tiempo prefijado determinar el valor medio de la temperatura correspondiente o de la temperatura estándar. También pueden utilizarse los valores medios determinados de las temperaturas medidas para calcular el valor medio de la temperatura estándar.

40 Por ejemplo, un intervalo de tiempo es un mes. A cada final de tal intervalo de tiempo se suman todos los valores de la temperatura estándar y se dividen por el número de medidas. La media aritmética que preferentemente resulta así representa el valor medio para la temperatura estándar en ese intervalo de tiempo. Después de un nuevo intervalo de tiempo se puede calcular un nuevo valor medio. Esto lleva a que se pueda calcular una pluralidad de valores medios para cada intervalo de tiempo sobre un espacio de tiempo largo.

45 Los valores medios determinados posibilitan calcular un transcurso de los valores medios para la temperatura estándar sobre una pluralidad de intervalos de tiempo. Así es posible, que la evaluación se realice sobre varios intervalos temporales, por lo que a cada intervalo de tiempo se le asigna un valor medio de la temperatura estándar. En este caso es posible que en primer lugar se calcule el valor del valor medio. Es posible determinar de nuevo los valores medios sobre la pluralidad de intervalos temporales. El valor de un valor medio actual puede compararse con ese valor medio promediado. Si el valor del valor medio actual es mayor en absoluto o porcentualmente que el valor medio promediado, puede por ejemplo emitirse una señal de alarma. También el cambio temporal del valor medio sobre al menos dos intervalos de tiempo sirve como medida de la funcionalidad del rodamiento. En este sentido es

posible que se calcule un cambio del valor medio, en particular un cambio temporal. En este caso puede calcularse un aumento del cambio, en particular por medio de una derivada temporal. Si el aumento del cambio es mayor que un valor límite predeterminado, puede igualmente inferirse un problema en el rodamiento de rodillos.

5 Según un ejemplo de realización, se propone que se determine un valor promedio del valor medio a partir de valores medios de la temperatura estándar de intervalos de tiempo pasados. Como se acaba de describir este valor medio promediado puede determinarse a partir de dos o de una pluralidad de valores medios de intervalos de tiempo pasados. La desviación porcentual o absoluta de un valor medio actual de este valor promedio puede evaluarse.

10 Según un ejemplo de realización se propone que dependiendo de la desviación del valor medio actual del valor promedio se emita una señal de aviso. En este caso por ejemplo una desviación del valor medio en un valor límite por ejemplo de 5 Kelvin frente al valor promedio puede clasificarse como relevante de manera que se emita una señal de aviso. También es posible que la desviación por ejemplo esté en un 40% o más frente al valor promedio de los valores medios y entonces se emita una señal de aviso correspondiente.

También es posible que dependiendo del valor del valor medio se emita una señal de aviso. En este caso es por ejemplo posible que el valor del valor medio deba sobrepasar un valor límite.

15 La cantidad de desviación del valor medio actual del valor promedio y/o del valor límite puede determinarse dependiendo de un análisis de grasa de la grasa lubricante del rodamiento de rodillos. La pregunta de cuando se libera una señal de aviso o se causa un mantenimiento/repación depende del sobrepaso del valor límite. Ya que el análisis concreto es una observación a largo plazo, la elección del valor límite puede supeditarse a una revisión regular. En este caso un análisis de grasa puede ser también útil. Se sabe que la evaluación de análisis de grasa en combinación con la supervisión de la temperatura posibilita una concreción de la evaluación del estado, así como la fijación del valor límite. Tan pronto como comienza el daño del rodamiento se origina un desgaste metálico incrementado, que se determina en los análisis de grasa. En rodamientos que están continuamente abastecidos de lubricante fresco, el desgaste que se mide en un instante temporal determinado, es un indicador del comienzo del daño del rodamiento. Si el rodamiento muestra una tendencia a una elevación de la temperatura, se puede reforzar la evaluación del estado del rodamiento por medio de la realización selectiva de un análisis de grasa. Si el análisis de grasa no muestra valores aumentados, aunque la temperatura ya haya sobrepasado un valor límite, esto puede llevar a una elevación del valor límite para la temperatura, ya que obviamente a pesar de la temperatura elevada no han aparecido aún daños mecánicamente relevantes en el rodamiento.

20 Según un ejemplo de realización se propone que dependiendo del número o del valor de las desviaciones de los valores medios actuales del valor promedio hacia arriba se emita una señal de aviso en intervalos de tiempo secuenciales. Se sabe que cuando un valor medio sobre varios intervalos de tiempo, por ejemplo dos o tres intervalos de tiempo seguidos, se desvía hacia arriba del valor promedio, existe un problema potencial en el rodamientos de rodillos. Cuando por ejemplo en dos, tres o más intervalos de tiempo seguidos el valor medio están por encima del valor promedio, puede emitirse la señal de aviso. En este caso además de ello también puede contemplarse si el valor de la desviación del valor medio actual está por encima de un umbral. Sólo cuando el valor de la desviación está por encima del valor promedio y esto ocurre en varios intervalos de tiempo seguidos, puede por ejemplo emitirse la señal de aviso.

30 La determinación de la temperatura estándar tiene entonces sentido solo cuando la instalación de energía eólica está en funcionamiento. En caso contrario esta medida llevaría a una declaración falseada sobre el valor promedio, ya que en ausencia de una carga mecánica del rodamiento, éste tiene una temperatura sustancialmente menor que cuando existe carga. En este sentido se propone que se determine un valor de la temperatura estándar sólo cuando una indicación eléctrica de potencia de la turbina sea mayor que un valor límite, preferiblemente mayor de cero vatios. Es posible por ejemplo que cada 10 minutos se emitan medidas sobre la temperatura del rodamiento, así como sobre la temperatura de la góndola. Estos intervalos de medida pueden ser cada minuto, cada 10 minutos, cada cuarto de hora, cada media hora o cada hora. Para cada intervalo de medida se comprueba si la emisión de potencia eléctrica media dentro de este intervalo de medida es igualmente mayor que un valor límite, por ejemplo 1000, 500 o 0 kilovatios. En este caso el intervalo de medida está cualificado como relevante y la temperatura estándar puede determinarse. En caso contrario la temperatura medida del intervalo de medida no se tiene en cuenta para el intervalo de tiempo.

45 Dentro de un intervalo de tiempo, por ejemplo un mes, existe entonces un gran número de valores de temperatura estándar, siempre para un intervalo de medida válido. Todas estas temperaturas nominales medidas y determinadas se utilizan entonces para determinar el valor medio sobre el intervalo de tiempo. En particular también es posible crear una frecuencia para la distribución sobre las temperaturas nominales determinadas.

50 En intervalos de tiempo más cortos, por ejemplo en intervalos de tiempo de un día o una semana puede suceder que existan sólo muy pocas medidas válidas. Esto puede ser el caso en particular de los momentos de viento en calma. Entonces puede ser que las medidas válidas existentes no permitan declaraciones fiables. Para poder prescindir de tales intervalos de tiempo en las observaciones futuras se propone que solo se considere un valor medio para un intervalo de tiempo en la evaluación cuando un determinado número de valores para la temperatura estándar sobrepasen un valor límite dentro de un intervalo de tiempo. Esto significa que el número de intervalos de medida

válidos en el intervalo de tiempo deben sobrepasar un valor límite. Por ejemplo es necesario que al menos el 50% de todos los intervalos de medida dentro de un intervalo de tiempo hayan sido válidos. Solo entonces se considera este intervalo de tiempo para la observación de medidas futuras.

5 También se sabe que al principio del funcionamiento de una instalación de energía eólica, en particular en la puesta en marcha inicial o tras el cambio del rodamiento de éste se necesita en primer lugar un cierto tiempo de rodaje. Durante este tiempo de rodaje pueden aparecer pérdidas por rozamiento mayores, que llevan a una temperatura estándar mayor. Esta mayor temperatura estándar no está condicionada por un problema técnico del rodamiento de rodillos, sino solo por de la necesidad del rodaje. Si se consideran estas medidas en la observación futura, el valor promedio sería eventualmente algo elevado. Por este motivo se propone que un valor medio para un intervalo de tiempo se determine solo para intervalos de tiempo, los cuales tengan una distancia temporal mínima a una puesta en marcha inicial del rodamiento. Por ejemplo, la evaluación real puede tener lugar solo tras el segundo o tercer intervalo de tiempo y los valores promedio se consideran solo a partir del segundo o tercer intervalo de tiempo tras la puesta en marcha inicial del rodamiento.

15 Se propone que la temperatura estándar se valore con dependencia de una velocidad del viento medida, en particular que se construyan grupos de velocidades de viento y que las temperaturas nominales medidas para la evaluación estadística se asignen a cada uno de los grupos dependiendo de la velocidad del viento medida. Ya que las turbinas de viento debido a su principio de funcionamiento alcanzan el mayor empuje del rotor en la zona de velocidad de viento rápida, en la que se alcanza por primera vez la potencia eléctrica nominal, se generan aquí las mayores fuerzas del rodamiento del rotor axiales. A continuación aparecen aquí temperaturas del rodamiento mayores que para velocidades del viento más bajas o más altas. Los rodamientos dañados se pueden así identificar mejor.

En particular las temperaturas estándar determinadas se pueden asignar a cada uno de los grupos. Por medio de este denominado Binning (agrupamiento) puede conseguirse una comparación entre valores estadísticos de manera que esta comparación se realice sólo para condiciones de funcionamiento similares, aquí la velocidad del viento.

25 Preferiblemente se alcanza una comparación de valores medios de temperaturas estándar dentro de cada uno de los grupos de zonas de velocidad del viento. De ahí puede deducirse que por ejemplo para velocidades de viento bajas la temperatura estándar del medio es en cualquier caso menor que las velocidades del viento cerca de la potencia nominal. Esta diferencia hace menos precisa una comparación estadística, ya que en primer lugar debe incluirse en la observación.

30 También puede fijarse para distintas zonas de velocidad del viento distintos valores límite de las temperaturas del rodamiento y de las temperaturas estándar. A partir de ahí se puede deducir que para potencias cerca de la potencia nominal tiene lugar la mayor carga, y los rodamientos en este caso están lo más caliente en valor medio. Esta elevación de temperatura frente a pequeñas cargas de viento justamente no se puede atribuir a un envejecimiento del rodamiento. Para hacer más precisa la emisión de una señal de aviso o la motivación de una reparación, la fijación de un valor límite tiene lugar preferiblemente por separado para cada clase/grupo de velocidades del viento.

40 Las temperaturas necesarias para la evaluación pueden determinarse por ejemplo a partir de un conjunto de datos SCADA. Un denominado Supervision Control And Data Acquisition System suministra un gran número de conjuntos de datos de medidas. En el área de las instalaciones de energía eólica, éstos son entre otros también la temperatura del rodamiento, como también la temperatura de la góndola, así como la potencia eléctrica. De los conjuntos de datos SCADA pueden seleccionarse las informaciones necesarias y considerarse para la siguiente evaluación.

45 La evaluación de la temperatura estándar puede realizarse en proporción a turbinas eólicas de un mismo parque eólico. Mediante la comparación del comportamiento de la temperatura de diferentes turbinas eólicas del mismo parque eólico durante un intervalo de funcionamiento se puede elevar más la bondad del análisis. Mediante las proporciones de vientos aproximadamente iguales resultan condiciones de funcionamiento y carga similares. La comparación de turbinas eólicas entre sí puede facilitar la identificación de un rodamiento dañado. Las turbinas de un parque eólico tienen por lo general un perfil de uso parecido, de manera que una comparación dentro de un parque eólico permite mejores predicciones sobre si una turbina tiene eventualmente un desgaste más elevado frente a otras turbinas similares.

50 La evaluación de la temperatura estándar también puede realizarse dependiendo de una posición relativa de dos turbinas de viento entre sí. La separación de dos turbinas eólicas en un parque eólico puede también ser relevante para su evaluación. Turbinas eólicas que están cerca entre sí tienen un perfil de uso más parecido que turbinas eólicas que están muy separadas entre sí. Una distancia relativa entre sí de turbinas eólicas puede utilizarse por medio de una ponderación de la medida o de los valores medios.

También se propone que se mida la temperatura del rodamiento en el rodamiento de la turbina eólica.

55 Otro aspecto adicional es un sistema instalado para el seguimiento integral del estado de un rodamiento de rodillos en una turbina eólica para la recogida de una temperatura del rodamiento en un rodamiento de rodillos y medios para la recogida de una temperatura de góndola en una góndola de la turbina eólica que cubre el rodamiento de rodillos. Se propone que mediante métodos de evaluación instalados para la evaluación de la temperatura del

rodamiento junto con la temperatura de la góndola se determine el estado del rodamiento de rodillos.

Antes se utilizaron los conceptos turbina eólica, instalación de energía eólica así como instalación de energía eólica. Estos conceptos son sinónimos para una instalación para la generación de potencia eléctrica a partir de la fuerza del viento.

- 5 Los procedimientos mencionados anteriormente pueden realizarse también como programa de ordenador o como programa de ordenador almacenado sobre un medio de almacenamiento. En este caso puede programarse adecuadamente en la central un microprocesador para la realización de los pasos del procedimiento correspondientes por medio de un programa de ordenador.

10 A continuación se explica más detalladamente el objeto mediante un dibujo que muestra ejemplos de realización. En el dibujo muestran:

La fig. 1 esquemática de una turbina eólica junto con la góndola;

La fig. 2a un recorrido de temperatura de un rodamiento de rodillos en la turbina eólica;

La fig. 2b un recorrido de temperatura en la góndola de una turbina eólica;

La fig. 2c un recorrido de temperatura normalizado;

- 15 La fig. 3a un recorrido de temperatura normalizado sobre una pluralidad de intervalos de tiempo;

La fig. 3b otro recorrido de temperaturas normalizado sobre una pluralidad de intervalos;

La fig. 4 una distribución de temperaturas estándar para diferentes velocidades de viento.

20 La fig. 1 muestra esquemáticamente una parte de una turbina eólica 2. La turbina eólica 2 muestra un aspa 4. El aspa 4 está unida mediante un eje 6 con un generador 8. El eje 6 está despiezado y el generador 8 está construido completamente dentro de una carcasa 10 de una góndola.

La parte del eje 6 introducido en la carcasa 10 está alojada por medio de rodamientos de rodillos 12a, 12b, en particular cojinetes de rodillos. En el generador 8 la energía de rotación adquirida a partir de la energía eólica por medio del aspa 4, se transforma en energía eléctrica y, como se representa esquemáticamente, se transmite por medio de un cable 14 a un convertidor.

- 25 En los rodamientos 12a, 12b, en particular en al menos uno de los rodamientos 12a, 12b hay dispuesto un sensor de temperatura 16. En la carcasa 10 hay dispuesto otro sensor de temperatura 18. Las medidas de los sensores de temperatura 16, 18 se conducen a un captador 20. A continuación desde el generador 8 o desde otra posición del captador de medidas 20 se transmite una información de si el generador 8 genera potencia eléctrica. Junto a estos valores se trasmite una pluralidad de otros valores al captador de medidas. Éste transfiere las medidas o bien por cable o sin cable a una central (no representada). En este ordenador de control central se almacenan los datos en un conjunto de datos SCADA. El sistema SCADA almacena para espacios temporales de observación definidos (intervalos de medida), por ejemplo cada 10 minutos los valores medios de las diferentes medidas, que se transfieren desde el captador de medidas 20. En concreto se propone que los valores de los sensores de temperatura 16 y 18 así como de un sensor de potencia (no representado) se evalúen conjuntamente. Estos valores se leen para cada intervalo de observación del conjunto de datos SCADA.
- 30
- 35

A continuación es posible, como se representa en la figura 2a, determinar para varios espacios de tiempo respectivamente medidas a partir de los intervalos de observación. En las figuras 2a a 2c se dibujan por ejemplo 30 días, por lo que respectivamente un día representa un espacio de tiempo. Los 30 días representan un intervalo de tiempo el cual se discutirá aún a continuación.

- 40 En la figura 2a se representa la temperatura del sensor de temperatura 16. En este caso para cada espacio de tiempo se promedia el valor del sensor de temperatura 16 sobre todos los intervalos de observación. En el caso presente se representa con ello para cada día de los 30 días dibujados del intervalo de tiempo un valor de temperatura promediado del sensor de temperatura 16. Puede reconocerse que estas oscilaciones del valor de la temperatura están sujetas a varios grados Celsius. En el ejemplo la medida oscila alrededor de 30 grados Celsius, sin embargo esto solo es a modo de ejemplo. Puede reconocerse que la amplitud de la oscilación es considerable y con ello existen amplitudes considerables entre dos espacios de tiempo. Estas diferencias en las temperaturas del rodamiento 12a, las cuales son recogidas mediante el sensor de temperatura 16, son debidas por un lado a la carga mecánica del rodamiento y por otro lado por ejemplo también a la temperatura del entorno en la góndola.
- 45

Nótese en la figura 2a, que los intervalos de observación para la construcción del valor medio correspondiente para un espacio de tiempo solo se consideran entonces cuando el captador de medida 20 ha medido una potencia del generador  $P > 0$  vatios o de un valor umbral elegido correspondiente. En particular las medidas de los sensores de temperatura 16 y 18 son irrelevantes para un intervalo de observación, cuando el generador 8 no ha suministrado ninguna potencia. Esto también es válido para la siguiente observación.

50

La figura 2b muestra la temperatura que se recogió en el sensor de temperatura 18. De nuevo se consideran a modo de ejemplo intervalos de observación de 10 minutos. Dentro de un espacio de tiempo de un día son posibles 6 intervalos de observación por hora y en total 144 intervalos de observación por cada día. En cada intervalo de observación en el que la potencia del generador 8 es mayor que 0 W se evalúan las medidas. Esto sirve sin embargo en particular para el sensor de temperatura 16. Los valores de temperatura se promedian sobre todos los intervalos de observación de un espacio de tiempo y se representan como en la figura 2b para 30 espacios de tiempo dentro de un intervalo de tiempo. Y también puede reconocerse que la temperatura de la góndola está sujeta a oscilaciones. Éstas oscilaciones pueden estar condicionadas por un lado mediante la temperatura elevada del rodamiento 12a, sin embargo por otro también mediante influencias climáticas.

En concreto se sabe que una temperatura normalizada de al menos un rodamiento 12 posibilita entonces una declaración sobre el estado del rodamiento 12, cuando esta temperatura normalizada considera la oscilación de temperatura real en el rodamiento 12. Por este motivo para cada espacio de tiempo se deduce la temperatura de la góndola del sensor de temperatura 18 de la temperatura del rodamiento 12 del sensor 16. Para cada espacio de tiempo se puede representar un valor diferencia, como se representa en la figura 2c. Puede reconocerse en la figura 2c que la amplitud de oscilación decrece y a modo de ejemplo la temperatura alrededor de un valor de 10 grados Kelvin varía en una amplitud de oscilación de  $\pm 2$  grados.

Después de que para un espacio de tiempo de por ejemplo un día, una semana, un mes u otro espacio de tiempo se haya recogido la temperatura correspondiente como se representa en la figura 2c, de aquí se puede calcular un valor medio. Este valor medio es representativo para la temperatura en el rodamiento 12 al considerar la temperatura de la góndola. Este valor promediado representa un valor de temperatura para un intervalo de tiempo. El intervalo de tiempo es por ejemplo un mes, y se describe como para las figuras 2a a 2c, y para cada nuevo intervalo de tiempo se calcula un nuevo valor medio.

Un valor medio tal se evalúa, como se representa en la figura 3a, para intervalos de tiempo secuenciales. En la figura 3a puede reconocerse que el valor medio normalizado oscila para un intervalo de tiempo respectivo igualmente alrededor de 10 grados Kelvin.

En la figura 3a se representan intervalos de tiempo de enero a diciembre. Ya que mediante la normalización de la temperatura según la figura 2c la temperatura del entorno permanece sin ser considerada, la temperatura media ya no está sujeta para cada intervalo de tiempo a oscilaciones condicionadas por las estaciones. La figura 3a muestra el recorrido de la temperatura normalizada sobre 12 intervalos de tiempo de un rodamiento 12, el cual no tiene ningún defecto. Puede reconocerse que la temperatura oscila continuamente con una amplitud de oscilación de  $\pm 2$  grados Kelvin alrededor de un valor medio, por ejemplo 10 grados. Esta oscilación está cualificada como no crítica y el estado del rodamiento 12 se emite como en orden.

La figura 3b muestra otro ejemplo de otro rodamiento 12, el cual presenta un defecto. Puede reconocerse que en primer lugar para el intervalo de tiempo de enero a agosto las oscilaciones de temperatura alrededor del valor por ejemplo de 10 grados Kelvin permanece constante. A continuación puede reconocerse para los meses de septiembre a diciembre que la pendiente de la curva vira fuertemente en positivo. Desde una pendiente de la curva alrededor de cero cambia en la representación la pendiente de la curva a por ejemplo 2 grados por intervalo de tiempo, en particular 2 grados por mes.

Es conocido que cuando se fija un valor límite para esta pendiente, en particular en grados Kelvin por mes y este límite se supera, se puede atribuir a un daño próximo del rodamiento 12. Un valor límite tal puede suponer por ejemplo por ejemplo 2 grados Kelvin o 3 grados Kelvin por intervalo de tiempo, en particular por mes. En particular las pendientes mayores que 2 grados por intervalo de tiempo son una buena medida para la fijación de un daño próximo de un rodamiento. En caso de que se detecte una pendiente tal, puede emitirse una señal.

También es posible, como por ejemplo se representa en la figura 3b para los meses de octubre a diciembre, que el valor de la temperatura supere por ejemplo un valor límite, por ejemplo aquí 40% del valor medio promedio. En el ejemplo dado el valor límite de la temperatura sería de 14 grados. Si se supera esta temperatura, se puede inferir igualmente un fallo próximo del rodamiento.

También es posible, que pueda utilizarse una combinación de valor de la temperatura y de la pendiente. Así por ejemplo es posible un producto de pendiente y valor de la temperatura una medida posible para un daño próximo del rodamiento. Por ejemplo es posible que el valor de la temperatura sea 1,4 veces o 1,5 veces el valor promedio del valor medio. Eventualmente aquí el valor medio es de 10 grados Kelvin. Cuando el producto de pendiente por desviaciones respecto al valor es mayor que el valor medio por ejemplo que 2,8, se puede inferir un daño próximo del rodamiento.

La figura 3b también muestra que la temperatura del rodamiento sigue subiendo. En este caso también puede reconocerse que el rodamiento aún varios meses después de que se demostrara, por ejemplo en septiembre en la figura 3b, que el rodamiento estaba defectuoso, éste se puede seguir haciendo funcionar. Con esto existe un plazo de ejecución de algunos meses para planear el cambio del rodamiento.

La fig. 4 muestra una distribución estadística de temperaturas estándar 24 medidas de una turbina eólica para

5 diferentes velocidades del viento. Sobre la abscisa 20 se representa la velocidad del viento, sobre la ordenada 22 temperaturas. Los puntos 24 muestran temperaturas estándar determinadas en puntos temporales concretos. Puede reconocerse que las temperaturas estándar 24 son más altas en una zona media 28 de la velocidad del viento, es decir cuando se alcanza aproximadamente la potencia nominal. Con velocidades del viento crecientes las aspas de la turbina se ajustan, de manera que la carga del viento se reduce. Si las velocidades del viento se subdividen por ejemplo en tres zonas 26, 28, 23 es posible una evaluación estadística en el sentido del objeto para cada una de las clases, e influencias eventuales se compensan parcialmente por medio de diferentes cargas eólicas.

10 Mediante la posibilidad concreta de poder verificar a tiempo el daño próximo de un rodamiento, es posible minimizar los tiempos de parada de una turbina eólica. Además se puede planear a tiempo una reparación y un cambio de un rodamiento, sin que la turbina eólica deba estar en marcha durante un espacio de tiempo largo con poca potencia o deba en absoluto ser desconectada.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para el seguimiento del estado de un rodamiento de rodillos (12) en una turbina eólica (2) que incluye:
- Recogida de una temperatura del rodamiento en el rodamiento de rodillos (12),
- 5 caracterizado mediante
- Recogida de una temperatura de góndola en una góndola de la turbina eólica (2) que cubre el rodamiento de rodillos (12),
  - Valoración de la temperatura del rodamiento junto con la temperatura de la góndola para la determinación del estado del rodamiento de rodillos (12),
- 10 donde
- una diferencia o un cociente de la temperatura del rodamiento y de la temperatura de la góndola se determina como temperatura estándar y se utiliza para la evaluación y donde
- se determina un valor medio para la temperatura estándar para un intervalo de tiempo predeterminado.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la temperatura del rodamiento se evalúa estadísticamente junto con la temperatura de la góndola y porque en particular se determinan valores medios para intervalos de tiempo prefijados.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se evalúa un recorrido de los valores medios para la temperatura estándar sobre una pluralidad de intervalos de tiempo, donde en particular se evalúa el valor del valor medio y/o un cambio del valor medio.
- 20 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se determina un valor promedio del valor medio a partir de valores medios de la temperatura estándar para intervalos de tiempo pasados y por que se evalúa una desviación del valor medio actual del valor promedio.
- 25 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se determina un valor promedio móvil a partir de un número determinado de intervalos de tiempo pasados y por que se evalúa una desviación de un valor medio actual del valor promedio móvil.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dependiendo de la desviación del valor medio actual del valor promedio y/o dependiendo del valor del valor medio se emite una señal de aviso, en particular cuando la desviación del valor medio actual del valor promedio supone más del 40% y/o el valor del valor medio sobrepasa un valor límite.
- 30 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la medida de la desviación del valor medio actual del valor promedio y/o del valor límite se determina dependiendo de un análisis de grasa de la grasa lubricante del rodamiento de rodillos (12).
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dependiendo del número y/o del valor de las desviaciones de los valores medios actuales del valor promedio hacia arriba en intervalos de tiempo consecutivos se emite una señal de aviso.
- 35 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la temperatura estándar solo se determina entonces cuando una emisión de potencia de la turbina eólica (2) es mayor que 0 o que otro valor umbral fijado.
- 40 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la temperatura estándar se evalúa con dependencia de una velocidad del viento medida, en particular por que se construyen grupos de zonas de velocidad del viento y las temperaturas estándar medidas para la evaluación estadística se asignan a cada uno de los grupos dependiendo de la velocidad del viento medida.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se realiza una comparación de valores medios de las temperaturas estándar dentro de cada uno de los grupos de zonas de velocidad del viento.
- 45 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que solo se considera un valor medio para un intervalo de tiempo y para la evaluación cuando un número determinado de valores para la temperatura estándar sobrepasan un valor límite.
13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se determina un valor medio para un intervalo de tiempo solo para intervalos de tiempo que tienen una separación mínima temporal a una puesta

en marcha inicial del rodamiento de rodillos (12).

5 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la evaluación de la temperatura estándar se realiza en proporción a turbinas eólicas (2) de un mismo parque eólico y/o por que la evaluación de la temperatura estándar se realiza dependiendo de una posición relativa de dos turbinas eólicas (2) entre sí.

15. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la temperatura estándar se determina a partir de la diferencia de la temperatura del rodamiento medida y de la temperatura de la góndola medida.

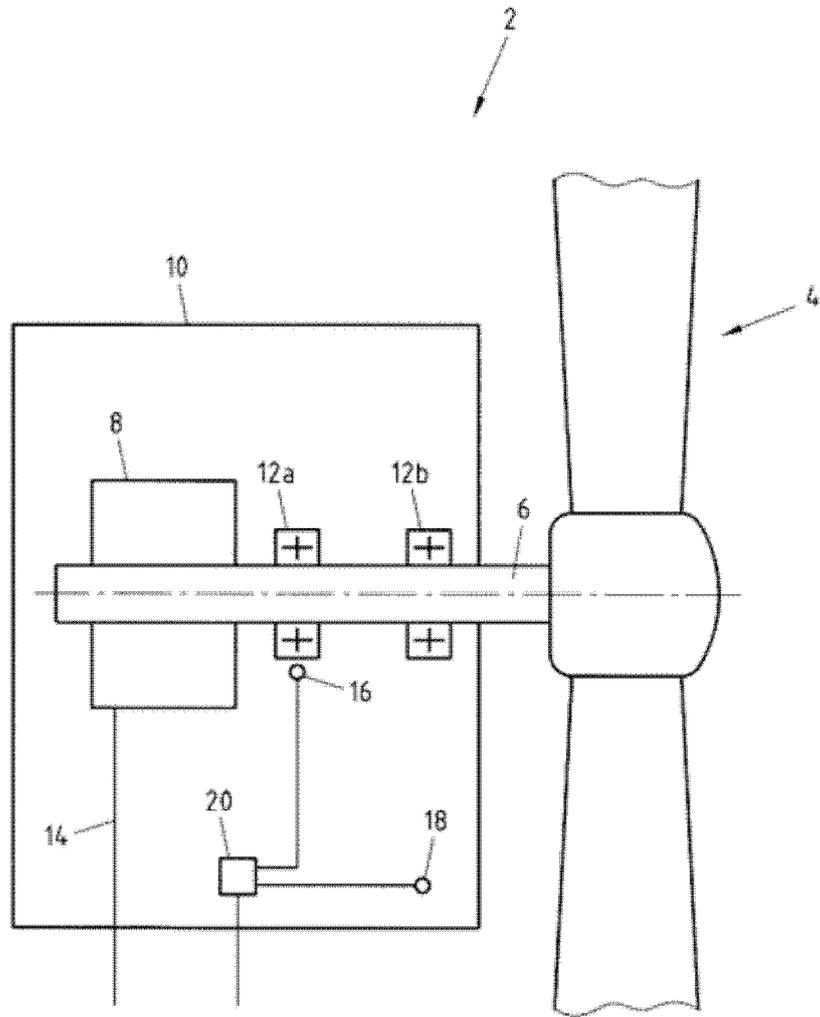


Fig.1

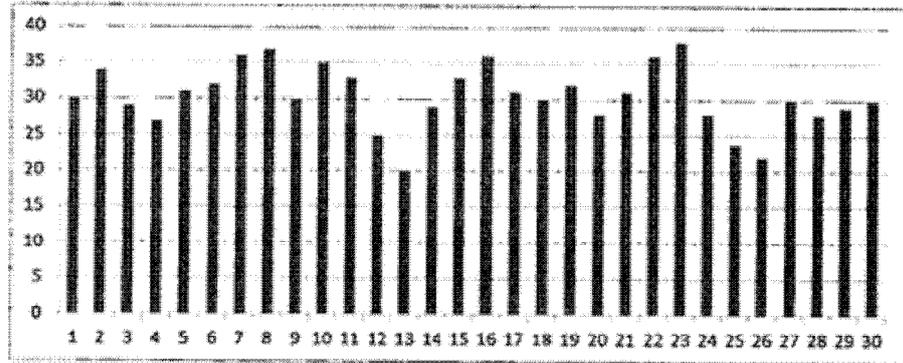


Fig.2a

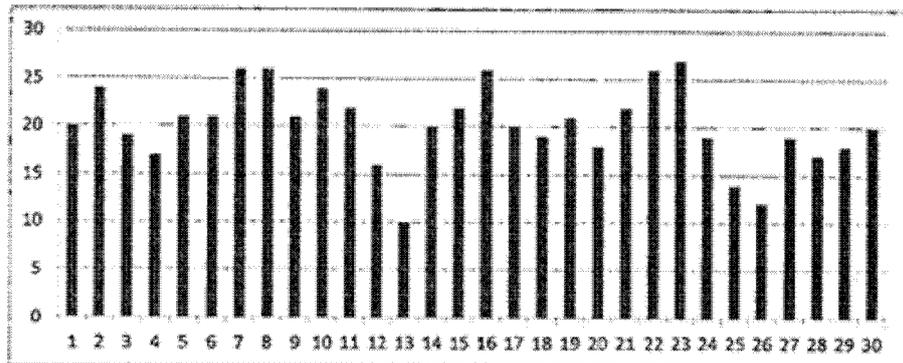


Fig.2b

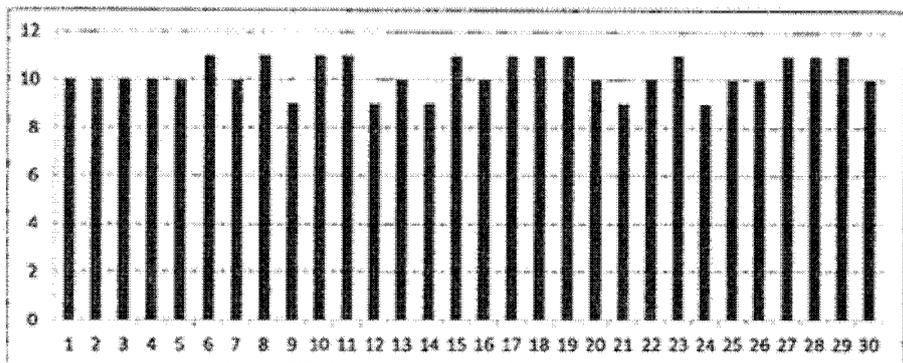


Fig.2c

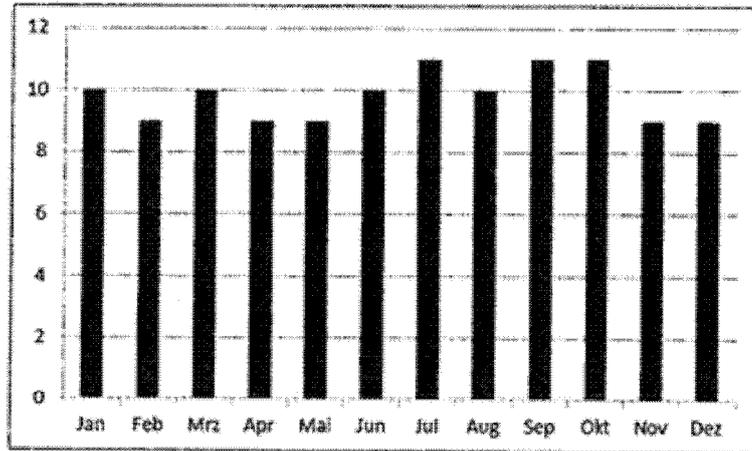


Fig.3a

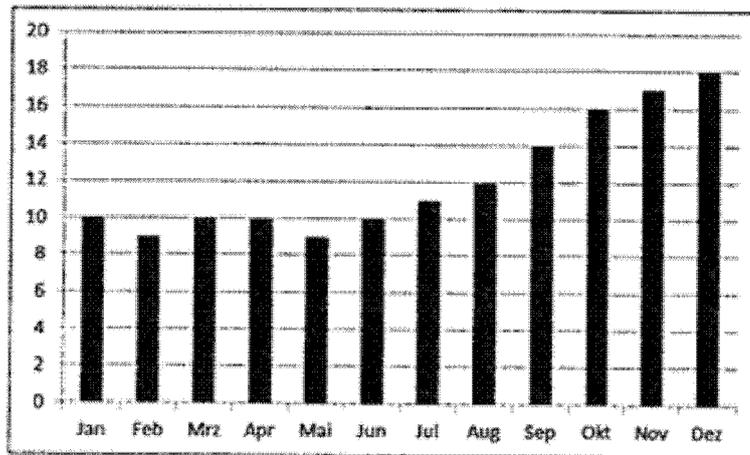


Fig.3b

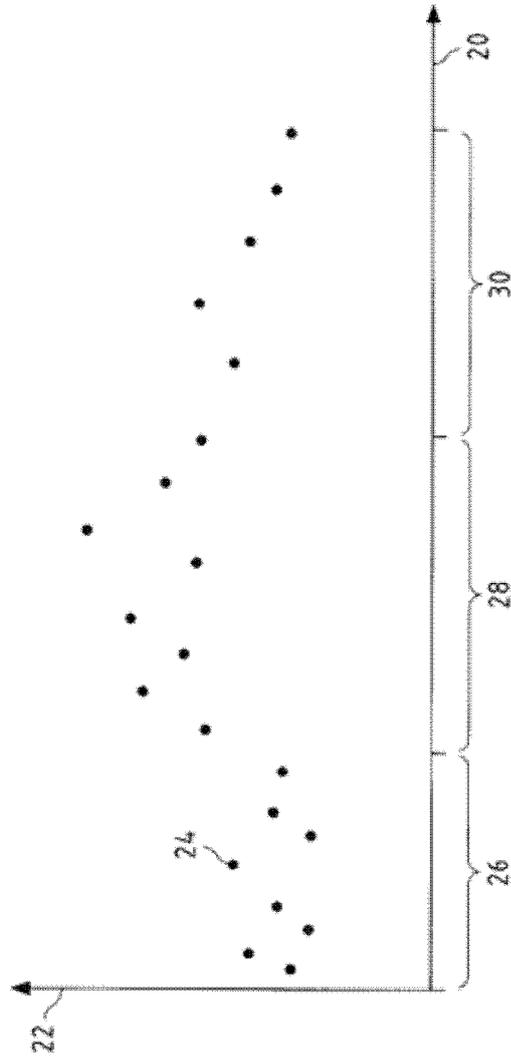


Fig.4