

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 936 122**

51 Int. Cl.:

**F03D 17/00** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.04.2019 E 19168376 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2022 EP 3553311**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para controlar un aerogenerador**

30 Prioridad:

**12.04.2018 DE 102018002982**

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

**14.03.2023**

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY  
SERVICE GMBH (100.0%)  
Beim Strohhause 17-31  
20097 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**BESTMANN, TILL;  
PLESS, TIMO y  
WARFEN, KARSTEN**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

**ES 2 936 122 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 y procedimiento para controlar un aerogenerador

5 La presente invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento para controlar un aerogenerador.

Para garantizar un funcionamiento seguro de aerogeneradores se conoce la previsión de mecanismos de regulación con cuya ayuda, por ejemplo, puede reaccionarse a influencias externas en el funcionamiento de los aerogeneradores. Dependiendo de una velocidad de viento medida puede seleccionarse, por ejemplo, uno de los distintos modos de funcionamiento para mantener las cargas que actúan en el aerogenerador dentro de unos límites especificados. Una medida habitual, por ejemplo, es ajustar el ángulo de ajuste de palas de rotor de un rotor del aerogenerador de tal manera que los momentos de flexión que actúan en las palas de rotor no alcancen o superen un valor umbral de momento de flexión.

15 A este respecto, los momentos de flexión que se producen para cada pala de rotor pueden determinarse individualmente mediante al menos tres sensores distribuidos por la circunferencia de la raíz de pala que definen al menos dos ejes de medición, en general al menos dos pares de sensores, es decir, en total al menos cuatro sensores por cada pala de rotor y transformarse en magnitudes de regulación que se utilizan por ejemplo para calcular un fallo de regulación.

20 El documento DE 102 19 664 A1 desvela, por ejemplo, un equipo sensor asociado a un rotor para generar señales de sensor dependiendo de la carga mecánica del rotor, en donde al menos a una pala de rotor del rotor están asociadas al menos dos elementos de sensor montados preferiblemente por parejas. Un equipo de evaluación está concebido para determinar señales de evaluación que representan las cargas mecánicas al menos de una pala de rotor tomando como base las señales de sensor generadas por los elementos de sensor asociados a esta pala de rotor. Un equipo de regulación que recibe las señales de evaluación puede ajustar al menos un parámetro de funcionamiento del aerogenerador, por ejemplo, el ajuste de pala, dependiendo de las señales de evaluación.

30 El documento US 2016/138571 A1 se refiere a un procedimiento para valorar cargas de pala de rotor que comprende la medición de varios parámetros de funcionamiento del aerogenerador a través de uno o varios sensores, la valoración de fuerzas fuera del plano y de fuerzas en el plano que actúan en la pala de rotor, la determinación de un punto de aplicación para las fuerzas fuera del plano y de un punto de aplicación para las fuerzas dentro del plano a lo largo de una envergadura de la pala de rotor, la valoración de momentos fuera del plano basándose en las fuerzas fuera del plano y los puntos de aplicación respectivos, la valoración de momentos en el plano de la pala de rotor basándose en las fuerzas en el plano y los puntos de aplicación respectivos, y el cálculo de la carga que actúa sobre la pala de rotor al menos parcialmente basándose en los momentos fuera del plano y dentro del plano.

40 Según el documento US 2010/014969 A1 un control de turbina eólica o de carga de rotor compensa el desequilibrio provocado por los momentos en una turbina eólica que contiene un rotor con al menos dos álabes con pendiente variable.

Un objetivo de la invención es simplificar la medición de momentos de flexión en y/o sobre palas de rotor de un rotor de un aerogenerador. Es un objetivo en particular reducir la complejidad para la medición de momentos fuera del plano.

45 Este objetivo se resuelve mediante un dispositivo y un procedimiento para controlar un aerogenerador según las reivindicaciones independientes. Configuraciones ventajosas son objeto de las reivindicaciones dependientes.

50 Un primer aspecto de la invención se refiere a un dispositivo para controlar un aerogenerador con un rotor, que presenta al menos una pala de rotor unida mediante un buje de rotor a un eje de rotor del rotor. El dispositivo presenta preferiblemente un equipo de registro de posición que está configurado para registrar una posición de giro de la pala de rotor con respecto al eje de rotor y emitir datos de posición que caracterizan un valor de la posición de giro. Además, de manera preferida está previsto un equipo sensor que está dispuesto junto a y/o en la pala de rotor y está configurado para determinar un momento de impacto que actúa en la pala de rotor en perpendicular a una superficie de pala de rotor y preferiblemente en perpendicular a una superficie de cuerda y emitir datos de sensor que caracterizan un valor del momento de impacto determinado, y un equipo de evaluación, que está configurado para determinar mediante los datos de posición un valor de un momento en el plano de la pala de rotor y a partir del momento en el plano determinado y los datos de sensor teniendo en cuenta una dirección efectiva del momento de impacto determinado con respecto a la superficie de cuerda de la pala de rotor, en particular una dirección de un eje de medición del equipo sensor, determinar un valor de un momento fuera del plano de la pala de rotor. Un equipo de control está configurado de manera preferida para controlar el aerogenerador tomando como base el valor determinado del momento en el plano y/o del valor determinado del momento fuera del plano.

60 Una posición de giro de la pala de rotor con respecto al eje de rotor en el sentido de la invención es en particular un ángulo de giro. La posición de giro puede indicar en particular una orientación de la pala de rotor en un plano de rotor definido por su movimiento de giro. Preferiblemente se indica la posición de giro, en particular el ángulo de giro, con respecto a una posición de la pala de rotor especificada, por ejemplo vertical.

65

Un equipo de registro de posición en el sentido de la invención es en particular una disposición de sensor con al menos un sensor de posición que está configurado para registrar la posición de la pala de rotor con respecto a una posición predefinida, en particular la posición vertical superior, de la pala de rotor.

5 Un momento de accionamiento en el sentido de la invención es en particular un momento de torsión o una fuerza, por ejemplo, condicionada por el viento que actúa en el rotor que se determina mediante el eje de rotor, por ejemplo, la cadena cinemática del aerogenerador.

10 Un equipo de registro de momento de accionamiento en el sentido de la invención es en particular una disposición de sensor con al menos un sensor de momentos que está configurado para registrar mediante sensores el momento de accionamiento o una disposición de procesamiento de datos para determinar o valorar mediante cálculos el momento de accionamiento, por ejemplo, basándose en una velocidad angular y/o una potencia eléctrica, o una disposición de procesamiento de datos que está configurada para la estimación o la determinación computacional del momento de accionamiento basándose en el valor teórico especificado del convertidor.

15 Una superficie de cuerda en el sentido de la invención es en particular una superficie de sección transversal de la pala de rotor en la que se sitúan cuerdas de pala de rotor que se extienden desde el borde delantero de pala de rotor hacia el borde trasero de pala de rotor. La superficie de cuerda se extiende preferiblemente en paralelo a lo largo de un eje longitudinal de pala de rotor que discurre desde una raíz de pala de rotor hasta una punta de pala de rotor y a lo largo de cuerdas de pala de rotor que discurren desde un borde delantero de pala de rotor hasta un borde trasero de pala de rotor. La superficie de cuerda presenta por tanto de manera preferida un vector normal situado en perpendicular al eje longitudinal de pala de rotor. Cuando las palas de rotor presentan un alabeo o una torsión, la superficie de cuerda no es plana, sino que es una superficie alabeada en tres dimensiones. El vector normal se aplica en este caso solo localmente para un corte de perfil.

20 Un equipo de evaluación en el sentido de la invención es en particular un equipo de procesamiento de datos, que está configurado para procesar datos facilitados, en particular datos de posición, datos de momento de accionamiento y/o datos de sensor. El equipo de evaluación puede estar diseñado por ejemplo como circuito de conmutación integrado y estar configurado para calcular valores de momentos de flexión dependiendo de los datos facilitados que actúan en o desde direcciones seleccionadas sobre la pala de rotor. El equipo de evaluación puede estar configurado en particular para transformar los datos facilitados o los momentos de flexión determinados caracterizados por los datos, en particular geoméricamente y/o dependiendo de la dirección efectiva para determinar valores para un momento en el plano o momento fuera del plano.

25 Un momento en el plano en el sentido de la invención es en particular un momento de flexión que actúa sobre la pala de rotor tangencialmente a la superficie barrida por la pala de rotor en el movimiento de la pala de rotor y en particular en perpendicular al eje longitudinal de pala de rotor. Si la pala de rotor por ejemplo es perpendicular sobre el eje de rotor, el momento en el plano es un momento de flexión que actúa en el plano de rotor definido por el movimiento del rotor en la dirección de momento sobre la pala de rotor.

30 Un momento fuera del plano en el sentido de la invención es en particular un momento de flexión en perpendicular a la superficie barrida por la pala de rotor en el movimiento de la pala de rotor que actúa sobre la pala de rotor y en particular en perpendicular al eje longitudinal de pala de rotor. Si la pala de rotor por ejemplo es perpendicular sobre el eje de rotor, el momento fuera del plano es un momento de flexión que actúa sobre la pala de rotor perpendicular al plano de rotor definido por el movimiento del rotor.

35 Una dirección efectiva en el sentido de la invención es en particular una dirección desde la cual actúa en la pala de rotor un momento de flexión determinado. La dirección efectiva se sitúa a este respecto preferiblemente en perpendicular al eje longitudinal de pala de rotor. La dirección efectiva está definida en particular por la dirección al menos de un eje de medición del equipo sensor que especifica, por ejemplo, la dirección en la que se registra una flexión de la pala de rotor.

40 Un control del aerogenerador es en particular una regulación de parámetros de funcionamiento del aerogenerador en su funcionamiento. Un control puede ser por ejemplo una desconexión del aerogenerador, una orientación azimutal de una góndola del aerogenerador y/o similar. En particular un control del aerogenerador puede ser el ajuste de un ángulo de ajuste o el ajuste de un momento de generador y con ello de la potencia suministrada.

45 Un ángulo de ajuste en el sentido de la invención es en particular un ángulo entre una pala de rotor y un plano de rotor barrido por el eje longitudinal de pala de rotor durante el giro del rotor que preferiblemente está situado en perpendicular al eje de rotor o en caso de rotores con ángulo de conicidad representa una superficie lateral cónica. Preferiblemente el ángulo de ajuste está definido entonces como 0° cuando la pala de rotor está en posición de funcionamiento, es decir, en el funcionamiento con una relación de velocidad específica óptima proporciona la máxima potencia en el árbol de rotor. Sin embargo, el ángulo de ajuste como alternativa o adicionalmente puede estar definido también como ángulo entre una cuerda de pala de rotor, que discurre preferiblemente al menos esencialmente desde un borde delantero de pala de rotor hacia un borde trasero de pala de rotor, en un corte de perfil definido de la pala de rotor y el plano de rotor o superficie lateral cónica anteriormente mencionados.

El momento de impacto en el sentido de la invención es preferiblemente idéntico al momento fuera del plano cuando el ángulo de ajuste de la pala de rotor es 0°.

5 Para el ajuste de un ángulo de ajuste la pala de rotor puede girarse preferiblemente alrededor de un eje longitudinal de pala de rotor, por ejemplo, para orientar la pala de rotor con respecto al viento que incide en la pala de rotor, en particular aparente. La invención se basa en particular en el planteamiento de simplificar la medición de momentos de flexión en y/o sobre palas de rotor de un rotor de un aerogenerador reduciendo el número de los sensores utilizados para determinar los momentos de flexión. Habitualmente con la reducción del número de sensores dispuestos en o  
10 sobre una pala de rotor para registrar momentos de flexión que actúan sobre la pala de rotor va asociado un error de medición que depende del ángulo de ajuste de las palas de rotor, dado que conforme aumenta el ángulo de ajuste el o los ejes de medición que quedan se orientan progresivamente en paralelo a la superficie barrida en el movimiento de la pala de rotor, en particular del plano de rotor. En el caso de una orientación del eje de medición cada vez más paralela con respecto al plano de rotor, por ejemplo, la parte de fuerzas medidas que aparecen en perpendicular al plano de rotor se reduce, mientras que la parte de fuerzas medidas que aparecen en el plano de rotor aumenta. De manera correspondiente en el caso de una orientación del eje de medición cada vez más perpendicular con respecto al plano de rotor, por ejemplo, la parte de fuerzas medidas que aparecen en el plano de rotor se reduce, mientras que la parte de fuerzas medidas que aparecen en perpendicular al plano de rotor aumenta.

20 Para compensar este efecto se determina preferiblemente un momento de flexión que actúa en la pala de rotor tangencialmente a la superficie barrida en el movimiento de la pala de rotor, en particular del plano de rotor, es decir, un así llamado momento en el plano, a partir de información obtenida de otro modo. Por ejemplo, el momento puede determinarse o desviarse en el plano a partir de otras magnitudes registradas mediante sensores que caracterizan el funcionamiento del aerogenerador. En particular, el momento en el plano puede derivarse a partir de una posición de  
25 giro de la pala de rotor, de la que depende por ejemplo una carga de la pala de rotor debido a su peso propio.

El momento en el plano en el cálculo con los datos de sensor de los sensores que quedan proporciona preferiblemente un momento de flexión, es decir, un denominado momento fuera del plano que actúa en perpendicular a la superficie comprendida en el movimiento de la pala de rotor. A este respecto de manera preferida se provechan relaciones geométricas entre momento en el plano determinado y el momento de impacto caracterizado por los datos de sensor para calcular el momento fuera del plano. En particular el momento de impacto registrado mediante un equipo sensor puede transformarse geoméricamente dependiendo del momento en el plano determinado para obtener el momento fuera del plano. A este respecto en la transformación de manera preferida se incluye la dirección efectiva del momento de impacto registrado con respecto a una superficie de cuerda de la pala de rotor.

35 Esto hace posible determinar el momento fuera del plano, aunque el equipo sensor por ejemplo solo puede registrar un momento de impacto que actúa en perpendicular a la superficie de cuerda y la superficie de cuerda está girada alrededor de un eje longitudinal de pala de rotor, es decir, la superficie de cuerda no está orientada en paralelo al plano de rotor, y por lo tanto el eje de medición del equipo sensor que queda no está situado en paralelo al momento fuera del plano que actúa.

40 En particular, por ello, el aerogenerador puede controlarse de manera segura y precisa también con un número reducido de sensores, en particular con un equipo sensor que puede registrar exclusivamente un momento de impacto que actúa en perpendicular a la superficie de cuerda. Además de un ahorro en los costes, esto permite ventajosamente también una arquitectura de sistema simplificada, lo que va asociado a una propensión a errores disminuida. Dado que, según la invención, ventajosamente a pesar del número reducido de sensores, es decir, en el caso de solo una medición de momento de flexión por cada pala de rotor puede lograrse al menos esencialmente la misma exactitud de medición que en las mediciones con varios sensores, el control según la invención del aerogenerador, en particular un ajuste del ángulo de ajuste de la pala de rotor, en el caso de solo una medición de momento de flexión por cada  
50 pala de rotor es más eficiente.

De forma global, la invención permite una medición simplificada de momentos de flexión que actúan en palas de rotor de un rotor de un aerogenerador. En particular la invención permite una reducción de la complejidad para determinar momentos fuera del plano.

55 En una forma de realización preferida el dispositivo presenta por lo demás un equipo de registro de momento de accionamiento que está configurado para registrar un momento de accionamiento que actúa sobre el eje de rotor y emitir datos de momento de accionamiento que caracterizan un valor del momento de accionamiento. A este respecto se determina el momento en el plano preferiblemente por lo demás mediante los datos de momento de accionamiento.  
60 El momento en el plano puede determinarse en particular teniendo en cuenta un momento de accionamiento, que se ejerce por ejemplo sobre el eje de rotor mediante la pala de rotor a través del buje de rotor. El momento en el plano puede determinarse de este modo de manera especialmente precisa.

65 En otra forma de realización preferida el equipo de evaluación está configurado para determinar sobre la base del valor determinado del momento en el plano y/o del valor determinado del momento fuera del plano una condición

ambiental. Además, el equipo de control está configurado preferiblemente para controlar el aerogenerador basándose en la condición ambiental determinada.

5 Una condición ambiental en el sentido de la invención es en particular una influencia externa en el aerogenerador o el rotor, en particular en la pala de rotor. Una condición ambiental puede ser, por ejemplo, una velocidad de viento, una dirección de viento, una densidad de aire y/o similar. Por ello puede ajustarse por ejemplo el ángulo de ajuste de una pala de rotor de manera especialmente favorable o una góndola del aerogenerador y con ello el eje de rotor puede orientarse de manera especialmente favorable a la dirección de viento que predomine en ese momento.

10 En otra forma de realización preferida el equipo de control está configurado para ajustar un ángulo de ajuste de la pala de rotor tomando como base el valor determinado del momento fuera del plano. Preferiblemente el equipo de control está diseñado a este respecto como equipo de regulación de palas.

15 Un equipo de regulación de palas en el sentido de la invención es en particular un mecanismo para orientar la pala de rotor, preferiblemente mediante el giro alrededor de un eje longitudinal de pala de rotor. El equipo de regulación de palas está configurado preferiblemente para ajustar el ángulo de ajuste de la pala de rotor de tal modo que se cumplen uno o varios criterios dependientes del momento en el plano determinado y/o el momento fuera del plano determinado. Por ejemplo, el equipo de regulación de palas puede estar configurado para ajustar el ángulo de ajuste de manera que el momento en el plano y/o momento fuera del plano determinados no alcancen o superen un valor umbral especificado o que todas las palas de rotor se carguen de la manera más uniforme posible, por lo que se reducen momentos de pandeo y de guiñada.

20 Por consiguiente, el ángulo de ajuste puede modificarse por ejemplo para mantener una carga mecánica de la pala de rotor debido al viento que acciona la pala de rotor por debajo de un valor umbral de carga especificado. Esto puede ser especialmente favorable con respecto a la vida útil de componentes del aerogenerador.

25 En otra forma de realización preferida el equipo sensor presenta exclusivamente un eje de medición, en particular dos elementos de sensor dispuestos en la zona de una raíz de pala de rotor en la superficie de cuerda el uno junto al otro o en lados enfrentados de la superficie de cuerda. Los dos elementos de sensor preferiblemente están configurados a este respecto para registrar una flexión de la pala de rotor en perpendicular al eje longitudinal de pala de rotor. Si los dos elementos de sensor de manera preferida están dispuestos en una cara superior o una cara inferior de la pala de rotor, los dos elementos de sensor pueden registrar de manera segura una flexión de la superficie de cuerda. A partir de la flexión de la superficie de cuerda registrada mediante sensores en dos puntos adyacentes o enfrentados el uno al otro con respecto a la superficie de cuerda puede determinarse el momento de impacto que actúa en perpendicular a la superficie de cuerda en la pala de rotor. Según la invención la previsión de dos elementos de sensor en la zona de la raíz de pala de rotor es suficiente para determinar de manera precisa y segura el momento fuera del plano teniendo en cuenta un momento en el plano determinado de manera independiente.

30 En otra forma de realización preferida los elementos de sensor están diseñados como calibres extensométricos ópticos. Por esto puede registrarse de manera fiable y precisa una flexión de la pala de rotor en perpendicular al eje longitudinal de pala de rotor, en particular o una flexión de la superficie de cuerda o una flexión en la superficie de cuerda. Además, los elementos de sensor configurados de esta manera son robustos frente a averías debidas a influencias externas, por ejemplo, rayos.

35 En otra forma de realización preferida los elementos de sensor están diseñados como sensores en forma de barra. Los sensores en forma de barra son sensores en los que en la zona de la raíz de pala está fijada firmemente un componente en forma de barra a un extremo con la pared de pala y esencialmente en paralelo a esta, en donde el movimiento del otro extremo de la barra con respecto a la pared de pala se registra mediante un sensor. En una deformación condicionada por las cargas de la pala de rotor, ya con longitudes de barra de solo 50 a 100 cm pueden detectarse movimientos transversales suficientemente grandes (deformación angular) como movimientos longitudinales del extremo de barra con respecto a la pared de pala. La barra se fabrica preferiblemente con un material similar a la pared de pala con el fin de compensar efectos de temperatura mediante la extensión de material. Un sensor en forma de barra de este tipo es conocido de por sí y se divulga por ejemplo en el documento DE 198 47 982 C2.

40 En otra forma de realización preferida el equipo de evaluación está configurado para determinar, basándose en los datos de momento de accionamiento un momento de accionamiento de pala individual que actúa sobre la pala de rotor. Preferiblemente el equipo de evaluación está configurado para asociar el momento de accionamiento registrado a al menos dos palas de rotor del rotor según una distribución, en particular, uniforme. Al determinar el momento en el plano el equipo de evaluación pondera los datos de momento de accionamiento, en particular el valor del momento de accionamiento, de manera preferida con un factor que considera el número de las palas de rotor del rotor. En el caso de un rotor con tres palas de rotor el valor del momento de accionamiento para calcular el momento en el plano por ejemplo puede ponderarse con el factor 1/3. La consideración de un momento de accionamiento de pala individual permite una precisión especialmente considerable en la determinación del momento en el plano.

45 En otra forma de realización preferida el equipo de evaluación está configurado para determinar el momento de accionamiento de pala individual teniendo en cuenta al menos uno de los siguientes parámetros: (i) datos de posición,

por ejemplo un ángulo de giro de la pala de rotor y/o de otras palas de rotor del rotor; (ii) parámetros de aerogenerador, por ejemplo una orientación azimutal del eje de rotor, en particular relativa a la dirección de viento; (iii) condición ambiental, por ejemplo una velocidad de viento, dirección de viento y/o (iv) datos de sensor adicionales que se emiten desde al menos un equipo sensor adicional dispuesto sobre y/o en una pala de rotor adicional. Preferiblemente el equipo de evaluación está configurado para determinar el momento de accionamiento de pala individual mediante una función de distribución en la que entra el momento de accionamiento registrado, y dado el caso, una de las magnitudes mencionadas anteriormente. El momento de accionamiento de pala individual puede determinarse, por ejemplo, teniendo en cuenta un gradiente de viento en altura, un viento oblicuo horizontal, un viento oblicuo vertical y/o una relación de momentos de impacto de distintas palas de rotor registrados, que actúan en perpendicular a la superficie de cuerda. Esto permite una determinación dinámica del momento en el plano que actúa sobre la pala de rotor y aumenta con ello ventajosamente la precisión y fiabilidad del momento fuera del plano determinado a continuación.

Un parámetro de aerogenerador en el sentido de la invención es, en particular, una magnitud que caracteriza el aerogenerador, en particular la pala de rotor. Un parámetro de aerogenerador puede ser, además de una orientación azimutal, por ejemplo, también una altura del rotor, es decir, la distancia del buje de rotor desde el fondo, una longitud de la pala de rotor y/o similar. Por consiguiente, teniendo en cuenta valores de medición y/o de valoración, por ejemplo, una velocidad de viento y/o una dirección de viento puede determinarse, en particular valorarse por ejemplo el gradiente de viento en altura, el flujo incidente de la pala de rotor y/o de las palas de rotor y/o similar.

En otra forma de realización preferida, el equipo de registro de momento de accionamiento está configurado para valorar y/o registrar al menos un parámetro de funcionamiento, por ejemplo, una velocidad de rotación, una potencia eléctrica, un valor característico de convertidor, una carga del grupo propulsor, un momento de torsión total y/o similar, del aerogenerador y determinar el momento de accionamiento tomando como base el al menos un parámetro de funcionamiento valorado y/o registrado. El equipo de registro de momento de accionamiento presenta de manera preferida una disposición de sensor que está configurado para registrar mediante sensores el o los parámetros de funcionamiento. Como alternativa o adicionalmente el equipo de registro de momento de accionamiento presenta una disposición de procesamiento de datos que está configurada para determinar o valorar mediante cálculos el o los parámetros de funcionamiento. Por ello el momento en el plano puede determinarse de manera especialmente sencilla y segura.

En otra forma de realización preferida el equipo de evaluación está configurado para transformar los datos de sensor, en particular geoméricamente de tal modo que los datos de sensor caracterizan una parte del momento de impacto registrada en el momento fuera del plano. La parte del momento de impacto registrado, obtenido mediante la transformación en el momento fuera del plano puede entenderse también como valor de aproximación para el momento fuera del plano, en particular para ángulos de incidencia pequeños.

A este respecto el equipo de evaluación está configurado preferiblemente para transformar los datos de sensor dependiendo de un ángulo de ajuste de la pala de rotor. Sin embargo, como alternativa o adicionalmente el equipo de evaluación puede estar configurado también para transformar los datos de sensor dependiendo de un ángulo entre la dirección efectiva del momento de impacto registrado y la superficie de cuerda de la pala de rotor. Por ejemplo, un valor del momento de impacto caracterizado por los datos de sensor que actúa en perpendicular a la superficie de cuerda puede multiplicarse por el coseno del ángulo de ajuste con el fin de obtener al menos una parte del momento fuera del plano. Otras partes en el momento fuera del plano son determinadas por el equipo de evaluación preferiblemente mediante transformación, en particular geométrica del momento en el plano determinado previamente, teniendo en cuenta al menos los datos de posición, preferiblemente dependiendo del ángulo de incidencia y del momento de impacto. Tal cálculo del momento fuera del plano puede realizarse de manera eficiente, es decir, también con poca capacidad de procesamiento de manera rápida y fiable.

Las partes de momento fuera del plano obtenidas por las transformaciones, en particular geométricas deben entenderse preferiblemente como cantidades que deben calcularse con signos correspondientes para obtener el momento fuera del plano que actúa realmente. En particular en este sentido se tienen en cuenta componentes de momento que contribuyen al momento en el plano, pero que también presentan una parte en la dirección del momento fuera del plano. Por lo tanto, también puede considerarse una parte de momento fuera del plano condicionada por el momento de pivotado. En otras palabras, las partes de momento fuera del plano que se forma a partir del momento de impacto y del momento de pivotado, también a partir del momento de impacto y del momento en el plano pueden determinarse mediante transformaciones correspondientes.

En otra forma de realización preferida el equipo de evaluación está configurado para determinar para cada una de las palas de rotor del rotor un valor del momento fuera del plano, en particular basándose en datos de sensor, que se generan mediante equipos de sensor dispuestos en cada caso en las distintas palas de rotor, y valores del momento en el plano, que se determinan teniendo en cuenta datos de posición para cada una de las palas de rotor. Preferiblemente, tomando como base el valor determinado del momento fuera del plano para cada una de las palas de rotor se determina un momento de guiñada y/o un momento de pandeo del rotor. En particular el momento de pandeo y/o de guiñada puede calcularse mediante una adición de vectores de los momentos fuera del plano de todas las palas de rotor. Preferiblemente el equipo de regulación de palas está configurado a este respecto para ajustar el ángulo de ajuste de la pala de rotor tomando como base el momento de guiñada y/o momento de pandeo

determinados. En particular el equipo de evaluación puede estar configurado para calcular mediante el momento de guiñada y/o momento de pandeo determinados un fallo de regulación sobre cuya base se controla el aerogenerador, en particular se ajusta el ángulo de ajuste. Por ejemplo, el equipo de evaluación puede calcular tomando como base el momento de pivotado y fuera del plano la intensidad de un momento de guiñada que actúa en el rotor que carga un equipo de seguimiento azimutal para la orientación azimutal del rotor.

Para compensar o al menos reducir este momento de guiñada, por ejemplo, mediante el equipo de regulación de palas el ángulo de ajuste de las palas de rotor puede corregirse cíclicamente a través de la rotación del rotor. Esto permite un funcionamiento fiable del aerogenerador y una prolongación de la vida útil.

En otra forma de realización preferida el equipo de evaluación está configurado para determinar el valor del momento en el plano y/o momento fuera del plano que actúan sobre la pala de rotor adicionalmente teniendo en cuenta un ángulo de inclinación (también llamado ángulo de eje de rotor) del eje de rotor con respecto a la horizontal y/o a un ángulo de orientación de la pala de rotor con respecto a un plano de rotor situado perpendicular al eje de rotor (también llamado ángulo de conicidad). Preferiblemente el equipo de evaluación a este respecto está configurado para compensar mediante un cálculo de corrección la influencia del peso propio que cambia continuamente de la pala de rotor en el momento en el plano. En particular el equipo de evaluación mediante transformaciones preferiblemente geométricas de la posición de pala de rotor o momento de accionamiento medidos o calculados puede tener en cuenta las partes del peso propio de la pala de rotor en el momento en el plano. Preferiblemente tomando como base el momento en el plano corregido de esta manera también puede determinarse a continuación un momento fuera del plano corregido. Esto permite un control del aerogenerador especialmente efectivo, en particular un ajuste especialmente efectivo del ángulo de ataque.

En otra forma de realización preferida el equipo de evaluación está configurado para determinar el valor del empuje de rotor que actúa sobre la torre a partir de los momentos fuera del plano de las palas individuales. Esto se realiza preferiblemente teniendo en cuenta el ángulo de eje de rotor y un ángulo de conicidad eventual. Esto hace posible conocer la carga principal sobre la torre que puede limitarse por un control, de manera que la torre como componente individual muy caro puede protegerse de sobrecargas.

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para controlar un aerogenerador con un rotor que presenta al menos una pala de rotor unida mediante un buje de rotor con un eje de rotor del rotor. El procedimiento presenta preferiblemente las siguientes etapas: (i) registrar una posición de giro de la pala de rotor con respecto al eje de rotor y emitir datos de posición que caracterizan un valor de la posición de giro; (ii) determinar un momento de impacto que actúa sobre la pala de rotor en perpendicular a un eje longitudinal de pala de rotor y preferiblemente en perpendicular a una superficie de cuerda de la pala de rotor y emitir datos de sensor que caracterizan un valor del momento de impacto registrado; (iii) determinar un valor de un momento en el plano de la pala de rotor mediante los datos de posición y determinar un valor de un momento fuera del plano de la pala de rotor a partir del momento en el plano determinado y los datos de sensor, teniendo en cuenta una dirección efectiva del momento de impacto determinado con respecto a la superficie de cuerda de la pala de rotor, en particular a una dirección de un eje de medición del equipo sensor; y (iv) controlar el aerogenerador tomando como base el valor determinado del momento en el plano y/o del valor determinado del momento fuera del plano.

En una forma de realización preferida el procedimiento por lo demás presenta la siguiente etapa: registrar un momento de accionamiento que actúa en el eje de rotor y emitir datos de momento de accionamiento que caracterizan un valor del momento de accionamiento. A este respecto se determina el momento en el plano por lo demás mediante los datos de momento de accionamiento.

En una forma de realización adicional preferida, tomando como base el valor determinado del momento en el plano y/o el valor determinado del momento fuera del plano se determina una condición ambiental y el aerogenerador se controla tomando como base la condición ambiental determinada. Por ello puede ajustarse por ejemplo el ángulo de ajuste de una pala de rotor de manera especialmente favorable o una góndola del aerogenerador y con ello el eje de rotor puede orientarse de manera especialmente favorable a la dirección de viento que predomine en ese momento.

En otra forma de realización preferida tomando como base el valor determinado del momento fuera del plano se ajusta un ángulo de ajuste de la pala de rotor. Por consiguiente, el ángulo de ajuste puede modificarse por ejemplo para mantener una carga mecánica de la pala de rotor debido al viento que acciona la pala de rotor por debajo de un valor umbral de carga especificado. Esto puede ser especialmente favorable con respecto a la vida útil de componentes del aerogenerador.

Las características y ventajas descritas con referencia al primer aspecto de la invención y su configuración ventajosa se cumplen, al menos cuando sea tecnológicamente plausible, también para el segundo, tercer y cuarto aspecto de la invención y su configuración ventajosa, así como a la inversa.

La invención se explica con más detalle a continuación mediante ejemplos de realización no limitativos que están representados en las figuras. En estas muestran al menos parcialmente de manera esquemática:

**Fig. 1** un primer ejemplo de realización preferido de un aerogenerador;

**Fig. 2** un ejemplo de realización preferido de un rotor;

**Fig. 3** un ejemplo de realización preferido de una pala de rotor;

**Fig. 4** un segundo ejemplo de realización preferido de un aerogenerador; y

**Fig. 5** un ejemplo de realización preferido de un procedimiento según la invención.

La **Figura 1** muestra un ejemplo de realización preferido de un aerogenerador 1 con un rotor 2 que presenta tres palas 3 de rotor que están alojadas de manera giratoria a través de un buje 4 de rotor alrededor de un eje R de rotor, y un dispositivo 10 para ajustar un ángulo de ajuste de cada una de las palas 3 de rotor. El buje 4 de rotor del rotor 2 está montado en una góndola 5 del aerogenerador 1 que está alojada preferiblemente de manera giratoria alrededor de un eje A de giro vertical sobre una torre 6 de manera que la góndola 5 o el eje R de rotor puede orientarse de manera azimutal con respecto a una dirección de viento WR. La representación en la Fig. 1 es una representación simplificada sin tener en cuenta el ángulo de inclinación del eje de rotor y/o un ángulo de conicidad de las palas 3 de rotor con respecto al eje R de rotor.

Para poder regular la potencia absorbida por el aerogenerador 1 a través del rotor 2 el aerogenerador 1 presenta por ejemplo un equipo 60 de control diseñado como equipo de regulación de palas que está configurado para ajustar el ángulo de ajuste de las palas 3 de rotor con respecto a un plano E de rotor que está definido por el movimiento de las palas 3 de rotor. En particular el equipo 60 de control está configurado preferiblemente para ajustar el ángulo de ajuste al menos de una pala 3 de rotor tomando como base un momento en el plano determinado que actúa en la pala 3 de rotor, y/o un momento fuera del plano determinado que actúa en la pala 3 de rotor. El momento en plano y fuera del plano se refiere a este respecto en el ejemplo mostrado a un momento de flexión que actúa sobre la pala 3 de rotor en el plano E de rotor o en perpendicular al plano E de rotor. El momento en el plano y fuera del plano pueden determinarse a este respecto con ayuda del dispositivo 10 de la manera siguiente:

El dispositivo 10 presenta preferiblemente un equipo 20 de registro de posición que está configurado para registrar una posición de giro de la pala 3 de rotor con respecto al eje R de rotor y emitir datos de posición que caracterizan un valor de la posición de giro, así como un equipo 30 de registro de momento de accionamiento que está configurado para registrar un momento de accionamiento que actúa en el eje R de rotor y emitir datos de momento de accionamiento que caracterizan un valor del momento de accionamiento. El dispositivo 10 presenta además de manera preferida un equipo 40 de sensor que está dispuesto junto a y/o en la pala 3 de rotor, en particular en el funcionamiento de una raíz 3b de pala de rotor y está configurado para determinar un momento de impacto que actúa sobre la pala 3 de rotor en perpendicular a un eje longitudinal de pala de rotor y emitir datos de sensor que caracterizan un valor del momento de impacto determinado, así como un equipo 50 de evaluación, que está configurado para determinar a partir de los datos de posición y los datos de momento de accionamiento un valor del momento en el plano y por lo demás a partir del momento en el plano determinado y los datos de sensor teniendo en cuenta una dirección efectiva del momento de impacto determinado con respecto a una superficie de cuerda de la pala 3 de rotor, determinar un valor del momento fuera del plano y emitir los valores determinados, por ejemplo al equipo 60 de control configurado como equipo de regulación de palas.

Como alternativa o adicionalmente el equipo 50 de evaluación también puede estar configurado para utilizar los valores determinados del momento en el plano y del momento fuera del plano para determinar una condición ambiental, que caracteriza una influencia externa en el aerogenerador 1, en particular en el rotor 2 o las palas 3 de rotor. La condición ambiental determinada puede emitirse después al equipo 60 de control para el control del aerogenerador 1, por ejemplo, para orientar la góndola 5 relativa a la dirección de viento WR o para la desconexión del aerogenerador 1 en el caso de velocidades de viento demasiado altas.

La **Figura 2** muestra un ejemplo de realización de un rotor 2 con tres palas 3 de rotor, en donde el rotor 2 está alojado de manera giratoria alrededor de un eje de rotor perpendicular en el plano de las figuras. El movimiento de las palas 3 de rotor define un plano E de rotor que se corresponde en la representación mostrada con el plano de las figuras. En cada una de las palas 3 de rotor en el funcionamiento, es decir, en el caso de una rotación del rotor 2 provocada por el viento, actúa un momento  $M_{zB}$  de flexión en el plano E de rotor que se denomina también momento en el plano.

El momento  $M_{zB}$  en el plano se compone preferiblemente de al menos dos partes: un momento  $M_a$  de accionamiento y un momento  $M_{gi}$  de flexión que depende de la posición de giro de la pala 3 de rotor, generado por el peso propio de la pala 3 de rotor, en donde el índice i indica la pala de rotor respectiva. Si se presenta un ángulo de eje de rotor del eje de rotor y/o un ángulo de conicidad de las palas de rotor con respecto al eje de rotor, entonces deben considerarse también los momentos resultantes de esto en la determinación del momento en el plano  $M_{zB}$ , como se describe más adelante con respecto a la Fig. 4.

El momento  $M_a$  de accionamiento puede reproducir por ejemplo una carga de torsión de un grupo propulsor conectado con el rotor 2 que, multiplicado por la velocidad de rotación (velocidad angular) representa en última instancia el rendimiento útil. Las palas 3 de rotor individuales, debido a la unión al menos esencialmente rígida de las tres palas 3

de rotor actúan a través de un buje de rotor en el grupo propulsor unido con el rotor 2. El momento  $M_a$  de accionamiento resulta por lo tanto de la suma de vectores de los momentos en plano  $M_{zB}$  de las palas 3 de rotor individuales.

5 Si se registra el momento  $M_a$  de accionamiento, por ejemplo, según una función de distribución, dado el caso teniendo en cuenta condiciones ambientales, parámetros de aerogenerador y/o similares, puede distribuirse como alternativa también de manera uniforme sobre las palas 3 de rotor individuales. Preferiblemente se supone que en cada una de las tres palas 3 de rotor actúa un momento  $M_a$  de accionamiento de pala 1/3 individual.

10 El momento  $M_{gi}$  de flexión generado por el peso propio de la pala 3 de rotor depende en particular del ángulo de giro  $\alpha$  entre una vertical superior  $V$  y la orientación actual de la pala 3 de rotor. Si el ángulo de giro  $\alpha$  de una pala 3 de rotor es, por ejemplo,  $0^\circ$ , es decir, la pala 3 de rotor correspondiente está orientada en una dirección de la vertical  $V$ , la pala 3 de rotor apunta con una punta de pala de rotor hacia arriba. En esta posición de giro el peso propio de la pala 3 de rotor no provoca ningún momento de flexión que dependa del peso propio. Si ángulo de giro  $\alpha$  de una pala 3 de rotor (i=1), como se representa en la Figura 2, es de, por ejemplo  $90^\circ$ , la pala 3 de rotor correspondiente está orientada en horizontal. En esta posición de giro el peso propio de la pala 3 de rotor provoca el momento de flexión  $M_g$  máximo que depende del peso propio. El momento  $M_{gi}$  de flexión que depende del ángulo de giro  $\alpha$  o del tiempo y que depende del peso propio puede expresarse por ejemplo por  $\sin(\alpha) \cdot M_{stat}$ .  $M_{stat}$  designa en este sentido preferiblemente el momento estático de la pala de rotor, que a su vez es un parámetro de producción o instalación. El momento estático  $M_{stat}$  designa aquel momento que actúa en una orientación en perpendicular a la aceleración terrestre sobre la raíz de pala.

20 En total resulta aproximadamente el momento de flexión que actúa en el plano E de rotor en cada una de las palas 3 de rotor (momento en el plano)

$$M_{zB} = \sin(\alpha) \cdot M_{stat} + 1/3 \cdot M_a.$$

25 La **Figura 3** muestra un ejemplo de realización preferido de una pala 3 de rotor en una vista lateral. La pala 3 de rotor presenta una cara inferior  $3a'$ , es decir, una cara de presión dirigida al viento que incide en la pala 3 de rotor, y una cara superior  $3a''$ , es decir, un lado de aspiración opuesto al viento incidente.

30 La pala 3 de rotor se gira con respecto a un plano E de rotor que está definido por el movimiento de rotación de la pala 3 de rotor alrededor de un eje de rotor, por ejemplo, para permitir un flujo incidente especialmente favorable de la pala 3 de rotor. En particular, una superficie  $3a$  de cuerda de la pala 3 de rotor, que preferiblemente discurre a lo largo de un eje longitudinal de pala de rotor (en perpendicular al plano de las figuras) desde un borde delantero de pala de rotor en la dirección de un borde trasero de pala de rotor, se gira alrededor de un ángulo de ajuste  $\Theta$  hacia el plano E de rotor. Cuando la pala 3 de rotor se ha girado de esta manera, los datos de sensor de un equipo sensor, que está configurado para registrar un momento  $M_{fB}$  de impacto que actúa sobre la pala 3 de rotor en perpendicular a la superficie  $3a$  de cuerda, arrojan solo una estimación sujeta a errores de un momento de flexión  $M_{yB}$  que actúa en perpendicular al plano E de rotor sobre la pala 3 de rotor que se denomina también momento fuera del plano. Lo mismo se cumple también para datos de sensor de un equipo sensor, que está configurado para registrar un momento  $M_{eB}$  de pivotado situado sobre la pala 3 de rotor paralelo a la superficie  $3a$  de cuerda, en particular en la superficie  $3a$  de cuerda, y en perpendicular al eje longitudinal de pala de rotor.

45 El error puede compensarse de manera convencional, compleja en términos de tecnología de medición, transformando el momento de impacto  $M_{fB}$  registrado, que actúa en perpendicular a la superficie  $3a$  de cuerda y en particular en perpendicular a un eje longitudinal de pala de rotor sobre la pala 3 de rotor teniendo en cuenta un momento de pivotado  $M_{eB}$  que actúa en paralelo a la superficie  $3a$  de cuerda y en perpendicular al eje longitudinal de pala de rotor sobre la pala 3 de rotor.

50 Aunque el momento  $M_{eB}$  de pivotado que actúa en paralelo a la superficie  $3a$  de cuerda y en perpendicular al eje longitudinal de pala de rotor sobre la pala 3 de rotor no pueda registrarse, por ejemplo porque se ahorran ventajosamente elementos de sensor correspondientes, es no obstante posible según la invención determinar de manera precisa y segura el momento fuera del plano  $M_{yB}$  mediante una transformación del momento  $M_{fB}$  de impacto registrado, perpendicular a la superficie  $3a$  de cuerda que actúa sobre la pala 3 de rotor teniendo en cuenta un momento  $M_{zB}$  en el plano determinado de manera independiente (véase Figura 2). A este respecto de manera preferida se tiene en cuenta la dirección efectiva del momento  $M_{fB}$  de impacto registrado, por ejemplo, a través del ángulo  $\Theta$  de ajuste, a partir del cual la orientación del momento  $M_{fB}$  de impacto registrado puede derivarse hacia el momento  $M_{yB}$  fuera del plano. Si la dirección efectiva del momento de impacto registrado no estuviera situada en perpendicular a la superficie  $3a$  de cuerda puede tenerse en cuenta adicionalmente también un ángulo entre su dirección efectiva y la superficie  $3a$  de cuerda.

60 El momento  $M_{yB}$  fuera del plano puede expresarse, por ejemplo, de la siguiente manera en componentes del momento  $M_{fB}$  de impacto y del momento  $M_{eB}$  de pivotado:

$$M_{yB} = \cos(\Theta) \cdot M_{fB} - \sin(\Theta) \cdot M_{eB}.$$

65

En cambio, el momento  $M_{zB}$  en el plano puede expresarse, por ejemplo, de la siguiente manera en componentes del momento  $M_{fB}$  de impacto y del momento  $M_{eB}$  de pivotado:

$$M_{zB} = \sin(\Theta) \cdot M_{fB} + \cos(\Theta) \cdot M_{eB},$$

5

de lo cual resulta una ecuación mediante conversión.

$$M_{eB} = (M_{zB} - \sin(\Theta) \cdot M_{fB}) / \cos(\Theta)$$

10 El momento  $M_{yB}$  fuera del plano puede expresarse independientemente del momento  $M_{eB}$  de pivotado que actúa en paralelo a la superficie 3a de cuerda en la pala 3 de rotor de la siguiente manera:

$$M_{yB} = \cos(\Theta) \cdot M_{fB} - \sin(\Theta) \cdot (M_{zB} - \sin(\Theta) \cdot M_{fB}) / \cos(\Theta).$$

15 Un momento  $M_{yB}$  fuera del plano determinado de este tipo, en particular mediante solo dos elementos de sensor de un equipo sensor que están dispuestos en la zona de una raíz de pala de rotor, por ejemplo, enfrentados unos a otros en la cara superior 3a'' y en la cara inferior 3a' de la pala 3 de rotor y configurados para medir una flexión de la pala 3 de rotor en lados enfrentados unos a otros de la pala 3 de rotor puede utilizarse ventajosamente para la regulación del aerogenerador, en particular del ángulo  $\Theta$  de ajuste.

20

La **Figura 4** muestra un segundo ejemplo de realización preferido de un aerogenerador 1, en el que una góndola 5 está ladeada formando un ángulo  $\tau$  de inclinación (también llamado ángulo de eje de rotor) con respecto a la horizontal H y que presenta un rotor 2 con varias palas 3 de rotor que están alojadas de manera giratoria alrededor de un eje R de rotor. El ladeo de la góndola 5 produce también un ladeo de un plano E de rotor que está dispuesto en perpendicular con respecto al eje R de rotor, con respecto a una vertical V formando el ángulo de inclinación  $\tau$ .

25

Las palas 3 de rotor están inclinadas de manera preferida adicionalmente formando un ángulo de conicidad  $\phi$  con respecto al plano E de rotor, de manera que en la rotación alrededor del eje R de rotor se mueven sobre la superficie lateral de un cono, en particular de un tronco de cono. En otras palabras, las palas 3 de rotor durante el movimiento barren una superficie cónica. Una parte de un momento en el plano que actúa en cada una de las palas 3 de rotor que se debe al peso propio de las palas 3 de rotor por lo tanto ahora no solo depende del ángulo de giro (véase Figura 2), sino que también depende del ángulo  $\tau$  de inclinación y/o del ángulo  $\phi$  de conicidad. En particular los pesos correspondientes, que actúan en la dirección de la vertical V ahora también en una parte, contribuyen a los momentos de flexión, es decir, los momentos fuera del plano, que actúan sobre las palas 3 de rotor en perpendicular a la superficie barrida por las palas 3 de rotor durante la rotación alrededor del eje R de rotor, es decir, la superficie lateral del cono.

30

Para tener en cuenta los pesos que actúan sobre las palas 3 de rotor en el caso mostrado en la Figura 4 puede llevarse a cabo un cálculo de corrección en cuyo marco se transforman en el plano de envoltura del cono o en perpendicular a este. Para el momento en el plano corregido resulta lo siguiente:

35

$$M_0(\alpha) = |\cos(\alpha)| \cdot \sin(\tau - \cos(\alpha) \cdot \phi) M_g,$$

$$M_{zB}' = \cos(\sin(\alpha)(\tau - \cos(\alpha)\phi)) \cdot \sin(\alpha) \cdot M_g + \sin(\sin(\alpha)(\tau - \cos(\alpha)\phi)) \cdot M_0(\alpha) + 1/3 \cdot M_{\alpha}.$$

40 Para el momento fuera del plano corregido resulta algo correspondiente

$$M_{yB}' = M_{yB} - \sin(\sin(\alpha)(\tau - \cos(\alpha)\phi)) \cdot \sin(\alpha) \cdot M_g - \cos(\sin(\alpha)(\tau - \cos(\alpha)\phi)) \cdot M_0(\alpha).$$

A este respecto es el momento  $M_{yB}$  fuera del plano no corregido

45

$$M_{yB} = \cos(\Theta) \cdot M_{fB} - \sin(\Theta) \cdot (M_{zB} - \sin(\Theta) \cdot M_{fB}) / \cos(\Theta),$$

en el que entran los valores  $M_{fB}$  de un momento de impacto que se mide en perpendicular a la superficie de cuerda de la pala de rotor (véase Figura 3).

50

La **Figura 5** muestra una forma de realización preferida de un procedimiento 100 para controlar un aerogenerador con un rotor que presenta al menos una pala de rotor unida mediante un buje de rotor con un eje de rotor del rotor. En una etapa de procedimiento S1 se registra preferiblemente una posición de giro de la pala de rotor con respecto al eje de rotor y se emiten datos P de posición que caracterizan un valor de la posición de giro. En una etapa de procedimiento S2 adicional puede registrarse un momento de accionamiento que actúa sobre el eje de rotor y pueden emitirse datos de momento M de accionamiento que caracterizan un valor del momento de accionamiento. Tomando como base los datos P de posición y los datos de momento M de accionamiento puede determinarse entonces un momento  $M_{zB}$  en

55

el plano para la pala de rotor en una etapa de procedimiento S3. El valor correspondiente del momento  $M_{zB}$  en el plano se emite.

5 A este respecto el momento  $M_{zB}$  en el plano en la etapa de procedimiento S3 se determina de manera preferida teniendo en cuenta un ángulo de inclinación del eje de rotor hacia una horizontal y/o un ángulo de conicidad de las palas de rotor hacia un plano de rotor que discurre en perpendicular al eje de rotor, por lo que resulta ventajosamente un momento en el plano corregido.

10 En una etapa de procedimiento S4 adicional se registra preferiblemente un momento de impacto que actúa en la pala de rotor en perpendicular a un eje longitudinal de pala de rotor y se emiten datos de sensor S que caracterizan un valor del momento de impacto registrado. A partir de estos datos de sensor S, así como el momento  $M_{zB}$  en el plano determinado teniendo en cuenta la dirección efectiva del momento de impacto determinado con respecto a una superficie de cuerda de la pala de rotor, en una etapa de procedimiento S5 adicional puede determinarse un momento  $M_{yB}$  fuera del plano. El valor correspondiente del momento  $M_{yB}$  fuera del plano se emite.

15 También en este sentido de manera preferida puede tenerse en cuenta el ángulo de inclinación del eje de rotor hacia una horizontal y/o el ángulo de conicidad de las palas de rotor hacia un plano de rotor que discurre en perpendicular al eje de rotor, por lo que resulta ventajosamente un momento fuera del plano corregido.

20 Mediante el valor determinado del momento  $M_{zB}$  en el plano corregido preferiblemente y/o mediante el valor determinado del momento  $M_{yB}$  fuera del plano corregido preferiblemente, en una etapa de procedimiento S6 adicional el aerogenerador puede controlarse, en particular puede ajustarse un ángulo de ajuste de la pala de rotor.

25 Preferiblemente, tomando como base los valores determinados del momento  $M_{zB}$  en el plano preferiblemente corregido y/o del momento  $M_{yB}$  fuera del plano preferiblemente corregido se determina una condición ambiental y el aerogenerador se controla tomando como base la condición ambiental determinada. A este respecto, dado el caso, pueden considerarse magnitudes adicionales registradas por sensores o información derivada de estas que caracterizan el estado de funcionamiento del aerogenerador.

30 Por ejemplo, tomando como base los valores del momento  $M_{zB}$ ,  $M_{yB}$  en el plano y fuera del plano determinados, dado el caso durante un cierto periodo, con diferentes ángulos de ajuste de las palas de rotor, en el caso de distintas orientaciones azimutales de la góndola y/o similares puede determinarse una velocidad de viento a partir de una tabla de consulta o una curva característica.

35 Lista de referencias

- 1 Aerogenerador
- 2 Rotor
- 40 3 Pala de rotor
- 3a Superficie de cuerda
- 45 3a', 3a'' Cara inferior, cara superior
- 3b Raíz de pala de rotor
- 4 Buje del rotor
- 50 5 Góndola
- 6 Torre
- 55 10, 11 Dispositivo
- 20 Equipo de registro de posición
- 30 Equipo de registro de momento de accionamiento
- 60 40 Equipo sensor
- 50 Equipo de evaluación
- 65 60 Equipo de control

## ES 2 936 122 T3

|          |  |
|----------|--|
| 100, 200 | Procedimiento  |
| S1 - S6  | Etapas de procedimiento  |
| 5        | R Eje del rotor  |
|          | E Plano de rotor   |
|          | A Eje de giro  |
| 10       | H Horizontal   |
|          | V Vertical   |
| 15       | WR Dirección de viento   |
|          | $M_g$ Momento de flexión de peso propio  |
|          | $M_a$ Momento de accionamiento   |
| 20       | $M_{zB}$ Momento en el plano   |
|          | $M_{zB'}$ Momento en el plano corregido  |
| 25       | $M_{yB}$ Momento fuera del plano   |
|          | $M_{yB'}$ Momento fuera del plano corregido                                      |
|          | $M_{fB}$ Momento de impacto que actúa en perpendicular a la superficie de cuerda |
| 30       | $M_{eB}$ Momento de pivotado que actúa en paralelo a la superficie de cuerda     |
|          | $\alpha$ Ángulo de giro  |
| 35       | $\Theta$ Ángulo de ajuste  |
|          | $\tau$ Ángulo de inclinación   |
|          | $\varphi$ Ángulo de conicidad  |
| 40       | P Datos de posición  |
|          | M Datos de momento de accionamiento  |
| 45       | S Datos de sensor  |

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo (10) para controlar un aerogenerador (1) con un rotor (2) que presenta al menos una pala (3) de rotor unida mediante un buje de rotor (4) a un eje de rotor (R) del rotor (2), que presenta:
  - un equipo (20) de registro de posición, que está configurado para registrar una posición de giro de la pala (3) de rotor con respecto al eje (R) de rotor y emitir datos (P) de posición que caracterizan un valor de la posición de giro;
  - un equipo (40) sensor que está dispuesto junto a y/o en la pala (3) de rotor y está configurado para determinar un momento ( $M_{IB}$ ) de impacto que actúa sobre la pala (3) de rotor perpendicular a un eje longitudinal de pala de rotor y preferiblemente perpendicular a una superficie (3a) de cuerda de la pala (3) de rotor y emitir datos (S) de sensor que caracterizan un valor del momento ( $M_{IB}$ ) de impacto determinado;
  - un equipo (50) de evaluación que está configurado para determinar mediante los datos (P) de posición un valor de un momento en el plano ( $M_{zB}$ ) de la pala (3) de rotor, y a partir del momento ( $M_{zB}$ ) en el plano determinado y los datos (S) de sensor teniendo en cuenta una dirección de acción del momento ( $M_{IB}$ ) de impacto determinado con respecto a la superficie (3a) de cuerda de la pala (3) de rotor, en particular a una dirección de un eje de medición del equipo (40) de sensor, determinar un valor de un momento ( $M_{yB}$ ) fuera del plano de la pala (3) de rotor; y
  - controlar un equipo (60) de control que está configurado para controlar el aerogenerador (1) tomando como base el valor determinado del momento ( $M_{zB}$ ) en el plano y/o el valor determinado del momento ( $M_{yB}$ ) fuera del plano.
  
2. Dispositivo (10) según la reivindicación 1, que presenta por lo demás
  - un equipo (30) de registro de momento de accionamiento que está configurado para registrar un momento ( $M_a$ ) de accionamiento que actúa en el eje (R) de rotor y emitir datos (M) de momento de accionamiento que caracterizan un valor del momento ( $M_a$ ) de accionamiento,
 en donde el momento ( $M_{zB}$ ) en el plano se determina por lo demás mediante los datos (M) de momento de accionamiento.
  
3. Dispositivo (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde
  - el equipo (50) de evaluación está configurado para determinar una condición ambiental tomando como base el valor determinado del momento ( $M_{zB}$ ) en el plano y/o el valor determinado del momento ( $M_{yB}$ ) fuera del plano, y
  - el equipo (60) de control está configurado para controlar el aerogenerador (1) basándose en la condición ambiental determinada.
  
4. Dispositivo (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el equipo (60) de control está configurado para ajustar un ángulo ( $\Theta$ ) de ajuste de la pala (3) de rotor tomando como base el valor determinado del momento ( $M_{yB}$ ) fuera del plano.
  
5. Dispositivo (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el equipo (40) sensor presenta exclusivamente un eje de medición, en particular exclusivamente dos elementos de sensor dispuestos en la zona de una raíz (3b) de pala de rotor en la superficie (3a) de cuerda el uno junto al otro o en lados enfrentados de la superficie (3a) de cuerda.
  
6. Dispositivo (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde elementos de sensor del equipo (40) sensor están configurados como calibres extensométricos ópticos o como sensores en forma de barra.
  
7. Procedimiento (100) para controlar un aerogenerador (1) con un rotor (2) que presenta al menos una pala (3) de rotor unida mediante un buje (4) de rotor a un eje de rotor (R) del rotor (2), que presenta las siguientes etapas:
  - registrar (S1) una posición de giro de la pala de rotor (3) con respecto al eje de rotor (R) y emitir datos de posición (P) que caracterizan un valor de la posición de giro;
  - determinar (S4) un momento ( $M_{IB}$ ) de impacto que actúa en la pala (3) de rotor perpendicular a un eje longitudinal de pala de rotor y preferiblemente perpendicular a una superficie (3a) de cuerda de la pala (3) de rotor y emitir datos (S) de sensor que caracterizan un valor del momento ( $M_{IB}$ ) de impacto determinado;
  - determinar (S3) un valor de un momento ( $M_{zB}$ ) en el plano de la pala (3) de rotor mediante los datos (P) de posición y determinar (S5) un valor de un momento ( $M_{yB}$ ) fuera del plano de la pala (3) de rotor mediante el momento ( $M_{zB}$ ) en el plano determinado y los datos (S) de sensor teniendo en cuenta una dirección de acción, en particular una dirección de un eje de medición del equipo (40)

sensor, del momento ( $M_{IB}$ ) de impacto determinado con respecto a la superficie (3a) de cuerda de la pala (3) de rotor; y

– controlar (S6) el aerogenerador (1) tomando como base el valor determinado del momento ( $M_{zB}$ ) en el plano y/o el valor determinado del momento ( $M_{yB}$ ) fuera del plano.

- 5
8. Procedimiento (100) según la reivindicación 7, que presenta por lo demás la etapa siguiente:
- registrar (S2) un momento ( $M_a$ ) de accionamiento que actúa en el eje (R) de rotor y emitir datos (M) de momento de accionamiento que caracterizan un valor del momento ( $M_a$ ) de accionamiento;
- 10 en donde el momento ( $M_{zB}$ ) en el plano se determina por lo demás mediante los datos (M) de momento de accionamiento.
9. Procedimiento (100) según la reivindicación 7 u 8, en donde tomando como base el valor determinado del momento ( $M_{zB}$ ) en el plano y/o el valor determinado del momento ( $M_{yB}$ ) fuera del plano se determina una condición ambiental y el aerogenerador (1) se controla tomando como base la condición ambiental determinada.
10. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones 7 a 9, en donde tomando como base el valor determinado del momento ( $M_{yB}$ ) fuera del plano se ajusta un ángulo ( $\Theta$ ) de ajuste de la pala (3) de rotor.
- 20 11. Procedimiento (100, 200) según una de las reivindicaciones 8 a 10, en donde tomando como base los datos (M) de momento de accionamiento se determina un momento de accionamiento de pala individual que actúa sobre la pala (3) de rotor.
- 25 12. Procedimiento (100, 200) según la reivindicación 11, en donde el momento de accionamiento de pala individual se determina teniendo en cuenta al menos uno de los siguientes parámetros:
- datos (P) de posición;
- valores característicos de aerogenerador;
- 30 – condición ambiental; y/o
- datos (S) de sensores adicionales que se emiten desde al menos un equipo (40) de sensor adicional dispuesto sobre y/o en una pala (3) de rotor adicional.
13. Procedimiento (100, 200) según una de las reivindicaciones 7 a 12, en donde se valora y/o se registra al menos un parámetro de funcionamiento del aerogenerador (1) y el momento ( $M_a$ ) de accionamiento se determina tomando como base el al menos un parámetro de funcionamiento valorado y/o registrado.
- 35 14. Procedimiento (100, 200) según una de las reivindicaciones 7 a 13, en donde los datos (S) de sensor se transforman de tal manera que los datos de sensor caracterizan una parte del momento ( $M_{IB}$ ) de impacto registrado en el momento ( $M_{yB}$ ) fuera del plano.
- 40 15. Procedimiento (100, 200) según una de las reivindicaciones 7 a 14, en donde
- para cada una de las palas (3) de rotor del rotor (2) se determina un valor del momento ( $M_{yB}$ ) fuera del plano;
- 45 – tomando como base los valores del momento ( $M_{yB}$ ) fuera del plano determinados para cada una de las palas de rotor se determina un momento de guiñada y/o un momento de pandeo del rotor (2), y
- el ángulo ( $\Theta$ ) de ajuste de la pala (3) de rotor se ajusta tomando como base el momento de guiñada y/o el momento de pandeo determinados.
- 50 16. Procedimiento (100, 200) según una de las reivindicaciones 7 a 15, en donde el valor del momento ( $M_{zB}$ ) en el plano y/o momento ( $M_{yB}$ ) fuera del plano que actúan en la pala (3) de rotor se determina teniendo en cuenta adicionalmente un ángulo ( $\tau$ ) de inclinación del eje (R) de rotor con respecto a la horizontal (H) y/o a un ángulo ( $\varphi$ ) de orientación de la pala (3) de rotor con respecto a un plano (E) de rotor situado en perpendicular al eje (R) de rotor.
- 55

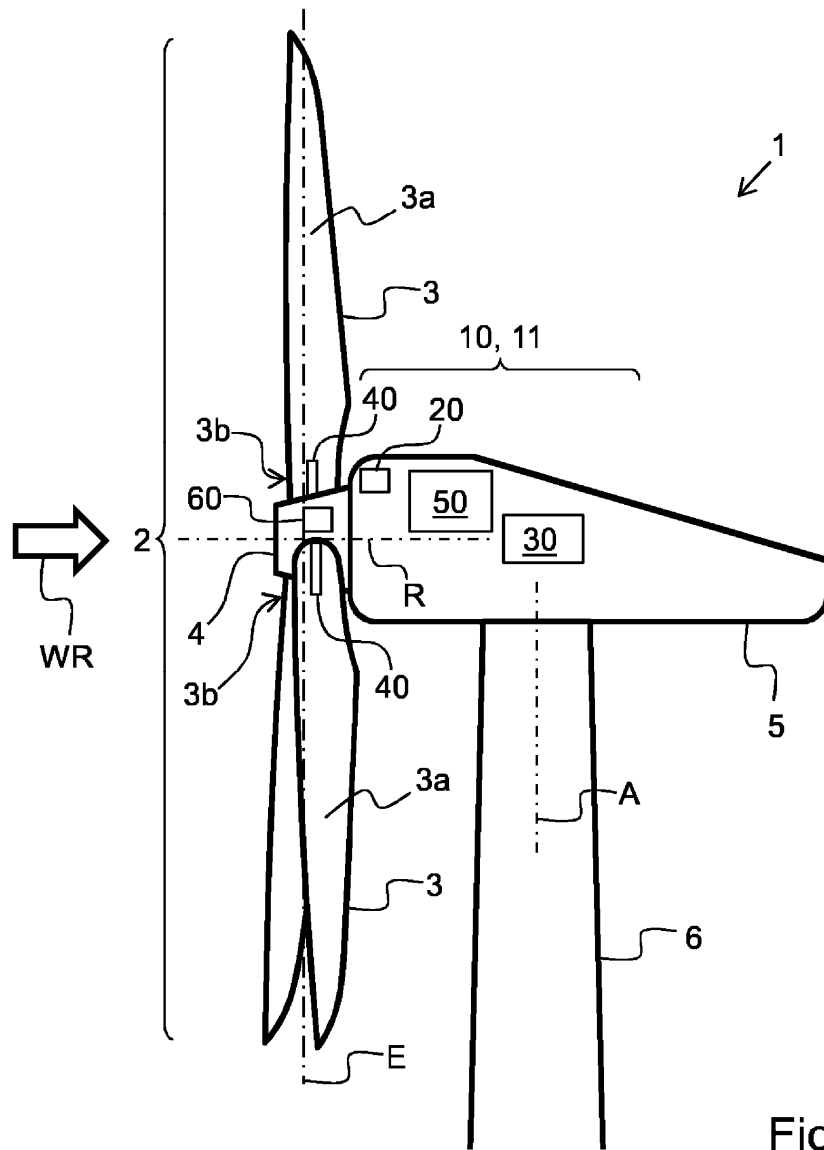


Fig. 1

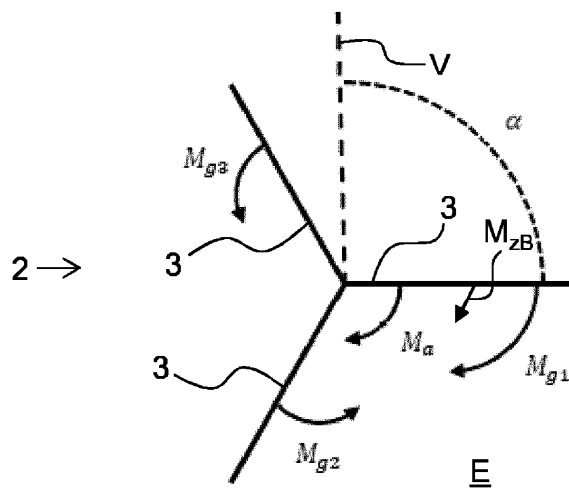


Fig. 2

Fig. 3

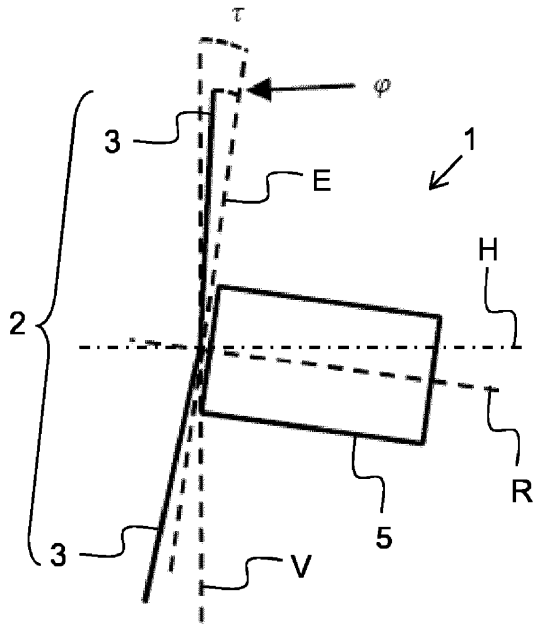
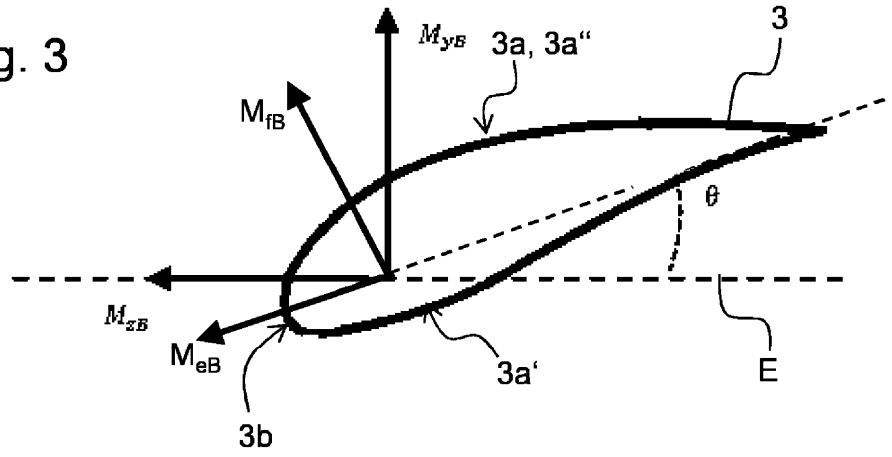


Fig. 4

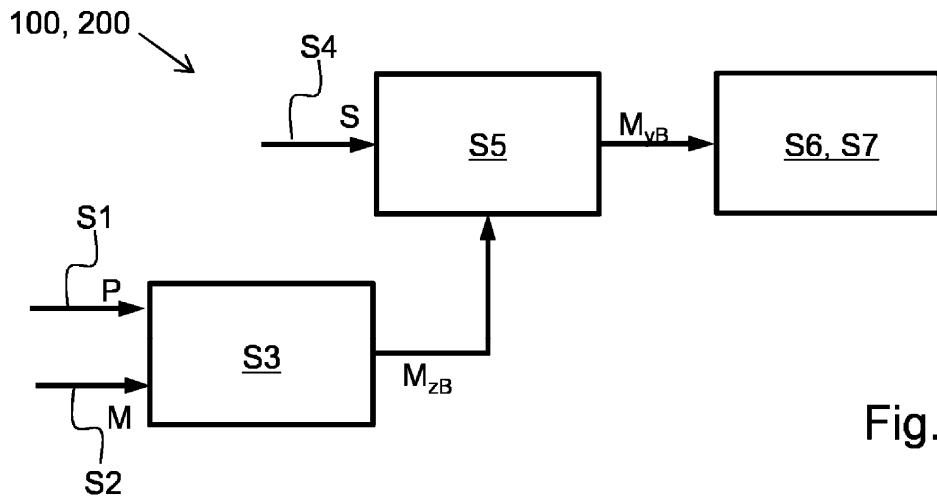


Fig. 5