

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 812 277**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.09.2017** E 17189234 (2)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020** EP 3450745

54 Título: **Procedimiento de funcionamiento de un conjunto de guiñada de turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.03.2021

73 Titular/es:

SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)
Borupvej 16
7330 Brande, DK

72 Inventor/es:

PECHER, ARTHUR y
WIND-LARSEN, TAUS

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 812 277 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 de funcionamiento de un conjunto de guiñada de turbina eólica

5 La invención describe un procedimiento para hacer funcionar un conjunto de guiñada de turbina eólica. La invención describe además un conjunto de guiñada de turbina eólica, una turbina eólica y un producto de programa informático. Una turbina eólica utilizada para generar energía para alimentar la red eléctrica en general comprende una góndola montada en la parte superior de una torre. Un rotor aerodinámico con palas montadas en un cubo en general se encuentra en la "parte delantera" de la góndola, y el generador en sí está alojado dentro de la góndola. Para maximizar la cantidad de energía que se puede extraer del viento, debe ser posible girar la góndola para que el rotor aerodinámico siempre pueda mirar directamente al viento. Para este fin, la góndola se monta en general en la torre por medio de un conjunto de guiñada. El conjunto de guiñada puede comprender un anillo de guiñada dentado montado en la parte superior de la torre. El anillo de guiñada se puede construir de modo que los dientes del anillo de guiñada miren hacia afuera (hacia el exterior de la torre) o hacia adentro (hacia el interior de la torre). El conjunto de guiñada comprende varios motores de guiñada con piñones de engranaje que se engranan con el anillo de guiñada. Al controlar adecuadamente los motores de guiñada, toda la góndola se puede girar en la dirección deseada y en la cantidad deseada. Los dientes del anillo de guiñada están sujetos a desgaste, véanse, por ejemplo, los documentos EP 2 253 841 A2 y DE 10 2011 101 140 A1. Un diente de anillo de guiñada fracturado se debilita e incluso puede romperse por completo. Cuando a un anillo de guiñada le falta un diente, el piñón del engranaje de guiñada ya no puede engranarse correctamente con el anillo de guiñada. Como resultado, el piñón del engranaje de guiñada puede sufrir daños y también puede causar más daños al anillo de guiñada. Otra posible fuente de daño al anillo de guiñada pueden ser objetos extraños que se crucen inadvertidamente entre el anillo de guiñada y un piñón de accionamiento.

25 Si bien es posible reparar un diente de anillo de guiñada dañado o roto, por ejemplo soldando un diente nuevo en su lugar, o agregando una placa de forma adecuada al anillo de guiñada para simular un diente, un diente reparado o una placa de reemplazo es un elemento relativamente débil y nunca tendrá las mismas propiedades de resistencia que un diente no dañado. Sin embargo, los diseños actuales no proporcionan ninguna forma de evitar la carga de un elemento tan débil. Si el diente de anillo de guiñada reparado falla nuevamente, será necesario reemplazar el anillo de guiñada. Esta es una operación muy costosa, ya que toda la góndola debe separarse y levantarse hacia arriba (por ejemplo, utilizando una grúa elevadora) para permitir que el anillo de guiñada dañado se retire a través del espacio entre la torre y la góndola elevada y para permitir la instalación de un anillo de guiñada de repuesto. Este procedimiento es muy costoso, peligroso y requiere mucho tiempo. Una forma de reducir el costo de dicho procedimiento es usar un anillo de guiñada segmentado en lugar de un anillo de guiñada de una pieza. Sin embargo, un inconveniente de este anillo de guiñada segmentado es que a menudo es más complejo que un anillo de guiñada normal de una pieza y, por lo tanto, es más costoso de fabricar. No existen estándares de diseño reconocidos para anillos de guiñada segmentados. Además, es difícil evaluar la influencia de la transición de un segmento a otro. Otro inconveniente de un diseño de anillo de guiñada segmentado es que requiere más espacio. En cualquier caso, los dientes de un anillo de guiñada segmentado pueden sufrir daños con el tiempo, y el reemplazo de un segmento de guiñada también está asociado con el costo, el riesgo de seguridad y el esfuerzo.

Por lo tanto, un objeto de la invención es proporcionar una forma mejorada de tratar con un diente de anillo de guiñada dañado.

45 Este objetivo se logra mediante el procedimiento según la reivindicación 1 de hacer funcionar un conjunto de guiñada de turbina eólica; mediante el conjunto de guiñada de turbina eólica según la reivindicación 9; mediante la turbina eólica según la reivindicación 12; y mediante el producto de programa informático según la reivindicación 13.

50 Un conjunto de guiñada de turbina eólica en general comprende un anillo de guiñada y varias unidades de accionamiento de guiñada. Una unidad de accionamiento de guiñada en general tiene un piñón dispuesto para engranarse con el anillo de guiñada con el fin de efectuar una rotación de una góndola con respecto a una torre de la turbina eólica. De acuerdo con la invención, el procedimiento de hacer funcionar un conjunto de guiñada de turbina eólica comprende los pasos de identificar un diente dañado en el anillo de guiñada; proporcionar parámetros del descriptor de daños al controlador de la unidad de guiñada; y controlar una unidad de accionamiento de guiñada sobre la base de los parámetros del descriptor de daños para reducir la fuerza ejercida por su piñón sobre un diente dañado.

60 Una ventaja del procedimiento de la invención es que un anillo de guiñada defectuoso, es decir, un anillo de guiñada con uno o más dientes dañados o rotos, puede continuar utilizándose durante un período de tiempo indefinido. Por lo tanto, el procedimiento de la invención puede posponer un costoso procedimiento de reemplazo del anillo de guiñada, mientras permite el funcionamiento continuo de la turbina eólica. Como resultado, incluso una turbina eólica con un anillo de guiñada dañado puede continuar generando ingresos. Esto contrasta favorablemente con los procedimientos de la técnica anterior que implican dejar fuera de servicio una turbina eólica hasta que se pueda reemplazar su anillo de guiñada dañado. El procedimiento de la invención reduce o elimina deliberadamente la carga en un diente dañado, es decir, cualquier diente de anillo de guiñada dañado o debilitado no se cargará (o solo se cargará parcialmente) mediante un piñón que pasa, por ejemplo, durante un procedimiento de guiñada activo o durante un evento de deslizamiento en el que se activan los frenos pasivos de guiñada. El piñón de una unidad de accionamiento de guiñada

se engranará con el diente dañado de la manera habitual, pero a lo sumo solo transmitirá una carga muy reducida al diente dañado.

5 Como se mencionó anteriormente, un procedimiento de la técnica anterior para tratar un diente de anillo de guiñada dañado puede implicar reparar el diente dañado, pero incluso un diente reparado no se puede cargar de la manera normal, de modo que tales esfuerzos de reparación solo pueden conseguir un aplazamiento relativamente corto antes de que el anillo de guiñada deba ser reemplazado. El procedimiento de la invención tiene un enfoque diferente. En lugar de reparar un diente dañado y solo posponer el procedimiento de reemplazo un tiempo relativamente corto, el conjunto de guiñada se acciona para evitar cargar excesivamente cualquier diente dañado. El único compromiso que se obtiene como resultado de este enfoque puede ser que la capacidad de guiñada o frenado del conjunto de guiñada se reduce ligeramente. Sin embargo, debido a que el diente o dientes dañados no se usan activamente (es decir, se cargan) durante la guiñada, la presencia de un diente dañado ya no es un problema, y la turbina eólica puede permanecer en uso por un período de tiempo indefinido antes de reemplazar su anillo de guiñada. Incluso se puede posponer un reemplazo del anillo de guiñada hasta que la capacidad de guiñada o la capacidad de frenado alcancen un punto en el que el beneficio económico (del funcionamiento continuo con dientes de guiñada dañados) sea superado por los costos. Varios parámetros contribuyen a tal decisión, por ejemplo, la edad de la turbina eólica y su vida útil esperada, la reducción en la potencia de salida de la turbina eólica debido a una guiñada insuficiente bajo grandes momentos de guiñada o un deslizamiento excesivo, etc.

20 De acuerdo con la invención, el conjunto de guiñada de turbina eólica está dispuesto en una interfaz entre una góndola y una torre, y comprende un anillo de guiñada con una disposición anular de dientes; varias unidades de accionamiento de guiñada, en el que una unidad de accionamiento de guiñada comprende un motor y un piñón dispuestos para engranar con los dientes del anillo de guiñada; y un controlador de accionamiento de guiñada adaptado para controlar los motores de las unidades de accionamiento de guiñada para efectuar una rotación de la góndola con respecto a la torre. El conjunto de guiñada de la invención comprende además una entrada de descriptor de daños para proporcionar uno o más parámetros del descriptor de daños al controlador de accionamiento de guiñada, y el controlador de accionamiento de guiñada está adaptado además para reducir la fuerza ejercida por un piñón de una unidad de accionamiento de guiñada sobre un diente dañado sobre la base de los parámetros del descriptor de daños.

30 De acuerdo con la invención, la turbina eólica comprende un modo de realización del conjunto de guiñada de la invención, y puede mantenerse ventajosamente en funcionamiento incluso si su anillo de guiñada sufre de uno o más dientes dañados o rotos. Por lo tanto, la turbina eólica de la invención puede continuar ventajosamente generando ingresos incluso en presencia de dicho daño.

35 De acuerdo con la invención, el producto de programa informático comprende un programa informático que se puede cargar directamente en una memoria de un controlador de accionamiento de guiñada de un conjunto de guiñada de turbina eólica y que comprende elementos de programa para realizar los pasos del procedimiento de la invención cuando el programa informático es ejecutado por el controlador de la unidad de guiñada. Una ventaja del producto de programa informático de la invención es que puede usarse para actualizar un controlador de unidad de guiñada existente con poco esfuerzo. Solo es necesario proporcionar alguna forma de identificar con precisión un diente de anillo de guiñada dañado al controlador, de modo que el controlador pueda emitir señales apropiadas a cada unidad de accionamiento de guiñada en consecuencia.

45 Los modos de realización y características de la invención particularmente ventajosos están dados por las reivindicaciones dependientes, como se revela en la siguiente descripción. Características de diferentes categorías de reivindicaciones pueden combinarse según corresponda para proporcionar otros modos de realización no descritas en el presente documento.

50 Un anillo de guiñada puede ser un anillo interior (sus dientes están orientados hacia el interior de la torre de la turbina eólica) o un anillo exterior (sus dientes están orientados hacia el exterior de la torre de la turbina eólica). En los diagramas que soportan el siguiente análisis, un anillo de guiñada a modo de ejemplo está dispuesto de modo que sus dientes miren hacia el exterior de la torre de turbina eólica, pero el procedimiento de la invención y el conjunto de accionamiento de guiñada de la invención son igualmente aplicables a un anillo de guiñada interior. El anillo de guiñada puede ser un anillo de guiñada segmentado o un anillo de guiñada de una pieza.

55 En el procedimiento de la invención, se puede suponer que el paso de reducir la fuerza ejercida por un piñón sobre un diente dañado se lleva a cabo durante una rotación del anillo de guiñada. Sin embargo, el paso de reducir la fuerza ejercida por un piñón sobre un diente dañado es igualmente aplicable durante un procedimiento de "frenado", cuando los motores de accionamiento de guiñada se accionan para mantener la góndola en una posición específica en relación con la torre. Tal procedimiento de frenado puede ser necesario durante las altas cargas de viento que resultan en momentos de guiñada alta, por ejemplo en condiciones de viento turbulento o racheado, lo cual puede dar como resultado una guiñada no deseada de la góndola denominada "deslizamiento". En un modo de realización preferente de la invención, cada unidad de accionamiento de guiñada comprende un conjunto de freno pasivo. Dicho conjunto de freno se libera cuando se suministra energía a la unidad de accionamiento de guiñada y, por lo tanto, actúa como freno de seguridad en caso de fallo. El procedimiento de la invención reduce o elimina deliberadamente la carga en un diente dañado, es decir, cualquier diente de anillo de guiñada dañado o debilitado no se cargará (o solo se cargará

parcialmente) mediante un piñón que pasa durante un evento de deslizamiento. Por ejemplo, durante un evento de deslizamiento, el freno en el accionamiento de guiñada respectivo se puede liberar un momento a medida que el piñón pasa un diente dañado.

5 Un conjunto de guiñada podría comprender una única unidad de accionamiento de guiñada con un motor que sea lo suficientemente potente como para girar la góndola en relación con la torre. Sin embargo, un conjunto de guiñada en general comprende varias unidades de accionamiento de guiñada que aplican colectivamente el par necesario, de modo que los motores pueden ser relativamente pequeños. Preferentemente, un conjunto de accionamiento de guiñada comprende una disposición redundante de unidades de accionamiento de guiñada, por ejemplo dos grupos de dos o más unidades de accionamiento de guiñada, dispuestas en lados opuestos de un anillo de guiñada. A continuación, pero sin restringir la invención de ninguna manera, se puede suponer que el conjunto de guiñada comprende una disposición redundante de ese tipo.

15 Como se explicó anteriormente, durante un procedimiento de guiñada, las unidades de accionamiento de guiñada se controlan de modo que los motores de accionamiento de guiñada giren los piñones en la dirección deseada (en sentido horario o antihorario) a una determinada velocidad de rotación, y para ejercer una cierta fuerza cuando los dientes del piñón se engranan con los dientes del anillo de guiñada. En un modo de realización preferente de la invención, el paso de controlar una unidad de accionamiento de guiñada específica para reducir la fuerza ejercida por su piñón sobre un diente dañado comprende reducir la velocidad de rotación de un motor de esa unidad de accionamiento de guiñada cuando su piñón pasa el diente. Los otros motores de accionamiento de guiñada pueden continuar funcionando como de costumbre, mientras que un motor de accionamiento de guiñada cuyo piñón está pasando un diente dañado se accionará a potencia reducida durante el breve período de tiempo correspondiente. Un motor de accionamiento de guiñada cuyo piñón está pasando un diente dañado puede recibir temporalmente un límite de par reducido (por ejemplo, 1 %), pero puede continuar funcionando a la misma velocidad). Durante el breve período de tiempo durante el cual un piñón pasa un diente dañado, la capacidad de guiñada general del conjunto de guiñada puede reducirse ligeramente, lo cual puede ocasionar una velocidad de guiñada reducida.

25 En un modo de realización preferente adicional de la invención, el paso de controlar una unidad de accionamiento de guiñada para reducir la fuerza ejercida por su piñón sobre el diente dañado comprende reducir el par del motor de esa unidad de accionamiento de guiñada. La medida en que se reduce el par puede depender de la naturaleza del daño. Un diente de reemplazo soldado puede tratarse de una manera diferente que una placa guía que reemplaza un diente roto, por ejemplo.

35 Los parámetros del descriptor de daños pueden identificar un diente dañado de cualquier manera adecuada. En un modo de realización preferente de la invención, un diente dañado se identifica al controlador estableciendo su posición con respecto a un punto de referencia conocido por el controlador del conjunto de guiñada. Por ejemplo, el controlador de la unidad de guiñada puede "conocer" la posición de cada unidad de guiñada en una bancada de guiñada, y puede "conocer" la posición de la bancada de guiñada en relación con una posición inicial. Un punto de referencia puede comprender una referencia norte del anillo de guiñada, y la posición de la bancada de guiñada puede definirse con precisión en relación con esta referencia del norte. En este modo de realización a modo de ejemplo, el controlador también es informado sobre el número de dientes de anillo de guiñada. El controlador de accionamiento de guiñada está configurado preferentemente para seguir la posición de un diente dañado en relación con cada piñón de cada unidad de accionamiento de guiñada. Por ejemplo, durante una inspección visual realizada por una persona, un robot o una cámara, la posición de un diente dañado se puede identificar contando los dientes del anillo de guiñada, comenzando por una marca de referencia. Esto puede ser una marca de referencia que ya está presente, por ejemplo, en el anillo de guiñada y/o en la bancada de guiñada. Normalmente, en el diseño de turbinas eólicas, se acuerda dicha marca de referencia y se realiza en una ubicación adecuada para garantizar la alineación correcta del anillo de guiñada.

45 Un diente de anillo de guiñada roto o dañado puede identificarse durante la inspección visual por parte de un técnico de servicio, por ejemplo, durante una comprobación de servicio de rutina, mediante un sistema de cámara o mediante cualquier medio de detección adecuado. El técnico puede informar al controlador de la unidad de guiñada de la posición del diente dañado mediante una interfaz de usuario adecuada. El técnico también puede estimar la gravedad del daño y también puede introducir esta información.

50 De forma alternativa o adicional, se puede identificar un diente de anillo de guiñada roto o dañado supervisando las señales apropiadas de las unidades de guiñada. Por ejemplo, dado que un diente dañado se debilita, "cederá" hasta cierto punto cuando lo cargue un diente de piñón. Esto puede resultar en un aumento en el par a medida que el piñón intenta engranarse con el diente dañado. El controlador de la unidad de guiñada puede detectar un diente dañado al supervisar la corriente, la velocidad de rotación o cualquier otra señal relevante de las unidades de guiñada, por ejemplo. De forma alternativa, un controlador puede supervisar señales adecuadas de convertidores de frecuencia o sensores adecuados, tales como uno o más sensores acústicos ubicados cerca del anillo de guiñada. Con dicha información, el controlador de la unidad de guiñada se puede adaptar para determinar la presencia de un diente dañado e identificar su ubicación en el anillo de guiñada utilizando la información de referencia conocida.

65 En cualquier instante, por lo tanto, el controlador de la unidad de guiñada sabe qué piñón está engranando con un diente o grupo de dientes específicos del anillo de guiñada. Se puede identificar un diente dañado en el controlador

de la unidad de guiñada por su posición en el anillo de guiñada. Por ejemplo, en el caso de un anillo de guiñada con 120 dientes, estos pueden contarse de 1 a 120 comenzando en la referencia norte. Si el 30° diente está dañado, se puede identificar al controlador de la unidad de guiñada como "diente 30", "diente 30/120", etc.

5 Mientras el piñón de una unidad de accionamiento de guiñada pasa un diente dañado, el par de esa unidad de transmisión de guiñada se puede reducir como se explicó anteriormente. Las unidades de accionamiento de guiñada restantes pueden entregar un par ligeramente más alto para compensar. En general, en un sistema redundante, las unidades de accionamiento de guiñada restantes simplemente se hacen funcionar sin alterar el par. Esto puede evitar cualquier sobrecarga indeseable de los motores de accionamiento de guiñada restantes.

10 Como se indicó anteriormente, un freno de motor de guiñada es un freno pasivo, lo cual significa que su estado normal o sin alimentación está "activado", es decir, aplicado, y el freno se libera cuando se suministra energía a la unidad de accionamiento de guiñada. En ausencia de energía a la unidad de accionamiento de guiñada, el freno está "activado", como medida de seguridad. Los frenos de accionamiento de guiñada se utilizan para evitar una guiñada involuntaria de la góndola, es decir, para evitar un movimiento de guiñada cuando no se está llevando a cabo un procedimiento de guiñada. La carga de freno en general es compartida por todas las unidades de accionamiento de guiñada. En un modo de realización preferente de la invención, se controlará una unidad de accionamiento de guiñada para que sus dientes de piñón no apliquen ninguna carga, o solo una carga muy reducida, en un diente de anillo de guiñada defectuoso durante el frenado.

20 En un modo de realización preferente de la invención, el programa informático comprende elementos de programa realizados para identificar una región de anillo de guiñada que contiene un diente dañado y para ajustar las señales de control de una unidad de accionamiento de guiñada cuando la unidad de accionamiento de guiñada pasa esa región del anillo de guiñada. En el caso de un solo diente dañado, una región de anillo de guiñada puede cubrir solo ese diente dañado. Por ejemplo, en el caso de un anillo de guiñada que comprende 120 dientes, la región del anillo de guiñada con el diente dañado puede cubrir la región angular que abarca 3°. Un motor de accionamiento de guiñada se controla de modo que su piñón solo ejerza una fuerza reducida (o ninguna fuerza en absoluto) sobre el diente dañado a medida que el piñón pasa a través de esa región. Por supuesto, la región del anillo de guiñada con el diente dañado puede cubrir un tramo más grande y, por ejemplo, puede incluir los dientes no dañados en ambos lados.

30 Usando el ejemplo anterior, una región de anillo de guiñada con el diente dañado puede cubrir una región angular que abarca 9°.

35 La invención puede incluso cubrir una situación en la que una serie de dos o más dientes consecutivos están dañados. El daño a los dientes consecutivos puede surgir de un piñón defectuoso o dañado, por ejemplo. Se puede definir una región de anillo de guiñada suficientemente grande como se describió anteriormente, y los motores de accionamiento de guiñada se controlan de modo que sus piñones ejerzan una fuerza reducida o nula cuando pasan a través de esa región.

40 Otros objetos y características de la presente invención se harán más evidentes a partir de las siguientes descripciones detalladas, consideradas conjuntamente con los dibujos adjuntos. Se ha de entender, sin embargo, que los dibujos están diseñados solamente para fines de ilustración, y no como una definición de los límites de la invención.

La Fig. 1 muestra una turbina eólica;

45 la Fig. 2 muestra una vista lateral de un conjunto de guiñada en una turbina eólica de accionamiento directo;

la Fig. 3 muestra una representación esquemática de un modo de realización del conjunto de guiñada de turbina eólica de la invención;

50 la Fig. 4 muestra el efecto del procedimiento de la invención de hacer funcionar un conjunto de guiñada de turbina eólica;

la Fig. 5 ilustra la fuerza aplicada por un piñón que pasa un diente dañado en un modo de realización del procedimiento de la invención;

55 La Fig. 6 muestra el efecto de un procedimiento de la técnica anterior de hacer funcionar un conjunto de guiñada de turbina eólica.

60 En los diagramas, los números similares se refieren a objetos similares en toda la descripción. Los objetos en los diagramas no están necesariamente dibujados a escala.

65 La Fig. 1 muestra una vista en corte de una góndola de una turbina eólica 5 de accionamiento directo. El diagrama muestra la góndola 51 montada en una torre 50. Un rotor aerodinámico 55, 56 en la parte delantera de la góndola comprende palas de rotor 55 montadas en un cubo 56, que hace girar el rotor de un generador. El generador (no visible en el diagrama) está montado en una estructura de soporte 54. Para poder girar la góndola 51 de modo que el rotor aerodinámico mire hacia el viento, se monta un anillo de guiñada dentado en la torre, y se disponen varias

unidades de accionamiento de guiñada 3 para que sus piñones se engranen con los dientes del anillo de guiñada. Las unidades de accionamiento de guiñada 3 se mantienen en su lugar de forma segura mediante una bancada de guiñada 52, que puede formar parte de la estructura de soporte 54. Mediante el diseño apropiado del conjunto de guiñada (las dimensiones del anillo y los piñones de guiñada, el número de unidades de accionamiento de guiñada, la potencia de los motores de accionamiento de guiñada, etc.), la góndola completa se puede girar con mucha precisión en relación con la torre.

La Fig. 2 muestra una vista lateral de un conjunto de guiñada del tipo descrito en la Fig. 1, que muestra la disposición de las unidades de accionamiento de guiñada 3 con más detalle. El diagrama también muestra el anillo de guiñada 2, que está montado cerca de la parte superior de la torre en el exterior. Cada motor 3 tiene un piñón 30 que está montado en un eje que se extiende a través de una bancada de guiñada 52, y el cuerpo de la unidad de accionamiento de guiñada 3 está asegurado a la bancada 52. La bancada de guiñada 52 está montada de forma segura en la bancada 54. Cada unidad de accionamiento de guiñada 3 comprende además un motor 31, una caja de engranajes 32 y un freno 33. Los motores de accionamiento de guiñada 31 están alimentados eléctricamente. En aras de la claridad, no se muestra la fuente de alimentación, pero la persona experta estará familiarizada con este aspecto. Un controlador (que tampoco se muestra) acciona los motores de accionamiento de guiñada para girar los piñones en sentido horario o antihorario, dependiendo de la dirección en la que se gire la góndola. El controlador también determina la velocidad de rotación de los piñones 30 y el par del piñón. Las fuerzas aplicadas por los dientes del piñón a los dientes del anillo de guiñada pueden ser bastante grandes, dependiendo de las condiciones del viento, la velocidad, la extensión y la frecuencia de los procedimientos de giro, etc. Los dientes del anillo de guiñada 2 y los dientes de los piñones 30 están por lo tanto sujetos a desgaste durante el funcionamiento de la turbina eólica. Un diente puede fracturarse, agrietarse o incluso romperse por completo en algún momento. Un diente fracturado o roto puede detectarse durante una inspección visual del conjunto de guiñada, o puede ser detectado por un controlador de las unidades de accionamiento de guiñada. Si bien es posible reemplazar una unidad de accionamiento de guiñada 3 con un esfuerzo relativamente pequeño, el reemplazo del anillo de guiñada 2 es una operación muy costosa.

La Fig. 3 muestra una representación esquemática de un modo de realización del conjunto de guiñada de turbina eólica 1 de la invención. El diagrama muestra un anillo de guiñada exterior 2 montado en una torre 50, y una disposición de unidades de accionamiento de guiñada 3, en dos grupos de cuatro. Las unidades de accionamiento de guiñada 3 se mantienen en su lugar mediante una bancada de guiñada 52, que gira al mismo tiempo que la góndola (no mostrada), y se puede suponer que tiene el mismo diseño ilustrado en la Fig. 1 y la Fig. 2 anteriores. El anillo de guiñada 2 es estacionario, y toda la góndola (con bancada de guiñada y conjunto de guiñada) gira en relación con el anillo de guiñada estacionario 2. El número de dientes en el anillo de guiñada dependerá en cierta medida del diámetro del anillo de guiñada. Un controlador 10 realiza un seguimiento de las posiciones de las unidades de accionamiento de guiñada 3. En este modo de realización a modo de ejemplo del conjunto de guiñada de turbina eólica 1 de la invención, el controlador 10 está configurado para seguir la posición de cada unidad de accionamiento de guiñada 3 con respecto a una referencia. Por ejemplo, se puede dar una configuración inicial específica cuando un punto de referencia R_2 del anillo de guiñada 2 está alineado con un punto de referencia R_{52} de la bancada 52. La invención despliega un algoritmo adecuado para realizar un seguimiento de las unidades de accionamiento de guiñada 3, de modo que el controlador 10 siempre puede "saber" la posición de cada unidad de accionamiento de guiñada 3 en relación con el punto de referencia R_2 en el anillo de guiñada 2. En el procedimiento de la invención, el controlador 10 también está provisto de un descriptor de daños para cualquier diente dañado, particularmente para cualquier diente dañado del anillo de guiñada 2. El diagrama muestra dos de estos dientes dañados 20_F , 20_X : un diente fracturado 20_F y un diente roto 20_X (en las regiones en círculo del anillo de guiñada 2). Los dientes dañados 20_F , 20_X pueden haberse detectado durante una inspección visual del conjunto de guiñada, o pueden haber sido detectados por el controlador 10 si está configurado para interpretar la retroalimentación de las unidades de accionamiento de guiñada 3. La posición de cada diente dañado se expresa en relación al punto de referencia R_2 del anillo de guiñada 2.

Dado que el piñón de una unidad de accionamiento de guiñada 3 se acciona de una manera bien definida (por ejemplo, usando un motor asíncrono como motor de accionamiento de guiñada), el procedimiento de la invención incluso permite que el controlador 10 "sepa" con qué diente de un piñón se está acoplando con un diente específico del anillo de guiñada 2. Con esta información de seguimiento precisa, el controlador 10 puede emitir señales de control apropiadas a cada unidad de accionamiento de guiñada individual 3 según sea necesario para minimizar la fuerza aplicada por su piñón a un diente de anillo de guiñada dañado.

Por ejemplo, un diente dañado 20_F , 20_X puede definirse por su posición angular θ_{20_F} , θ_{20_X} con respecto al punto de referencia R_2 . De forma alternativa, la posición de un diente dañado 20_F , 20_X puede ser su número de recuento en relación con un punto de referencia R_{52} de la bancada 52. Por ejemplo, si el diente en el punto de referencia R_{52} recibe el número 0, la posición del diente dañado 20_F en este modo de realización a modo de ejemplo sería el número 10. En un modo de realización, el descriptor de daños D_{20_F} , D_{20_X} para un diente dañado simplemente comprende la posición del diente dañado, y el controlador 10 puede configurarse para controlar las unidades de accionamiento de guiñada 3 de modo que ninguna de las unidades de accionamiento de guiñada ejerza ninguna fuerza en el diente dañado durante una rotación del anillo de guiñada, o cuando las unidades de accionamiento de guiñada se están utilizando para "estacionar" la góndola en una posición específica.

El alcance o la gravedad del daño también se puede introducir en el controlador 10 por medio de una interfaz de

usuario 11 adecuada. Por ejemplo, un número entre uno y cinco puede definir la gravedad del daño, con "uno" que indica una fractura leve y "cinco" que indica un diente perdido o roto. En otro modo de realización, por lo tanto, el descriptor de daño D_{20F} , D_{20X} para un diente dañado comprende la posición del diente dañado, así como un número que indica la gravedad del daño. El controlador 10 puede configurarse para controlar las unidades de accionamiento de guiñada 3 de modo que, cuando el diente dañado pasa por una unidad de accionamiento de guiñada, la unidad de accionamiento de guiñada relevante solo ejerce una fuerza que el diente dañado puede resistir de forma segura. Por ejemplo, cuando un número entre uno y cinco define el alcance del daño, el controlador 10 puede controlar las unidades de accionamiento de guiñada 3 según corresponda para ejercer solo una fracción de par total en el diente dañado cuando el daño se clasifica como "tres" o menos, y no aplicar ninguna fuerza a ese diente cuando el daño se clasifica como "cuatro" o mayor.

La Fig. 4 muestra el efecto del procedimiento de la invención de hacer funcionar un conjunto de guiñada de turbina eólica. El diagrama muestra (muy simplificado) un anillo de guiñada 2, los piñones 30 de dos unidades de accionamiento de guiñada y un controlador 10. El controlador 10 ha recibido un descriptor de daños D_{20F} para un diente de anillo de guiñada fracturado $20F$. El controlador 10 rastrea la posición de cada unidad de accionamiento de guiñada y el piñón en relación con cada diente del anillo de guiñada 2. Mientras un piñón no pase un diente dañado, el controlador 10 controlará la(s) unidad(es) de accionamiento de guiñada relevante(s) a la velocidad y el par necesarios para llevar a cabo la rotación deseada. Esto se indica en el diagrama mediante la flecha que representa la fuerza F total ejercida por un piñón sobre un diente de anillo de guiñada en buen estado 20 . Sin embargo, cuando un piñón debe pasar por un diente dañado, el controlador 10 reducirá la velocidad y/o par de torsión de la unidad de accionamiento de guiñada correspondiente para que el diente dañado $20F$ no sufra más tensión. Esto se indica en el diagrama mediante la flecha que representa la fuerza reducida F_{min} ejercida por un piñón sobre el diente de anillo de guiñada dañado $20F$.

La Fig. 5 muestra un ejemplo de la fuerza aplicada por un piñón de una unidad de accionamiento de guiñada a los dientes de un anillo de guiñada cuando el piñón pasa un diente dañado, en un modo de realización del procedimiento de la invención. El controlador de la unidad de guiñada ha sido informado previamente de la presencia de un diente dañado, y "sabe" que el diente dañado está en una región R del anillo de guiñada. El procedimiento de guiñada consiste en girar la góndola de un cierto número de grados, representados por el tramo α_1 - α_2 a lo largo del eje X. El controlador de la unidad de guiñada emite señales de control apropiadas para los motores de la unidad de guiñada, de modo que, cuando un piñón pasa dientes en buen estado, el piñón ejerce toda su fuerza F_{max} sobre los dientes en buen estado, pero a medida que un piñón pasa el diente dañado, solo ejercerá una cantidad insignificante fuerza F_{min} al diente dañado.

La Fig. 6 muestra el efecto de un procedimiento de la técnica anterior de hacer funcionar un conjunto de guiñada de turbina eólica. El diagrama muestra (muy simplificado) un anillo de guiñada 2 y los piñones 30 de tres unidades de accionamiento de guiñada. Un controlador (no mostrado) está haciendo funcionar la(s) unidad(es) de accionamiento de guiñada a la velocidad y el par requeridos para llevar a cabo la rotación deseada (indicada por las flechas de rotación). Cuando un piñón pasa por un diente fracturado $20F$, la fuerza total F ejercida por el piñón estresará aún más el diente fracturado $20F$, como se muestra en la vista ampliada superior izquierda. Como resultado, el diente fracturado $20F$ puede romperse por completo y convertirse en un diente roto $20x$, como se muestra en la vista ampliada inferior derecha. Como se explicó anteriormente, un diente fracturado podría repararse soldando, y un diente roto podría repararse soldando un diente de repuesto en el anillo de guiñada o asegurando una placa de forma adecuada en su lugar en el anillo de guiñada. Sin embargo, dicho diente reparado es un elemento débil, y el enfoque de la técnica anterior de hacer funcionar el conjunto de accionamiento de guiñada de la manera habitual significa que las cargas aplicadas por los piñones finalmente harán que el diente reparado vuelva a fallar, de modo que el reemplazo del anillo de guiñada se vuelva inevitable.

Aunque la presente invención se ha descrito en forma de modos de realización preferentes y variaciones de la misma, se entenderá que podrían realizarse numerosas modificaciones y variaciones adicionales sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, la idea de la invención podría encontrar uso en un sistema de paso de pala de rotor que usa un anillo de paso dentado y un piñón accionado por motor para inclinar la pala de rotor. En otro modo de realización, los motores de accionamiento de guiñada pueden construirse usando motores paso a paso. En el caso de un diente roto, se controlaría una unidad de accionamiento de guiñada para hacer que su piñón gire a la velocidad normal, de modo que el mal engrane no se convierta en un problema.

Por motivos de claridad, debe entenderse que el uso de "un" o "una" en esta solicitud no excluye una pluralidad, y "que comprende" no excluye otros pasos o elementos.

REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Un procedimiento para hacer funcionar un conjunto de guiñada de turbina eólica (1) que comprende un anillo de guiñada (2) y una serie de unidades de accionamiento de guiñada (3), en el que una unidad de accionamiento de guiñada (3) comprende un piñón (30) dispuesto para engranar con la guiñada anillo (2), cuyo procedimiento se **caracteriza por** los pasos de
- identificar un diente dañado (20_F, 20_X) en el anillo de guiñada (2);
 - 10 - proporcionar parámetros del descriptor de daños (D_{20F}, D_{20X}) al controlador de la unidad de guiñada (10); y
 - controlar una unidad de arrastre de guiñada (3) sobre la base de los parámetros del descriptor de daños (D_{20F}, D_{20X}) para reducir la fuerza ejercida por su piñón (30) sobre un diente dañado (20_F, 20_X).
- 15 **2.** Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que el paso de controlar una unidad de accionamiento de guiñada (3) para reducir la fuerza ejercida por su piñón (30) sobre el diente dañado (20_F, 20_X) comprende reducir la velocidad de rotación de un motor (31) de la unidad de accionamiento de guiñada (3).
- 20 **3.** Un procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el paso de controlar una unidad de accionamiento de guiñada (3) para reducir la fuerza ejercida por su piñón (30) sobre el diente dañado (20_F, 20_X) comprende reducir el par del motor (31) de esa unidad de accionamiento de guiñada (3) a como máximo 5 %, más preferentemente como máximo 1 %, de par completo (F).
- 25 **4.** Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el paso de reducir la fuerza ejercida por un piñón (30) sobre un diente dañado (20_F, 20_X) se lleva a cabo durante un procedimiento de guiñada de la góndola y/o durante un procedimiento de frenado.
- 30 **5.** Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el paso de identificar un diente dañado (20_F, 20_X) comprende establecer la posición de un diente dañado (20_F, 20_X) con respecto a una posición de referencia (R₂, R₅₂) del conjunto de guiñada (1).
- 35 **6.** Un procedimiento según la reivindicación 5, en el que una posición de referencia (R₅₂) define una posición inicial de una bancada de guiñada (52) que soporta las unidades de accionamiento de guiñada (3).
- 40 **7.** Un procedimiento según la reivindicación 5 o la reivindicación 6, en el que la posición de referencia (R₂) comprende una referencia norte (R₂) del anillo de guiñada (2), cuya referencia norte (R₂) está alineada con la posición de referencia de la bancada de guiñada (R₅₂) en una posición inicial del conjunto de guiñada (1).
- 45 **8.** Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el paso de identificar un diente dañado (20_F, 20_X) comprende establecer un parámetro de gravedad del daño que describe la extensión del daño del diente dañado (20_F, 20_X).
- 50 **9.** Un conjunto de guiñada de turbina eólica (1) dispuesto en una interfaz entre una góndola (51) y una torre (50) de una turbina eólica (5), y que comprende
- un anillo de guiñada (2) con una disposición anular de dientes (20);
 - una serie de unidades de accionamiento de guiñada (3), en el que una unidad de accionamiento de guiñada (3) comprende un motor (31) y un piñón (30) dispuestos para engranar con los dientes (20) del anillo de guiñada (2);
 - un controlador de accionamiento de guiñada (10) adaptado para controlar el motor (31) de una unidad de accionamiento de guiñada (3) para efectuar una rotación de la góndola (51) con respecto a la torre (50);
- 55 **caracterizado por**
- una entrada del descriptor de daños para proporcionar parámetros del descriptor de daños (D_{20F}, D_{20X}) al controlador de accionamiento de guiñada (10), y en el que el controlador de conducción de guiñada (10) está adaptado además para reducir la fuerza ejercida por un piñón (30) de una unidad de accionamiento de guiñada (3) en un diente dañado (20_F, 20_X) sobre la base de los parámetros del descriptor de daños (D_{20F}, D_{20X}).
- 60 **10.** Un conjunto de guiñada de turbina eólica según la reivindicación 9, que comprende una disposición redundante de unidades de accionamiento de guiñada (3).
- 65 **11.** Un conjunto de guiñada de turbina eólica según la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en el que una unidad de accionamiento de guiñada (3) comprende un conjunto de freno pasivo (33).

12. Una turbina eólica (5) que comprende un conjunto de guiñada (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11.
- 5 13. Un producto de programa informático que comprende un programa informático que se puede cargar directamente en una memoria de un controlador (10) de un conjunto de guiñada de turbina eólica (1) y que comprende elementos de programa adaptados para realizar los pasos del procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 cuando el programa informático es ejecutado por el controlador (10) del conjunto de guiñada de turbina eólica (1).
- 10 14. Un producto de programa informático según la reivindicación 13, que comprende elementos de programa realizados para recibir un parámetro de gravedad del daño (S_{20F} , S_{20X}) y para ajustar las señales de control de una unidad de accionamiento de guiñada (3) sobre la base del parámetro de gravedad del daño (S_{20F} , S_{20X}).
- 15 15. Un producto de programa informático según la reivindicación 13 o la reivindicación 14, que comprende elementos de programa realizados para identificar una región de anillo de guiñada que contiene un diente dañado ($20F$, $20X$) y para ajustar las señales de control de una unidad de accionamiento de guiñada (3) como la unidad de accionamiento de guiñada (3) pasa esa región del anillo de guiñada (2).

FIG 1

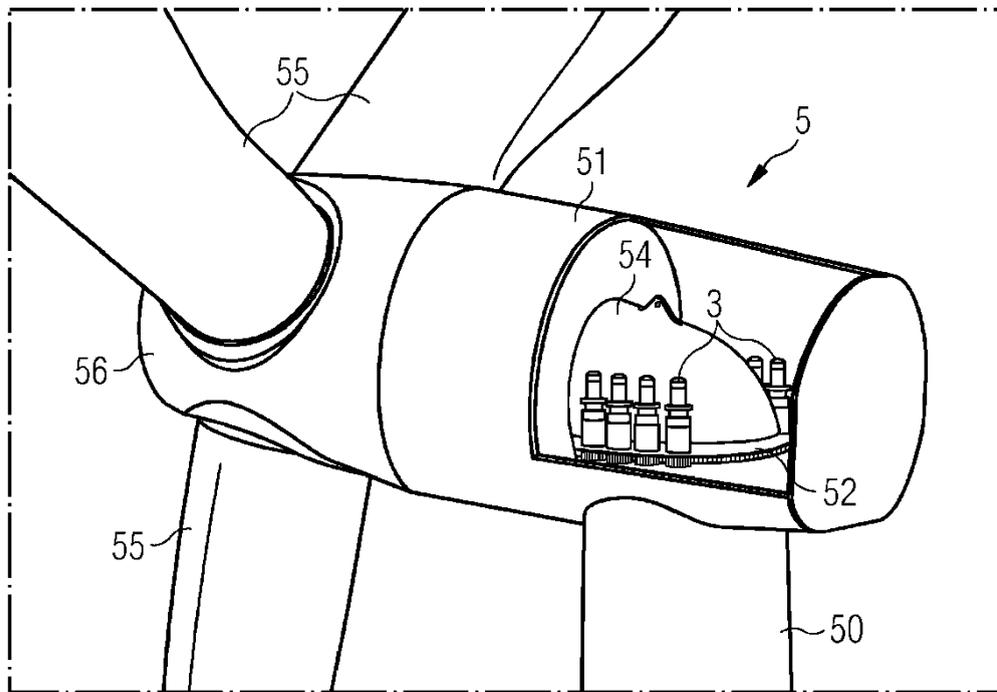


FIG 2

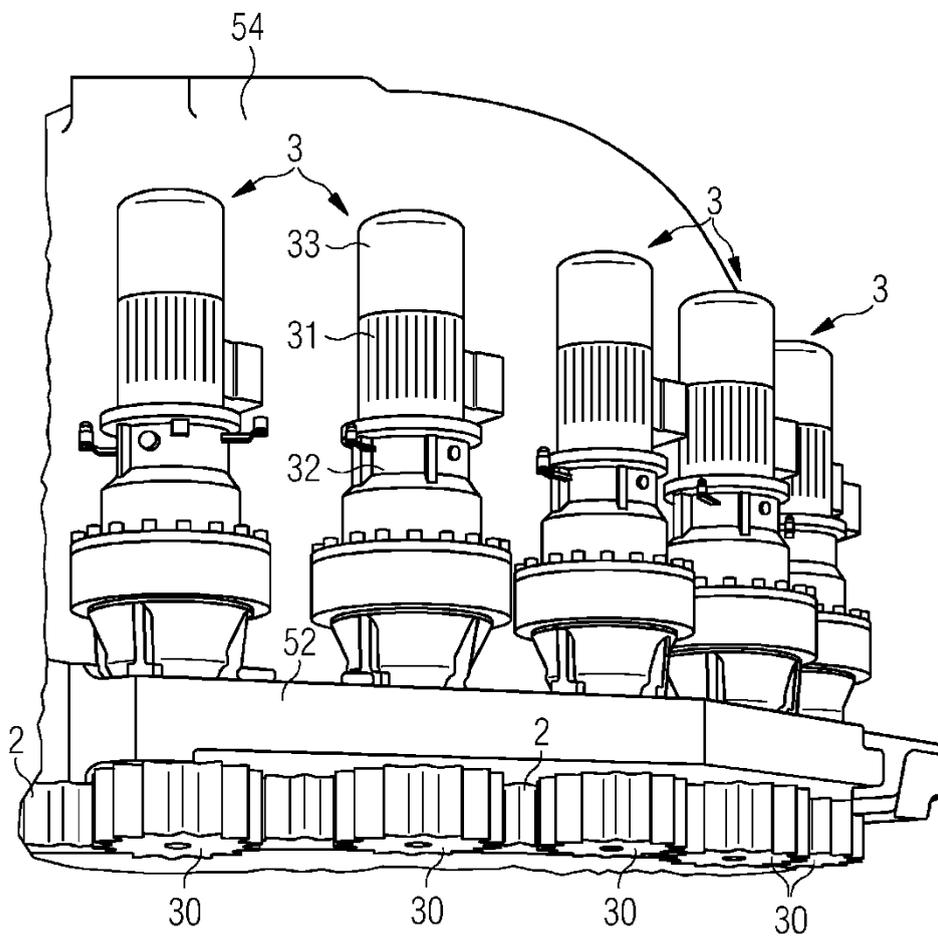


FIG 4

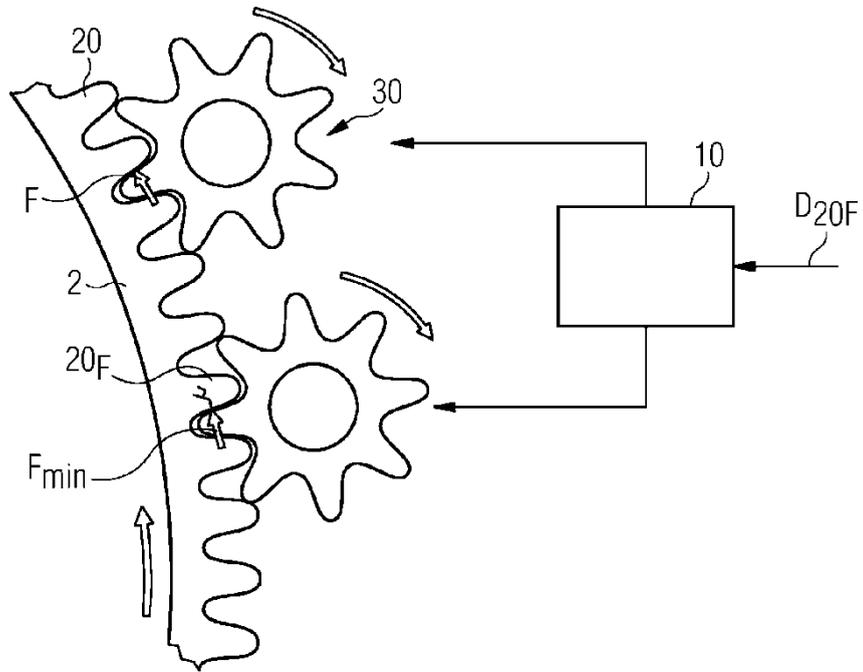


FIG 5

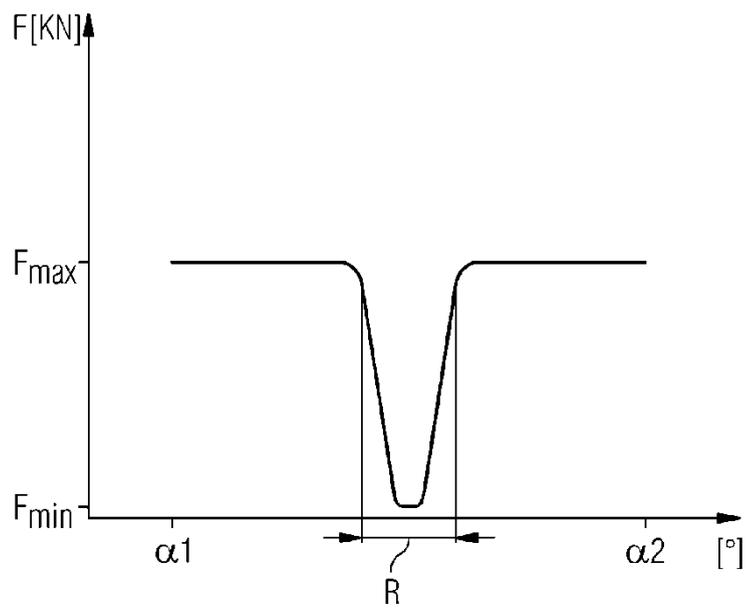


FIG 6

TÉCNICA ANTERIOR

