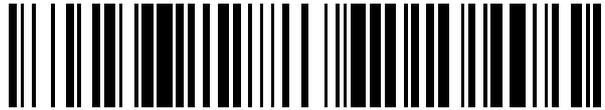


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 703 759**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.12.2013 PCT/EP2013/075606**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.06.2014 WO14086901**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.12.2013 E 13799321 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018 EP 2929179**

54 Título: **Instalación de energía eólica así como procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

**05.12.2012 DE 102012222323**

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

**12.03.2019**

73 Titular/es:

**WOBBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)  
Borsigstrasse 26  
26607 Aurich, DE**

72 Inventor/es:

**STOLTENJOHANNES, JÜRGEN;  
BOHLEN, THOMAS;  
HARMS, HARRO;  
BRENNER, ALBRECHT y  
SCHLÜTER, RAINER**

74 Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

**ES 2 703 759 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**

Instalación de energía eólica así como procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica para la generación de energía eléctrica a partir de energía eólica. Además, la presente invención se refiere a una instalación de energía eólica correspondiente con un rotor con palas de rotor con un eje de giro esencialmente horizontal.
- 10 Las instalaciones de energía eólica se conocen en general y el tipo de instalación de energía eólica a encontrar con más frecuencia hoy en día es una así denominada instalación de energía eólica de eje horizontal. Aquí un rotor con palas de rotor gira alrededor de un eje de giro esencialmente horizontal. El eje de giro puede estar ligeramente inclinado, p. ej. en pocos grados, pero en el mundo especializado se designa no obstante como eje horizontal, concretamente en contraposición con tipos de instalación completamente diferentes, como por ejemplo un así
- 15 denominado rotor Darrieus.

El rotor de una instalación de energía eólica de eje horizontal semejante barre un plano de rotor o superficie de rotor esencialmente vertical. Esta superficie de rotor también se extiende en las instalaciones de energía eólica modernas en la dirección vertical en una medida considerable. A este respecto, cada pala de rotor alcanza, durante una vuelta

20 y gracias a su punta de pala, una vez en una posición a las 6 horas el punto más profundo de esta superficie de rotor y en la posición a las 12 horas el punto más elevado de esta superficie de rotor. A este respecto, este punto más elevado se puede situar en ocasiones más elevado en un múltiplo que el punto más profundo. Por ejemplo, una instalación de energía eólica de ENERCON del tipo E-82 presenta un diámetro de rotor de 82 m y hay una variante en la que la altura de buje, es decir, la altura de eje o el centro de la superficie de rotor está dispuesto a la altura de

25 78 m. El punto más profundo se sitúa aquí así a una altura de 37 m y este punto más elevado a una altura de 119 m. El punto más elevado se sitúa por consiguiente más de tres veces más alto que el punto más profundo. Incluso en el caso de alturas de buje mayores existe una diferencia de altura considerable entre este punto más profundo y más elevado de la pala de rotor.

30 Desde puntos de vista prácticos se debe prestar atención a que el viento presenta un perfil de altura natural, por lo tanto – para alturas relevantes – es más elevado o más intenso con altura creciente sobre la base. La diferencia de altura de la superficie de rotor barrida conduce por consiguiente a que exista correspondientemente un viento de diferente intensidad. Correspondientemente el viento en el punto más profundo es el más débil y en el punto más

35 elevado el más intenso. En otras palabras es tal que las instalaciones de energía eólica se someten a flujos de cizallamiento marcados más o menos intensamente dentro de la capa límite atmosférica. Esto se puede designar como perfil de altura de viento y este perfil de altura de viento provoca una fluctuación de los ángulos de ataque locales en la pala de rotor durante el funcionamiento de una instalación de energía eólica, de modo que pueden aparecer cargas alternantes indeseadas y una entrega del par de fuerzas no homogénea. También pueden aparecer

40 fuertes emisiones de ruido debido al desprendimiento de flujo en la pala de rotor.

Aquí se indica que la presente consideración contempla en particular estos problemas debido al perfil de altura de viento y hace referencia a ellos. De forma agravante los vientos con diferente turbulencia también pueden conducir naturalmente a diferentes consideraciones. No obstante, estos problemas se dejan de lado aquí ya que con frecuencia se pueden desatender y en tanto que no se pueden desatender requieren una consideración por

45 separado lo que no es aquí el objeto.

Para direccionar este problema o estos problemas, en el documento US 6,899,523 ya se ha propuesto un diseño de pala que presenta diferentes secciones, que están diseñadas para diferentes velocidades específicas. Por el documento US 2010/0290916 se conoce un así denominado de pala integrador, en el que la pala de rotor está

50 concebida de modo que a lo largo de un ángulo de ataque o ángulo de incidencia lo mayor posible todavía presenta una fineza satisfactoria. Por consiguiente allí se ha propuesto no optimizar la pala en lo posible a un ángulo de ataque individual lo más óptimo posible, sino mejor hacer posible un rango algo mayor, referido al ángulo de ataque, aún cuando ya no sea totalmente óptima la fineza para un ángulo de ataque óptimo.

55 No obstante, con tamaño creciente de las instalaciones de energía eólica también pueden aumentar las diferencias debido al perfil de altura de viento y por consiguiente los problemas correspondientes.

La Oficina Alemana de Patentes y Marcas ha investigado el siguiente estado de la técnica en la solicitud de prioridad de la presente solicitud: US 6,899,523 B2, US 2010 / 0 074 748 A1, US 2010 / 0 078 939 A1, US 2010 / 0 092 288

60 A1, US 2010 / 0 290 916 A1 Y BOSSANYI, E. A.: Individual Blade Pitch Control for Load Reduction. En: Wind

Energy, vol. 6, 2003, pág. 119-128. – ISSN Online: 1099-1824.

El documento US 7 118 339 B2 da a conocer un procedimiento según el preámbulo de la reivindicación 1.

5 La presente invención tiene por consiguiente el objetivo de direccionar al menos uno de los problemas mencionados. En particular se debe proponer una solución en la que se reduzcan las cargas originadas por el perfil de altura de viento, se reduzcan las emisiones de ruidos y/o se eleven los rendimientos. Al menos se debe proponer una solución alternativa.

10 Según la invención se propone un procedimiento según la reivindicación 1.

Por consiguiente se hace funcionar una instalación de energía eólica que presenta un rotor aerodinámico con palas de rotor con un eje de giro esencialmente horizontal, a fin de generar energía eléctrica a partir de energía eólica.

15 La instalación de energía eólica se orienta en este caso de modo que la posición azimutal se desvía de una orientación exactamente al viento en un ángulo de compensación azimutal. Hasta ahora las instalaciones de energía eólica se han orientado exactamente al viento con su posición azimutal, a fin de poder usar el viento también de forma óptima. Pero ahora se propone regular la posición azimutal u orientación azimutal de la instalación de energía eólica de forma consabida respecto a esta orientación óptima respecto al viento, concretamente en el ángulo de

20 compensación azimutal. Se ha reconocido que mediante esta regulación azimutal se pueden reducir las cargas alternantes sobre las palas de rotor, condicionadas por el perfil de altura de viento. Las palas de rotor ya no se mueven entonces completamente en ángulo recto respecto al viento, sino de forma ligeramente oblicua respecto a él. En el caso de ejecución apropiada de esta regulación azimutal, esto significa que cada pala de rotor se mueve algo alejándose del viento debido a este movimiento oblicuo respecto al viento en la parte superior de la superficie  
25 de rotor y luego en la parte inferior algo hacia el viento.

Según una forma de realización se propone que la instalación de energía eólica se desvíe referido a una visión desde la instalación de energía eólica hacia el viento hacia la derecha de la orientación al viento o que se desvíe en su posición azimutal referido a una visión desde arriba de la instalación de energía eólica en el sentido horario  
30 respecto a la orientación al viento. La instalación de energía eólica se regula así hacia la derecha en su posición azimutal. Esto está relacionado con la dirección de giro del rotor, que habitualmente desde la visión de la instalación de energía eólica gira a la izquierda o desde una visión desde delante, concretamente según lo debido desde la dirección del viento hacia la instalación de energía eólica, gira a la derecha. Si una instalación de energía eólica girase a la derecha desviándose respecto a esta dirección de giro habitual desde la visión de la instalación de  
35 energía eólica o girase a la izquierda desde una visión desde delante, concretamente según lo debido desde la dirección del viento hacia la instalación de energía eólica, también se puede adaptar correspondientemente la regulación azimutal propuesta.

Un ángulo de compensación azimutal en el rango de 0,5° hasta 3,5° ya puede conducir a efectos ventajosos, concretamente a una homogeneización de la sollicitación de pala, es decir, a una reducción de las cargas alternantes. Preferentemente este rango se sitúa en 1° hasta 3° y especialmente se propone un rango de 1,5° hasta 2,5°, que en los estudios ha conducido a efectos muy positivos. Tales valores proporcionalmente bajos también tienen la ventaja de que se debe contar con poca pérdida de rendimiento debido al ajuste no óptimo del ángulo azimutal. En la primera aproximación se describe una dependencia entre el rendimiento respecto y el ajuste del  
45 ángulo azimutal respecto al viento mediante una función coseno. Es decir, para el ángulo 0, es decir, una orientación óptima, está presente el valor máximo de 1, que apenas se reduce en el caso de pequeñas desviaciones de ángulo respecto a cero, según se conoce por la función coseno.

Según una forma de realización se propone que el ángulo de compensación azimutal se seleccione en función de la  
50 velocidad del viento reinante. Así, por ejemplo, en el caso de viento débil se puede seleccionar un ángulo de compensación azimutal más pequeño, a fin de desplazar la instalación de energía eólica entonces sólo un poco de una orientación óptima directamente al viento, ya que por ejemplo en el caso de vientos débiles es más pequeña la sollicitación absoluta y por ello también las cargas alternantes también tienen una repercusión más baja, en particular condicionan menos las apariciones de fatiga. La velocidad del viento predominante se puede detectar en este caso  
55 por ejemplo mediante un anemómetro en la instalación de energía eólica o mediante otro método.

Además se propone que el ángulo de pala correspondiente de las palas de rotor se regule cíclicamente por vuelta, de modo que se reducen las cargas alternantes condicionadas por el perfil de altura del viento. El ángulo de pala designa en este caso el ángulo de ataque de las palas de rotor, que también se designa como ángulo de paso. El  
60 ángulo de pala se puede regular a este respecto en particular de modo que en la zona superior de la superficie de

rotor se regula algo fuera del viento y en la zona inferior de la superficie de rotor algo al viento. Esto se debe realizar en particular cíclicamente por vuelta, es decir, no en base a mediciones constantes y por ello a ser posible no en la forma de una regulación, sino mediante valores fijos que están asociados a cada posición de rotación o zonas de la posición de rotación de cada pala. A este respecto esta asociación puede tener en cuenta otros parámetros como

- 5 velocidad del viento predominante, dependencia local, dirección del viento, época del año, momento del día. Puede no tener lugar una medición constante de la solicitación de la pala, como por ejemplo a través de una medición de la flexión de la pala. Correspondientemente también se evitan problemas de estabilidad eventuales debido a una regulación, aunque el uso de una regulación también puede ser una opción de la realización.
- 10 La reducción de las cargas alternantes mediante una regulación cíclica por vuelta del ángulo de pala de las palas se puede orientar con valores de medición registrados anteriormente, o valores calculados anteriormente o con valores experimentales de esta u otras instalaciones. Correspondientemente se realiza individualmente un ajuste individual del ángulo de pala para cada pala de rotor. El ajuste individual se puede realizar a este respecto de modo que para cada pala se usa una función de ajuste idéntica, pero desplazada de una a la siguiente pala en 120°, cuando la
- 15 instalación de energía eólica presenta por ejemplo tres palas de rotor. En este caso es importante que cada pala de rotor disponga de un mecanismo de regulación de pala de rotor propio.

Según una forma de realización se propone que el ángulo de pala se regule cíclicamente por vuelta, de modo que el ángulo de incidencia se mantenga lo más constante posible. Esto se propone correspondientemente para cada pala de rotor individualmente. El ángulo de incidencia es en este caso aquel con el que el viento aparente recorre la pala de rotor allí en la punta de pala. En lugar de la punta de pala o adicionalmente a ella también se puede tomar por base una zona en el tercio exterior de la pala de rotor, en particular en el 70%, 75%, 80% o una zona entre el 70% hasta el 80% de la pala de rotor, medido desde el eje de rotor. El viento aparente es en este caso la adición vectorial del viento verdadero con el contraviento de movimiento, que está presente por el giro del rotor y por consiguiente el

20 movimiento de la punta de pala. Este viento aparente se modifica, según se describe al inicio, con la altura tanto con vistas a su amplitud como también con vistas a su ángulo. Se propone girar la pala de modo que en la zona de su punta de pala se adapta respectivamente a la dirección del viento aparente. La pala de rotor se gira por consiguiente en la posición a las 12 horas, cuando la pala de rotor está así verticalmente hacia arriba, algo más intensamente al viento, que cuando se sitúa en la posición a las 6 horas, es decir, está completamente abajo. Los valores

25 intermedios se producen correspondientemente. De este modo se produce no sólo una adaptación o adaptación parcial deseable técnicamente respecto al flujo en la dirección del viento aparente, sino que el giro más intenso al viento en el caso de la pala de rotor en la posición a las 12 horas, es decir, hablando en general en la zona superior, condiciona también una mejor absorción de las solicitaciones de la pala de rotor.

- 35 Otra configuración de la invención propone que el ángulo de pala de cada pala de rotor se regule en valores predeterminados respectivamente en función de su posición de rotación correspondiente, en donde en particular los valores predeterminados se han registrado anteriormente en una tabla y/o se predeterminan mediante una función dependiente de la posición de rotación. Por consiguiente se propone un control del ángulo de pala de cada pala de rotor individualmente en función de la posición de rotación correspondiente de esta pala de rotor.
- 40 Durante el funcionamiento de una instalación de energía eólica se conoce con frecuencia la posición del rotor y por consiguiente al menos después de la conversión sencilla la posición de cada pala de rotor o se puede determinar de modo y manera sencillos. Partiendo de ello, cada ángulo de pala de rotor se regula según valores predeterminados, sin que se requiera ninguna medición. Los valores predeterminados pueden estar depositados en una tabla, que se ha registrado o calculado anteriormente o elaborado mediante una simulación. Una tabla semejante también puede
- 45 tener en cuenta otros parámetros, como por ejemplo la velocidad del viento o perfiles de altura dependientes de la dirección del viento, referidos a la ubicación.

Una variante diferente o complementaria es predeterminar este ajuste de pala cíclico por vuelta en base a una función. Por ejemplo se pueden predeterminar los ángulos de pala  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  para el ejemplo de una instalación de

50 energía eólica con tres palas de rotor mediante las funciones siguientes:

$$\alpha_1 = \alpha_N + \cos(\beta) \cdot \alpha_A$$

$$\alpha_2 = \alpha_N + \cos(\beta + 120^\circ) \cdot \alpha_A$$

$$\alpha_3 = \alpha_N + \cos(\beta + 240^\circ) \cdot \alpha_A$$

Aquí  $\alpha_N$  describe un ángulo de pala calculado o predeterminado, que se calcula habitualmente como en el estado de la técnica, concretamente, sin tener en cuenta un perfil de altura de viento. El ángulo  $\beta$  describe la posición de

60 rotación de la pala de rotor, en donde  $\beta = 0^\circ$  se corresponde con una posición a las 12 horas de la pala de rotor en

cuestión.  $\alpha_A$  es el ángulo de compensación de pala.

Preferentemente el ángulo de pala se controla individualmente o en función de la velocidad del viento predominante, en particular de modo que se controla en función de la velocidad del viento predominante y la posición de rotación de la pala de rotor correspondiente. La consideración de ambas magnitudes de influencia se puede efectuar, por ejemplo, mediante una tabla bidimensional que presenta los ángulos de pala correspondientes, que están inscritos en función de la posición de rotación y del viento predominante. Otra posibilidad consiste en que se realice un cálculo según las ecuaciones arriba mencionadas, en donde el ángulo de compensación  $\alpha_A$  depende de la velocidad del viento predominante y se ajusta en función de éste o por ejemplo a través de una función correspondiente o a través de valores tabulados fijados anteriormente, por mencionar sólo dos ejemplos.

Preferentemente durante el funcionamiento se predetermina por consiguiente, según se ha indicado ya arriba, un ángulo de pala de rotor normal común para todas las palas de rotor y cada pala de rotor individual varía en función de su posición de rotación alrededor de este un ángulo de pala de rotor normal, en particular dentro de un intervalo de ángulo de pala predeterminado. Una posibilidad de realizarlo es el uso de las ecuaciones arriba indicadas, por lo tanto el ángulo de pala de rotor varía en el ángulo de compensación  $\pm \alpha_A$ . Correspondientemente en el ejemplo tiene lugar una variación centro del intervalo [ $\alpha_N - \alpha_A$ ;  $\alpha_N + \alpha_A$ ].

Según todavía otra forma de realización se propone que la instalación de energía eólica trabaje en un punto de funcionamiento de perfil que se desvía de un punto de funcionamiento normal. El punto de funcionamiento normal es en este caso, en particular en el rango de carga parcial, uno que presenta un ángulo de pala normal diseñado para el viento predominante, pero sin consideración de un perfil de viento, y además presenta una orientación normal de la posición azimutal, en la que la instalación de energía eólica está girada exactamente al viento. El punto de funcionamiento de perfil prevé una posición azimutal de perfil que se desvía de la orientación normal en el ángulo de compensación azimutal. Además, prevé un ángulo de pala de perfil que se desvía del ángulo de pala normal en un ángulo de compensación de pala. Por consiguiente se propone combinar una regulación de la posición azimutal y del ángulo de pala, es decir, efectuarlas al mismo tiempo para reducir una sollicitación.

Preferentemente se selecciona un primer funcionamiento de perfil, en el que el ángulo de compensación de pala está dirigido en sentido contrario al ángulo de compensación azimutal referido a una posición a las 12 horas de la pala de rotor en cuestión. En la posición a las 12 horas, la pala de rotor sólo está un poco regulada por consiguiente respecto a un funcionamiento normal, ya que los dos ángulos se neutralizan aquí al menos parcialmente. Se debe prestar atención a que la regulación del ángulo azimutal y del ángulo de pala de rotor puede conducir a efectos diferentes, de modo que pese a la neutralización parcial se puede obtener una sinergia que actúa de forma positiva para la sollicitación.

Según otra realización se propone un segundo funcionamiento de perfil, en el que el ángulo de compensación de pala y el ángulo de compensación azimutal regulan la pala de rotor en la misma dirección referido a una posición a las 12 horas de la pala de rotor en cuestión. Por lo tanto la combinación de ambos ángulos eleva aquí el ángulo de pala regulado efectivamente en la posición a las 12 horas. Esta superposición positiva de ambas regulaciones de ángulo también puede conducir a una sinergia que reduce la sollicitación.

Según la invención se efectúa una ponderación entre el ángulo de compensación azimutal y el ángulo de compensación de pala, de modo que el valor del ángulo de compensación azimutal es mayor en un factor de ponderación azimutal que el valor del ángulo de compensación de pala o el valor del ángulo de compensación de pala es mayor en un factor de ponderación de pala que el valor del ángulo de compensación azimutal, en donde el factor de ponderación azimutal y el factor de ponderación de pala son respectivamente mayores de 1,2, preferentemente mayor de 1,5 y en particular mayores de 2. Por consiguiente se atiende a que, referido a una posición a las 12 horas, los dos ángulos de regulación, es decir, el ángulo de compensación azimutal y el ángulo de compensación de pala, presentan diferentes valores. En particular se evita que referido a una posición a las 12 horas no se ajuste de forma ninguna regulación de pala.

Por consiguiente se propone un procedimiento que resuelve o reduce los problemas debido a un perfil de altura de viento, porque se regula la posición azimutal de la instalación de energía eólica y adicionalmente u opcionalmente la pala de rotor se regula cíclicamente por vuelta en su ángulo de pala. Un perfil de altura de viento puede conducir a una variación del ángulo de incidencia en la pala de rotor, en función de la posición de la pala de rotor. El ángulo de diferencia conduce a coeficientes de sustentación diferentes.

El perfil de altura de viento concreto también puede depender del lugar, dirección y época del año y las medidas de compensación propuestas pueden depender del perfil de altura concreto. Preferentemente se propone efectuar el

ajuste azimutal y/o el ajuste de pala en función de este perfil de altura. En particular se propone seleccionar los ángulos de compensación azimutal en función del perfil de altura y además o alternativamente seleccionar el ángulo de compensación de pala en función del perfil de altura.

- 5 Para una modificación cíclica por vuelta del ángulo de pala de cada pala de rotor se propone en particular que ésta se realiza en función de una curva continua, en donde esta curva o curva característica predetermina un ángulo de pala de rotor básicamente continuamente para cada posición de una vuelta de la pala de rotor en cuestión.

- 10 El depósito de valores correspondientes en una tabla y/o la consideración en una relación funcional se realiza preferentemente también en función del lugar, época del año, dirección y altura y/o en función de las turbulencias predominantes.

- 15 Además o alternativamente tales valores registrados anteriormente, sea en una tabla, en una relación funcional o de otro modo y manera, se pueden adaptar in situ por ejemplo técnicamente en medición, en particular aquí se propone una adaptación adaptativa.

A continuación la invención se explica más en detalle a modo de ejemplo mediante ejemplos de realización en referencia a las figuras adjuntas.

- 20 La fig. 1 muestra una instalación de energía eólica esquemáticamente en una representación en perspectiva.

La fig. 2 muestra un perfil de altura del viento a modo de ejemplo en referencia a una instalación de energía eólica representada esquemáticamente.

- 25 La fig. 3 muestra en un diagrama a modo de ejemplo un ángulo de ataque o ángulo de incidencia dependiente del ángulo de rotación inclusive compensación de una pala de rotor.

La fig. 4 muestra a modo de ejemplo un ángulo de ataque o ángulo de incidencia local dependiente del ángulo de rotación en un diagrama para distintos ajustes de azimut.

30

La fig. 1 muestra una instalación de energía eólica 100 con una torre 102 y una góndola 104. En la góndola 104 está dispuesto un rotor 106 con tres palas de rotor 108 y un spinner 110. El rotor 106 se pone en una rotación durante el funcionamiento por parte del viento y de este modo acciona un generador en la góndola 104.

- 35 Las fig. 2 a 4 toman por base valores calculados o simulados de forma simplificada.

- 40 La fig. 2 toma por base una instalación de energía eólica 1 con una altura de buje de aproximadamente 85 m. La instalación de energía eólica presenta una góndola 4 con un rotor 6 con palas de rotor 8. A este respecto, la instalación de energía eólica 1 está sobre un suelo gracias a su torre 2, cuya altura se fija como 0 m y por consiguiente constituye la magnitud de referencia para la altura.

Las palas de rotor 8 barren a este respecto un campo de rotor, que está limitado por un círculo de rotor y que llega de una altura más baja 12 de 44 m hasta una altura más elevada 14 de aproximadamente 126 m.

- 45 Además, se muestra un perfil de altura del viento 16, que muestra la velocidad del viento  $V_2$  en función de la altura  $z_2$ . A este respecto, la velocidad del viento  $V_2$  se indica en [m/s] en la abscisa y la altura  $z_2$  con la unidad [m] en la ordenada. El perfil de altura 18, que está dispuesto dentro del círculo de rotor, es decir, entre la altura más baja 12 y la altura más elevada 14, está representado en negrita en la fig. 2.

- 50 La velocidad del viento llega por consiguiente de la altura más baja 12 hacia la altura más elevada 14, en donde a la altura de la altura más baja 12 adopta un valor de aproximadamente más de 7 m/s. En el caso de la altura más elevada 14, la velocidad del viento alcanza aproximadamente el valor 11,6 m/s. Aquí se produce así un coeficiente de altura de aproximadamente 1,6.

- 55 El diagrama de la fig. 2 muestra a este respecto un perfil de altura del viento con una un exponente de altura de  $a=0,5$ .

- 60 Respecto al ejemplo ilustrado en la fig. 2 del perfil de altura del viento y de la instalación de energía eólica 1, la figura 3 muestra en función del ángulo de rotación de la pala de rotor en cuestión el ángulo de ataque local, concretamente, el ángulo de ataque real respecto al respectivo viento aparente allí presente o adoptado por cálculo.

En la abscisa del diagrama está indicado el ángulo de rotación de la pala de rotor en grados, en donde 0° o 360° se corresponde con una posición a las 12 horas de la pala de rotor. El ángulo de ataque local 20, que indica concretamente el ángulo de incidencia respecto al respectivo viento aparente presente o adoptado por cálculo, se modifica de 9,4° en la posición a las 12 horas hasta 5,7° en la posición a las 6 horas, que se sitúa correspondientemente con un ángulo de rotación de 180°. Los ángulos del ángulo de ataque local están dibujados a modo de ejemplo en el diagrama en la ordenada izquierda.

Ahora se propone regular el ángulo de pala de rotor en función del ángulo de rotación de la pala de rotor, de modo que el ángulo de ataque local adopta a ser posible un valor constante, que así es constante a ser posible sobre todo el círculo de rotación, es decir, para todo el espectro de 0 hasta 360° del ángulo de rotación de la pala de rotor de los ángulos de incidencia. Para ello según una realización se propone incluir un ángulo de compensación de pala individual 22, que también se puede designar como ángulo de compensación de pala. El ángulo de compensación de pala 22 varía sobre el ángulo de rotación de la pala de rotor de -1,8 hasta +1,8° y sus valores están inscritos en el diagrama conforme al desarrollo de la fig. 3 en la ordenada derecha. Se debe prestar atención a que el escalado del ángulo de compensación de pala según la ordenada derecha se diferencia en el factor 2 del escalado del ángulo de ataque local según la ordenada izquierda. Mediante la inclusión de este ángulo de compensación de pala 22 se puede compensar de forma ideal el ángulo de ataque local, de modo que puede adoptar un promedio como valor constante, en donde el valor concreto depende naturalmente de las condiciones marco concretas, en particular de la instalación de energía eólica concreta. El ángulo de ataque local compensado 24 está registrado correspondientemente en el diagrama de la fig. 3 como horizontal. El resultado de un ángulo de ataque local, compensado, constante y exacto se puede determinar de modo matemático y puede variar en la realidad.

La variación del ángulo de incidencia en la pala de rotor debido al perfil de altura del viento también se puede designar como fluctuación del ángulo de ataque local en la pala de rotor y se debe reducir o a ser posible impedirse completamente. En las palas de rotor estacionarias en el buje de rotor de una instalación de energía eólica se origina así durante el funcionamiento una fluctuación del ángulo de incidencia local, que está mostrado mediante la curva característica 20 del ángulo de ataque local. Si se regula cada pala de rotor individual de manera apropiada en su ángulo de pala de rotor, lo que en general también se designa como regulación de paso, según clarifica la curva del ángulo de compensación de pala 22, entonces se puede compensar la fluctuación del ángulo de ataque. Por consiguiente para este radio de rotor se obtiene un ángulo de ataque ideal completamente uniforme en cada posición de la pala rotativa, lo que representa la curva 24 que muestra el ángulo de ataque compensado. De este modo se pueden reducir las cargas y también el ruido. Mediante una homogeneización del ángulo de ataque y por consiguiente de la afluencia de la pala de rotor se puede girar la pala más fuertemente al viento o regular el paso, de modo que se eleva el rendimiento.

El diagrama de la fig. 3 muestra a este respecto un ejemplo para una instalación de energía eólica con compensación de la fluctuación del ángulo de ataque con una velocidad del viento media a la altura del buje 4 de aproximadamente 10 m/s y una velocidad de la punta de pala de  $v_{Tip} = 78$  m/s. El ángulo de ataque local 20 se refiere en este caso a un radio de 35,5 m.

La fig. 4 clarifica una posibilidad opcional o adicional de alcanzar una homogeneización del ángulo de ataque o ángulo de incidencia local del viento aparente. La fig. 4 muestra el ángulo de ataque local 20 para una posición azimutal, en la que la góndola 4 (según la fig. 2) está orientada exactamente al viento. Esta curva también está caracterizada con la letra a y se corresponde con el ángulo de ataque local 20 de la fig. 3. Aquí también sirve de base una instalación de energía eólica 1 y un perfil de altura de viento según la fig. 3. Como en la fig. 3 aquí también se representa el ángulo de ataque local 20 respecto al ángulo de rotación de la pala de rotor, que está dibujado en la abscisa con valores de 0 a 360°.

A la derecha junto al diagrama se encuentra una leyenda para los archivos azimutales de la instalación de energía eólica, concretamente de a hasta i, en donde a describe el ángulo de ataque local 20 para una posición azimutal que señala exactamente al viento y por consiguiente está regulada respecto a éste en 0°. Están representados otros desarrollos del ángulo de ataque local para las desviaciones de la posición azimutal curva b hasta la curva i. En este caso se muestra que la curva e presenta en conjunto la oscilación o fluctuación mas baja, concretamente en la posición a las 12 horas hasta aproximadamente una posición a las 10 horas o una posición a las 2 horas. La curva e pertenece en este ejemplo a una regulación de la posición azimutal. Así mediante una regulación sencilla del ángulo azimutal se puede conseguir en particular de forma constante una homogeneización significativa del ángulo de ataque local y por consiguiente una homogeneización significativa de las cargas en la pala de rotor. Por consiguiente es ventajoso prever un ángulo de compensación constante, es decir, un ángulo de corrección o compensación constante para la posición azimutal.

Por consiguiente se gira la góndola y con ello el eje de rotación de la instalación de energía eólica en el sentido horario, observado desde arriba de la instalación, en el ángulo azimutal, concretamente en particular el ángulo de compensación azimutal. Los ángulos de ataque locales en la pala de rotor se homogeneizan en su valor respecto a la orientación de la góndola con eje de rotor en la dirección del viento. La fluctuación del ángulo de ataque local disminuye por ello claramente cuando entre el eje de rotor y la dirección del viento se establece una compensación en el ángulo azimutal.

Gracias a esta medida también se reducen las cargas y el ruido. Cuando de este modo se homogeneiza el ángulo de ataque y la afluencia de la pala de rotor, según se describe, la pala de rotor se puede girar fuertemente al viento, de modo que se eleva el rendimiento.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica (1) con un rotor (6) con palas de rotor (8) con un eje de giro esencialmente horizontal para la generación de energía eléctrica a partir de energía eólica, en donde
- la instalación de energía eólica (1) se orienta de modo que la posición azimutal de la instalación de energía eólica (1) se desvía de una orientación al viento (16) en un ángulo de compensación azimutal, y
  - el ángulo de pala de las palas de rotor (8) se regula cíclicamente por vuelta, de modo que se reducen las cargas alternantes debidas a un perfil de altura del viento (16),
- caracterizado porque** la instalación de energía eólica (1) trabaja en un punto de funcionamiento de perfil que se desvía del punto de funcionamiento normal, en donde
- 15 - el punto de funcionamiento normal, en particular en el caso de rango de carga parcial, presenta un ángulo de pala normal diseñado para el viento predominante (16), pero sin consideración de un perfil de viento, y prevé una orientación normal de la posición azimutal al viento (16),
- el punto de funcionamiento de perfil prevé una posición azimutal de perfil que se desvía de la orientación normal en el ángulo de compensación azimutal y presenta un ángulo de pala de perfil que se desvía del ángulo de pala normal en un ángulo de compensación de pala, y
- entre el ángulo de compensación azimutal y el ángulo de compensación de pala se efectúa una ponderación, de modo que el valor del ángulo de compensación azimutal es mayor en un factor de ponderación azimutal que el valor del ángulo de compensación de pala, o el valor del ángulo de compensación de pala es mayor en un factor de ponderación de pala que el valor del ángulo de compensación azimutal, en donde el factor de ponderación azimutal y el factor de ponderación de pala son respectivamente mayores de 1,2, preferentemente mayores de 1,5 y en particular mayores de 2.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la instalación de energía eólica (1) se desvía referido a una visión desde la instalación de energía eólica (1) hacia al viento (16) hacia la derecha de la orientación al viento (16) o se desvía en su posición azimutal referido a una visión desde arriba de la instalación de energía eólica (1) en el sentido horario respecto a la orientación al viento (16).
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o reivindicación 2, **caracterizado porque** el ángulo de compensación azimutal es de 0,5 a 10°, preferentemente 1 a 3,5°, en particular 1,5 a 2,5° y/o **porque** el ángulo de compensación azimutal está previsto como ángulo de compensación constante, a fin de regular la instalación de energía eólica siempre en este ángulo de compensación azimutal respecto a una orientación al viento (16).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el ángulo de compensación azimutal se selecciona en función de la velocidad del viento predominante (V2).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** cada uno de los ángulos de pala se regula respectivamente cíclicamente por vuelta, de modo que en la zona de la punta de pala se mantiene lo más constante posible un ángulo de incidencia.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el ángulo de pala de cada pala de rotor se regula en valores predeterminados respectivamente en función de su posición de rotación correspondiente, en donde en particular los valores predeterminados se han registrado anteriormente en una tabla y/o se predeterminan mediante una función dependiente de la posición de rotación.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el ángulo de pala de cada pala de rotor se controla individualmente y en función de la velocidad del viento predominante (V2), en particular **porque** se controla en función de la velocidad del viento predominante (V2) y la posición de rotación de la pala de rotor correspondiente.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** durante el funcionamiento se predetermina un ángulo de pala de rotor normal común para todas las palas de rotor (8) y cada pala de rotor individual se varía en función de su posición de rotación alrededor de este un ángulo de pala de rotor normal, en particular dentro de un intervalo de ángulo de pala predeterminado.

9. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque**

- se selecciona un primer funcionamiento de perfil, en el que el ángulo de compensación de pala está dirigido en sentido contrario al ángulo de compensación azimutal referido a una posición a las 12 horas de la pala de rotor en cuestión, o **porque**

- se selecciona un segundo funcionamiento de perfil, en el que el ángulo de compensación de pala y el ángulo de compensación azimutal regulan la pala de rotor en la misma dirección referido a una posición a las 12 horas de la pala de rotor en cuestión.

10

10. Instalación de energía eólica (1) con un rotor (6) con palas de rotor (8) con un eje de giro esencialmente horizontal para la generación de energía eléctrica a partir de energía eólica, en donde la instalación de energía eólica (1) está preparada para hacerse funcionar con un procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

15

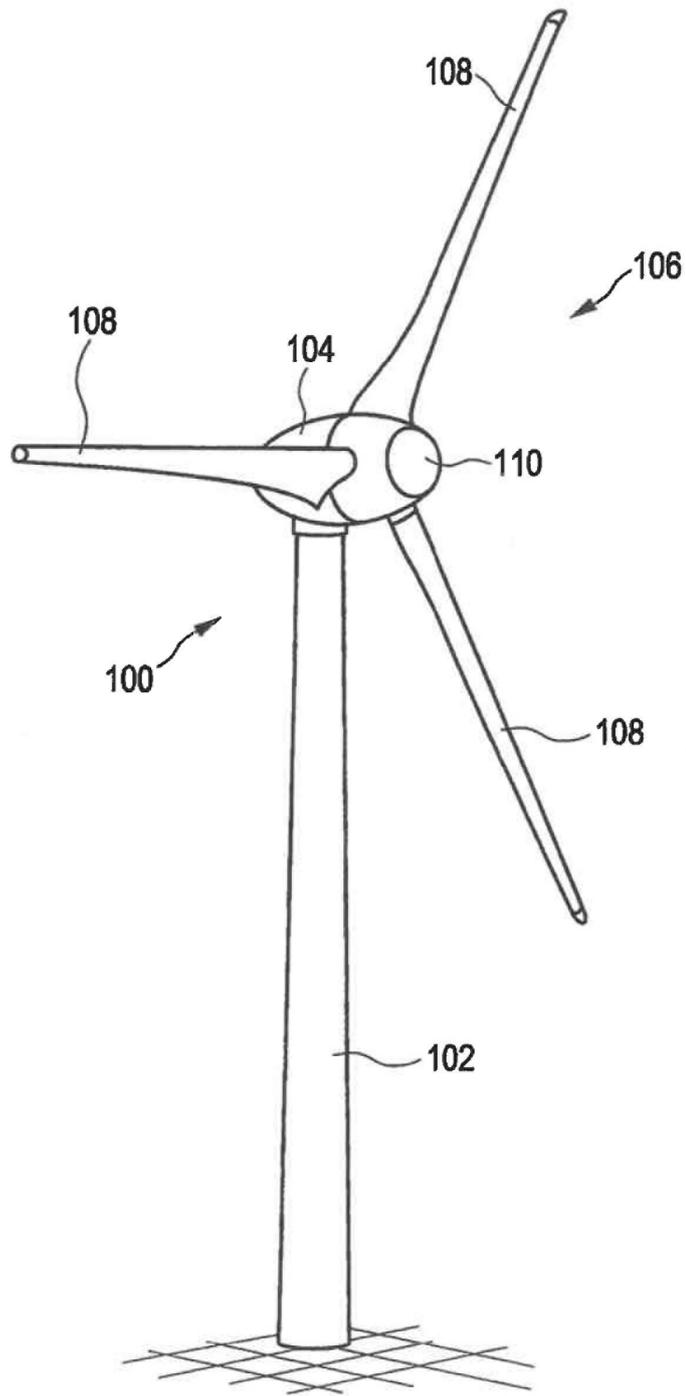


FIG. 1

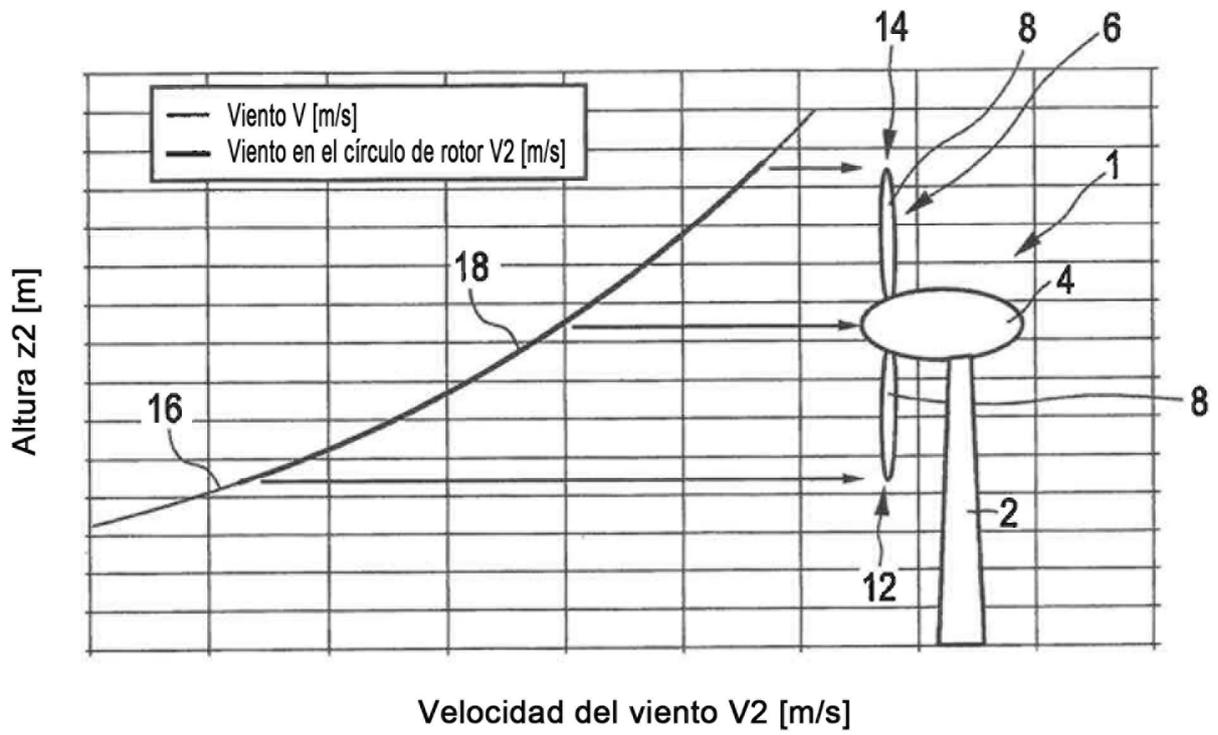


FIG. 2

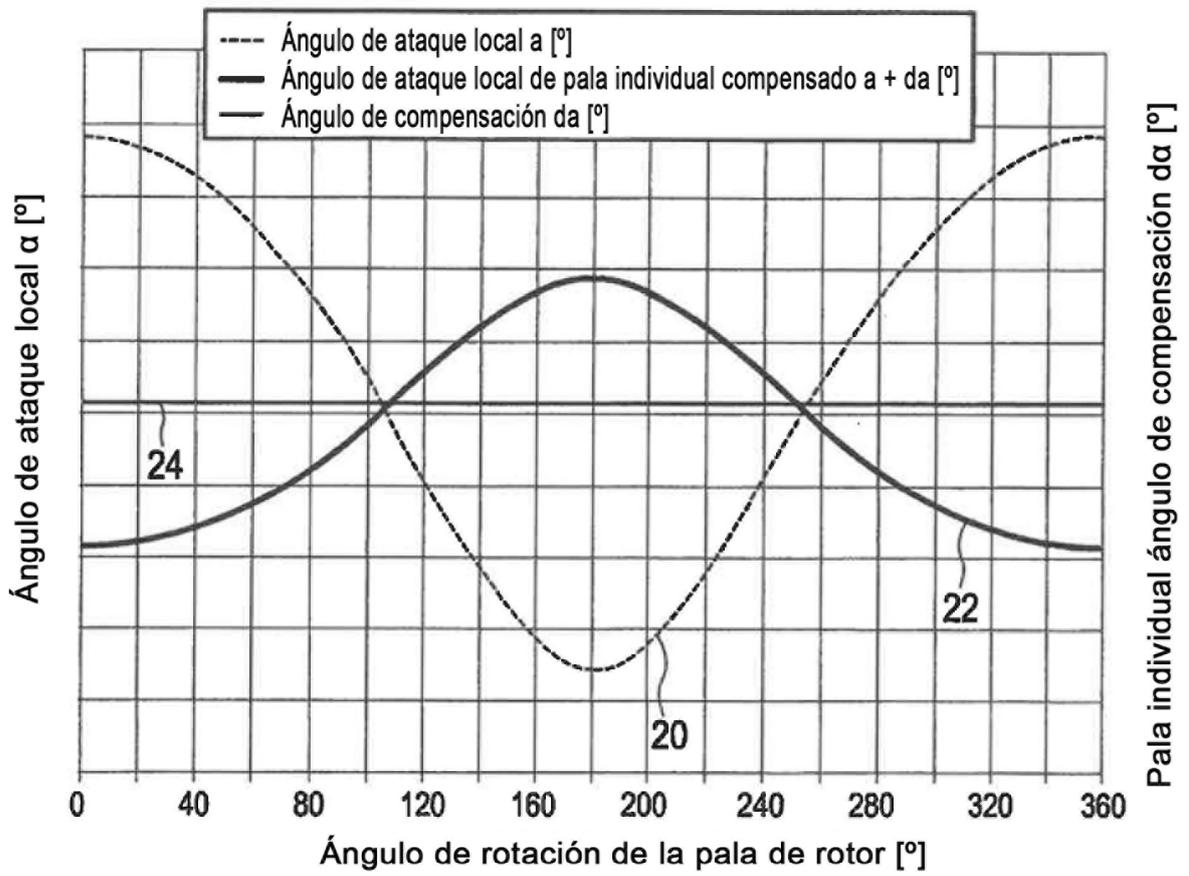


FIG. 3

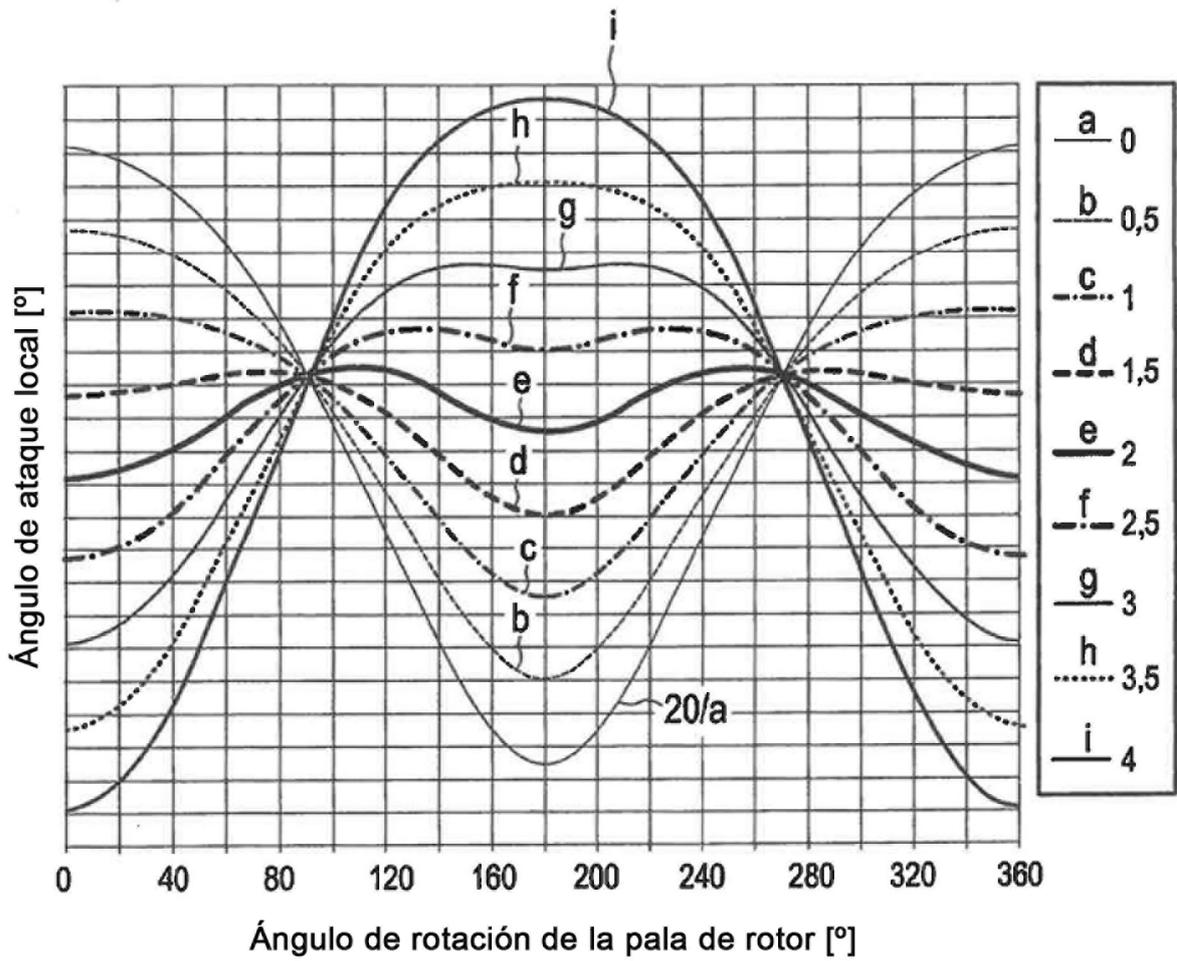


FIG. 4