

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 576 060**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.01.2011 E 11702787 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.03.2016 EP 2539586**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador**

30 Prioridad:

**22.02.2010 DE 102010002203**

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

**05.07.2016**

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)**

**Überseering 10**

**22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**VON MUTIUS, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 576 060 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador con un rotor y con al menos una pala de rotor cuyo ángulo de paso puede ser regulado. La invención se refiere además a un aerogenerador con un rotor y con al menos una pala de rotor, cuyo ángulo de paso puede ser regulado, y con un sistema de control de funcionamiento. La invención también se refiere al empleo de un procedimiento según la invención en un aerogenerador según la invención.

10 Además de los métodos térmicos y químicos se pueden emplear métodos mecánicos para la descongelación de las palas de rotor de aerogeneradores grandes.

Por la memoria de patente US 6,890,152 B1 se conoce un procedimiento para la descongelación de una pala de rotor de un aerogenerador, provocando los elementos generadores de vibraciones, especialmente altavoces o bocinas, vibraciones en la superficie de la pala de rotor cuyas frecuencias se encuentran en la gama de frecuencias acústicas bajas.

15 Por la solicitud internacional WO 2009/043352 A2 se conoce un procedimiento para la descongelación de una pala de rotor de un aerogenerador, sacudiéndose el hielo adherido a una pala de rotor de un aerogenerador parado mediante la aceleración y el frenado bruscos de la góndola, del rotor o de la pala de rotor.

La invención se plantea la tarea de proponer un procedimiento eficaz para la descongelación de una pala de rotor de un aerogenerador y un aerogenerador correspondiente.

20 Esta tarea se resuelve por medio de un procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador con un rotor y con al menos una pala de rotor cuyo ángulo de paso puede ser regulado, que ha sido perfeccionado por que la pala de rotor se acelera alrededor de su eje longitudinal por medio de al menos cinco procesos de regulación repetidos, especialmente periódicos, del ángulo de paso, generándose una vibración de flexión de la pala de rotor con una amplitud de vibración y una frecuencia de vibración, sucediéndose los procesos de regulación en el tiempo de manera que un espacio de tiempo entre dos procesos de regulación consecutivos en la misma dirección corresponda a un múltiplo de la frecuencia propia de vibración inversa o sea en menos de un 10% más largo o más corto. De este modo se evitan para la descongelación tanto sistemas adicionales costosos, como la necesidad de una parada completa del aerogenerador antes y/o después de la descongelación.

25 La invención se basa especialmente en la idea de deformar la superficie de la pala de rotor elásticamente mediante vibraciones generadas específicamente, con lo que se rompe y/o desprende el hielo adherido y se cae. Las vibraciones con mayor amplitud causan deformaciones más fuertes, lo que a su vez influye positivamente en la eficacia de la descongelación. Se genera en especial una vibración pivotante, con la que se consiguen especialmente deformaciones lo suficientemente grandes en la punta de la pala de rotor que provocan el desprendimiento del hielo. En el caso de una vibración pivotante se trata de una vibración de flexión de la pala de rotor que, en una posición de funcionamiento de la pala de rotor en el área de carga parcial o de paso fino, se encuentra fundamentalmente en el plano del rotor. La primera frecuencia propia de flexión de una pala de rotor se sitúa habitualmente en dirección del impacto. Para ello la vibración pivotante es esencialmente ortogonal. Por lo tanto, la vibración pivotante es especialmente una vibración desde el borde posterior de la pala de rotor hacia la punta de la pala de rotor.

30 El ángulo de paso de las palas de rotor de los aerogeneradores modernos se puede regular. A estos efectos se prevé para cada pala de rotor un dispositivo de regulación para el giro alrededor del eje longitudinal. Con cada cambio del índice de regulación, especialmente al arrancar o parar el dispositivo de regulación, las fuerzas de aceleración actúan sobre la pala de rotor, por lo que ésta empieza forzosamente a vibrar debido a la inercia de su masa. De acuerdo con la invención, la pala de rotor se acelera alrededor de su eje longitudinal aplicando a la pala de rotor repetidas veces fuerzas de aceleración en al menos cinco procesos de regulación consecutivos, especialmente periódicos. Por ángulo de paso se entiende en el marco de la invención especialmente una posición angular de la pala de rotor alrededor de su eje longitudinal. La regulación alrededor del eje longitudinal de la pala se puede llevar a cabo tanto por medio de sistemas de regulación hidráulicos suficientemente conocidos en el estado de la técnica, como por medio de sistemas de regulación eléctricos.

35 El complejo movimiento resultante de la superficie de la pala de rotor se puede interpretar como superposición de diferentes vibraciones.

Debido a la compleja geometría de la pala, especialmente a la curvatura y torsión del eje de la pala, se acoplan la vibración de impacto, la vibración pivotante y la vibración torsional. Con preferencia se excita especialmente la 1ª frecuencia propia de la vibración pivotante.

40 Los procesos de regulación, tanto los que se producen en una misma dirección como los que se producen alternativamente en dirección opuesta, provocan una vibración de flexión de la pala de rotor, especialmente una vibración pivotante. Por aceleración de la pala en cada proceso de regulación se entiende en el marco de la invención especialmente que las fuerzas de aceleración presenten en cada proceso de regulación al menos un

componente parcial en dirección del movimiento de flexión de la pala de rotor de la pala de rotor vibrante. Como consecuencia aumenta en cada proceso de regulación la amplitud de vibración de la vibración de flexión de la pala de rotor. Conforme a la invención se realizan al menos cinco procesos de regulación consecutivos. De este modo se garantiza el alcance de una amplitud de vibración suficientemente alta para una descongelación eficaz.

5 La vibración de flexión de la pala de rotor se amortigua por fricción, por lo que la amplitud de vibración disminuye de forma continua después del último proceso de regulación de una serie de procesos de regulación. En una variante de realización preferida de la invención se ejecutan al menos ocho procesos de regulación consecutivos, con lo que no sólo se alcanza la altura deseada de la amplitud de vibración, sino que también se mantiene durante un espacio de tiempo prolongado.

10 Conforme a la invención los procesos de regulación se siguen en el tiempo de manera que un espacio de tiempo entre dos procesos de regulación consecutivos en la misma dirección corresponda a un múltiplo de la frecuencia de vibración inversa o sea en menos de un 10 % más largo o más corto. También se puede prever un espacio de tiempo entre dos procesos de regulación consecutivos en dirección opuesta, que preferiblemente corresponda a un múltiplo entero o a un múltiplo fundamentalmente entero de la mitad de la frecuencia de vibración inversa o que sea  
15 en menos de un 10% más largo o más corto.

En una variante de realización especialmente preferida de la invención se impiden o reducen las cargas estructurales y los síntomas de desgaste realizando los procesos de regulación con un índice de regulación de menos de 8 %/s, especialmente de menos de 4 %/s.

20 La vibración de flexión de la pala de rotor es preferiblemente una vibración pivotante, especialmente una vibración pivotante con una frecuencia que corresponda a la primera frecuencia de vibración pivotante propia.

En una variante de realización preferida de la invención los procesos de regulación se siguen en el tiempo de manera que un espacio de tiempo entre dos procesos de regulación consecutivos en la misma dirección no difiera en más de un +10% o -10% de la primera frecuencia propia pivotante inversa. Por lo tanto, el espacio de tiempo oscila especialmente entre un 90% y un 110% de la primera frecuencia propia pivotante inversa.

25 Ni siquiera en los procesos de regulación óptimamente ajustados la amplitud de vibración alcanzable puede ser de cualquier altura, sino que más bien queda limitada por un valor máximo debido a la amortiguación que depende, entre otros aspectos, de la frecuencia de vibración. Un máximo especialmente alto para la amplitud de vibración se alcanza cuando la frecuencia de vibración corresponde a un valor cercano a una frecuencia de resonancia de la pala de rotor. Una variante de realización de la invención resulta especialmente ventajosa si se excita de forma acertada  
30 la primera frecuencia de resonancia o la frecuencia de resonancia más baja de la vibración pivotante, dado que así se consigue eficazmente un máximo de la amplitud de vibración. La frecuencia de vibración es preferiblemente inferior a 1,8 Hz.

Una pala de rotor con hielo adherido presenta una distribución de masa distinta a la de una pala de rotor sin hielo del mismo modelo. Como consecuencia se desplazan las frecuencias de resonancia de la pala de rotor frente al estado  
35 no congelado. Las frecuencias de resonancia cambian además constantemente durante la descongelación por desprendimiento del hielo. En una variante de realización especialmente ventajosa de la invención los procesos de regulación se ejecutan, controlan y/o regulan y, como consecuencia, se sincronizan en cuanto al tiempo, empleando un sistema de sensores. Se considera especialmente ventajoso el empleo de un sistema de sensores en el que el movimiento de una pala de rotor vibrante se registra, mide y/o vigila mediante el control de parámetros de medición  
40 adecuados. Los procesos de regulación se adaptan preferiblemente a la frecuencia de resonancia cambiante, especialmente a la primera frecuencia propia pivotante.

En una variante de realización preferida de la invención el sistema de sensores registra, mide y/o controla una corriente eléctrica para el funcionamiento del dispositivo de regulación del ángulo de paso de la pala de rotor o del  
45 ángulo de paso. En este caso se tiene en cuenta que la absorción de potencia del dispositivo de regulación es mayor en un proceso de regulación en contra del movimiento vibratorio de la pala de rotor que en un proceso de regulación con el movimiento vibratorio de la pala de rotor. Por este motivo el desarrollo de una corriente eléctrica, que sirve para el funcionamiento del dispositivo de regulación, sigue al movimiento vibratorio de la pala de rotor y, por consiguiente, a la vibración pivotante. La corriente se utiliza preferiblemente para controlar los procesos de regulación. Ventajosamente muchas veces se emplean sensores ya existentes para el control del dispositivo de  
50 regulación.

En una variante de realización preferida de la invención el sistema de sensores registra, mide y/o controla al menos un valor de carga, dilatación y/o aceleración en el aerogenerador, especialmente en la pala de rotor. De esta forma se pueden determinar directamente la frecuencia de vibración y la amplitud de vibración de la vibración de flexión de la pala de rotor, especialmente la vibración pivotante. Esto es, por ejemplo, posible midiendo la carga de la  
55 suspensión de la pala de rotor en el cubo, la dilatación de la superficie de la pala de rotor o la aceleración de la pala de rotor.

También se prefiere especialmente una variante de realización de la invención en la que se produzca un giro del rotor con una frecuencia de giro del rotor por debajo de una quinta parte, en especial por debajo de una décima parte, especialmente por debajo de una quinceava parte de la frecuencia de vibración de la vibración de flexión de la  
60 pala de rotor, especialmente de la vibración pivotante, describiendo la pala de rotor un giro con un semicírculo

superior y un semicírculo inferior y realizando el mismo por giro un movimiento de ascenso y un movimiento de descenso. De este modo se garantiza que, en el transcurso de un giro del rotor, se ejecuten al menos cinco procesos de regulación.

5 Resulta especialmente ventajosa otra variante de realización de la invención en la que la frecuencia de giro del rotor corresponde a la gama de frecuencias bajas para un funcionamiento acoplado a la red del aerogenerador. Así se suprimen largas fases transitorias para el frenado o arranque del aerogenerador, por lo que la corriente se puede producir directamente antes y después del proceso de descongelación o la producción de corriente incluso se puede mantener durante el proceso de descongelación.

10 La vibración de flexión de la pala de rotor o especialmente la vibración pivotante de la pala de rotor se amortigua más cuando el rotor gira, dado que se suma un componente aerodinámico de la amortiguación de vibraciones. A pesar de ello resulta ventajoso que la amplitud de vibración de la vibración de flexión de la pala de rotor, especialmente la vibración pivotante, se amortigüe adicionalmente para evitar cargas elevadas o incontrolables del aerogenerador.

15 La amplitud de vibración se reduce preferiblemente en al menos una sección del giro de la pala de rotor por medio de uno o varios procesos de regulación antivibratorios. La amortiguación adicional se consigue con procesos de regulación del ángulo de paso de la pala de rotor dirigidos específicamente contra el movimiento vibratorio momentáneo de la pala de rotor en el cubo de la pala. El grado de amortiguación deseado determina la duración y el número de estos procesos de regulación.

20 Los procesos de regulación se sincronizan preferiblemente con el giro del rotor. Es especialmente ventajoso que los procesos de regulación generadores de vibración se realicen únicamente durante el movimiento descendente o en el semicírculo inferior del giro de la pala de rotor y/o que los procesos de regulación antivibratorios se realicen únicamente durante el movimiento ascendente y/o en el semicírculo superior del giro de la pala de rotor. De este modo se consigue que una amplitud de vibración digna de mención de la vibración de flexión de la pala de rotor, especialmente una vibración pivotante, sólo se registre en el semicírculo inferior del giro de la pala de rotor. Así se evita que el hielo se desprenda en el semicírculo superior del giro y que el aerogenerador sea alcanzado y/o sufra daños a causa del hielo que se cae.

25 En una variante de realización especialmente ventajosa de la invención los procesos de regulación generadores de vibraciones sólo se realizan en el semicírculo inferior del círculo de la pala de rotor. En su caso también resulta ventajoso realizar los primeros procesos de regulación ya en el movimiento descendente de la pala de rotor, antes de llegar al semicírculo inferior del giro de la pala de rotor, para alcanzar una amplitud de vibración con la altura deseada al comienzo del semicírculo inferior.

30 También es especialmente ventajosa una variante de realización de la invención en la que la amplitud de vibración se amortigüe específicamente en el semicírculo superior del giro de modo que no se desprenda ningún hielo en el semicírculo superior, con lo que las partes situadas por debajo del aerogenerador no sufren daños. En su caso resulta ventajoso que la amortiguación específica comience ya en el movimiento ascendente de la pala de rotor antes de llegar al semicírculo superior del giro.

Además es ventajoso emplear un procedimiento de descongelación adicional, por ejemplo un procedimiento de descongelación térmico o químico. La combinación con el procedimiento según la invención permite en especial utilizar un sistema de descongelación térmico de poca potencia y, por consiguiente, de coste reducido.

40 La tarea se resuelve además por medio de un aerogenerador con un rotor, al menos una pala de rotor regulable y un sistema de control de funcionamiento, configurándose el sistema de control de funcionamiento para la utilización de un procedimiento según la invención.

La tarea se resuelve además mediante el empleo de un procedimiento según la invención para el funcionamiento de un aerogenerador según la invención.

45 La invención se describe a continuación, sin limitación de la idea general de la invención, a la vista de ejemplos de realización y con referencia a los dibujos, señalándose expresamente los dibujos en relación con los detalles según la invención no explicados especialmente en los dibujos. Se ve en la

Figura 1 una representación esquemática de un aerogenerador con un rotor y una pala de rotor regulable que describe un giro con una mitad superior y una mitad inferior,

50 Figura 2 un diagrama en bloque esquemático para un ejemplo de realización de un aerogenerador según la invención,

Figura 3 diagramas esquemáticos para la ilustración de la invención a la vista de un ejemplo de realización,

Figura 4 diagramas esquemáticos para la ilustración de la invención a la vista de otro ejemplo de realización.

55 En las figuras siguientes los elementos iguales o similares y las piezas correspondientes se identifican con los mismos números de referencia, por lo que se prescinde de una nueva presentación.

La figura 1 muestra esquemáticamente un ejemplo de aerogenerador 10 con un rotor 12 y una pala de rotor 14 así como con otras dos palas de rotor, pudiéndose regular la pala de rotor 14, por ejemplo, alrededor de su eje

longitudinal 15 a lo largo del dispositivo de regulación 16. Cuando el rotor 12 gira, la pala de rotor 14 describe un giro con una mitad superior 18 y una mitad inferior 19.

La figura 2 muestra un diagrama en bloque esquemático de un aerogenerador 10 según la invención. Una pala de rotor 14 de un rotor se une esquemáticamente a un cubo de rotor 13 y a un tren de transmisión 11. La pala de rotor 14 se regula por medio del dispositivo de regulación 32 alrededor de su eje longitudinal 15 en la dirección de regulación 16. El dispositivo de regulación 32 se acciona con una corriente eléctrica 36 y se controla por medio de un sistema de control de funcionamiento 30. El sistema de control de funcionamiento 30 emplea un sistema de sensores 34 que controla la corriente eléctrica 36. El sistema de sensores controla además un valor de dilatación 37 en la pala de rotor 14, un valor de aceleración 38 en la pala de rotor 14, un valor de carga 39 en la unión de la pala de rotor 14 al cubo de rotor 13, un valor de aceleración 38' en el cubo de rotor 13 y un valor de carga 39' en la unión entre el cubo de rotor 13 y el tren de transmisión 11.

Los valores de dilatación, aceleración y carga 37, 38, 38', 39 y 39' así como de la corriente eléctrica 36 mostrados en la figura 2 sólo sirven expresamente como ejemplos de posibles valores medidos, registrados y/o controlados por el sistema de sensores 34. No es necesario medir, registrar y/o controlar todos estos valores. También se pueden medir, registrar y/o controlar otros valores.

La figura 3 muestra algunos diagramas esquemáticos de un ejemplo de realización de la invención. Los cinco diagramas mostrados en la figura 3 representan, de arriba hacia abajo:

1. la evolución temporal 20 de la posición de la pala de rotor en  $^{\circ}$ , correspondiendo  $0^{\circ}$  a una posición perpendicular hacia arriba,
2. la evolución temporal 22 del ángulo de paso en  $^{\circ}$ ,
3. la evolución temporal 24 del índice de regulación en  $^{\circ}/\text{seg}$ .
4. la evolución temporal 26 del par de flexión en la raíz de la pala en kNm y
5. la evolución temporal 28 de la absorción de potencia del dispositivo de regulación 32.

En este ejemplo se produce un giro del rotor 12 con aproximadamente 0,08 Hz. Como consecuencia la pala de rotor 14 describe un giro de manera que la posición de la pala de rotor 14 sigue a la evolución temporal 20. La pala de rotor 14 se encuentra entonces alternativamente en la mitad superior 18 y en la mitad inferior 19 del giro, tal como se representa por medio de las flechas por encima de los diagramas.

Comenzando con el movimiento descendente de la pala de rotor 14, es decir, en el centro de la mitad superior 18 del giro, se activa el dispositivo de regulación 32, por lo que la pala de rotor 14 se acelera alrededor de su eje longitudinal 15 a lo largo de la dirección de regulación 16. También se muestra la evolución temporal 24 del índice de regulación. Como consecuencia de los procesos de regulación se genera una vibración de flexión de la pala de rotor, especialmente una vibración pivotante, de la pala de rotor 14. A continuación esta vibración pivotante se estudiará de forma más detallada.

Se ejecutan respectivamente ocho procesos de regulación con índice de regulación positivo y negativo, con lo que el ángulo de paso, cuya evolución temporal 22 se representa, varía periódicamente. Durante el movimiento ascendente de la pala de rotor 14, es decir, desde el centro de la mitad inferior 19 del giro hasta llegar a la mitad de la mitad superior 18 del giro, no se ejecutan procesos de regulación.

Se muestra además la evolución temporal 26 del par de flexión en la raíz de la pala, es decir, en la unión entre la pala de rotor 14 y el rotor 12. Se reconocen dos componentes superpuestos. El primero se debe a la carga de la pala de rotor 14 bajo su peso propio y está en correlación con la evolución temporal 20 de la posición de la pala de rotor 14. El segundo se debe a la vibración pivotante de la pala de rotor 14 y oscila con una frecuencia de vibración correspondiente.

Se reconoce claramente en el caso representado que en la zona de la raíz de la pala la vibración pivotante causa pares de flexión considerablemente más pequeños que el peso propio de la pala de rotor 14. Si se trata de desprender el hielo existente en la zona de la raíz de la pala, la amplitud de vibración posiblemente se tiene que elevar. En la zona exterior especialmente interesante de la pala, la carga adicional debido a la vibración pivotante es mucho mayor, por lo que allí el hielo se desprende.

Una comparación entre la evolución temporal 24 del índice de regulación y la evolución temporal 26 del par de flexión demuestra que en este ejemplo los procesos de regulación se ejecutan de forma periódica con una frecuencia correspondiente esencialmente a la frecuencia de oscilación del par de flexión.

Se reconoce además que el componente del par de flexión, atribuible a la vibración pivotante, sólo existe durante el giro inferior 19 y no durante el giro superior 18, dado que a partir del centro de la mitad inferior 19 del giro no se ejecutan procesos de regulación y que la vibración pivotante va disminuyendo hasta llegar a la mitad superior 19 del giro. La excitación de la vibración pivotante de la pala de rotor es especialmente eficiente, puesto que la punta de la pala, particularmente propensa a congelarse, experimenta la mayor carga adicional y, por lo tanto, también la mayor dilatación adicional. Dado que el hielo no se puede dilatar tanto, es posible desprenderlo eficazmente de la superficie de la pala.

Como último diagrama se muestra la evolución temporal 28 de la absorción de potencia por parte del dispositivo de regulación 32. De la comparación con la evolución temporal 26 del par de flexión se deduce una correlación con la vibración pivotante de la pala de rotor 14.

La figura 4 muestra un diagrama comparable de las correspondientes curvas para otro ejemplo de realización de la invención. En este ejemplo el giro del rotor es más lento con una frecuencia de 0,04 Hz, aproximadamente. Debido al giro más lento del rotor 12 se pueden ejecutar durante el movimiento descendiente de la pala de rotor 14 respectivamente 15 procesos de regulación con índice de regulación positivo y negativo, excitándose la misma frecuencia de vibración de la vibración pivotante que en el ejemplo anterior.

De la evolución temporal 26' resulta que se alcanzan amplitudes de vibración notablemente más altas de la vibración pivotante que en el ejemplo de realización de la figura 3. A pesar de que, al igual que en dicho ejemplo, no se ejecutan procesos de regulación durante el movimiento ascendente de la pala de rotor 14, se registra también en la mitad superior 18 del giro de la pala de rotor 14 una vibración pivotante de amplitud de vibración considerable. En un caso como éste es ventajoso amortiguar la vibración pivotante antes de llegar a la mitad superior 18 del giro de la pala de rotor 14 por medio de procesos de regulación dirigidos contra el movimiento de la pala de rotor 14 vibrante.

En el funcionamiento del aerogenerador, es decir, con el rotor girando, se puede detectar la congelación de forma preventiva para la descongelación, o sea, incluso sin detectar ninguna congelación, o de forma alternativa a través de un análisis sensorio. Después se puede proceder a una reducción de la potencia y/o del número de revoluciones del aerogenerador. A continuación el sistema de dirección del servicio o el dispositivo de control del sistema de dirección del servicio se puede cambiar a un modo de descongelación, dado que sería conveniente desactivar algunos de los códigos de estado y sistemas de vigilancia. Después se excita reiteradamente una vibración de flexión de la pala de rotor deseada, especialmente una vibración pivotante. Opcionalmente, después se puede interrumpir el proceso de regulación del ángulo de paso de la pala de rotor en la mitad superior del rotor y reajustar el ángulo de paso de la pala de rotor posiblemente a un valor medio del ángulo de paso de pala de las demás palas de rotor. Como otro paso opcional puede seguir un paso de detección de una descongelación posiblemente eficaz de la pala. Se añaden sucesivamente los correspondientes pasos del procedimiento de descongelación para las demás palas de rotor. Después el aerogenerador vuelve al modo de funcionamiento normal.

El paso de cambio del sistema de dirección de servicio al modo de descongelación incluye una conmutación selectiva de un único accionamiento de ángulo de paso de la pala a un modo de descongelación para desactivar ciertas consultas de seguridad, por ejemplo en relación con las aceleraciones del ángulo de paso de la pala de rotor admisibles. Con preferencia, esto se lleva a cabo "fail-safe" a través del anillo colector hacia el cubo, en concreto respectivamente para un solo eje de pala.

Una variante de realización alternativa para la descongelación se produce en parada, por ejemplo cuando existe un desequilibrio del rotor debido al hielo. En primer lugar se detecta la congelación a través de medidas apropiadas, por ejemplo, a través de un desequilibrio considerable del rotor al arrancar. Las palas de rotor se colocan entonces en posición de bandera para frenar el rotor. Por medio de un freno de rotor el rotor se bloquea en una posición predeterminable resultante del desequilibrio.

El sistema de dirección de servicio se cambia después al modo de descongelación para desactivar los códigos de estado y las vigilancias del funcionamiento normal. De acuerdo con la invención, después se produce repetidas veces una vibración de flexión de la pala de rotor o una vibración pivotante de la pala más baja. Opcionalmente se puede detectar después una descongelación eficaz de esta pala. A continuación se desbloquea el freno del rotor. Se puede producir una estabilización pasiva o, en su caso, apoyada por la regulación de la pala y una nueva posición de otra pala de rotor resultante del desequilibrio. Los pasos que anteceden, desde el bloqueo del rotor con un freno de rotor hasta el desbloqueo del freno del rotor y, entre medias, la repetida excitación, es decir, la ejecución del procedimiento de descongelación según la invención, se pueden repetir después para las demás palas, en concreto hasta eliminar el desequilibrio o hasta que no se pueda reconocer ninguna mejora. A continuación el aerogenerador vuelve a su modo de funcionamiento normal.

Un desequilibrio se detecta, por ejemplo, mediante la evaluación de la señal del número de revoluciones en el arranque del aerogenerador, por ejemplo en el régimen de barrena, o mediante sensores de aceleración en la cabeza de la torre. En el caso de propiedades de pala preestablecidas o permanentes, la amplitud de vibración que se produce, especialmente las amplitudes de vibración, se puede regular especialmente con dos parámetros. Estos parámetros son la dureza de la excitación, es decir, el índice Pitch, y las aceleraciones, así como la distancia entre la frecuencia de excitación y la frecuencia propia de la pala y de la frecuencia propia de la pala o de la frecuencia propia de vibración pivotante.

Dado que en una pala de rotor congelada la frecuencia propia disminuye a causa de la masa adicional, hay que reducir también la excitación en caso de congelación. Para ello la frecuencia de giro de la pala actual se puede determinar y ajustar para la excitación por medio de un sensor, por ejemplo un sensor de aceleración, dilatación o de fuerza. Alternativamente se puede reducir paulatinamente la frecuencia de excitación, partiendo de la frecuencia propia nominal especialmente sin hielo, en especial de la frecuencia propia pivotante de la pala.

Las amplitudes de vibración generadas se controlan por medio de sensores, preferiblemente ya existentes, como por ejemplo parámetros eléctricos en el sistema de ángulo de paso de la pala, por ejemplo la corriente de ángulo de paso o la corriente eléctrica empleada para el funcionamiento del dispositivo de regulación del ángulo de paso de la

pala de rotor. Con la frecuencia de excitación, preferiblemente con una amplitud máxima, se excita varias veces la vibración pivotante. Si las amplitudes de vibración se reducen, se vuelve a aumentar un poco la frecuencia de excitación, puesto que es muy probable que el hielo se haya caído.

5 Después de la descongelación eficaz la excitación con frecuencia nominal debe conducir a amplitudes de vibración máximas, lo que significa que la pala de rotor se ha descongelado con éxito. En el caso de la excitación a través de la regulación del ángulo de paso de la pala se establece un offset en dirección positiva para evitar que los ajustes negativos del ángulo de la pala puedan dar lugar a una interrupción del flujo y, por consiguiente, a un efecto estable.

En la medida en la que en el marco de esta solicitud se elige el término "frecuencia propia", éste término incluye también el concepto de "frecuencia de resonancia" y viceversa.

10

Lista de referencias

- 10 Aerogenerador
- 11 Tren de transmisión
- 15 12 Rotor
- 13 Cubo del rotor
- 14 Pala de rotor
- 15 Eje longitudinal
- 16 Dispositivo de regulación
- 20 18 Giro (mitad superior)
- 19 Giro (mitad inferior)
- 20, 20' Evolución temporal (posición de la pala de rotor)
- 22, 22' Evolución temporal (ángulo de paso)
- 24, 24' Evolución temporal (índice de regulación)
- 25 26, 26' Evolución temporal (par de flexión)
- 28, 28' Evolución temporal (absorción de potencia)
- 30 Sistema de control de funcionamiento
- 32 Dispositivo de regulación
- 34 Sistema de sensores
- 30 36 Corriente eléctrica
- 37 Valor de dilatación
- 38, 38' Valor de aceleración
- 39, 39' Valor de carga

35

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador (10) con un rotor (12) y al menos una pala de rotor (14) regulable en lo que se refiere a su ángulo de paso, caracterizado por que la pala de rotor (14) se acelera alrededor de su eje longitudinal (15) por medio de al menos cinco procesos de regulación repetidos, excitándose una vibración de flexión de la pala de rotor con una amplitud de vibración y una frecuencia de vibración, sucediéndose los procesos de regulación en el tiempo de manera que un espacio de tiempo entre dos procesos de regulación consecutivos en la misma dirección corresponda a un múltiplo de la frecuencia propia de vibración inversa de la pala de rotor o sea en menos del 10 % más largo o más corto.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se ejecutan al menos ocho procesos de regulación repetidos.
- 15 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por que los procesos de regulación se llevan a cabo con un índice de regulación de menos de 8º/s, especialmente de menos de 4º/s.
- 20 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la vibración de flexión de la pala de rotor es una vibración pivotante, especialmente una vibración pivotante con una frecuencia correspondiente a la 1ª frecuencia de vibración pivotante propia.
- 25 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la frecuencia de vibración es inferior a 1,8 Hz.
- 30 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que los procesos de regulación se ejecutan, controlan y/o regulan, especialmente de forma sincronizada en el tiempo, por medio de un sistema de sensores (34).
- 35 7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que el sistema de sensores registra, mide y/o controla la corriente eléctrica (36) empleada para el funcionamiento del dispositivo de regulación (32) del ángulo de paso de la pala de rotor.
- 40 8. Procedimiento según la reivindicación 6 ó 7, caracterizado por que el sistema de sensores (34) registra, mide y/o controla al menos un valor de carga, dilatación y/o de aceleración (37, 38, 38', 39, 39').
- 45 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que un giro del rotor con una frecuencia de giro de rotor se produce por debajo de una quinta parte, en especial por debajo de una décima parte, especialmente por debajo de una quinceava parte de la frecuencia de vibración, describiendo la pala de rotor (14) un giro con un semicírculo superior (18) y un semicírculo inferior (19) y realizando el mismo por giro un movimiento de ascenso y un movimiento de descenso.
- 50 10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado por que la frecuencia de giro del rotor se encuentra en la gama de frecuencias bajas para un funcionamiento acoplado a la red del aerogenerador (10).
- 55 11. Procedimiento según la reivindicación 9 ó 10, caracterizado por que la amplitud de vibración se reduce en al menos una sección del giro de la pala de rotor (14) por medio de uno o varios procesos de regulación antivibratorios.
- 60 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 9 a 11, caracterizado por que los procesos de regulación se sincronizan con el giro del rotor, realizándose especialmente los procesos de regulación generadores de vibraciones únicamente durante el movimiento descendente o en el semicírculo inferior (19) del giro de la pala de rotor (14) y/ o los procesos de regulación antivibratorios únicamente durante el movimiento ascendente o en el semicírculo superior (18) del giro de la pala de rotor (14).
- 65 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por que se emplea un procedimiento de descongelación adicional, especialmente un procedimiento de descongelación térmico.
14. Aerogenerador (10) con un rotor (12) y al menos una pala de rotor regulable (14) y con un sistema de control de funcionamiento (30), configurándose el sistema de control de funcionamiento (30) para la aplicación de al menos un procedimiento según una o varias de las reivindicaciones 1 a 13 para la descongelación de la al menos una pala de rotor regulable (14).
15. Empleo de un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13 para el funcionamiento de un aerogenerador (10) según la reivindicación 14.

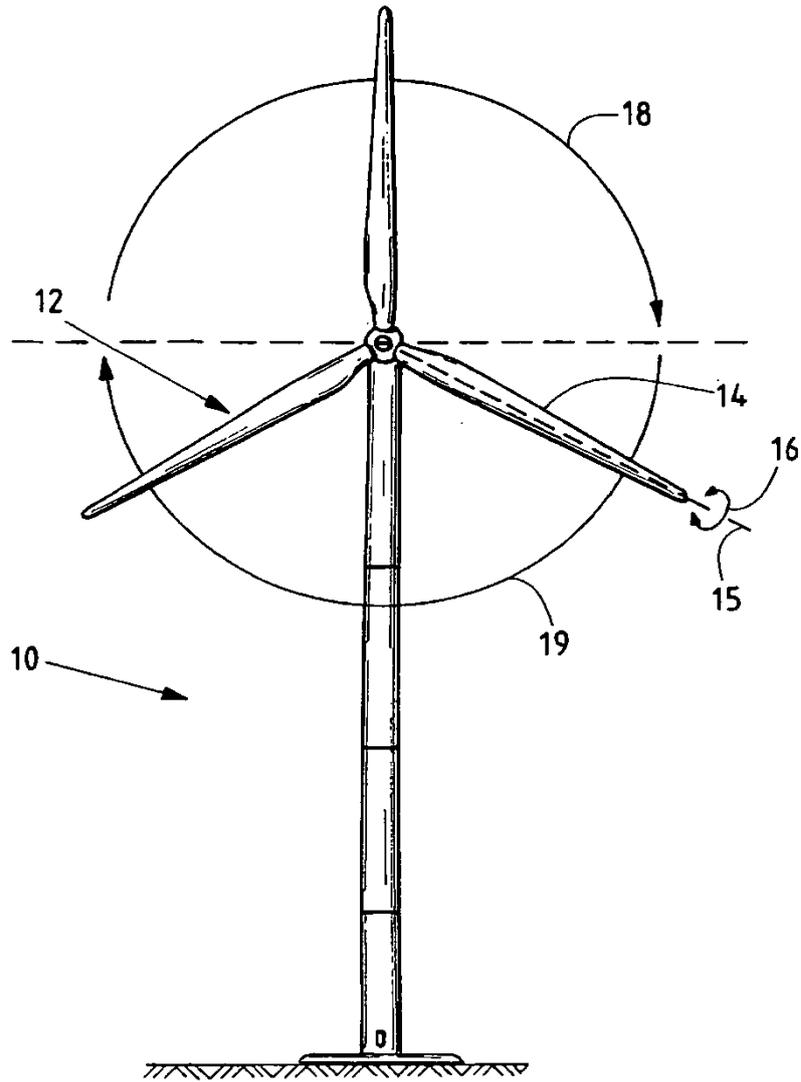


Fig. 1

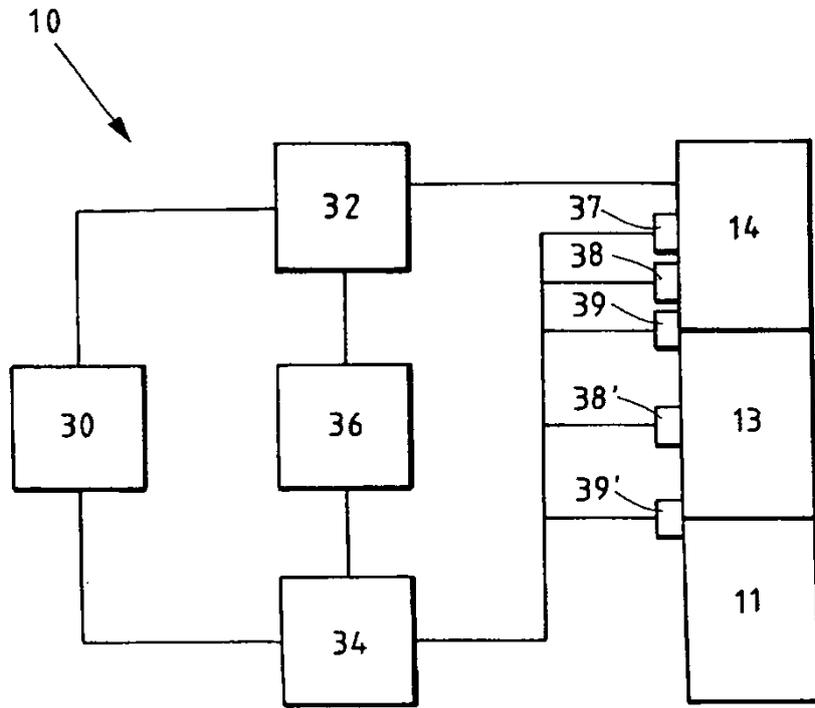


Fig. 2

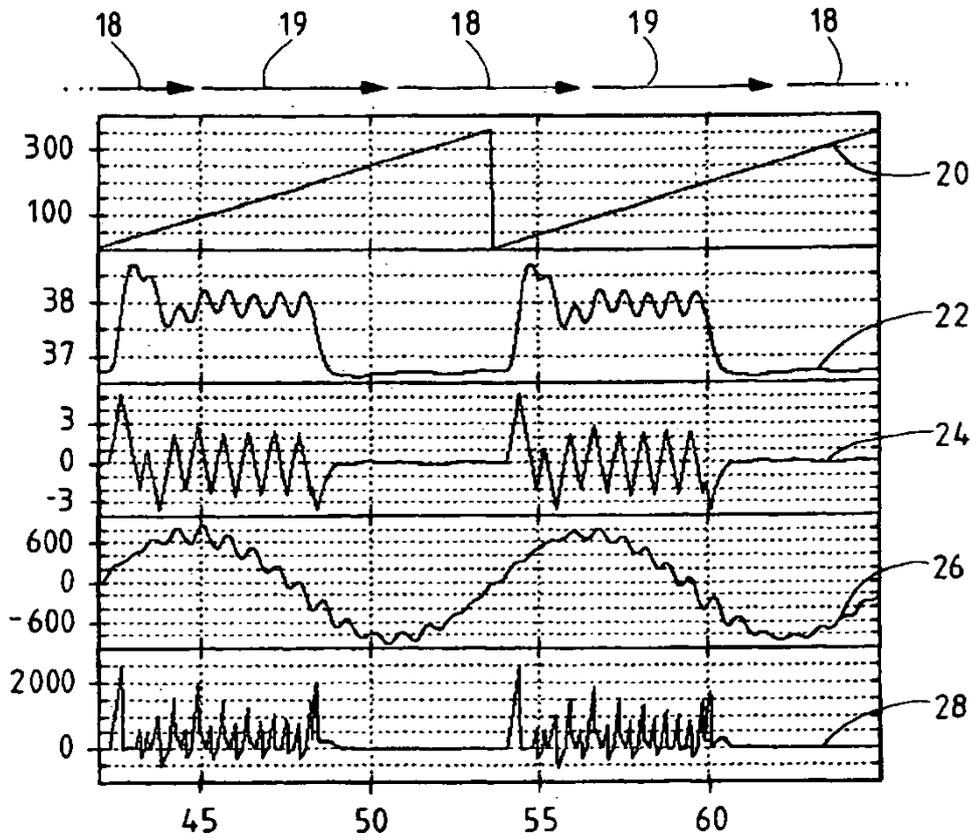


Fig. 3

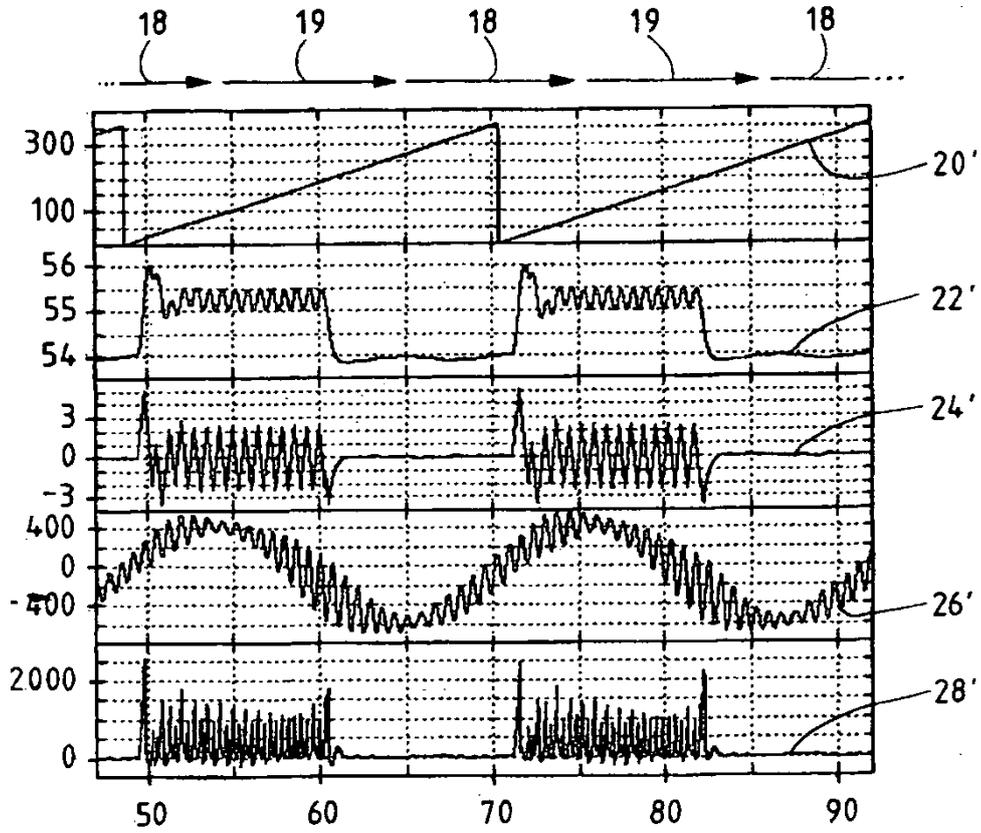


Fig. 4