

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 476 426**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.01.2007 E 07700184 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.05.2014 EP 1971772**

54 Título: **Procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica e instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

11.01.2006 DE 102006001613

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

14.07.2014

73 Titular/es:

**SENVION SE (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**STEINER, STEFAN y
VON MUTIUS, MARTIN**

74 Agente/Representante:

BOTELLA REYNA, Antonio

ES 2 476 426 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 hacer funcionar una instalación de energía eólica e instalación de energía eólica.

5 La invención se refiere a un procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica, presentando la instalación de energía eólica un rotor, al menos una pala de rotor ajustable en ángulo, un dispositivo de frenado mecánico para el frenado del rotor y un dispositivo de guiado del funcionamiento, así como un sistema de seguridad. La invención se refiere además a una instalación de energía con un rotor, al menos una pala de rotor ajustable en ángulo, un freno mecánico para el frenado de la pala de rotor, un dispositivo de guiado del funcionamiento y un
10 sistema de seguridad.

Se conocen en sí procedimientos para hacer funcionar una instalación de energía eólica e instalaciones de energía eólica. Para ello se indica, por ejemplo, el libro de texto "Windkraft Systemauslegung, Netzintegration und Regelung (*Diseño de sistemas de energía eólica, integración en la red y regulación*), Siegfried Heier, 4ª Edición, B.G. Teubner,
15 febrero 2005. El funcionamiento de las instalaciones de energía eólica y las mismas instalaciones de energía eólica son críticos con vistas a su diseño, en particular con vistas a aspectos de seguridad. En particular en el caso de vientos fuertes en unión con un fallo de la red, en el que el par aerodinámico generado por el viento en el rotor no se topa con una resistencia por parte del generador, se pueden producir cargas de torre extremas, en particular momentos de flexión del pie de torre, ajustes de ángulo de la pala incontrolados y eventualmente incluso la
20 activación de una cadena de seguridad. Debido al fallo de la red o más generalmente debido a un deslastre de carga del generador, el rotor empieza a acelerarse con viento fuerte hasta que comienza a frenar el sistema de frenado de la instalación de energía eólica. En función de la intensidad de la potencia de frenado aparecen solicitaciones de diferente intensidad en la instalación de energía eólica.

25 El documento WO 02/42641 A1 da a conocer un procedimiento para el control de una instalación de energía eólica, en el que las palas de rotor de la instalación de energía eólica se ponen en una primera posición predeterminada al alcanzar una primera velocidad del viento predeterminada y al alcanzar una segunda velocidad del viento predeterminada, que es mayor que la primera velocidad del viento, la sala de máquinas se lleva a una posición acimutal predeterminada. Esto sirve para disminuir la solicitación de la instalación de energía eólica en situaciones
30 de viento extremo.

El objetivo de la presente invención es especificar un procedimiento seguro para hacer funcionar una instalación de energía eólica y una instalación de energía eólica segura correspondiente con solicitaciones extremas reducidas.

35 Este objetivo se resuelve mediante un procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica, presentando la instalación de energía eólica un rotor, al menos una pala de rotor ajustable en ángulo, un dispositivo de frenado mecánico para el frenado del rotor, un dispositivo de guiado del funcionamiento así como un sistema de seguridad, con las siguientes etapas del procedimiento:

- 40 - frenado del rotor a través de un ajuste de ángulo con una tasa media de ajuste de ángulo de menos de 8,5°/s de al menos una pala de rotor después de la aparición de una señal de perturbación,
- frenado del rotor a través del dispositivo de frenado mecánico tan pronto como la velocidad de rotación del rotor sobrepasa un primer límite de velocidad de rotación predeterminable, y
- 45 - activación del sistema de seguridad tan pronto como la velocidad de rotación del rotor sobrepasa un segundo límite de velocidad de rotación predeterminable, frenándose el rotor y siendo el segundo límite de velocidad de rotación mayor que el primer límite de velocidad de rotación, no sobrepasándose el segundo límite de velocidad de rotación en una instalación de energía eólica con buen funcionamiento, tampoco
- 50 durante el deslastre de carga del generador combinado con una ráfaga de viento extrema cuya probabilidad de aparición es menor de una vez en tres meses.

Mediante el procedimiento según la invención es posible hacer funcionar la instalación de energía eólica, incluso con ráfagas de viento extremas y deslastre de carga simultáneo del generador, de modo que no se originan
55 solicitaciones demasiado elevadas, por ejemplo, de parte de un momento de flexión del pie de torre o de un momento de flexión del rotor.

En particular la combinación del frenado del rotor a través de un ajuste de ángulo con una tasa media de ajuste de ángulo de menos de 8,5°/s y del frenado del rotor a través del dispositivo de frenado mecánico tan pronto como la

velocidad del rotor sobrepasa un primer límite de velocidad predeterminado, conduce al éxito según la invención combinado con las otras características. La tasa de ajuste de ángulo baja sirve en particular para impedir que las palas de rotor se giren de forma demasiado rápida, de modo que se impide un empuje inversor indeseado. Se basa en el conocimiento de que una tasa de ajuste de ángulo lo más lenta posible para el frenado del rotor reduce las 5 solicitaciones. La desventaja del peligro de la velocidad de rotación excesiva del rotor con ráfagas de viento impredecibles se puede controlar de forma segura según la invención mediante las características adicionales según la invención (primer y segundo límite de velocidad de rotación). En el estado de la técnica se ha renunciado hasta ahora a las tasas de ajuste de ángulo bajas en el caso de perturbaciones, como por ejemplo caída de la carga, dado que los estados de velocidad de rotación excesiva que aparecen durante las ráfagas han conducido a solicitaciones 10 inaceptablemente elevadas.

En el marco de la invención significa una tasa de ajuste de ángulo promediada, en particular una premediación de la tasa de ajuste de ángulo durante el intervalo de tiempo en el que tiene lugar el frenado a través de un ajuste de 15 ángulo, en particular en tanto que el dispositivo de frenado mecánico no frena el rotor. La tasa de ajuste de ángulo para el frenado del rotor a través de un ajuste de ángulo está preferentemente no sólo en el medio sino constantemente por debajo de 8,5°/s.

El dispositivo de frenado mecánico en una instalación de energía eólica con engranaje actúa preferentemente en el lado de rotación rápida de la cadena cinemática. En este lado también se sitúa el generador con su parte rotativa 20 designada como rotor. Sin embargo, el dispositivo de frenado mecánico también se puede disponer en el lado lento de la cadena cinemática, es decir en el lado entre el engranaje y las palas de rotor. Pero la instalación de energía eólica también puede estar realizada sin engranaje, de modo que el freno actúa en la zona del cubo o del rotor del generador. En el marco de la invención el término rotor también comprende en particular los términos, cadena cinemática, árbol rápido, rotor del generador, engranaje, árbol de rotor (= árbol lento), cubo de rotor y palas de rotor. 25 Un frenado del rotor significa en particular el frenado de la cadena cinemática.

El frenado del rotor a través de un ajuste de ángulo se puede efectuar de forma aditiva al frenado del rotor a través del dispositivo de frenado mecánico o alternativamente. En primer lugar también se puede efectuar un frenado 30 alternativo del rotor a través de un ajuste de ángulo y a continuación se pueden realizar las dos variantes de frenado, a saber a través del ajuste de ángulo y a través del dispositivo de frenado mecánico.

Después de la activación del sistema de seguridad se puede frenar el rotor en particular preferentemente pasándose por alto el dispositivo de guiado del funcionamiento. Sin embargo, el dispositivo de guiado del funcionamiento puede ser también parte del sistema de seguridad o el sistema de seguridad puede ser parte del dispositivo de guiado del 35 funcionamiento, de modo que el dispositivo de guiado del funcionamiento no se debe pasar por alto necesariamente para el frenado después de la activación del sistema de seguridad.

La forma y la intensidad de una ráfaga de viento se puede calcular con un modelo de perfil de viento normal, según está especificado, por ejemplo, en el libro de texto "Wind Energy Handbook (*Manual de la energía eólica*), Tony 40 Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi, John Wiley & Sons Ltd., noviembre de 2002, en las páginas 214 a 218. Aquí tiene relevancia en particular la fórmula (5.1), donde, para el caso según la invención de la probabilidad de aparición de menos de una vez en tres meses, para el valor límite inferior de los tres meses se debe poner un factor β de aprox. 4,6. Por sencillez para el intervalo de tiempo de la ráfaga de viento extrema (descrita en este documento con "gust") se pone 10 s. Para el diseño de una instalación de energía eólica y el valor del primer y 45 segundo límite de velocidad de rotación se parte según el lugar de colocación de la instalación de energía eólica de casos de cargas predeterminados o predeterminables, que se tienen que poder interceptar durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica o por la instalación de energía eólica sin deterioro de la misma. Por ejemplo, Germanische Lloyd u otros institutos de seguridad definen casos de carga semejantes. Según la 50 definición de los casos de cargas, los programas informáticos correspondientes, que se corresponden, por ejemplo, con el programa informático "Flex" del Sr. Stig Oye o se han derivado o desarrollado de éste, sirven para simular instalaciones de energía eólica y el funcionamiento de las instalaciones de energía eólica y así averiguar según el estado de carga que solicitaciones pueden aparecer en la instalación de energía eólica durante el funcionamiento. Estas solicitaciones aparecerán habitualmente con probabilidades predeterminadas. Por ejemplo, en el documento "Wind Energy Handbook" de Tony Burton et al., que se ha mencionado anteriormente, en el "load case 1.5" en las 55 páginas 216 a 218 se parte de una ráfaga anual, es decir, una ráfaga extremadamente intensa que aparece con una probabilidad de una vez al año.

El objetivo se resuelve además mediante un procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica, presentando la instalación de energía eólica un rotor, al menos una pala de rotor ajustable en ángulo, un dispositivo

de frenado mecánico para el frenado del rotor, un dispositivo de guiado del funcionamiento y un sistema de seguridad, con las siguientes etapas del procedimiento:

- 5 - frenado del rotor a través de un ajuste de ángulo con una tasa media de ajuste de ángulo de menos de 8,5°/s de al menos una pala de rotor después de la aparición de una señal de perturbación,
- 10 - frenado del rotor a través del dispositivo de frenado mecánico tan pronto como la velocidad de rotación del rotor sobrepasa un primer límite de velocidad de rotación predeterminable, y activándose el frenado mecánico por el dispositivo de guiado del funcionamiento,
- 10 - activación del sistema de seguridad tan pronto como la velocidad de rotación del rotor sobrepasa un segundo límite de velocidad de rotación predeterminable, frenándose el rotor y siendo el segundo límite de velocidad de rotación mayor que el primer límite de velocidad de rotación.

- 15 Preferentemente no se sobrepasa el segundo límite de velocidad de rotación con una ráfaga de viento con una probabilidad de aparición de una vez al año. Por ejemplo, Germanische Lloyd predetermina que, en un caso de carga predeterminado, como por ejemplo la aparición de una "ráfaga anual", es decir, una ráfaga de viento extrema que aparece con una probabilidad de aparición de una vez al año, y a saber en la ubicación correspondiente de la instalación de energía eólica, por ejemplo, no se deben sobrepasar ciertas solicitaciones en el rotor o las solicitaciones que aparecen deben presentar un nivel de seguridad definido en comparación o en relación a las solicitaciones que aparecen como máximo.

20 El diseño del segundo límite de velocidad de rotación, de modo que no se sobrepasa en el caso una ráfaga anual, tiene la ventaja respecto a un diseño con una ráfaga trimensual, de que el frenado ocurre claramente más infrecuentemente y por consiguiente se reduce el desgaste del freno y de toda la cadena cinemática.

La señal de perturbación es preferentemente un sobrepaso de un tercer límite de velocidad de rotación, que es menor que el primer límite de velocidad de rotación, un deslastre de carga del generador, una fallo en la red y/o un fallo en el ajuste de ángulo de al menos una pala de rotor.

- 30 Es posible un funcionamiento todavía seguro cuando la tasa de ajuste de ángulo de la al menos una pala de rotor después de la aparición de la señal de perturbación es menor de 8°/s, en particular preferentemente menor de 6,5°/s, en particular preferentemente menor de 4,6°/s, en particular menor de 4,5°/s. Estos valores se pueden ver como valores medios y/o como valores reales sin promediación. La tasa de ajuste de ángulo se regula convenientemente por un dispositivo de regulación asociado al dispositivo de guiado del funcionamiento o un dispositivo de regulación separado. En este caso el dispositivo de guiado del funcionamiento predetermina la tasa de ajuste de ángulo; y el dispositivo de regulación regula luego la tasa de ajuste de ángulo o el ajuste del ángulo de la pala de rotor correspondiente.

- 40 La tasa de ajuste de ángulo de la al menos una pala de rotor se modifica preferentemente al sobrepasar un ángulo de la pala predeterminable a una tasa de ajuste de ángulo menor, en particular a una tasa de ajuste de ángulo que es menor que la mitad, en particular menor que un cuarto de la tasa de ajuste de ángulo anterior.

- 45 Al aparecer la señal de perturbación se rota el ángulo de la pala, partiendo de la posición angular existente de la pala del rotor, con la tasa de ajuste de ángulo según la invención en la dirección a la posición de bandera. En este caso el punto de partida puede ser una posición cero de la pala de rotor. Sin embargo, también puede estar presente una posición que ya haya avanzado en la dirección a la posición de bandera. La posición cero es preferentemente la posición de la pala de rotor con la que se puede obtener la máxima potencia durante el funcionamiento con velocidad de rotación óptima, con frecuencia también se designa como posición de funcionamiento. La posición de bandera es preferentemente aquella posición en la que no se puede generar potencia. Las palas de rotor se rotan en este caso fuera del viento, como una bandera.

- 55 El primer límite de velocidad de rotación está preferentemente en un rango de más del 15% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica, que presenta en particular una potencia nominal de más de 1,45 MW. En el marco de la invención, la potencia nominal es una velocidad de rotación en la que la instalación de energía eólica consigue por primera vez una potencia nominal. La velocidad del viento correspondiente se denomina luego velocidad nominal del viento. En particular en las instalaciones en las que con velocidades del viento por encima de la velocidad nominal del viento se reduce la velocidad de rotación de trabajo, el término de la velocidad de rotación nominal también se puede referir a la velocidad de rotación de trabajo reducida

en el punto de trabajo correspondiente. En una instalación de energía eólica con una potencia nominal de 1,5 MW, una velocidad de rotación nominal puede ser, por ejemplo, 1800 revoluciones por minuto (rpm). Esta velocidad de rotación nominal se mide en el rotor del generador o en el árbol rápido del engranaje. Sin embargo también se puede definir otra velocidad de rotación nominal, a saber aquella que reina en el cubo de rotor o reina en el
 5 generador cuando no está presente un engranaje. Estas velocidades de rotación nominales correspondientes pueden estar preferentemente en el rango de 5 a 20 revoluciones por minuto, en particular preferentemente entre 8 a 18 revoluciones por minuto. Bajo potencia nominal se entiende la máxima potencia permanente de la instalación de energía eólica, es decir, aquella potencia en la que predomina aproximadamente un óptimo de potencia extraída con simultáneamente bajo desgaste de la instalación de energía eólica. La potencia nominal será en particular en
 10 instalaciones de energía eólica offshore, en particular en lugares con vientos fuertes, la potencia con la que la instalación de energía eólica genera la mayor potencia global durante toda la vida útil.

El primer límite de velocidad de rotación se sitúa preferentemente entre el 20 y el 35%, en particular entre el 22 y el 28% por encima de la velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica. En particular se prefiere un
 15 valor de aproximadamente el 25% por encima de la velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica.

El segundo límite de velocidad de rotación se sitúa preferentemente en un rango del 35% al 45% por encima de la velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica, que presenta en particular una potencia nominal de más de 1,45 MW. Este segundo límite de velocidad de rotación, con cuya superación se activa el sistema de
 20 seguridad, se sitúa por encima del límite de velocidad de rotación habitual actual para instalaciones mayores de 1,45 MW en el estado de la técnica. En el caso de instalaciones más pequeñas, por consiguiente menos inerciales y críticas respecto a sollicitaciones (p. ej. 600 kW) se debe elevar este límite de velocidad de rotación.

25 El segundo límite de velocidad de rotación se sitúa preferentemente en un rango del 5% al 20% por encima del primer límite de velocidad de rotación de la instalación de energía eólica, siendo interesante el rango bajo, en particular en el caso de cadenas cinemáticas muy rígidas, p. ej. sin engranaje, dado que allí no aparecen oscilaciones torsionales.

30 El tercer límite de velocidad de rotación se sitúa en particular preferentemente en el rango del 10% al 20%, en particular del 15% al 17% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica, que presenta en particular una potencia nominal de más de 1,45 MW. El tercer límite de velocidad de rotación se sitúa proporcionalmente bajo. Es decir que el frenado de la instalación de energía eólica a través del frenado aerodinámico por ajuste del ángulo de la al menos una pala de rotor a través de una tasa de ajuste de ángulo
 35 relativamente baja ya comienza con un límite de velocidad de rotación relativamente bajo.

El frenado del rotor a través del dispositivo de frenado mecánico se termina preferentemente al quedar por debajo de un cuarto límite de velocidad de rotación predeterminable. Esto sucede preferentemente cuando la instalación de energía eólica se sitúa en un estado seguro para la instalación y ha terminado así el caso de carga extrema.
 40

Si el frenado del rotor a través del dispositivo de frenado mecánico se termina cuando un ángulo de la pala de rotor medio sobrepasa un valor límite predeterminable y se sobrepasa un tiempo predeterminable desde el comienzo del frenado del rotor a través del dispositivo de frenado mecánico (19), es posible un funcionamiento suave y seguro en particular del dispositivo de frenado mecánico. En particular se evita con ello un peligroso sobrecalentamiento del freno.
 45

El objetivo se resuelve además mediante un procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica, presentando la instalación de energía eólica un rotor, al menos una pala de rotor ajustable en ángulo, una torre, un dispositivo de guiado del funcionamiento y un sistema de seguridad, con las siguientes etapas del procedimiento:
 50

- funcionamiento de la instalación de energía eólica, regulado o controlado por el dispositivo de guiado del funcionamiento para la generación de energía eléctrica hasta la aparición de una señal de perturbación,
- activación del sistema de seguridad en caso de aparición de la señal de perturbación y frenado subsiguiente del rotor a través de un ajuste de ángulo con una tasa media de ajuste de ángulo, en particular
 55 inicial, de menos de 6,5°/s de la al menos una pala de rotor, determinada durante un intervalo de tiempo de medio hasta un periodo de oscilación completo de la torre.

La tasa media de ajuste de ángulo es preferentemente menor de 6°/s, en particular menor de 5°/s, en particular

menor de 4,6°/s, en particular menor de 4,5°/s.

La tasa de ajuste de ángulo se controla o regula preferentemente y se reduce aun más con aumento creciente del ángulo de la pala y/o una disminución de la velocidad de rotación.

5

La señal de perturbación está presente preferentemente en un deslastre de carga de un generador acoplado con una ráfaga de viento extrema, siendo la probabilidad de aparición de la ráfaga de viento menor de una vez en tres meses, en particular menor de una vez al año.

- 10 El objetivo se resuelve además mediante una instalación de energía eólica con un rotor, al menos una pala de rotor ajustable en ángulo, un freno mecánico para el frenado del rotor, un dispositivo de guiado del funcionamiento y un sistema de seguridad, estando previsto un primer dispositivo de frenado que frena el rotor a través de un ajuste de ángulo de la al menos una pala de rotor con una tasa media de ajuste de ángulo de menos de 8,5°/s en presencia de una señal de perturbación, estando previsto un segundo dispositivo de frenado para el frenado mecánico del rotor
- 15 tan pronto como la velocidad de rotación del rotor sobrepasa un primer límite de velocidad de rotación predeterminable, estando previsto el sistema de seguridad para el frenado del rotor en el caso en el que la velocidad de rotación del rotor sobrepasa un segundo límite de velocidad de rotación predeterminable, siendo el segundo límite de velocidad de rotación mayor que el primer límite de velocidad de rotación, estando dimensionados el segundo límite de velocidad de rotación y la instalación de energía eólica de modo que en una instalación de energía
- 20 eólica con buen funcionamiento no se sobrepasa el segundo límite de velocidad de rotación, tampoco durante el deslastre de carga del generador combinado con una ráfaga de viento extrema cuya probabilidad de aparición es menor de una vez en tres meses.

En el marco de la invención, en presencia de una señal de perturbación significa también en particular en caso de

25 aparición de una señal de perturbación.

- El objetivo se resuelve además mediante una instalación de energía eólica con un rotor, al menos una pala de rotor ajustable en ángulo, un freno mecánico para el frenado del rotor, un dispositivo de guiado del funcionamiento y un sistema de seguridad, estando previsto un primer dispositivo de frenado que frena el rotor a través de un ajuste de
- 30 ángulo de la al menos una pala de rotor con una tasa media de ajuste de ángulo de menos de 8,5°/s en presencia de una señal de perturbación, estando previsto un segundo dispositivo de frenado para el frenado mecánico del rotor tan pronto como la velocidad de rotación del rotor sobrepasa un primer límite de velocidad de rotación, pudiéndose activar el segundo dispositivo de frenado mediante el dispositivo de guiado del funcionamiento, estando previsto el sistema de seguridad para el frenado del rotor en el caso en el que la velocidad de rotación del rotor sobrepasa un
- 35 segundo límite de velocidad de rotación predeterminable, siendo el segundo límite de velocidad de rotación mayor que el primer límite de velocidad de rotación.

El segundo límite de velocidad de rotación no se sobrepasa preferentemente con una ráfaga de viento con una probabilidad de aparición de una vez al año. Esto significa en particular que la probabilidad de aparición de una

40 solicitud semejante es tan baja que se puede justificar con un nivel de seguridad relativamente bajo.

- La señal de perturbación es preferentemente un sobrepaso de un tercer límite de velocidad de rotación, que es menor que el tercer límite de velocidad de rotación, un deslastre de carga del generador, un fallo en la red y/o un fallo en el ajuste de ángulo de al menos una pala de rotor. La tasa de ajuste de ángulo de la al menos una pala de
- 45 rotor en presencia de la señal de perturbación es preferentemente menor de 8°/s, en particular menor de 6,5°/s, en particular menor de 4,6°/s, en particular menor de 4,5°/s. La tasa de ajuste de ángulo se puede regular preferentemente por un dispositivo de regulación asociado al dispositivo de guiado del funcionamiento o un dispositivo de regulación separado. La tasa de ajuste de ángulo de la al menos una pala de rotor se puede modificar convenientemente al sobrepasar un ángulo de la pala predeterminable a una tasa de ajuste de ángulo menor, en
- 50 particular a una tasa de ajuste de ángulo que es menor que la mitad, en particular menor que un cuarto de la tasa de ajuste de ángulo anterior. Alternativamente a la regulación mediante el dispositivo de regulación, la reducción de la tasa de ajuste también puede tener lugar por una disposición de hardware apropiada, por ejemplo, paquete escalonado de baterías para el suministro de energía de los accionamientos de ajuste.

- 55 El primer límite de velocidad de rotación se sitúa preferentemente en un rango de más del 15% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica, que presenta en particular una potencia nominal de más de 1,45 MW. En el caso de una velocidad nominal de 1.800 revoluciones por minuto, el primer límite de velocidad de rotación está luego preferentemente en un rango de más de 2.070 revoluciones por minuto y en particular preferentemente en un rango de más de 2.160 revoluciones por minuto. El primer límite de velocidad de

rotación se sitúa preferentemente entre el 20 y el 35%, en particular entre el 22 y el 28% por encima de la velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica. Esto se corresponde en el caso de una velocidad nominal de 1.800 con un rango entre 2.160 y 2.430, en particular un rango de 2.196 hasta 2.304 revoluciones por minuto.

- 5 El segundo límite de velocidad de rotación se sitúa preferentemente en un rango del 35% al 45% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica, que presente una potencia nominal de más de 1,45 MW. En el caso de una velocidad nominal de 1.800 revoluciones por minutos esto se corresponde con un rango de 2.430 revoluciones por minuto hasta 2.610 revoluciones por minuto.
- 10 El segundo límite de velocidad de rotación se sitúa preferentemente en un rango del 5% al 20% por encima del primer límite de velocidad de rotación de la instalación de energía eólica. Éste es en el caso de un primer límite de velocidad de rotación de 2.200 revoluciones por minuto de 2.310 a 2.640 revoluciones por minuto.

- El tercer límite de velocidad de rotación se sitúa preferentemente en un rango del 10% al 20%, en particular del 15% al 17% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica, que presenta en particular una potencia nominal de más de 1,45 MW. Esto es en el caso de una velocidad de rotación nominal de 1.800 revoluciones por minuto en un rango de 1.980 a 2.160 revoluciones por minuto, en particular en un rango de 2.070 a 2.106 revoluciones por minuto. Preferentemente el frenado del rotor a través del dispositivo de frenado mecánico se termina al quedar por debajo de un cuarto límite de velocidad de rotación predeterminable, por ejemplo
- 20 en el caso de una velocidad nominal. Además, el frenado del rotor a través del dispositivo de frenado mecánico se puede terminar preferentemente cuando un ángulo de la pala de rotor medio sobrepasa un valor límite predeterminable y se sobrepasa un tiempo predeterminable desde el comienzo del frenado del rotor a través del dispositivo de frenado mecánico.

- 25 El objetivo se resuelve además mediante una instalación de energía eólica con un rotor, al menos una pala de rotor ajustable en ángulo, una torre, en particular preferentemente un freno mecánico para el frenado del rotor, un dispositivo de guiado del funcionamiento y un sistema de seguridad, estando previsto el dispositivo de guiado del funcionamiento para el funcionamiento regulado o controlado de la instalación de energía eólica para la generación de energía eléctrica hasta la aparición de una señal de perturbación, pudiéndose activar durante y/o después de la
- 30 aparición de la señal de perturbación el sistema de seguridad y provocándose mediante el sistema de seguridad de seguridad un frenado del rotor a través de un ajuste de ángulo con una tasa media de ajuste de ángulo, en particular inicial, de menos de 6,5°/s de la al menos una pala de rotor, determinada durante un intervalo de tiempo de medio hasta un periodo de oscilación completo.

- 35 Se basa en el conocimiento según la invención de que a una excitación excesiva de una oscilación de la torre se le puede contrarrestar por un avance de rotor negativo, cuando, al menos durante un intervalo de tiempo de una mitad del periodo de oscilación de la torre, pero preferentemente durante el intervalo de tiempo de todo un periodo de oscilación, se limita la tasa de ajuste de ángulo inicial después de la señal de perturbación a un valor bajo por debajo de 6,5°/s. Las frecuencias de torre habituales se sitúan actualmente entre 0,2 a 0,4 Hz, es decir, que un periodo de
- 40 oscilación está entre 2,5 y 5 segundos. Por consiguiente la tasa de ajuste se debe limitar al valor mencionado en una torre rígida para al menos 1,3 segundos después de la activación de la señal de perturbación, en una torre blanda para 2,5 segundos. No obstante, es esencialmente más efectivo realizar la limitación para aproximadamente 2,5 ó 5 segundos, a fin de evitar lo mejor posible una excitación del primer ciclo de oscilación de la torre después de la señal de perturbación. En futuras instalaciones mayores con frecuencia propia a esperar más baja, las relaciones se
- 45 deberán adaptar correspondientemente.

La tasa media de ajuste de ángulo es preferentemente menor de 6°/s, en particular menor de 5°/s, en particular menor de 4,5°/s.

- 50 La tasa de ajuste de ángulo se puede controlar o regular preferentemente y se puede reducir aun más con aumento creciente del ángulo de la pala y/o disminución de la velocidad de rotación.

- La señal de perturbación está presente preferentemente con un deslastre de carga de un generador acoplado con una ráfaga de viento extrema, siendo la probabilidad de aparición de la ráfaga de viento menor de una vez en tres
- 55 meses, en particular menor de una vez al año.

El objetivo se resuelve además mediante un procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica, presentando la instalación de energía eólica un rotor, al menos una pala de rotor ajustable en ángulo, un dispositivo de frenado mecánico para el frenado del rotor, un dispositivo de guiado del funcionamiento y un sistema de

seguridad, con las siguientes etapas del procedimiento:

- 5 - frenado del rotor a través de un ajuste de ángulo con una tasa media de ajuste de ángulo de menos de 6,5°/s de al menos una pala de rotor después de la aparición de una señal de perturbación,
- 10 - frenado del rotor a través del dispositivo de frenado mecánico tan pronto como la velocidad de rotación del rotor sobrepasa un primer límite de velocidad de rotación predeterminable, y
- 15 - activación del sistema de seguridad tan pronto como la velocidad de rotación del rotor sobrepasa un segundo límite de velocidad de rotación predeterminable, frenándose el rotor y siendo el segundo límite de velocidad de rotación mayor que el primer límite de velocidad de rotación, situándose el primer límite de rotación de velocidad en un rango de más del 15% por encima de la velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica, que presenta en particular una potencia nominal de más de 1,45 MW.
- 20 El primer límite de velocidad de rotación se sitúa preferentemente entre el 20 y 35%, en particular entre el 22 y 28% por encima de la velocidad nominal de la instalación de energía eólica. Además, el segundo límite de velocidad de rotación se sitúa preferentemente en un rango del 35% al 45% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica, que presenta preferentemente una potencia nominal de más de 1,45 MW. La señal de perturbación comprende preferentemente un tercer límite de velocidad de rotación que se sitúa en un rango del 10% al 20%, en particular del 15% al 17% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica.

Correspondientemente el objetivo se resuelve mediante una instalación de energía eólica que presente un rotor, al menos una pala de rotor ajustable en ángulo, un freno mecánico para el frenado del rotor, un dispositivo de guiado del funcionamiento y un sistema de seguridad, estando previsto un primer dispositivo de frenado que frena el rotor a través de un ajuste de ángulo de la al menos una pala de rotor con una tasa media de ajuste de ángulo de menos de 6,5°/s en presencia de una señal de perturbación, estando previsto un segundo dispositivo de frenado para el frenado mecánico del rotor tan pronto como la velocidad de rotación del rotor sobrepasa un primer límite de velocidad de rotación preajustable, estando previsto el sistema de seguridad para el frenado del rotor en el caso en el que la velocidad de rotación del rotor sobrepasa un segundo límite de velocidad de rotación predeterminable, siendo el segundo límite de velocidad de rotación mayor que el primer límite de velocidad de rotación, situándose el primer límite de rotación de velocidad en un rango de más del 15% por encima de la velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica, que presenta en particular una potencia nominal de más de 1,45 MW. Las otras características preferidas de la instalación de energía eólica se deducen de lo descrito anteriormente.

35 La invención se describe a continuación sin limitación de la idea general de la invención mediante ejemplos de realización en referencia a los dibujos, remitiéndose expresamente a los dibujos respecto a todos los pormenores según la invención no explicados más en detalle en el texto. Muestran:

40 Fig. 1 una representación esquemática de una instalación de energía eólica,

Fig. 2 un diagrama de bloques esquemático de los componentes esenciales de una instalación de energía eólica,

45 Fig. 3 diagramas esquemáticos para dos casos de carga diferentes que aparecen en una instalación de energía eólica según la invención, a saber

Fig. 3a la velocidad del viento respecto al tiempo en una ráfaga anual calculada,

Fig. 3b la tasa de ajuste de ángulo respecto al tiempo,

50 Fig. 3c la velocidad de rotación respecto al tiempo,

Fig. 3d la potencia eléctrica respecto al tiempo,

55 Fig. 3e el par de frenado respecto al tiempo

Fig. 3f un momento de flexión del pie de torre respecto al tiempo, y

Fig. 3g el par del rotor respecto al tiempo,

Fig. 4 diagramas esquemáticos de los valores de dos instalaciones de energía eólica, que están presentes en el un lado (línea continua) según la reivindicación y en el otro lado (línea a trazos) según el estado de la técnica

5 Fig. 4a la velocidad del viento de una ráfaga calculada respecto al tiempo,

Fig. 4b una tasa de ajuste de ángulo respecto al tiempo,

Fig. 4c una velocidad de rotación respecto al tiempo,

10

Fig. 4d una potencia eléctrica respecto al tiempo,

Fig. 4e un par de frenado respecto al tiempo

15 Fig. 4f un momento de flexión del pie de torre respecto al tiempo, y

Fig. 4g un par del rotor respecto al tiempo.

En las siguientes figuras los mismos elementos o similares o piezas correspondientes están provistos respectivamente de las mismas referencias, de modo que se prescinde de una nueva representación correspondiente.

La fig. 1 muestra una representación esquemática de una instalación de energía eólica 10. La instalación de energía eólica 10 presente una torre 11 y un rotor 12 que comprende tres palas de rotor 14 las cuales están montadas sobre un cubo de rotor 13. En caso de incidencia del viento el rotor 12 rota de manera conocida en sí. De este modo se puede generar potencia por un generador conectado con el rotor 12 o con el cubo de rotor 13 y se puede entregar a una red de consumidores.

La fig. 2 muestra esquemáticamente componentes esenciales de la instalación de energía eólica 10 según la invención. Un guiado del funcionamiento 15, que también se puede designar como dispositivo de guiado del funcionamiento o sistema de guiado del funcionamiento, controla y/o regula el funcionamiento de la instalación de energía eólica 10. Equivalente al guiado del funcionamiento 15 está una supervisión de la seguridad 16 que está conectada con una cadena de seguridad 20. La cadena de seguridad 20 comprende, por ejemplo, un sensor de vibraciones, un interruptor manual (de emergencia) y un relé de conmutación de la velocidad de rotación. La cadena de seguridad 20 sirve para que, en presencia de un evento relevante para la seguridad, por ejemplo vibraciones demasiado grandes o el accionamiento del interruptor de emergencia por un operario, se conduzca la instalación de energía eólica a un estado no crítico. La cadena de seguridad 20 puede estar configurada como cadena de hardware. En caso de activación de la cadena de seguridad 20, lo que está indicado por la flecha hacia los componentes eléctricos 21, se saca el generador 23 de la red 25 y se frena el árbol de rotor 9 o el árbol rápido 22, por ejemplo, a través del ajuste de pala 18 o el freno mecánico 19 o también, lo que no está representado, directamente bajo manejo de uno o varios de los dispositivos de regulación o control como el ajuste de pala 19. La supervisión de seguridad 16 también puede estar configurada de manera que ésta verifica el guiado del funcionamiento 15 respecto a la funcionalidad. La supervisión de seguridad 16 está realizada preferentemente en este sentido con un tipo de watch-dog (*perro guardián*). El guiado del funcionamiento 15' también puede comprender, según está representado a trazos, la supervisión de seguridad 16. Se trata luego de un guiado del funcionamiento 15' con supervisión de seguridad 16 integrada.

El guiado del funcionamiento 15, 15' está conectado a través de líneas de datos electrónicos correspondientes con un regulador 17 y el ajuste de pala 18 y además con el freno mecánico 19. Bajo ajuste de pala 18 se entiende en particular un actuador que se ocupa de un ajuste de las palas de rotor 14. Correspondientemente bajo freno mecánico 19 se entiende un actuador que se ocupa de que el freno mecánico 19 actúe en este ejemplo de realización sobre el árbol rápido 22. El freno mecánico 19 también puede actuar sobre el árbol de rotor 9, lo que sin embargo no está representado.

55 Con 26 se designa una conexión de datos que le suministra al guiado del funcionamiento 15 ó 15' un ángulo de la pala de rotor o los ángulos de la pala de rotor de las palas de rotor 14. Con la referencia 27 está representada una conexión de datos que le suministra al guiado del funcionamiento 15 ó 15' una velocidad de rotación real del árbol rápido 22. Con 30 se designa una conexión de datos que le suministra al guiado del funcionamiento 15 o 15' una señal de perturbación, que en este ejemplo de realización procede de los componentes eléctricos 21.

El funcionamiento de la instalación de energía eólica es como sigue. El rotor 12 se rota según la dirección de rotación 29 debido a la incidencia del viento. De este modo también se gira el árbol de rotor 9 que gira el árbol rápido 22 gracias a un engranaje 24 con una multiplicación de por ejemplo 1:100. De este modo en el generador 23 se genera una tensión eléctrica que se regula, convierte en los componentes eléctricos 21 y/o se transforma en una tensión alterna. A la salida de los componentes eléctricos 21 está prevista una conexión a la red 25, con la que se alimentan los consumidores con tensión o potencia eléctrica. Los conceptos de regulación y guiado conocidos en general de instalaciones de energía eólica se dan a conocer, por ejemplo, en el capítulo 5 del libro de texto Windkraftanlagen Systemauslegung, Netzintegration und Regelung von Siegfried Heier, que se ha indicado arriba.

En caso de aparecer una ráfaga de viento 31 extrema puede ocurrir, en relación con una caída de la carga del generador, es decir en particular una supresión abrupta de la carga de la red, por ejemplo por el fallo de un convertidor, generador, transformador, red o la activación de una cadena de seguridad, que la velocidad de rotación del rotor o del generador llegue a velocidades de rotación muy críticas y elevadas, de modo que se vuelva necesario un frenado abrupto lo que puede conducir a una fuerte fatiga del material de la instalación de energía eólica o a deterioros.

La invención lo contrarresta porque el rotor 12 o el árbol de rotor 9 o correspondientemente el árbol rápido 22 ya se frena al aparecer una señal de perturbación correspondiente, por ejemplo, el sobrepaso de un tercer límite de velocidad de rotación relativamente bajo a través de un ajuste de ángulo 28 relativamente lento. Mediante la tasa de ajuste de ángulo relativamente pequeña de menos de $8,5^\circ/s$, en particular menos de $6,5^\circ/s$, se inicia un frenado poco intenso.

Si este frenado no fuese suficiente debido a la intensidad de la ráfaga de viento 31 y la velocidad de rotación del rotor, que en el marco de la invención también comprende los términos de cadena cinemática y rotor del generador, sobrepasa un primer límite de velocidad de rotación predeterminable, que es mayor que el tercer límite de velocidad de rotación, a través del programa de frenado según la invención se inicia el freno mecánico 19 mediante el guiado del funcionamiento 15 ó 15'. Sólo cuando no son suficientes las dos variantes de frenado, a saber el frenado aerodinámico a través del ajuste de pala 18 y el frenado mecánico a través del freno mecánico 19, y la ráfaga de viento 31 es tan intensa que se sobrepasa un segundo límite de velocidad de rotación, se activa el sistema de seguridad 16, 20.

El sistema de seguridad 16, 20 provoca una activación de los dispositivos de frenado redundante al guiado del funcionamiento y eventualmente un efecto de frenado todavía más intenso, por ejemplo, un ajuste de pala con tasa de ajuste de ángulo más elevada y/o una aplicación de una presión hidráulica más elevada con un freno hidráulico. Sin embargo, el segundo límite de velocidad de rotación está configurado de manera que éste sólo se alcanza en el caso de ráfagas de viento extremas tales que acontecen con una probabilidad menor de una vez en tres meses y también con deslastre de carga del generador. En este ejemplo de realización especial se debe partir de una ráfaga de viento que tiene una probabilidad de aparición de menos de una vez al año. Una realización sencilla de un sistema de seguridad a usar adecuadamente, que comprende una supervisión de seguridad 16 y una cadena de seguridad 20, está descrito, por ejemplo, en las páginas 473 y 474 de la publicación "Wind Energy Handbook" que se ha mencionado anteriormente.

En las figuras 3a a 3g se representan diagramas mediante los que se debe explicar la invención para dos casos de carga diferentes. La fig. 3a muestra un diagrama de velocidad del viento respecto al tiempo, estando representada allí una ráfaga de viento extrema habitual, que se puede calcular, por ejemplo, en la fórmula 5.1 en la página 215 del documento "Wind Energy Handbook" que se ha especificado arriba más exactamente. Se trata de una ráfaga que aparece en la ubicación considerada con una probabilidad de aparición de justamente una vez al año. La fig. 3d muestra un diagrama de la potencia eléctrica en kW respecto al tiempo, estando representados dos casos, a saber el primer caso en el que se produce una caída de la carga a aproximadamente 7,5 segundos, a saber en el mínimo de la ráfaga, y en comparación a ello a aproximadamente 9 segundos, lo que se corresponde con un punto que se puede reconocer aproximadamente en el centro del flanco ascendente de la ráfaga de la fig. 3a. El segundo caso es el caso más crítico para la instalación de energía eólica y está representado a trazos. Para el diseño seguro de una instalación de energía eólica, la caída de la carga puede aparecer en cualquier instante sin que se origine una situación peligrosa.

La fig. 3b muestra la tasa de ajuste de ángulo en $^\circ/s$ de una pala de rotor de una pala de rotor 14. En primer lugar se reconoce que en los dos casos de la fig. 3d primeramente es negativa la tasa de paso o tasa de ajuste de ángulo, debido a la forma de la ráfaga con velocidades del viento más pequeñas ligadas a ello, es decir, las palas de rotor se

ponen en el viento para que se pueda generar un par más elevado. En el caso de caída de la carga se ajusta en ambos casos la tasa de ajuste de ángulo mediante el guiado del funcionamiento de forma relativamente rápida a un rango de 5°/s. Irrupciones más pequeñas de la tasa de ajuste de ángulo están fundamentados en una sobrecarga de corta duración de los accionamientos del ajuste de ángulo.

5

La velocidad de rotación generada por la ráfaga del árbol rápido 22 está representada en la fig. 3c. El rizado de la señal de velocidad de rotación está fundamentado en la oscilación torsional descrita debajo de la cadena cinemática. En el primer caso no crítico la velocidad de rotación se aumenta a escasamente 2.200 revoluciones por minuto y en el caso más crítico por encima de 2.500 revoluciones por minuto (línea a trazos). Para este ejemplo de realización, el segundo límite de velocidad de rotación está ajustado preferentemente en 2.500 revoluciones por minuto. Mediante el aumento de la velocidad de rotación de disparo para la cadena de seguridad a 2.500 revoluciones por minuto se evita el disparo de la cadena de seguridad. Por consiguiente se pueden reducir claramente las cargas de la instalación de energía eólica. La velocidad de rotación de disparo habitual para la cadena de seguridad en instalaciones de energía eólica del orden de magnitud de 1,5 MW y mayores se sitúa, por ejemplo, en 2.400 revoluciones por minuto.

10

15

En la fig. 3e está representado esquemáticamente en un diagrama el par de frenado del freno mecánico respecto al tiempo. Se puede reconocer que para el primer caso (línea continua) no se activa el freno mecánico ya que no se sobrepasa el primer límite de velocidad de rotación. Sólo para el segundo caso (línea a trazos) se activa el freno mecánico al sobrepasar el primer límite de velocidad de rotación de 2.260 revoluciones por minuto y se interviene a aproximadamente 11,5 segundos, y el freno mecánico comienza a actuar con un pequeño retraso temporal.

20

En la fig. 3f está representado el momento de flexión del pie de torre en kNm respecto al tiempo para los dos casos. Se puede reconocer claramente que el segundo caso (a trazos) es más crítico con vistas al momento de flexión del pie de torre. También se puede reconocer que en los dos casos se produce una oscilación amortiguada de la torre debido a la ráfaga.

25

En a fig. 3g está representado el par del rotor en kNm. También en este caso están representados los distintos casos en línea continua y a trazos. Se puede reconocer que la cadena cinemática se excita por la caída de la carga repentina en ambos casos formando una intensa oscilación torsional, comparable con un resorte de torsión pretensado que se suelta repentinamente. En el segundo caso (representado a trazos) se puede distinguir el desplazamiento de la oscilación debido al freno mecánico incidente.

30

Para clarificar todavía más la invención, en las figuras 4a a 4g se representa un caso de carga correspondiente de una ráfaga de viento extrema correspondiente (ráfaga anual) según la fig. 4a en el caso de caída de la carga del generador según la fig. 4d. Se representa un guiado del procedimiento diferente, por un lado, un funcionamiento preferido según la invención de la instalación de energía eólica (líneas continuas) y, por otro lado, un guiado del funcionamiento inventivo, sin embargo algo menos preferido. Éste ya presenta al contrario del estado de la técnica tasas de ajuste de pala muy bajas, que se han fijado en valores muy pequeños de 5°/s ó 6°/s en el caso de parada de emergencia.

35

40

No obstante, este guiado del funcionamiento no presenta un primer límite de velocidad de rotación para la activación del freno a través del guiado del funcionamiento, sino sólo el disparo del frenado a través del dispositivo de seguridad con una velocidad de rotación de 2.400 revoluciones por minuto. En primer lugar se describe este desarrollo del guiado del funcionamiento representado a trazos.

45

Según la fig. 4d se puede reconocer que la caída de la carga tiene lugar en el centro del flanco ascendente de la ráfaga de viento de la fig. 4a, es decir, en la zona crítica. En el ejemplo de realización menos preferido se requiere una tasa de ajuste de pala de 5°/s en el caso de deslastre de carga. Al sobrepasar la velocidad de rotación de disparo de 2.400 revoluciones por minuto (véase fig. 4c) se activa una parada de emergencia a través del dispositivo de seguridad. Se requiere una tasa de ajuste de pala aumentada de 6°/s que, no obstante, no se puede mantener constante debido a un dispositivo de ajuste de ángulo escasamente diseñado. Simultáneamente se activa el freno mecánico, de modo que en este modo de funcionamiento se produce una reducción más rápida de la velocidad de rotación que en el ejemplo de realización preferido representado con línea continua. De ello resultan momentos de flexión del pie de torre relativamente elevados (fig. 4f).

50

55

Por el contrario en el ejemplo de realización preferido según la línea continua en la fig. 4b, la tasa de ajuste de pala se ajusta y regula a menos de 4,6°/s, en particular a exactamente 4°/s. Al superar el primer nivel de velocidad de rotación (aquí 2.270 revoluciones por minuto) interviene según la fig. 4e el freno mecánico, es decir, algo más pronto

que en el ejemplo de realización menos preferido. Mediante la velocidad de ajuste de pala baja es en conjunto menos abrupto el retardo del rotor. Correspondientemente según la fig. 4f se producen momentos de flexión del pie de torre más favorables en el ejemplo de realización preferido (línea continua) en comparación al ejemplo de realización menos preferido (línea a trazos). El par del rotor respecto al tiempo está representado correspondientemente en la fig. 4g. Se puede reconocer un aumento limitado de la sollicitación de la cadena cinemática, pero que es aceptable en relación a la reducción de carga en la torre, en particular ya que se trata de un caso de carga muy infrecuente. También se puede reconocer que aparece el par de frenado negativo ya que el rotor oscila frente el freno.

- 10 La invención se refiere por consiguiente al diseño y funcionamiento de instalaciones de energía eólica, en particular para el DLC1.5 (Design Load Case para una ráfaga de funcionamiento anual con fallo de red). En el guiado del funcionamiento convencional podrían aparecer momentos de flexión del pie de torre de hasta 100.000 kNm (inclusive factor de seguridad). Un empuje aerodinámico aumentado, que sea mayor cuanto más elevada y dinámica sea la torre, es decir, cuanto más baja sea la frecuencia propia de la torre, puede reforzar adicionalmente la
15 dinámica propia de la torre.

- Mediante modificación de la tasa de ajuste de pala de, por ejemplo, 6 a 5°/s y aumento de la velocidad de rotación de disparo para la cadena de seguridad de 2.400 a 2.500 revoluciones por minuto y previsión de una potencia de frenado mecánico en el caso de sobrepaso de un primer límite de velocidad de rotación de 2.200 revoluciones por
20 minuto, se puede conseguir sin más una reducción de los momentos de flexión del pie de torre del 14% en la instalación ejemplo mostrada con 2 MW de potencia nominal. El primer límite de velocidad de rotación se selecciona preferentemente de modo que, en el caso de fallo de la red o supresión de la carga de red sin aparición de una ráfaga, sea suficiente el ajuste de pala para garantizar un funcionamiento seguro sin freno mecánico. Éste ocurre sólo cuando adicionalmente incide una ráfaga de viento adicionalmente en un instante desfavorable. Al aumentar el
25 primer límite de velocidad de rotación, por ejemplo, a 2.230 ó 2.270 revoluciones por minuto sólo se produce un momento de flexión del pie de torre ligeramente más elevado en comparación al caso con 2.200 revoluciones por minuto, por lo que éste, según se muestra en la figura 4, puede ser ventajoso para una parametrización sencilla del sistema de guiado del funcionamiento o dispositivo de guiado del funcionamiento, por ejemplo, cuando este límite de velocidad de rotación ya está presente para otros desarrollos del guiado del funcionamiento. Se puede conseguir
30 otra reducción del momento de flexión del pie de torre porque la tasa de ajuste de pala se minimiza aun más, por ejemplo, preferentemente a 4,5°/s o más preferentemente a 4°/s, según se muestra en la fig. 4b.

- El segundo límite de velocidad de rotación se puede diseñar mediante la invención como es habitual en una instalación de 1,5 MW, por ejemplo, a 2.570 revoluciones por minuto o incluso a 2.660 revoluciones por minuto.
35 Mediante la invención se activa más temprano el freno mecánico, que está representado en la fig. 4e, que lo habitual hasta ahora. Además, se evita una tasa de ajuste de pala elevada, por ejemplo, mediante el uso de un ajuste no regulado directamente a través de un acumulador. La sollicitación de la cadena cinemática no se empeora claramente en este caso, según se puede reconocer en la fig. 4b. El procedimiento para el funcionamiento de la instalación de energía eólica sólo se usa con velocidades de viento medias mayores de 9 m/s y menores de
40 aproximadamente 20 m/s.

- Anteriormente se ha representado la invención en algunas variantes conectadas entre sí y también en variantes separadas. La revelación anterior se debe entender por el especialista de modo que también se puede realizar una combinación de las variantes separadas. En particular partes o una parte del objeto de una solución según la
45 invención, que ha dejado sentir su efecto en una reivindicación siguiente equivalente, y/o una o varias formas de realización preferidas, también pueden ser características de otra solución según la invención en la que esta característica o estas características no se mencionan directamente en la descripción en relación con esta solución.

Lista de referencias

- 50
10 Instalación de energía eólica
11 Torre
12 Rotor
13 Árbol de rotor
55 14 Pala de rotor
15 Guiado del funcionamiento
15' Guiado del funcionamiento con supervisión de seguridad integrada
16 Supervisión de seguridad
17 Regulador

18	Ajuste de pala
19	Freno mecánico
20	Cadena de seguridad
21	Componentes eléctricos
5 22	Árbol rápido
23	Generador (con rotor y estator)
24	Engranaje
25	Red
26	Conexión de datos
10 27	Conexión de datos
28	Ajuste de ángulo
29	Dirección de rotación
30	Señal de perturbación
31	Ráfaga de viento
15	

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica (10), en el que la instalación de energía eólica (10) presenta un rotor (12, 13, 22), al menos una pala de rotor (14) ajustable en ángulo, un dispositivo de frenado mecánico (19) para el frenado del rotor (14), un dispositivo de guiado del funcionamiento (15, 15') y un sistema de seguridad (16, 20), con las siguientes etapas del procedimiento:
- frenado del rotor (12, 13, 22) a través de un ajuste de ángulo (28) con una tasa media de ajuste de ángulo de menos de 8,5°/s de al menos una pala de rotor (14) después de la aparición de una señal de perturbación (30),
 - 10 - frenado del rotor (12, 13, 22) a través del dispositivo de frenado mecánico (19) tan pronto como la velocidad de rotación del rotor (12, 13, 22) sobrepasa un primer límite de velocidad de rotación predeterminable, y
 - activación del sistema de seguridad (16, 20) tan pronto como la velocidad de rotación del rotor (12, 13, 22) sobrepasa un segundo límite de velocidad de rotación predeterminable, en el que el rotor (12, 13, 22) se frena y en el que el segundo límite de velocidad de rotación es mayor que el primer límite de velocidad de rotación, en el que el segundo límite de velocidad de rotación no se sobrepasa en una instalación de energía eólica (10) con buen funcionamiento, tampoco durante el deslastre de carga del generador (23) combinado con una ráfaga de viento (31) extrema cuya probabilidad de aparición es menor de una vez en tres meses.
2. Procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica (10), en el que la instalación de energía eólica (10) presenta un rotor (12, 13, 22), al menos una pala de rotor (14) ajustable en ángulo, un dispositivo de frenado mecánico (19) para el frenado del rotor (14), un dispositivo de guiado del funcionamiento (15, 15') y un sistema de seguridad (16, 20), con las siguientes etapas del procedimiento:
- frenado del rotor (12, 13, 22) a través de un ajuste de ángulo (28) con una tasa media de ajuste de ángulo de menos de 8,5°/s de al menos una pala de rotor (14) después de la aparición de una señal de perturbación (30),
 - frenado del rotor (12, 13, 22) a través del dispositivo de frenado mecánico (19) tan pronto como la velocidad de rotación del rotor (12, 13, 22) sobrepasa un primer límite de velocidad de rotación predeterminable, y en el que el frenado mecánico se activa por el dispositivo de guiado del funcionamiento (15, 15'),
 - activación del sistema de seguridad (16, 20) tan pronto como la velocidad de rotación del rotor (12, 13, 22) sobrepasa un segundo límite de velocidad de rotación predeterminable, en el que el rotor (12, 13, 22) se frena y en el que el segundo límite de velocidad de rotación es mayor que el primer límite de velocidad de rotación.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** el segundo límite de velocidad de rotación no se sobrepasa durante una ráfaga de viento (31) con una probabilidad de aparición de una vez al año, siendo en particular la señal de perturbación (30) un sobrepaso de un tercer límite de velocidad de rotación, que es menor que el primer límite de velocidad, un deslastre de carga del generador (23), en fallo en la red (25) y/o un fallo en el ajuste en el ajuste de ángulo (28) de al menos una pala de rotor (16).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la tasa de ajuste de ángulo de la al menos una pala de rotor (14) después de la aparición de la señal de perturbación (30) es menor de 8°/s, en particular menor de 6,5°/s, en particular menor de 4,6°/s, regulándose en particular la tasa de ajuste de ángulo por un dispositivo de regulación (15, 15') asociado al dispositivo de guiado del funcionamiento (15, 15') o por un dispositivo de regulación (17) separado, modificándose en particular la tasa de ajuste de ángulo de la al menos una pala de rotor (10) al sobrepasar un ángulo de la pala predeterminable a una tasa de ajuste de ángulo menor, en particular a una tasa de ajuste de ángulo que es menor que la mitad, en particular menor que un cuarto de la tasa de ajuste de ángulo anterior.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el primer límite de velocidad de rotación se sitúa en un rango de más del 15% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica (10), que presenta en particular una potencia nominal de más de 1,45 MW, situándose en particular el primer límite de velocidad de rotación entre el 20 y el 35%, en particular entre el 22 y el 28% por encima de la velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica (10), situándose en particular el segundo límite de velocidad de rotación en un rango del 35% al 45% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica (10), situándose en particular el segundo límite de velocidad de rotación en un rango del 5% al 20% por encima del primer límite de velocidad de rotación de la instalación de energía eólica

(10), situándose en particular el tercer límite de velocidad de rotación en un rango del 10% al 20%, en particular del 15% al 17% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica (10).

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** el frenado del rotor (12, 13, 22) a través del dispositivo de frenado mecánico (19) se termina al quedar por debajo de un cuarto límite de velocidad de rotación predeterminable, terminándose en particular el frenado del rotor (12, 13, 22) a través del dispositivo de frenado mecánico (19) cuando un ángulo de la pala de rotor medio sobrepasa un valor límite predeterminable y se sobrepasa un tiempo predeterminable desde el comienzo del frenado del rotor (12, 13, 22) a través del dispositivo de frenado mecánico (19).

10 7. Procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica (10), en el que la instalación de energía eólica (10) presenta un rotor (12, 13, 22), al menos una pala de rotor (14) ajustable en ángulo, una torre (11), un dispositivo de guiado del funcionamiento (15, 15') y un sistema de seguridad (16, 20), con las siguientes etapas del procedimiento:

15 - funcionamiento de la instalación de energía eólica, regulado o controlado por el dispositivo de guiado del funcionamiento (15, 15') para la generación de energía eléctrica hasta la aparición de una señal de perturbación (30),

20 - activación del sistema de seguridad (16, 20) en caso de aparición de la señal de perturbación y frenado subsiguiente del rotor (12, 13, 22) a través de un ajuste de ángulo (28) con una tasa media de ajuste de ángulo, en particular inicial, de menos de 6,5°/s de la al menos una pala de rotor, determinada durante un intervalo de tiempo de medio hasta un periodo de oscilación completo de la torre.

25 8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado porque** la tasa media de ajuste de ángulo es menor de 6°/s, en particular menor de 5°/s, en particular menor de 4,6°/s, controlándose o regulándose en particular la tasa de ajuste de ángulo y reduciéndose aun más con aumento creciente del ángulo de la pala y/o disminución de la velocidad de rotación, estando presente en particular la señal de perturbación (30) con un deslastre de carga de un generador (23) acoplado con una ráfaga de viento (31) extrema, siendo la probabilidad de aparición de la ráfaga de viento (31) menor de una vez en tres meses, en particular menor de una vez al año.

9. Instalación de energía eólica (10) con una pala de rotor (12, 13, 22), al menos una pala de rotor (4) ajustable en ángulo, un freno mecánico (19) para el frenado del rotor (12, 13, 22), un dispositivo de guiado del funcionamiento (15, 15') y un sistema de seguridad (16, 20), en el que está previsto un primer dispositivo de frenado (18) que frena el rotor (12, 13, 22) a través de un ajuste de ángulo (28) de la al menos una pala de rotor (14) con una tasa media de ajuste de ángulo de menos de 8,5°/s en presencia de una señal de perturbación (20), en el que está previsto un segundo dispositivo de frenado (19) para el frenado mecánico del rotor (12, 13, 22) tan pronto como la velocidad de rotación del rotor (12, 13, 22) sobrepasa un primer límite de velocidad de rotación predeterminable, en el que el sistema de seguridad (16, 20) es previsto para el frenado del rotor (12, 13, 22) en el caso en el que la velocidad de rotación del rotor (12, 13, 22) sobrepasa un segundo límite de velocidad de rotación predeterminable, en el que el segundo límite de velocidad de rotación es mayor que el primer límite de velocidad de rotación, en el que el segundo límite de velocidad de rotación y la instalación de energía eólica (10) están dimensionados de modo que en una instalación de energía eólica (10) con buen funcionamiento no se sobrepasa el segundo límite de velocidad de rotación, tampoco durante el deslastre de carga del generador (23) combinado con una ráfaga de viento (31) extrema cuya probabilidad de aparición es menor de una vez en tres meses.

10. Instalación de energía eólica (10) con un rotor (12, 13, 22), al menos una pala de rotor (4) ajustable en ángulo, un freno mecánico (19) para el frenado del rotor (12, 13, 22), un dispositivo de guiado del funcionamiento (15, 15') y un sistema de seguridad (16, 20), en el que está previsto un primer dispositivo de frenado (18) que frena el rotor (12, 13, 22) a través de un ajuste de ángulo (28) de la al menos una pala de rotor (14) con una tasa media de ajuste de ángulo de menos de 8,5°/s en presencia de una señal de perturbación (20), en el que está previsto un segundo dispositivo de frenado (19) para el frenado mecánico del rotor (12, 13, 22) tan pronto como la velocidad de rotación del rotor (12, 13, 22) sobrepasa un primer límite de velocidad de rotación predeterminable, en el que el segundo dispositivo de frenado (19) se puede activar mediante el dispositivo de guiado del funcionamiento (15, 15'), en el que el sistema de seguridad (16, 20) es previsto para el frenado del rotor (12, 13, 22) en el caso en el que la velocidad de rotación del rotor (12, 13, 22) sobrepasa un segundo límite de velocidad de rotación predeterminable, en el que el segundo límite de velocidad de rotación es mayor que el primer límite de velocidad de rotación.

11. Instalación de energía eólica (10) según la reivindicación 9 ó 10, **caracterizada porque** el segundo

límite de velocidad de rotación no se sobrepasa durante una ráfaga de viento (31) con una probabilidad de aparición de una vez al año, siendo en particular la señal de perturbación (30) un sobrepaso de un tercer límite de velocidad de rotación, que es menor que el primer límite de velocidad, un deslastre de carga del generador (23), en fallo en la red (25) y/o un fallo en el ajuste en el ajuste de ángulo (28) de al menos una pala de rotor (14).

5

12. Instalación de energía eólica (10) según una de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizada porque** la tasa de ajuste de ángulo de la al menos una pala de rotor (14) en presencia de la señal de perturbación (30) es menor de 8°/s, en particular menor de 6,5°/s, en particular menor de 4,6°/s, pudiéndose regular en particular la tasa de ajuste de ángulo por un dispositivo de regulación (15, 15') asociado al dispositivo de guiado del funcionamiento (15, 15') o por un dispositivo de regulación (17) separado, pudiéndose modificar en particular la tasa de ajuste de ángulo de la al menos una pala de rotor (14) al sobrepasar un ángulo de la pala predeterminable a una tasa de ajuste de ángulo menor, en particular a una tasa de ajuste de ángulo que es menor que la mitad, en particular menor que un cuarto de la tasa de ajuste de ángulo anterior.

10

15 13. Instalación de energía eólica (10) según una de las reivindicaciones 9 a 12, **caracterizada porque** el primer límite de velocidad de rotación se sitúa en un rango de más del 15% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica (10), situándose en particular el primer límite de velocidad de rotación entre el 20 y el 35%, en particular entre el 22 y el 28% por encima de la velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica (10), situándose en particular el segundo límite de velocidad de rotación en un rango del 35% al 45% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica (10), que presenta en particular una potencia nominal de más de 1,45 MW, situándose en particular el segundo límite de velocidad de rotación en un rango del 5% al 20% por encima del primer límite de velocidad de rotación de la instalación de energía eólica (10), situándose en particular el tercer límite de velocidad de rotación en un rango del 10% al 20%, en particular del 15% al 17% por encima de una velocidad de rotación nominal de la instalación de energía eólica (10), que presenta en particular una potencia nominal de más de 1,45 MW.

20

25

14. Instalación de energía eólica (10) según una de las reivindicaciones 9 a 13, **caracterizada porque** el frenado del rotor (12, 13, 22) a través del dispositivo de frenado mecánico (10) se puede terminar al quedar por debajo de un cuarto límite de velocidad de rotación predeterminable, pudiéndose terminar en particular el frenado del rotor (12, 13, 22) a través del dispositivo de frenado mecánico (19) cuando un ángulo de la pala de rotor medio sobrepasa un valor límite predeterminable y se sobrepasa un tiempo predeterminable desde el comienzo del frenado del rotor (12, 13, 22) a través del dispositivo de frenado mecánico (19).

30

15. Instalación de energía eólica (10) con un rotor (12, 13, 22), al menos una pala de rotor (14) ajustable en ángulo, una torre (11), un dispositivo de guiado del funcionamiento (15, 15') y un sistema de seguridad (16, 20), en el que el dispositivo de guiado del funcionamiento (15, 15') está previsto para el funcionamiento regulado o controlado de la instalación de energía eólica (10) para la generación de energía eléctrica hasta la aparición de una señal de perturbación (30), en el que durante y/o después de la aparición de la señal de perturbación se puede activar el sistema de seguridad (16, 20) y mediante el sistema de seguridad de seguridad (16, 20) se provoca un frenado del rotor (12, 13, 22) a través de un ajuste de ángulo (28) con una tasa media de ajuste de ángulo, en particular inicial, de menos de 6,5°/s de la al menos una pala de rotor, determinada durante un intervalo de tiempo de medio hasta un periodo de oscilación completo de la torre.

35

40

16. Instalación de energía eólica (10) según la reivindicación 15, **caracterizada porque** la tasa media de ajuste de ángulo es menor de 6°/s, en particular menor de 5°/s, en particular menor de 4,5°/s, pudiéndose controlar o regular en particular la tasa de ajuste de ángulo y pudiéndose reducir aun más con aumento creciente del ángulo de la pala y/o disminución de la velocidad de rotación, estando presente en particular la señal de perturbación (30) con un deslastre de carga de un generador (23) acoplado con una ráfaga de viento (31) extrema, siendo la probabilidad de aparición de la ráfaga de viento (31) menor de una vez en tres meses, en particular menor de una vez al año.

45

50

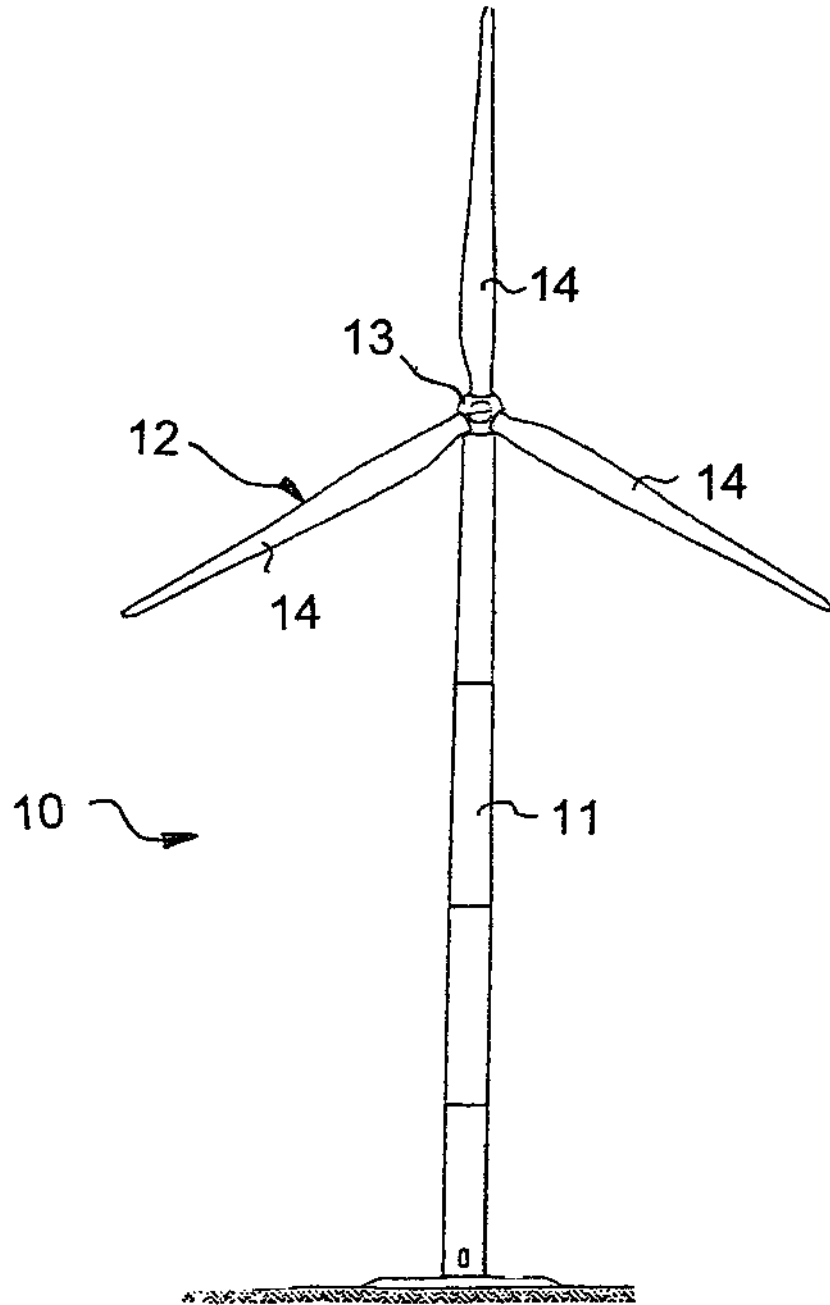


Fig 1

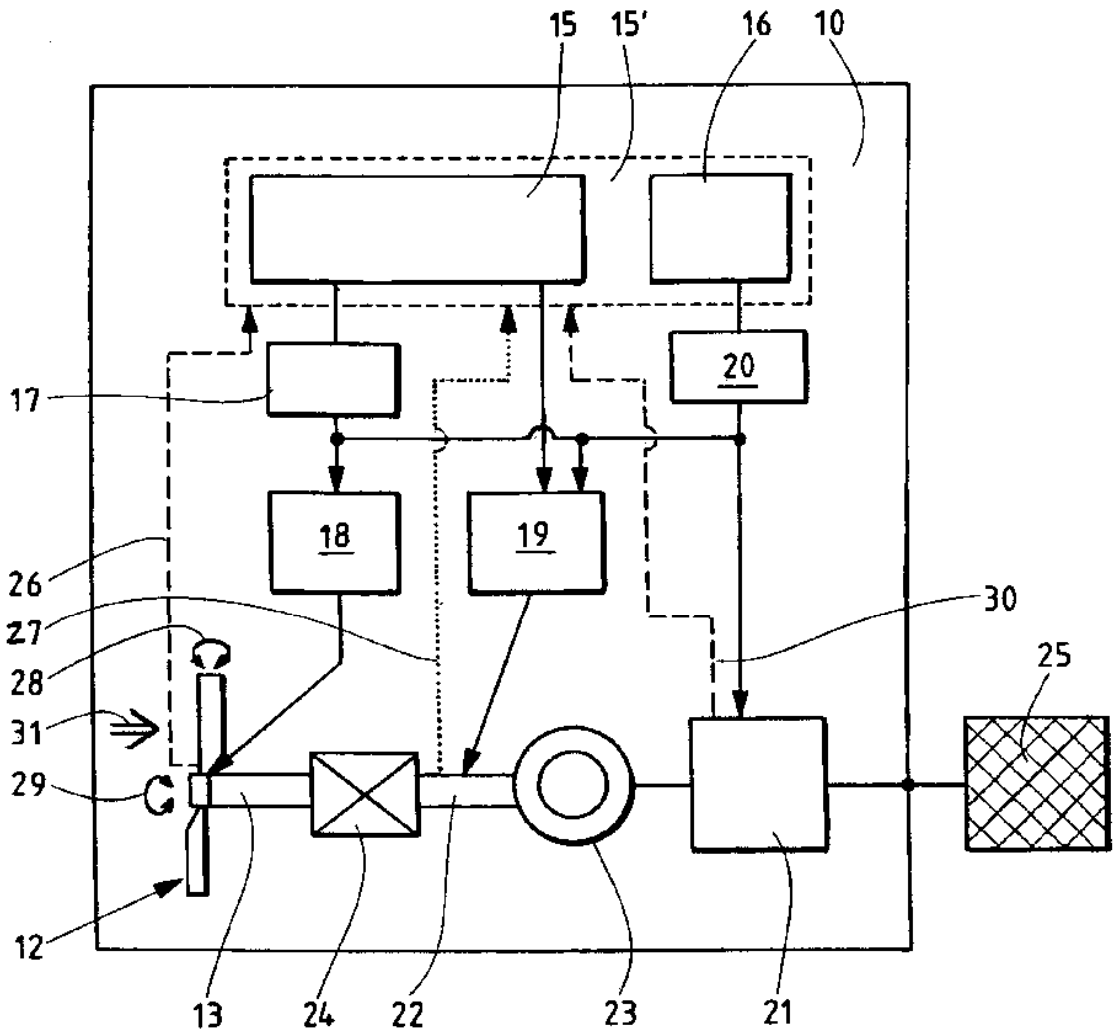


Fig. 2

