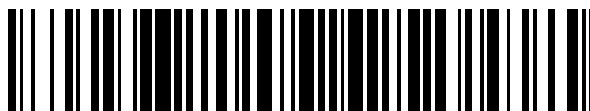


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 588 914**

51 Int. Cl.:

F03D 80/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.06.2009 PCT/EP2009/058141**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2010 WO10000711**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2009 E 09772411 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.08.2016 EP 2315940**

54 Título: **Dispositivo de ensayo para someter a ensayo palas para una turbina eólica**

30 Prioridad:

30.06.2008 DK 200800906

30.06.2008 US 133694 P

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

07.11.2016

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 AARHUS N, DK

72 Inventor/es:

GUY, STUART

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 588 914 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

Dispositivo de ensayo para someter a ensayo palas para una turbina eólica

Introducción

- 5 La invención se refiere a un dispositivo de ensayo para someter a ensayo palas para una turbina eólica. El dispositivo de ensayo comprende una estructura de fijación en la que puede fijarse una pala para una turbina eólica y una estructura de accionamiento que está dispuesta para provocar la excitación de la pala y provocar un movimiento de oscilación y la curvatura de la pala.

Antecedentes

- 10 Las turbinas eólicas para producir electricidad usan normalmente palas de turbina alargadas que se extienden radialmente desde un buje. El buje está montado en un árbol que impulsa un generador. Las turbinas eólicas se hacen cada vez más grandes, y por tanto aumentan las cargas estáticas y dinámicas sobre las palas de turbina.

- 15 En ensayos de palas, las cargas estáticas pueden ser útiles para evaluar la rigidez y la resistencia a la rotura de una pala de turbina. Sin embargo, en la práctica, la carga sobre una pala de turbina eólica varía de manera constante y para evaluar la resistencia a la fatiga de la pala, puede aplicarse una carga cíclica en grandes instalaciones de ensayo.

- 20 El documento US 2006/037402 da a conocer un aparato para aplicar al menos una carga a una muestra. En una realización, el aparato puede comprender una masa. Un accionador montado en la muestra y asociado operativamente con la masa mueve la masa a lo largo de una trayectoria de desplazamiento lineal que es perpendicular a un eje longitudinal de la muestra. Un sistema de control asociado operativamente con el accionador hace funcionar el accionador para mover con un movimiento de vaivén la masa a lo largo de la trayectoria de desplazamiento lineal a una frecuencia de vaivén, siendo la frecuencia de vaivén aproximadamente igual a una frecuencia de resonancia de la muestra en una configuración de ensayo.

Durante un ensayo típico, una carga pesada gira de manera excéntrica. La carga se ajusta a la pala en una ubicación entre el extremo del buje y el extremo de punta de la pala y por tanto hace que oscile la pala.

- 25 Desafortunadamente, la masa giratoria y la pala oscilante requieren instalaciones de construcción para trabajos pesados muy grandes debido a las fuerzas muy grandes que se transfieren al suelo y otros componentes de construcción durante el movimiento de oscilación de los componentes muy pesados.

La industria de las turbinas eólicas requiere un método rentable y conveniente para someter a ensayo palas de turbina eólica grandes en fatiga para mejorar la fiabilidad en el diseño y la fabricación.

- 30 A medida que aumenta el tamaño de las palas de turbina eólica, los dispositivos de ensayo de fatiga requieren cimientos que son caros y lleva mucho tiempo construirlos. Además, hoy en día se fabrican palas de turbina eólica en muchas ubicaciones en todo el mundo y se solicitan dispositivos de ensayo portátiles que puedan someter a ensayo palas donde se fabrican en un intento por reducir los costes de transporte y ahorrar tiempo.

- 35 También es deseable reducir el impacto del equipo de ensayo sobre su entorno ambiental, por ejemplo la carga sobre el edificio en el que funciona el equipo de ensayo etc.

Descripción de la invención

- 40 Es un objeto de la invención proporcionar un dispositivo de ensayo más flexible, más ligero o que pueda moverse más fácilmente para someter a ensayo grande palas para turbinas eólicas. Es un objeto adicional facilitar ensayos de palas con requisitos reducidos en cuanto a resistencia y durabilidad del complejo de construcción de la instalación de ensayo.

- 45 Según un primer aspecto, la invención proporciona un dispositivo de ensayo para someter a ensayo palas para una turbina eólica, comprendiendo el dispositivo de ensayo una estructura de fijación en la que puede fijarse un extremo de raíz de una pala de turbina eólica, una estructura de masa de carga que se extiende desde la estructura de fijación, y una estructura de accionamiento que puede aplicar una fuerza a la estructura de masa de carga de modo que se establece una resonancia contrarrestada, por ejemplo entre la masa de carga y una pala que está fijada en la estructura de fijación o entre la masa de carga y una masa de carga adicional.

- 50 Puesto que la fuerza se aplica para establecer una resonancia contrarrestada entre la masa de carga y la pala, el dispositivo no transmite las mismas fuerzas de reacción al suelo u otros componentes de construcción, y por tanto el dispositivo de ensayo puede usarse dentro de un rango más amplio de instalaciones de ensayo y construcción, y pueden reducirse posibles daños de la construcción, por ejemplo el suelo.

La palas pueden ser en general cualquier tipo de pala para una turbina eólica, y normalmente tales palas están dotadas de una brida mediante la que se conecta la pala al buje de la turbina eólica. La estructura de fijación debe

transferir un movimiento de oscilación de la masa de carga a la pala, y por tanto la pala debe fijarse de manera relativamente sólida a la estructura de fijación.

La pala podría fijarse a la estructura de fijación mediante cualquier tipo de medios de fijación. Como ejemplo, la pala podría sujetarse con pernos sobre la estructura de fijación. De hecho, la estructura de fijación puede estar constituida en parte por un elemento con la forma, o que al menos actúa de manera funcional como el buje de esa turbina eólica para la que se diseña la pala. Por consiguiente, la estructura de fijación puede comprender una brida de fijación en forma de anillo con varios orificios pasantes. Para unir la pala, podría disponerse una brida de extremo en forma de anillo coincidente de la pala contra la brida de fijación, y la pala podría sujetarse con pernos mediante pernos que se extienden a través de los orificios en la brida de fijación en forma de anillo en roscados internos en el extremo de raíz de la pala de turbina eólica. De esta manera, puede someterse a ensayo no solo la pala sino también la superficie de contacto entre la pala y el buje.

La estructura de accionamiento comprende una parte de accionamiento que podría impulsarse eléctrica, hidráulica o neumáticamente, y podría incluir un elemento de giro con una masa o un brazo de palanca unido de manera excéntrica. Para evitar una carga excesiva y posibles daños del dispositivo, la estructura de accionamiento está preferiblemente en contacto constante con la estructura de masa de carga. Como ejemplo, la parte de accionamiento de la estructura de accionamiento comprende una parte móvil que se mueve con relación a una parte fija. La parte móvil podría sujetarse con pernos, ajustarse o sujetarse de otra manera a la masa de carga mientras que la parte fija se sujeta con pernos o se sujeta de otra manera al suelo debajo del dispositivo o a otros componentes de construcción fijos. La parte de accionamiento puede comprender un accionador convencional, por ejemplo en forma de un pistón impulsado hidráulicamente o impulsado eléctricamente que se mueve en un cilindro.

La estructura de accionamiento está dispuesta para provocar la excitación del movimiento de la estructura de masa de carga mediante contacto con la estructura de masa de carga en un punto de excitación de la misma. La estructura de accionamiento puede ser, por ejemplo, móvil con relación a la estructura de masa de carga de modo que el punto de excitación puede seleccionarse a lo largo de la estructura de masa de carga.

Para mantener la frecuencia natural de la masa de carga tan alta como sea posible, puede ser una ventaja diseñar la estructura de accionamiento de modo que no aumente el peso de la estructura de masa de carga, por ejemplo teniendo el peso de la estructura de accionamiento soportada totalmente por el edificio en el que funciona el dispositivo, por ejemplo soportada por el suelo. Lo mismo se aplica para la pala que preferiblemente no debe sobrecargarse con ningún elemento unido a la misma.

La estructura de accionamiento puede además comprender un sistema de control de accionamiento que selecciona una frecuencia de excitación para el sistema. La frecuencia de excitación puede seleccionarse, por ejemplo, para proporcionar una fuerza de entrada mínima con respecto a la amplitud de la oscilación lograda de la pala. La frecuencia de excitación más eficiente estará normalmente en, o cerca de una frecuencia natural de la masa de carga y/o la pala.

La frecuencia podría modularse mediante un generador de onda sinusoidal digital controlado por un PC.

La fuerza de entrada podría determinarse de varias maneras diferentes. Una manera es disponiendo una estructura sensible a la deformación, por ejemplo una galga extensiométrica, una fibra óptica o medios similar entre la parte de accionamiento y la masa de carga o en diferentes ubicaciones en la parte de accionamiento y/o en la masa de carga y/o en la pala que se somete a ensayo. Cuando se desvía la pala, la estructura sensible a la deformación proporciona una señal que representa la fuerza mediante la cual la parte de accionamiento influye en la pala. Otra manera es medir la cantidad de energía que se consume por la parte de accionamiento durante la desviación de la pala. Aún otra manera es medir la desviación de un enlace entre la masa de carga y la parte de accionamiento.

Pueden tomarse muestras de la señal de la estructura sensible a la deformación o señal similar que representa la fuerza que es necesaria para hacer que se desvíe la pala, en un periodo de tiempo en el que se modula la frecuencia. Relacionando las frecuencias con las fuerzas de entrada de las que se tomaron muestras, puede determinarse a qué frecuencia es necesaria la menor fuerza de entrada.

La fuerza aplicada a la masa de carga puede ser particularmente una fuerza sinusoidal. Por fuerza sinusoidal se entiende en el presente documento una definición más amplia de la amplitud de la fuerza que tiene una serie de ondas o curvas, es decir se varía la fuerza para obtener un movimiento de oscilación de masa de carga y la pala en resonancia contrarrestada. La amplitud de la fuerza puede seguir una forma de seno exacta matemática, pero no tiene que seguir necesariamente tal forma sinusoidal matemática exacta.

Por resonancia contrarrestada se entiende en el presente documento que la estructura de masa de carga y la pala se mueven con la misma frecuencia en diferentes sentidos, por ejemplo en sentidos opuestos, es decir por ejemplo la pala y la estructura de masa de carga se mueven la una hacia la otra o se alejan la una de la otra.

Para facilitar la resonancia contrarrestada, la estructura de masa de carga puede disponerse en, o formar parte de uno o más brazos de carga alargados que se extienden desde la estructura de fijación o al menos desde un lugar en las proximidades de la estructura de fijación. La estructura de masa de carga se conecta a la estructura de fijación

de modo que el movimiento de oscilación de la estructura de masa de carga se transfiere a la estructura de fijación y desde ahí además a la pala que se somete a ensayo.

5 En particular, la estructura de masa de carga puede estar constituida por dos brazos de carga que se extienden desde la estructura de fijación en lados opuestos de la pala. Los dos brazos de carga pueden ser en particular brazos idénticos con geometría y/o peso idénticos. En una realización, los brazos de carga están unidos de manera desmontable a la estructura de fijación de modo que un brazo de carga pueda reemplazarse por otro brazo, por ejemplo para cambiar la geometría o el peso del brazo.

La estructura de accionamiento puede comprender al menos un accionador para cada brazo de carga.

10 Para permitir el ensayo de palas que tienen una geometría o un peso diferentes y, por tanto, una frecuencia natural diferente, el dispositivo puede incluir medios de ajuste mediante los que puede cambiarse la masa de la estructura de masa de carga, o mediante los que puede cambiarse la longitud en la que se extiende la estructura de masa de carga alejándose desde la estructura de fijación.

15 Los brazos de carga mencionados anteriormente pueden tener, por ejemplo, una longitud variable, o cada brazo puede comprender una masa de reacción que o bien es móvil con relación al brazo que o bien es desmontable y por tanto permite el reemplazo por una masa de reacción con un peso diferente. En una realización, pueden unirse uno o más elementos, por ejemplo, de diferente peso a lo largo de un brazo de una longitud fija o variable. De esta manera, la frecuencia natural del brazo de carga puede ajustarse mediante la selección de una distancia específica desde la estructura de fijación hasta el elemento o elementos.

20 De esta manera, puede variarse la distancia desde la masa de reacción o bien hasta el punto de excitación o bien hasta la estructura de fijación o puede cambiarse la masa de la estructura de masa de carga.

25 Para permitir variaciones en la frecuencia de resonancia de la pala, puede además confinarse la pala o fijarse en diferentes ubicaciones a lo largo de la pala. Como ejemplo, el ensayo puede ser interesante particularmente con respecto a un extremo de punta de la pala. Fijando la pala al suelo o cualquier otro obstáculo circundante en una ubicación entre el extremo del buje y el extremo de punta de la pala, el extremo de punta de la pala puede oscilar más rápido, y puede disminuirse adicionalmente la duración del ensayo. Por consiguiente, el dispositivo puede comprender al menos un medio de fijación que puede ajustarse para permitir la fijación de la pala a un objeto circundante en ubicaciones diferentes a lo largo de la pala.

30 El dispositivo puede comprender un accionador adicional adaptado para desviar la pala a una frecuencia de excitación que podría ser igual a la frecuencia de la parte de accionamiento mencionada anteriormente o que podría ser diferente de la frecuencia de excitación de la parte de accionamiento mencionada anteriormente. El accionador adicional podría colocarse de manera ajustable a lo largo de la pala para provocar la desviación en diferentes puntos a lo largo de la pala.

35 De hecho, para permitir variaciones en la frecuencia de resonancia de la pala, el dispositivo puede comprender cualquier número de dispositivos de unión para fijar la pala a un objeto circundante, por ejemplo al suelo del área de ensayo, y cualquier número de accionadores dispuestos para desviar la pala en diferentes ubicaciones a lo largo de la pala.

El dispositivo puede comprender una base que soporta la colocación del dispositivo de ensayo sobre un suelo y que permite el movimiento giratorio de la estructura de fijación y la estructura de masa de carga alrededor de un punto de articulación con relación a la base.

40 La estructura de fijación puede adaptarse para fijar una pala de modo que se extienda sin estar soportada desde la estructura de fijación en su longitud completa. Con este propósito, el dispositivo puede comprender una estructura de anclaje, que ancla el dispositivo a un suelo o una pared de un edificio en el que se coloca el dispositivo. Mediante la estructura de anclaje, el momento de inercia de la pala en el dispositivo puede transferirse a un componente de construcción fijo.

45 El dispositivo puede comprender además una estructura de amortiguación dispuesta para amortiguar el movimiento de la estructura de masa de carga y/o para amortiguar el movimiento de una pala que se somete a ensayo. La estructura de amortiguación puede comprender un cuerpo de un material deformable elásticamente, por ejemplo material de caucho, que está dispuesto entre un componente de construcción fijo y la estructura de masa de carga.

50 En un segundo aspecto, la invención proporciona un método de ensayo de una pala para una turbina eólica, comprendiendo el método fijar la pala a la estructura de fijación de un dispositivo del tipo según el primer aspecto de la invención. La pala se mueve y desvía aplicando una fuerza sinusoidal a la estructura de masa de carga, aplicándose la fuerza de modo que se establece una resonancia contrarrestada entre la estructura de masa de carga y la pala.

55 El método puede comprender en particular la etapa o etapas de modular repetidamente la frecuencia y posteriormente volver a seleccionar la frecuencia de excitación durante un ensayo. Esto es para tener en cuenta

cambios en la frecuencia natural de una pala, y para ensayos de larga duración, esto puede ser importante para el resultado del ensayo así como para la economía del ensayo.

En un tercer aspecto, la invención proporciona un sistema de control para controlar un dispositivo del tipo descrito con relación al primer aspecto de la invención. El sistema de control está adaptado para modular una frecuencia de excitación a la que la estructura de accionamiento aplica una fuerza a la estructura de masa de carga, para determinar una potencia de entrada consumida por la estructura de accionamiento para aplicar la fuerza a la estructura de masa de carga, para determinar una amplitud de movimiento de la pala o estructura de masa de carga, y para seleccionar una frecuencia de excitación basándose en una razón entre la fuerza de entrada y la amplitud. La invención puede implementarse en un producto de software para la ejecución en un PC convencional mediante una interfaz convencional a un servoamplificador o mediante una interfaz similar al accionador.

El dispositivo y método pueden aplicarse de hecho para someter a ensayo palas no solo para turbinas eólicas sino también para someter a ensayo palas de hélice para ventiladores, barcos, helicópteros etc.

Descripción detallada

En lo que sigue, se describirán realizaciones de la invención con detalles adicionales con referencia a los dibujos, en los que:

la figura 1 ilustra un dispositivo de ensayo según la invención en una vista desde arriba; y

la figura 2 ilustra el dispositivo de ensayo de la figura 1 en una vista lateral.

El dispositivo de ensayo 1 es adecuado para someter a ensayo palas para una turbina eólica, pero también puede usarse para someter a ensayo componentes alargados similares de gran tamaño, por ejemplo de hasta 50 metros de longitud o más. El dispositivo de ensayo 1 comprende una estructura de fijación 2 en la que puede fijarse un extremo de raíz 3 de una pala de turbina eólica 4. El dispositivo comprende una estructura de masa de carga 5 con brazos 6, 7 que se extienden desde la estructura de fijación 2 en lados opuestos de la pala 4. Los brazos 6, 7 se extienden entre la estructura de fijación 2 y las masas de reacción 8, 9. Las masas de reacción se proporcionan de modo que el peso de cada masa puede variarse individualmente añadiendo elementos de peso adicionales o retirando elementos de peso de cada brazo. Adicionalmente, las masas de reacción pueden ubicarse en diversas ubicaciones a lo largo de los brazos.

El dispositivo comprende además una estructura de accionamiento con accionadores 10 dispuestos por debajo de cada una de las estructuras de masa de carga. Los accionadores pueden controlarse con la aplicación de una fuerza sinusoidal a la estructura de masa de carga de modo que se establece una resonancia contrarrestada entre las estructuras de masa de carga y la pala 4.

El dispositivo de ensayo comprende además una base 11 que soporta la colocación del dispositivo de ensayo sobre un suelo horizontal 12. La estructura de fijación 2 y la estructura de masa de carga 5 están articuladas de manera giratoria a la base de modo que pueden girar alrededor del pasador 13.

Tal como se ilustra, la estructura de fijación es suficientemente resistente y el dispositivo está anclado al suelo, lo que permite que la pala pueda extenderse sin estar soportada desde la estructura de fijación en su longitud completa.

La estructura de amortiguación 14 se proporciona debajo de cada brazo y amortigua el movimiento de oscilación de los mismos.

El dispositivo comprende además un sistema de control que no se ilustra en la figura 1 pero que se describe en lo que sigue con detalles adicionales:

El sistema de control puede comprender un conjunto de estructuras sensibles a la deformación que pueden fijarse a la pala o la estructura de masa de carga en diferentes ubicaciones. Las estructuras sensibles a la deformación pueden usarse para determinar una desviación, por ejemplo para determinar la amplitud de la desviación, o las estructuras sensibles a la deformación pueden usarse para determinar una condición general de la pala, por ejemplo para observar cambios en la pala durante la totalidad del ensayo de fatiga. Las señales de las estructuras sensibles a la deformación se recopilan y se usan en un algoritmo de modulación de frecuencia.

El sistema de control comprende además una estructura de modulación de frecuencia que puede realizar las siguientes etapas:

- En primer lugar se selecciona manualmente una aproximación de la frecuencia natural.
- El sistema de control modula de manera continuamente la frecuencia en una pequeña cantidad por encima y por debajo de la frecuencia seleccionada.
- El sistema de control monitoriza la amplitud de las estructuras sensibles a la deformación y compara esta

con la fuerza de entrada media y calcula la eficiencia.

- La frecuencia seleccionada se restablece entonces al valor que proporciona la eficiencia más alta. De esta manera, la frecuencia de funcionamiento se mueve automáticamente hacia la condición de funcionamiento más eficiente para condiciones variables.
- 5 – Un bucle de control independiente que está ejecutándose de manera simultánea garantiza que la amplitud de la deformación se mantiene al nivel requerido para el ensayo.

El algoritmo de frecuencia emite señales de control para el control de modulación de amplitud y frecuencia. La señal de control podría estar en forma de tensiones proporcionales a la amplitud y frecuencia como entradas al generador de onda sinusoidal digital.

- 10 Por ejemplo, la señal la recibe un generador de señal digital que genera en respuesta una señal para controlar el accionador, por ejemplo una señal de encendido/apagado o una señal proporcional para una válvula que controla un flujo de un fluido a presión hasta un accionador hidráulico.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de ensayo (1) para someter a ensayo palas (4) para una turbina eólica, comprendiendo el dispositivo de ensayo (1) una estructura de fijación (2) en la que puede fijarse un extremo de raíz (3) de una pala de turbina eólica (4),
- 5 caracterizado por una estructura de masa de carga (5) que se extiende desde la estructura de fijación (2), y una estructura de accionamiento que puede aplicar una fuerza a la estructura de masa de carga (5) de modo que se establece una resonancia contrarrestada.
2. Dispositivo de ensayo (1) según la reivindicación 1, en el que la estructura de masa de carga (5) comprende al menos un brazo de carga (6, 7) que se extiende desde la estructura de fijación (2), comprendiendo cada
- 10 brazo de carga (6, 7) una masa de reacción (8, 9) que puede moverse con relación a la estructura de fijación (2).
3. Dispositivo de ensayo (1) según la reivindicación 2, en el que los brazos de carga (8, 9) se extienden desde lados opuestos de un punto de fijación desde el que se extiende una pala (4), que está fijada en la estructura de fijación (2).
- 15 4. Dispositivo de ensayo (1) según la reivindicación 2 ó 3, en el que la estructura de accionamiento comprende al menos un accionador (10) para cada brazo de carga (8, 9).
5. Dispositivo de ensayo (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estructura de accionamiento puede moverse con relación a la estructura de masa de carga (5) de modo que un punto de
- 20 excitación en el que la estructura de accionamiento entra en contacto con la estructura de masa de carga (5) puede seleccionarse en diferentes ubicaciones en la estructura de masa de carga (5).
6. Dispositivo de ensayo (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una base (11) que soporta la colocación del dispositivo de ensayo (1) sobre un suelo (12), en el que la estructura de fijación (2) y la estructura de masa de carga (5) están articuladas de manera giratoria a la base (11).
- 25 7. Dispositivo de ensayo (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estructura de fijación (2) está adaptada para fijar una pala (4) de modo que puede extenderse sin estar soportada desde la estructura de fijación (2) en su longitud completa.
8. Dispositivo de ensayo (1) según la reivindicación 7, que comprende una estructura de anclaje mediante la que puede anclarse el dispositivo (1) a un componente de construcción fijo.
- 30 9. Dispositivo de ensayo (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una estructura de amortiguación (14) dispuesta para amortiguar movimiento de la estructura de masa de carga (5).
10. Dispositivo de ensayo (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estructura de accionamiento comprende un sistema de control de accionamiento que puede seleccionar una frecuencia
- 35 de excitación para el sistema.
11. Dispositivo de ensayo (1) según la reivindicación 10, en el que el sistema de control puede analizar oscilación de la estructura de masa de carga (5) o una pala (4) que está fijada en la estructura de fijación (2), y basándose en ello, seleccionar una frecuencia de excitación que proporciona una fuerza de entrada mínima con relación a la amplitud de la oscilación lograda de la pala (4) o estructura de masa de carga (5).
- 40 12. Dispositivo de ensayo (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fuerza aplicada a la estructura de masa de carga (5) es una fuerza sinusoidal.
13. Dispositivo de ensayo (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la resonancia contrarrestada se establece entre la estructura de masa de carga (5) y una pala (4) que está fijada en la estructura de fijación (2).
- 45 14. Método de ensayo de una pala (4) para una turbina eólica, comprendiendo el método fijar la pala (4) a la estructura de fijación (2) de un dispositivo (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1-11, y provocar la excitación de un movimiento de oscilación en la pala (4) aplicando una fuerza sinusoidal a la estructura de masa de carga (5), aplicándose la fuerza de modo que se establece una resonancia contrarrestada entre la estructura de masa de carga (5) y la pala (4).
- 50 15. Método según la reivindicación 14, en el que el movimiento es excitado a una frecuencia de excitación y una fuerza de entrada, modulándose al menos una de ellas durante el ensayo.
16. Dispositivo de ensayo (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1-13, que comprende además un

- 5 sistema de control adaptado para modular una frecuencia de excitación a la que la estructura de accionamiento aplica una fuerza a la estructura de masa de carga (5), para determinar una potencia de entrada consumida por la estructura de accionamiento cuando se aplica fuerza a la estructura de masa de carga (5), para determinar una amplitud de movimiento de la pala (4) o estructura de masa de carga (5), y para seleccionar una frecuencia de excitación basándose en una relación entre la fuerza de entrada y la amplitud.

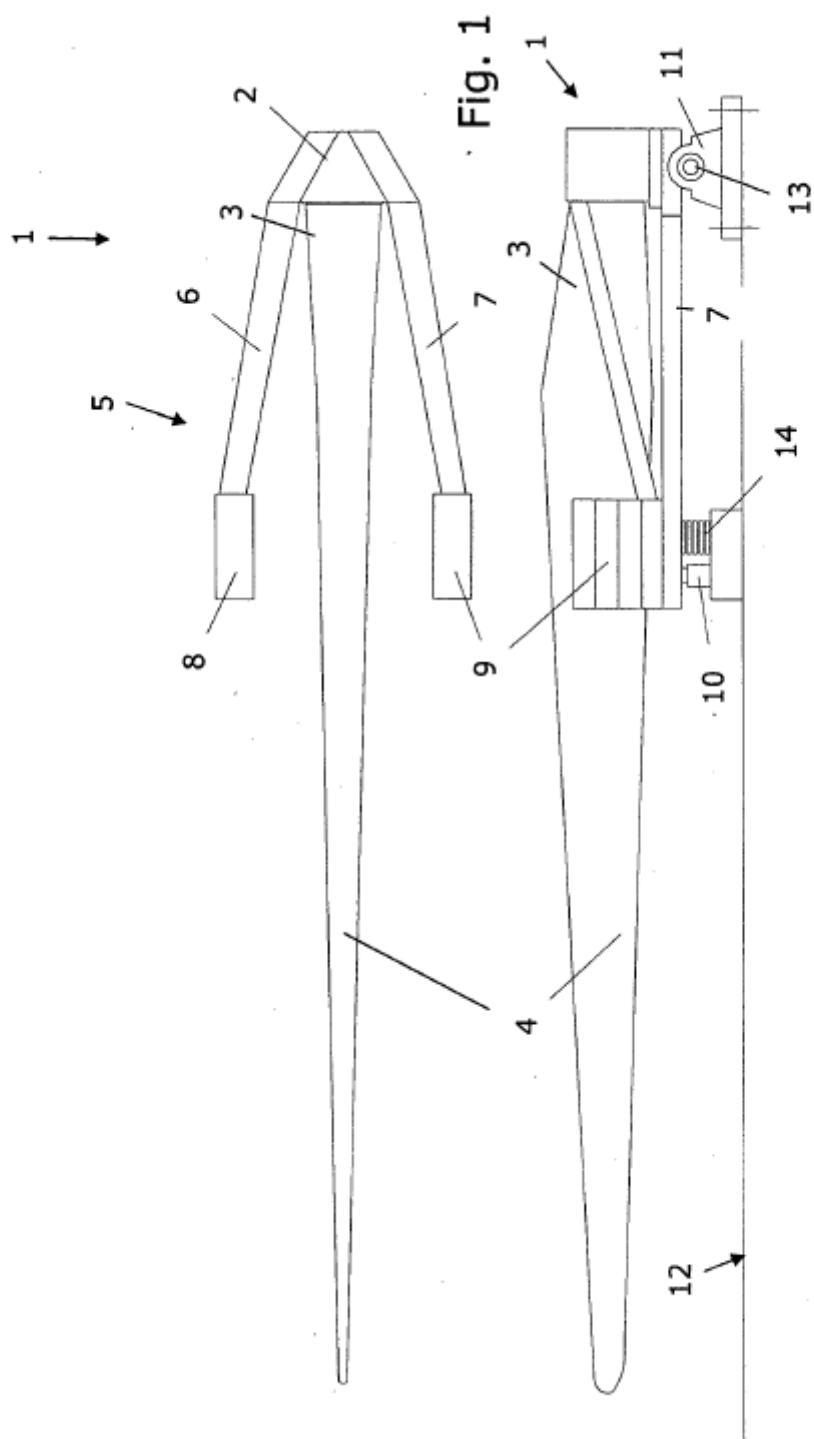


Fig. 2