

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 952 436**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 13/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.11.2019 PCT/DK2019/050359**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2020 WO20108715**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.11.2019 E 19808972 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2023 EP 3887673**

54 Título: **Mitigación de guiñada activa de vibraciones inducidas por el viento**

30 Prioridad:

27.11.2018 CN 201811422978

30.11.2018 DK PA201870789

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

31.10.2023

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

MADSEN, SØREN BØGELUND;

BROHM, ANDERS;

HALD, TUE y

QU, SHOUGANG

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 952 436 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

Mitigación de guiñada activa de vibraciones inducidas por el viento

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método para reducir vibraciones inducidas por el viento de una torre de turbina eólica de un sistema de turbina eólica, y además se refiere a un sistema de turbina eólica correspondiente. Particularmente, el método y el sistema son útiles para mitigación de vibraciones inducidas por vórtice y/o vibraciones debidas a galope.

Antecedentes de la invención

En una torre de una turbina eólica, pueden inducirse vibraciones debidas a diversas vibraciones inducidas por el viento. Un fenómeno se denomina desprendimiento de vórtices, que también se conoce como vibraciones de Von Karman. Las vibraciones resultantes se denominan vibraciones inducidas por vórtice.

Las vibraciones inducidas por vórtice se originan a partir de vórtices debidos al viento que fluye alrededor de la torre y/o una góndola montada en la parte superior de la torre. Esto puede ocurrir en particular a velocidades del viento específicas, y pueden variar, entre otros, dependiendo del diseño de la torre y la góndola. Las vibraciones pueden ocurrir en cualquier configuración durante la vida útil de turbina eólica y, por lo tanto, también durante las etapas de instalación.

Otro tipo de vibraciones no deseadas son las vibraciones que surgen debido a un fenómeno de viento denominado galope.

En general, existe el deseo de amortiguar o reducir las vibraciones de torre, y un método mejorado para reducir vibraciones inducidas por el viento de una torre de turbina eólica de un sistema de turbina eólica, y se ha encontrado un sistema de turbina eólica correspondiente mejorado como beneficio.

El documento US2015/0211486 A1 da a conocer el funcionamiento de una turbina eólica que incluye las etapas de registrar una oscilación de torre e iniciar una medida para reducir la oscilación, por ejemplo, ajustando la posición de guiñada mediante un ángulo de guiñada predefinido. Los documentos EP2851560 A1 y EP2803853 A1 dan a conocer la amortiguación de un movimiento oscilatorio de una góndola de una turbina eólica mediante el movimiento coordinado de la góndola alrededor del eje de guiñada. El documento EP2738382 A2 da a conocer un sistema de respaldo de guiñada con un medio de almacenamiento de energía para almacenar potencia auxiliar para controlar un ángulo de guiñada de una turbina eólica durante condiciones de pérdida de red.

Sumario de la invención

Puede verse como un objeto de la presente invención proporcionar un método y un sistema de turbina eólica que resuelve en particular los problemas mencionados anteriormente debidos a vibraciones inducidas por el viento.

El objeto descrito anteriormente está destinado a obtenerse en un primer aspecto de la invención proporcionando un método para reducir vibraciones inducidas por el viento de una torre de turbina eólica de un sistema de turbina eólica, en el que el sistema de turbina eólica comprende:

- la torre de turbina eólica,
- una disposición de sensores para detectar vibraciones de la torre de turbina eólica,
- una góndola montada en la torre de turbina eólica a través de un cojinete de guiñada,
- un sistema de control para controlar la regulación de guiñada de la góndola con respecto a la torre de turbina eólica, y en donde el método comprende:
 - detectar una vibración de la torre de turbina eólica usando la disposición de sensores,
 - proporcionar una entrada para el sistema de control en respuesta a la vibración de la torre de turbina eólica detectada por la disposición de sensores,
 - proporcionar una salida mediante el sistema de control basándose en la entrada, y
 - regular la guiñada de la góndola de turbina eólica basándose en la salida del sistema de control, y reducir de ese modo vibraciones inducidas por el viento de la torre de turbina eólica.

5 Por lo tanto, se proporciona un método mejorado para reducir, mitigar o incluso prevenir vibraciones inducidas por el viento de una torre de turbina eólica de un sistema de turbina eólica. Una información dada a conocer por el presente documento es, que la regulación de guiñada de la góndola a una posición de guiñada diferente puede reducir, mitigar o prevenir vibración inducida por el viento, incluso cuando (o si) no hay palas, y posiblemente tampoco está/están presente/s ningún rotor en la góndola.

10 Además, se ha encontrado que es posible reducir la vibración inducida por el viento a un nivel muy bajo o incluso prevenir la misma al menos durante un período de tiempo, mediante regulación de guiñada de la góndola a una posición de guiñada diferente, y también mediante regulación de guiñada cuando se han detectado vibraciones por encima de un umbral de vibración. Por lo tanto, según el método, el cambio de posición de guiñada puede deberse a una vibración detectada, y no necesariamente deberse a determinada dirección del viento y/o a determinada velocidad del viento. Por el presente documento, puede proporcionarse un método y un sistema simples, pero, sin embargo, eficaces.

15 Además, una información dada a conocer por el presente documento también es, que la aerodinámica cambiada de un sistema de torre/góndola, debido a una posición de guiñada cambiada de la góndola, se ha encontrado que es al menos parte de lo que reduce o rompe las vibraciones inducidas por el viento, en particular vibraciones debidas a vibraciones inducidas por vórtice y/o vibraciones debidas a galope. Se ha encontrado que otra parte es una distribución de peso ligeramente cambiada cuando se regula la guiñada de la góndola a una posición diferente, debido a que un centro de masa de la góndola no está completamente centrado en un centro de la torre. En particular, una información dada a conocer por el presente documento es, que cuando se usan al menos estas dos partes o factores en combinación, vibraciones inducidas por el viento, en particular vibraciones debidas a vibraciones inducidas por vórtice y/o vibraciones debidas a galope, pueden reducirse según la presente invención.

20 Por lo tanto, el método puede comprender que la regulación de guiñada de la góndola de turbina eólica con respecto a la torre de turbina eólica comprende que se regule la guiñada de la góndola de modo que un perfil aerodinámico cambiado de la góndola y/o que una posición cambiada de un centro de masa de la góndola con respecto a un centro de la torre, y debido a la regulación de guiñada de la góndola, se usa para influir en las vibraciones inducidas por el viento, en particular vibraciones debidas a vibraciones inducidas por vórtice y/o vibraciones debidas a galope, de la torre de turbina eólica y su góndola.

25 Alternativa o adicionalmente, el método comprende que la regulación de guiñada de la góndola de turbina eólica con respecto a la torre de turbina eólica se coordina de modo que un perfil aerodinámico cambiado de la góndola con respecto al viento y/o que una posición cambiada de un centro de masa de la góndola con respecto a un centro de la torre, y resultante de una posición de guiñada cambiada, reduce un movimiento oscilatorio de la torre de turbina eólica.

30 Según una realización de la invención, el método se aplica cuando el sistema de turbina eólica incluye un menor número de palas que cuando el sistema de turbina eólica está completamente instalado. Además, el método puede ser de particular beneficio cuando el sistema de turbina eólica no incluye palas cuando se aplica el método.

35 Se ha encontrado que las propias palas, al menos hasta cierto punto y en ciertas condiciones, reducen las vibraciones inducidas por el viento, en particular vibraciones debidas a vibraciones inducidas por vórtice y/o vibraciones debidas a galope, de la torre de turbina eólica. Por lo tanto, puede verse que el método es de particular beneficio cuando se monta menos del número final de palas o ninguna pala y/o ningún rotor en absoluto.

40 Según una realización de la invención, el método se aplica cuando el sistema de turbina eólica no está conectado a una red de distribución eléctrica, y la potencia para regular la guiñada de la góndola de turbina eólica se suministra por un sistema de potencia de guiñada auxiliar. Esto se ve como una ventaja de la presente invención, dado que por el presente documento no se necesita energía constante de la red de distribución eléctrica, y por el presente documento, el sistema y el método según la invención pueden aplicarse durante las etapas de instalación del sistema de turbina eólica y, por lo tanto, también durante la instalación de un parque de turbinas eólicas completo.

45 Según una realización de la invención, se detectan vibraciones en múltiples direcciones alrededor de la torre de turbina eólica, y preferiblemente en todas las direcciones alrededor de la torre de turbina eólica. Por el presente documento, por ejemplo, no es necesario saber o estimar en qué dirección o direcciones o plano vertical es más probable que ocurran vibraciones inducidas por el viento. Además, entonces, no es necesario regular la guiñada a una posición de guiñada diferente precisa donde también pueden detectarse vibraciones.

50 Vibraciones inducidas por el viento, en particular vibraciones debidas a vibraciones inducidas por vórtice y/o vibraciones debidas a galope, se producirán en una dirección de aproximadamente 90 grados con respecto a una dirección del viento.

55 Según una realización de la invención, el método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la regulación de guiñada de la góndola de turbina eólica basándose en la salida del sistema de control se proporciona cuando la vibración detectada está por encima de un umbral.

Según una realización de la invención, se detecta una orientación de la góndola usando un sensor de orientación de góndola, capaz de detectar una orientación de ángulo de guiñada de la góndola y una diferencia entre la orientación de la góndola.

5 El sensor de orientación de góndola puede usarse para evitar el exceso de torsión de cualquier cable de control y/o potencia en la torre, en particular si están presentes cuando se aplica el método. Adicional o alternativamente, puede usarse una dirección de una vibración detectada como entrada al sistema de control. Por el presente documento, puede proporcionarse regulación de guiñada hacia una determinada posición de la góndola con respecto a la vibración inducida por el viento.

10 Tal posición puede ser, por ejemplo, una posición en la que hay entre aproximadamente 25 y aproximadamente 65 grados de diferencia entre las vibraciones y una dirección o posición de la góndola. Particularmente, se ha encontrado que cuando se busca una diferencia entre la posición de guiñada de la góndola y la dirección de vibración de aproximadamente 45 grados, se proporciona un método ventajoso particular.

15 Alternativa o adicionalmente, y posiblemente al menos en algunas condiciones puede encontrarse beneficioso que si la góndola está en un ángulo entre 0 y 45 grados relativo a una dirección de la vibración, el sistema de guiñada debe mantener la regulación de guiñada en incrementos de al menos, por ejemplo, 5 o 10 grados en sentido horario/sentido CW, hasta que la vibración se detiene o el ángulo relativo es de 90 grados.

20 Alternativa o adicionalmente, y posiblemente al menos en algunas condiciones puede encontrarse beneficioso que si la góndola está en un ángulo entre 45 y 90 grados relativo a una dirección de la vibración, el sistema de guiñada debe mantener la regulación de guiñada en incrementos de al menos, por ejemplo, 5 o 10 grados en sentido antihorario/sentido CCW, hasta que la vibración se detiene o el ángulo relativo es 0 grados.

25 Alternativa o adicionalmente, el método puede comprender que un ángulo de guiñada de regulación de guiñada de la góndola con respecto a la torre de turbina eólica sea de al menos 5 grados, tal como al menos 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 o 45 grados, y preferiblemente un ángulo en el intervalo de desde 5 hasta 75 grados, más preferido en el intervalo de desde 5 hasta 85 grados, lo más preferido en un intervalo de desde 5 hasta 30 grados.

30 Según una realización de la invención, el método comprende que un ángulo de guiñada de regulación de guiñada de la góndola con respecto a la torre de turbina eólica es de al menos 5 grados. Se ha encontrado tal diferencia en la posición de guiñada, por ejemplo, para cambiar el perfil aerodinámico de la góndola con respecto al viento y/o el centro de masa descentrado, con respecto al centro de la torre, de la góndola lo suficiente como para reducir significativamente las vibraciones, sin usar tanta potencia como, por ejemplo, provocaría un cambio continuo y/o un cambio de ángulo tal como 30, 60, 90 o 120 grados.

35 Según una realización de la invención, el método comprende que después de que se ha regulado la de guiñada la góndola un ángulo dado desde una primera posición de guiñada hasta una segunda posición de guiñada, se detectan las vibraciones, y se proporciona una decisión de si regular la guiñada adicionalmente en respuesta a las vibraciones detectadas en la segunda posición de guiñada.

40 Según una realización de la invención, la regulación de guiñada de la góndola se detiene en la segunda posición, un primer período de tiempo transcurre en la segunda posición de guiñada antes de decidir si se detiene durante un segundo período de tiempo en la segunda posición de guiñada.

45 Según una realización de la invención, se regula la guiñada de la góndola un cierto ángulo de guiñada en función de una amplitud de las vibraciones de la torre de turbina eólica con respecto a un umbral, o en función de un cambio de amplitud de las vibraciones de la torre de turbina eólica con respecto a una amplitud en una posición previa o anterior de la góndola. El umbral puede ajustarse para una vibración de 1^{er} modo de la señal de vibración. El umbral puede ajustarse alternativa o adicionalmente, para activar una posición de guiñada cambiada, cuando un valor RMS de la señal de vibración tiene un pico por encima de un límite, por ejemplo, durante una determinada duración. El análisis de la señal de vibración puede incluir métodos de transformación rápida de Fourier (FFT), métodos de densidad o similares.

50 Se ha encontrado que uno o más de los siguientes criterios pueden usarse para determinar si una vibración es una vibración inducida por el viento o no, y, en particular, si la vibración es una vibración inducida por vórtice y/o una vibración debida a galope.

55 Las vibraciones inducidas por vórtice de la torre y/o las vibraciones debidas a galope tendrán normalmente una resonancia con la torre por debajo de 2 Hz.

60 Un criterio de umbral podría ser alternativa o adicionalmente que la amplitud de la vibración sea al menos 0,03 m o al menos 0,04 m/s², en particular para una vibración de 1^{er} orden a una frecuencia en un intervalo de, por ejemplo, [0,1 – 0,4] Hz.

65

Un criterio de umbral podría ser alternativa o adicionalmente que la amplitud de la vibración sea al menos 0,4 m o al menos 0,5 m/s², en particular para una vibración de 2° orden a una frecuencia en un intervalo de, por ejemplo, [0,7 – 1,5] Hz.

5 Un ejemplo de una amplitud de una frecuencia natural de 1^{er} orden de una vibración no deseada provocada por vibraciones inducidas por vórtice y/o debidas a galope podría estar presente a aproximadamente 0,2 Hz y tener una amplitud de aproximadamente 0,03 m o ligeramente más alta.

10 Un ejemplo de una amplitud de una frecuencia natural de 2° orden de una vibración no deseada provocada por vibraciones inducidas por vórtice y/o debidas a galope podría estar presente a aproximadamente 1 Hz y tener una amplitud, por ejemplo, en el intervalo 0,5 m – 1,2 m. Estos ejemplos podrían ser de un sistema de turbina eólica con una torre de aproximadamente 120 m de altura.

15 Según una realización de la invención, un período de ajuste de cualquier vibración de torre de turbina eólica transcurre en una posición de guiñada y antes de decidir si se detiene durante un período prolongado en la posición de guiñada cambiada.

20 Según una realización de la invención, las vibraciones inducidas por el viento son vibraciones inducidas por vórtice y/o vibraciones debidas a galope.

El método puede aplicarse durante un período de instalación de la turbina eólica, tal como cuando la turbina solo tiene menos del número final de palas o ninguna pala como se ha desarrollado en otra parte en el presente documento, o durante un período de mantenimiento de la turbina eólica.

25 Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un sistema de turbina eólica que comprende

- una torre de turbina eólica,
- una disposición de sensores para detectar vibraciones de la torre de turbina eólica,
- una góndola montada en la torre de turbina eólica a través de un cojinete de guiñada,
- un sistema de control para controlar la regulación de guiñada de la góndola, y en el que el sistema de turbina eólica está adaptado para:
 - detectar una vibración de la torre de turbina eólica usando la disposición de sensores,
 - proporcionar una entrada para el sistema de control en respuesta a la vibración de la torre de turbina eólica detectada por la disposición de sensores,
 - proporcionar una salida del sistema de control basándose en la entrada, y
 - regular la guiñada de la góndola de turbina eólica basándose en la salida del sistema de control, y reducir de ese modo vibraciones inducidas por el viento de la torre de turbina eólica.

45 Las mejoras, las informaciones y las ventajas de un sistema de este tipo ya se han desarrollado para el aspecto del método.

50 Según un tercer aspecto de la invención, se proporciona un programa informático, para controlar el funcionamiento de una turbina eólica, el programa informático, cuando se ejecuta por un procesador de datos, está adaptado para controlar y/o llevar a cabo el método como se describe en el presente documento.

55 Muchas de las características asociadas se apreciarán más fácilmente a medida que las mismas se entienden mejor mediante referencia a la siguiente descripción detallada considerada en relación con los dibujos adjuntos. Las características preferidas pueden combinarse según sea apropiado, como sería evidente para un experto en la técnica, y pueden combinarse con cualquiera de los aspectos de la invención.

Breve descripción de las figuras

- 60 La figura 1 representa una torre de turbina eólica montada con una góndola,
- la figura 2 ilustra vibraciones inducidas por el viento de la torre de turbina eólica en una vista desde arriba, y
- la figura 3 representa un sistema de turbina eólica según la presente invención,
- 65 la figura 4 ilustra un método según la invención, y

la figura 5 es un diagrama de flujo que desarrolla una realización de la presente invención.

Descripción de realizaciones

5 Realizaciones de la presente invención se explicarán ahora con más detalle. Si bien la invención es susceptible a diversas modificaciones y formas alternativas, se han dado a conocer realizaciones específicas a modo de ejemplos. Debe entenderse, sin embargo, que la invención no está destinada a limitarse a las formas particulares dadas a conocer. En su lugar, la invención va a cubrir todas las modificaciones, equivalentes, y alternativas que están dentro del espíritu y alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

10 La figura 1 representa una torre de turbina eólica 102 montada con una góndola 104. La torre y la góndola pueden instalarse en el mar o en el interior. La góndola puede hacerse rotar alrededor de la torre 102 a través de un cojinete de guiñada. El cojinete de guiñada no puede verse en la figura 1, pero se ilustra en la figura 3.

15 De la figura se deduce que el sistema de turbina eólica 101 incluye un menor número de palas que cuando el sistema de turbina eólica está completamente instalado. En el ejemplo particular mostrado en este caso, el sistema de turbina eólica no incluye palas.

20 La figura 2 ilustra vibraciones inducidas por el viento 202 en la dirección de la flecha doble con el número de referencia 202, de la torre de turbina eólica 102.

25 La torre 102 y la góndola 104 se ven desde una vista desde arriba, y también se ilustra una dirección del viento 204. De esto se deduce que las vibraciones inducidas por el viento 202 son predominantemente en una dirección transversal a la dirección del viento 204, es decir, vibraciones de viento cruzado predominantemente.

30 La figura 3 representa elementos de un sistema de turbina eólica según la presente invención. Como se ilustra, el sistema de turbina eólica incluye una torre de turbina eólica 102, una disposición de sensores 304 para detectar vibraciones de la torre de turbina eólica 102, una góndola 104 montada en la torre de turbina eólica a través de un cojinete de guiñada 310, y un sistema de control 306 para controlar la regulación de guiñada de la góndola. El sistema de turbina eólica está adaptado para detectar una vibración de la torre de turbina eólica usando la disposición de sensores 304, y proporcionar una entrada para el sistema de control en respuesta a la vibración de la torre de turbina eólica detectada por la disposición de sensores, y proporcionar una salida mediante el sistema de control basándose en la entrada. Además, el accionamiento de guiñada 314 está adaptado para regular la guiñada de la góndola de turbina eólica basándose en la salida del sistema de control, y reducir de ese modo las vibraciones inducidas por el viento de la torre de turbina eólica 102.

40 En el dibujo, se ilustra que el sistema de control 306 y el sensor de vibración están incluidos en una unidad 302 o una herramienta de regulación de guiñada, que están conectados entre sí. Sin embargo, pueden proporcionarse alternativamente como unidades separadas, y pueden usarse conexiones que pueden hacerse funcionar por cable o de manera inalámbrica. Del mismo modo, se ilustra un cable de comunicación 316 entre el sistema de control 306 y un accionamiento de guiñada 314, sin embargo, tal comunicación puede ser alternativamente una conexión inalámbrica.

45 La línea negra gruesa 308 ilustra una línea de potencia para alimentar de potencia el sistema de control 306, la disposición de sensores 304 y el accionamiento de guiñada 314. Solo se muestra un accionamiento de guiñada por simplicidad, sin embargo, pueden usarse múltiples accionamientos, tal como 2, 3, 4, 5, 6, 8 o más accionamientos para regular la guiñada de la góndola 104. La línea negra gruesa 312 ilustra una línea de potencia para el accionamiento de guiñada 314. La potencia para el accionamiento de guiñada puede activarse y desactivarse en la unidad 302 y, por lo tanto, es necesaria la línea de potencia 312. Alternativamente, la activación o la desactivación del accionamiento de guiñada se lleva a cabo en el accionamiento de guiñada, usando solo señales en el cable de comunicación y potencia directamente desde la línea de potencia 308.

55 En la realización descrita, se usa un sistema de potencia de guiñada auxiliar (no mostrado), sistema de potencia de guiñada auxiliar que incluye una batería. En la figura se ilustra que la línea de potencia 308 es para que una batería (no mostrada) se coloque en o cerca del extremo inferior de la torre 102. Sin embargo, tal batería puede colocarse adicional o alternativamente en o cerca del extremo superior de la torre y/o cerca o en la góndola. El uso de una batería es de particular ayuda cuando el sistema de turbina eólica está aún desconectado de la red. Sin embargo, cuando se acopla a la red, el sistema y el método como se describen en el presente documento se usan, por ejemplo, durante el mantenimiento de la turbina eólica, la potencia está presente sin usar una o más baterías.

60 La figura 4 ilustra un método según la invención. Por lo tanto, se ilustra un método para reducir vibraciones inducidas por el viento de una torre de turbina eólica de un sistema de turbina eólica, incluyendo detectar 402 una vibración de una torre de turbina eólica usando la disposición de sensores, proporcionar 404 una entrada para un sistema de control en respuesta a la vibración de la torre de turbina eólica detectada por la disposición de sensores, proporcionar 406 una salida mediante el sistema de control basándose en la entrada, y regular la guiñada 408 de la góndola de turbina

eólica basándose en la salida del sistema de control, y reducir de ese modo vibraciones inducidas por el viento de la torre de turbina eólica.

La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra y desarrolla una realización del método según la presente invención.

En una etapa 1) de esta realización, se monitorizan las vibraciones en la parte de extremo más superior de la torre y/o en la góndola.

En respuesta a vibraciones por encima de un nivel umbral 508, en la etapa 2) se da una señal para regular la guiñada de la góndola una cantidad dada, por ejemplo, un ángulo, desde una primera posición 503 hasta una segunda posición 505.

Un período dado finaliza con la góndola detenida en la segunda posición en una etapa 3). El período dado puede elegirse como ejemplo para permitir que cualquier vibración de la torre y la góndola en la segunda posición se ajuste en un nivel de vibración cambiado.

Si el nivel de vibración cambiado todavía está por encima de un umbral, como se ilustra en la referencia 510, que puede ser igual o ligeramente diferente del nivel umbral mencionado en la etapa 1), se aplican las acciones descritas en la etapa 2), pero ahora desde la segunda posición y hasta una tercera posición.

Si el nivel de vibración cambiado está por debajo de un umbral, que puede ser igual o ligeramente diferente del nivel umbral mencionado en la etapa 1), la góndola permanece posicionada en la segunda posición como se ilustra en la referencia 512, y las vibraciones se monitorizan en la segunda posición como se indicó en la etapa 1).

En resumen, se da a conocer en el presente documento un método y un sistema de turbina eólica que reducen, previenen o mitigan vibraciones debidas a vibraciones inducidas por el viento. El sistema de turbina eólica incluye una torre de turbina eólica 102, una disposición de sensores 304 para detectar vibraciones de la torre de turbina eólica, una góndola 104 montada en la torre de turbina eólica a través de un cojinete de guiñada 310 y un sistema de control 306 para controlar la regulación de guiñada de la góndola con respecto a la torre de turbina eólica. El sistema está adaptado para detectar 402 una vibración de la torre de turbina eólica usando la disposición de sensores, proporcionar 404 una entrada para el sistema de control en respuesta a la vibración de la torre de turbina eólica detectada por la disposición de sensores, y proporcionar 406 una salida mediante el sistema de control basándose en la entrada, y regular la guiñada 408 de la góndola de turbina eólica basándose en la salida del sistema de control, y reducir de ese modo las vibraciones inducidas por el viento de la torre y la góndola, particularmente vibraciones inducidas por vórtice y/o vibraciones debidas a galope.

Aunque la presente invención se ha descrito en relación con las realizaciones especificadas, no debe interpretarse como que se limite de ninguna manera a los ejemplos presentados. El alcance de la presente invención se expone por el conjunto de reivindicaciones adjuntas. En el contexto de las reivindicaciones, los términos "que comprende" o "comprende" no excluyen otros posibles elementos o etapas. Además, la mención de referencias tales como "un" o "una", etc. no debe interpretarse como excluyente de una pluralidad. El uso de signos de referencia en las reivindicaciones con respecto a elementos indicados en las figuras tampoco se interpretará como limitante del alcance de la invención. Además, características individuales mencionadas en diferentes reivindicaciones, puede ser posible que se combinen ventajosamente, y la mención de estas características en diferentes reivindicaciones no excluye que una combinación de características no sea posible y ventajosa.

REIVINDICACIONES

1. Un método para reducir vibraciones inducidas por el viento de una torre de turbina eólica (102) de un sistema de turbina eólica, en el que el sistema de turbina eólica comprende:
 - 5 - la torre de turbina eólica (102),
 - una disposición de sensores (304) para detectar vibraciones de la torre de turbina eólica,
 - 10 - una góndola (104) montada en la torre de turbina eólica a través de un cojinete de guiñada (310),
 - un sistema de control (306) para controlar la regulación de guiñada de la góndola con respecto a la torre de turbina eólica, y en el que el método comprende:
 - 15 - detectar (402) una vibración de la torre de turbina eólica usando la disposición de sensores,
 - proporcionar una entrada (404) para el sistema de control en respuesta a la vibración de la torre de turbina eólica detectada por la disposición de sensores,
 - 20 - proporcionar una salida (406) mediante el sistema de control basándose en la entrada, y
 - regular la guiñada (408) de la góndola de turbina eólica basándose en la salida del sistema de control para reducir vibraciones inducidas por el viento de la torre de turbina eólica, y en el que después de que se ha regulado la guiñada de la góndola un ángulo dado desde una primera posición de guiñada (503) hasta una segunda posición de guiñada (505), la regulación de guiñada de la góndola se detiene en la segunda posición durante un primer período de tiempo, se detectan las vibraciones, y se proporciona una decisión de si regular la guiñada adicionalmente en respuesta a las vibraciones detectadas en la segunda posición de guiñada, en el que, cuando se aplica el método, el sistema de turbina eólica incluye un número menor de palas que cuando el sistema de turbina eólica está completamente instalado.
 - 25
 - 30
2. El método según la reivindicación 1, en el que el sistema de turbina eólica no incluye palas cuando se aplica el método.
3. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema de turbina eólica no está conectado a una red de distribución eléctrica y la potencia para regular la guiñada de la góndola de turbina eólica se suministra por un sistema de potencia de guiñada auxiliar.
- 35 4. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende que se detectan vibraciones en múltiples direcciones alrededor de la torre de turbina eólica.
- 40 5. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la regulación de guiñada de la góndola de turbina eólica basándose en la salida del sistema de control se proporciona cuando la vibración detectada está por encima de un umbral (510).
- 45 6. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende además que se detecta una orientación de la góndola usando un sensor de orientación de góndola, capaz de detectar una orientación de ángulo de guiñada de la góndola y que se usa una diferencia entre la orientación de la góndola y una dirección de una vibración detectada como entrada al sistema de control.
- 50 7. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende que un ángulo de guiñada de regulación de guiñada de la góndola con respecto a la torre de turbina eólica es de al menos 5 grados.
- 55 8. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende que se regula la guiñada de la góndola un determinado ángulo de guiñada en función de una amplitud de las vibraciones de la torre de turbina eólica con respecto a un umbral, o en función de un cambio de amplitud de las vibraciones de la torre de turbina eólica con respecto a una amplitud en una posición previa o anterior de la góndola.
- 60 9. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende que transcurre un período de ajuste de cualquier vibración de la torre de turbina eólica en una posición de guiñada y antes de decidir si se detiene durante un período prolongado en una posición de guiñada cambiada.
- 65 10. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las vibraciones inducidas por el viento son vibraciones inducidas por vórtice y/o vibraciones debidas a galope.

11. Un sistema de turbina eólica con un número menor de palas que cuando el sistema de turbina eólica está completamente instalado, comprendiendo el sistema de turbina eólica:
- 5
- una torre de turbina eólica (102),
 - una disposición de sensores (304) para detectar vibraciones de la torre de turbina eólica,
 - una góndola (104) montada en la torre de turbina eólica a través de un cojinete de guiñada (310),
- 10
- un sistema de control (306) para controlar la regulación de guiñada de la góndola, y en el que el sistema de turbina eólica está adaptado para:
- detectar (402) una vibración de la torre de turbina eólica usando la disposición de sensores,
- 15
- proporcionar una entrada (404) para el sistema de control en respuesta a la vibración de la torre de turbina eólica detectada por la disposición de sensores,
 - proporcionar una salida (406) mediante el sistema de control basándose en la entrada, y
- 20
- regular la guiñada (408) de la góndola de turbina eólica basándose en la salida del sistema de control para reducir vibraciones inducidas por el viento de la torre de turbina eólica, y en el que después de que se ha regulado la guiñada de la góndola un ángulo dado desde una primera posición de guiñada (503) hasta una segunda posición de guiñada (505), la regulación de guiñada de la góndola se detiene en la segunda posición durante un primer período de tiempo, se detectan las vibraciones, y se proporciona una decisión de si regular la guiñada adicionalmente en respuesta a las vibraciones detectadas en la segunda posición de guiñada.
- 25
12. Un programa informático para controlar el funcionamiento de una turbina eólica, el programa informático, cuando se ejecuta por un procesador de datos, está adaptado para llevar a cabo el método como se explica en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
- 30

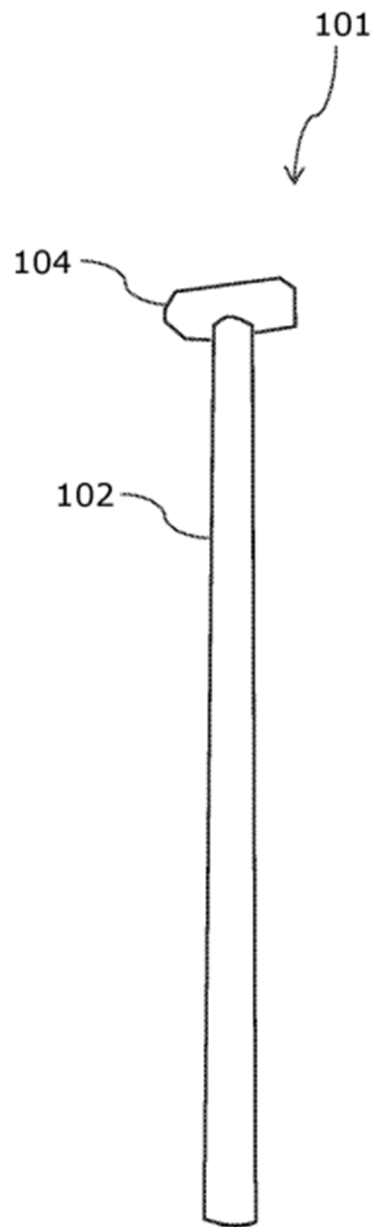


FIG. 1

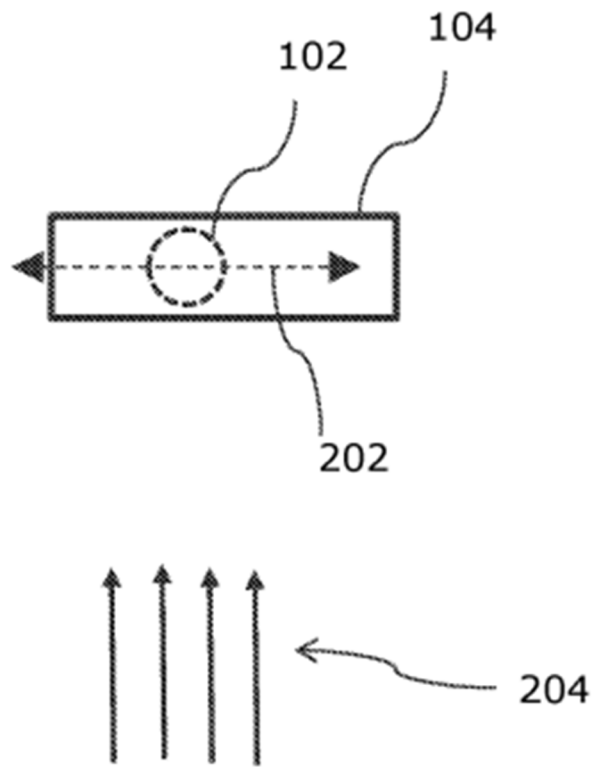


FIG.2

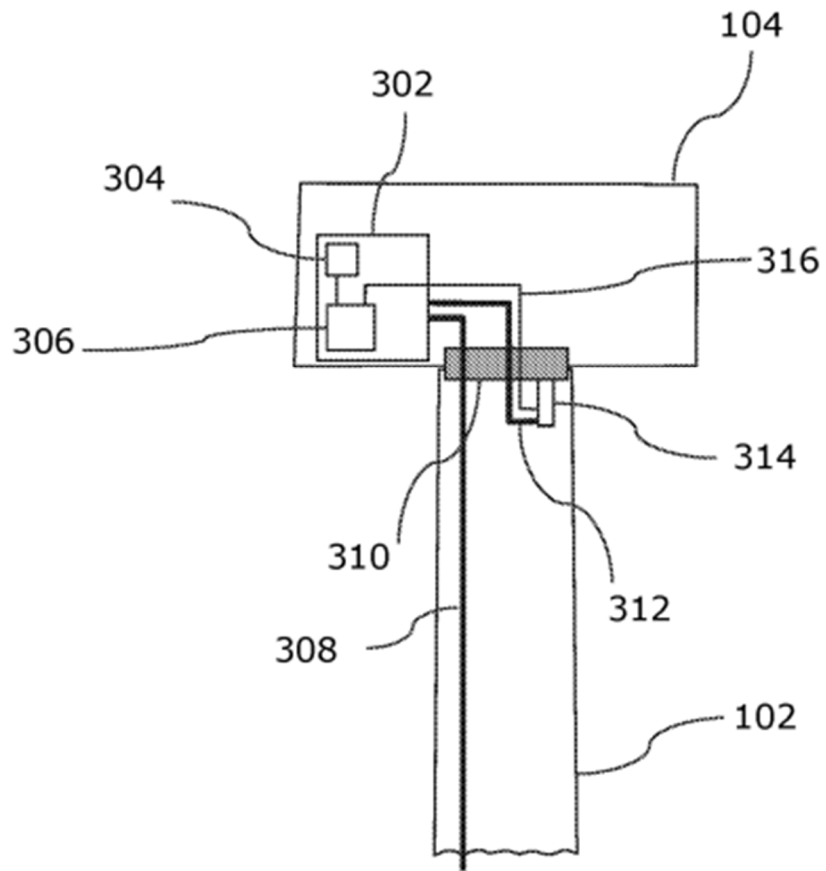


FIG.3

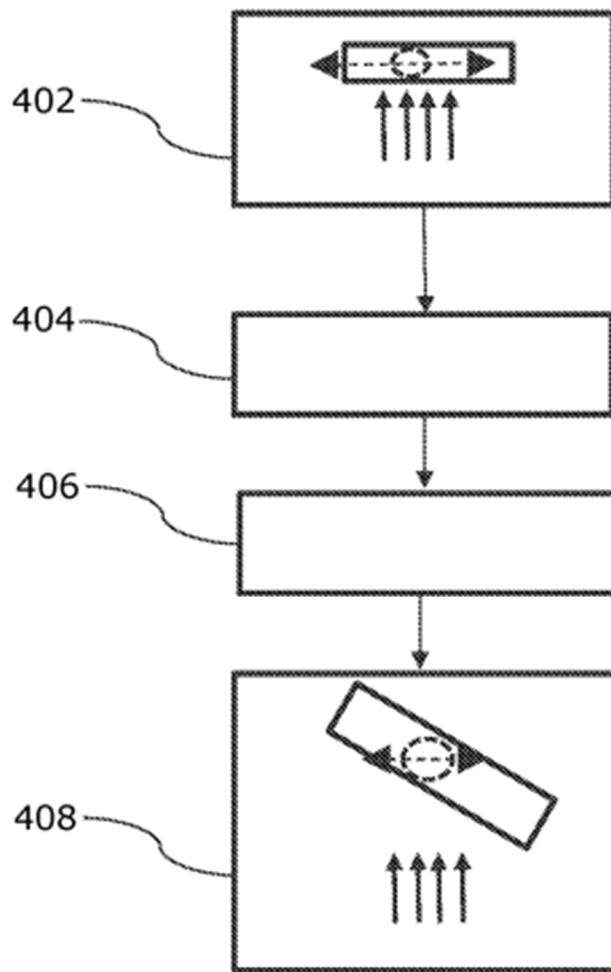


FIG.4

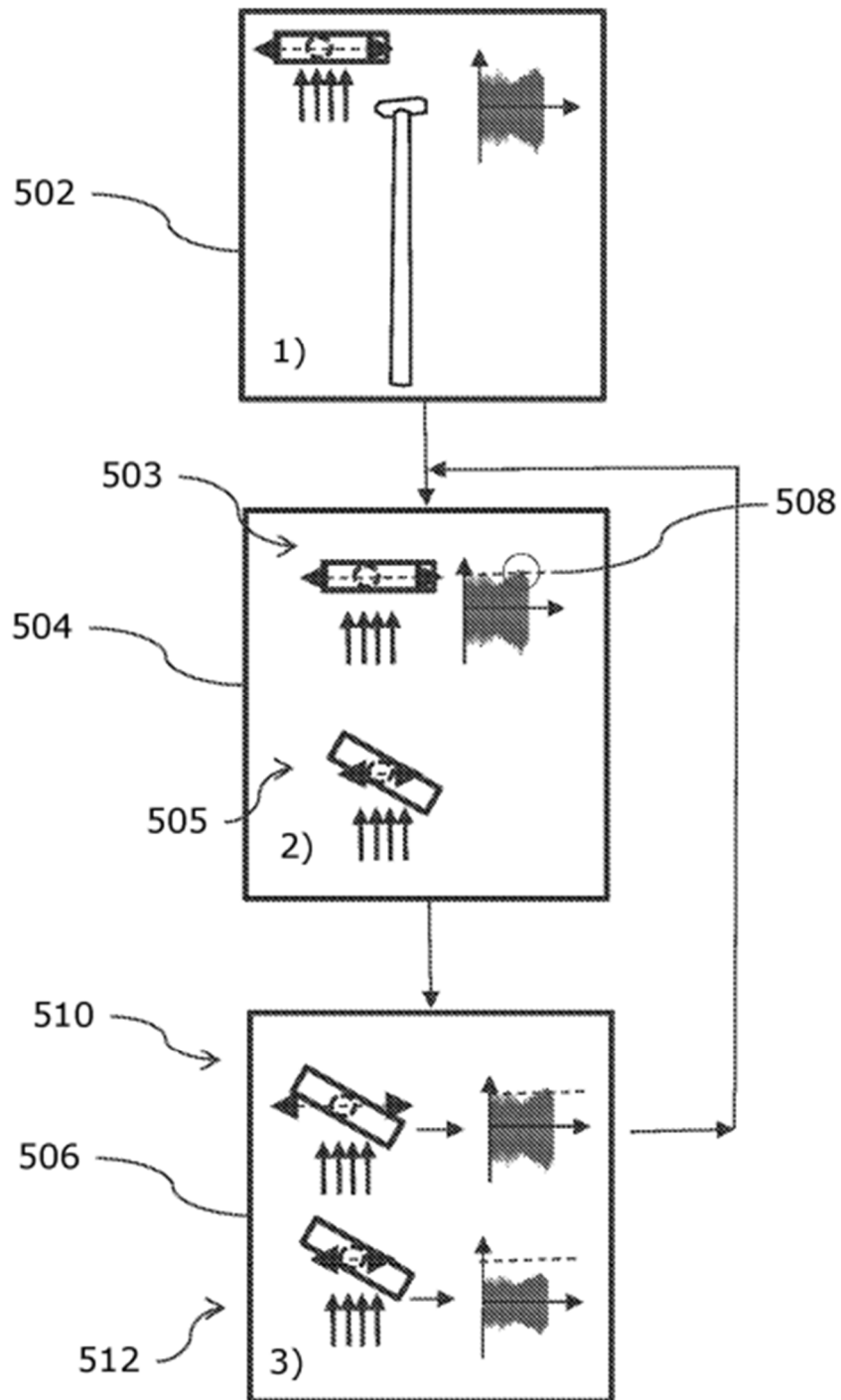


FIG.5