

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11) Número de publicación: **2 718 050**

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 16173903 (2)**

97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018 EP 3112676**

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

30) Prioridad:

11.01.2006 DE 102006001613

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

27.06.2019

73) Titular/es:

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

72) Inventor/es:

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

74) Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 718 050 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 y aerogenerador

5 La invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador, presentando el aerogenerador un rotor, al menos una pala de rotor de ángulo regulable, una torre, un sistema de control del funcionamiento y un sistema de seguridad. La invención se refiere además a un aerogenerador con un rotor, al menos una pala de rotor de ángulo regulable, una torre, un sistema de control del funcionamiento así como un sistema de seguridad.

10 Los procedimientos para el funcionamiento de un aerogenerador y los aerogeneradores en sí ya son conocidos. A este respecto se señala el libro de texto "Windkraft Systemauslegung, Netzintegration und Regelung" (Energía eólica diseño del sistema, integración en la red y regulación), Siegfried Heier, 4ª edición, B.G. Teubner, febrero 2005. El funcionamiento de los aerogeneradores y los propios aerogeneradores se consideran críticos con vistas a su diseño, sobre todo con vistas a los aspectos de seguridad. Especialmente en caso de vientos fuertes en combinación con un fallo de red, en los que el par de giro aerodinámico generado por el viento en el rotor no encuentra ninguna resistencia por parte del generador, se pueden producir cargas extremas en la torre, en especial momentos de flexión en la base de la torre, cambios incontrolados de los ángulos de las palas y, en su caso, incluso el disparo de la cadena de seguridad. Debido al fallo de la red o, de forma más generalizada, debido a una desconexión de la carga del generador, el rotor empieza a acelerar con el viento fuerte hasta que el sistema de frenado del aerogenerador inicia el frenado del rotor. En dependencia de la intensidad de la potencia de frenado se producen cargas de distinta intensidad en el aerogenerador.

20 Por el documento EP 1 612 414 A2 se conoce un procedimiento para la reducción de una carga, que actúa sobre una turbina eólica, una reducción de la desviación de sus palas de rotor o una limitación de su número de revoluciones punta. Se almacenan datos históricos que se refieren a los ajustes de la inclinación, datos que se refieren al viento o ambos. Los datos históricos se analizan para determinar si un proceso de inclinación se produce con rapidez o si la velocidad del viento disminuye. Un ángulo de inclinación mínimo, un límite del índice de ajuste de la inclinación o ambos se integran en el sistema de control del ángulo de inclinación de las palas de rotor en base a este análisis.

El objetivo de la presente invención consiste en proponer un procedimiento seguro para el funcionamiento de un aerogenerador y un aerogenerador seguro correspondiente con cargas extremas reducidas.

30 La tarea se resuelve por medio de un procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador según la reivindicación 1.

Con preferencia, el índice medio de ajuste angular es inferior a 6°/s, especialmente inferior a 5°/s, especialmente inferior a 4,6°/s, en especial inferior a 4,5°/s.

Con preferencia, el índice de ajuste angular se controla o regula y se reduce todavía más con el creciente aumento del ángulo de pala y/o con la reducción del número de revoluciones.

35 Con preferencia, la señal de fallo en caso de una eliminación de carga de un generador se produce acoplada a una ráfaga de viento extrema, siendo la probabilidad de aparición de la ráfaga de viento inferior a una vez cada tres meses, especialmente inferior a una vez al año.

40 Por medio del procedimiento según la invención, es posible que incluso en caso de ráfagas de viento extremas y desconexión de la carga simultánea del generador el aerogenerador funcione de manera que no se produzcan cargas excesivas, por ejemplo por parte de un momento de flexión en la base de la torre o de un momento de flexión del rotor.

45 El bajo índice de ajuste angular sirve especialmente para evitar que las palas de rotor giren demasiado deprisa, con lo que se evita un empuje de inversión no deseado. La base la constituye el conocimiento de que un índice de ajuste angular lo más lento posible para el frenado del rotor reduce las cargas. En el estado de la técnica se ha prescindido hasta ahora de los índices de ajuste angular tan bajos en casos de fallo, por ejemplo caída de la carga, dado que los estados de velocidad excesiva que se producen con las ráfagas de viento siempre han conducido a cargas elevadas inaceptables.

50 En el marco de la invención, un índice de ajuste angular ponderado significa especialmente una ponderación del índice de ajuste angular a través del tiempo en el que se produce el frenado por medio de un ajuste angular. En el marco de la invención, el término de rotor incluye especialmente también los términos de tren de transmisión, árbol rápido, rotor del generador, engranaje, árbol de rotor (= árbol lento), cubo de rotor y palas de rotor. Un frenado del rotor significa especialmente el frenado del tren de transmisión.

55 Después del disparo del sistema de seguridad, el rotor se puede frenar, pasando preferiblemente por alto el dispositivo de freno mecánico. Sin embargo, el sistema de control del funcionamiento también puede formar parte del sistema de seguridad o el sistema de seguridad puede formar parte del sistema de control del

funcionamiento, por lo que el sistema de control del funcionamiento no se tiene que ignorar necesariamente para el frenado después del disparo 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 como el que se indica, por ejemplo, en el libro de texto "Wind Energy Handbook", Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi, John Wiley & Sons Ltd., Noviembre 2002, páginas 214 a 218. La fórmula (5.1) adquiere una relevancia especial, debiéndose considerar para el caso de probabilidad de aparición según la invención de menos de una vez en tres meses, para el valor límite inferior de los tres meses, un factor β de aproximadamente 4,6. Para simplificar, la duración de la ráfaga de viento extrema (descrita en este documento con el término "gust") se calcula en 10 s. Para el diseño de un aerogenerador y para la cuantía del primer y del segundo límite del número de revoluciones se parte, según el emplazamiento del aerogenerador, de casos de carga predeterminados o predeterminables que se deben poder absorber durante el funcionamiento del aerogenerador o por parte del aerogenerador sin que el mismo sufra daños. Estos casos de carga los definen, por ejemplo, "Germanischer Lloyd" y otros institutos de seguridad. En función de la definición de los casos de carga, los programas informáticos correspondientes, por ejemplo, al programa informático "Flex" del Sr. Stig Oye o derivados del mismo y perfeccionados, sirven para simular aerogeneradores y el funcionamiento de aerogeneradores y para determinar así, según el caso de carga, cuáles son las cargas que pueden afectar al aerogenerador durante el funcionamiento. Estas cargas se producirán normalmente en probabilidades predeterminadas, En el documento "Wind Energy Handbook" de Tony Burton et. al., ya mencionado con anterioridad, se parte en el "load case 1.5", páginas 216 a 218, de una ráfaga de viento de 1 año, es decir, de una ráfaga de viento extremadamente fuerte que se produce con una probabilidad de una vez al año.

Un segundo límite del número de revoluciones no se rebasa con una ráfaga de viento con una probabilidad de aparición de una vez al año. El "Germanische Lloyd" establece, por ejemplo, que en un caso de carga predeterminado como, por ejemplo, la aparición de "una ráfaga de viento al año", es decir, de una ráfaga de viento extremadamente fuerte que se produce con una probabilidad de aparición de una vez al año, concretamente en el correspondiente emplazamiento del aerogenerador, no se pueden superar, por ejemplo, ciertas cargas del rotor y que las cargas que se producen deben presentar un nivel de seguridad definido en comparación y en proporción con las máximas cargas que se producen.

El funcionamiento todavía puede ser seguro cuando el índice de ajuste angular de la al menos una pala de rotor es después de la aparición de la señal de fallo con preferencia inferior a 4,6 °/s, especialmente inferior a 4,5 °/s. El índice de ajuste angular se regula convenientemente por medio de un dispositivo de regulación asignado al sistema de control del funcionamiento o por medio de un dispositivo de regulación separado. El sistema de control del funcionamiento establece el índice de ajuste angular y el dispositivo de regulación regula después el índice de ajuste angular o el ajuste del ángulo de la respectiva pala de rotor.

Con preferencia el índice de ajuste angular de la al menos una pala de rotor se cambia al rebasar un ángulo de pala preestablecido a un índice de ajuste angular bajo, especialmente a un índice de ajuste angular inferior a la mitad, especialmente inferior a una cuarta parte del índice de ajuste angular anterior.

Al producirse la señal de fallo se gira el ángulo de pala en dirección a la posición de bandera partiendo de la posición angular de pala existente de la pala de rotor con el índice de ajuste angular según la invención. El punto de partida puede ser una posición cero de la pala de rotor. Sin embargo también puede existir una posición que ya se encuentra avanzada en dirección de la posición de bandera. La posición cero es preferiblemente la posición de la pala de rotor con la que en el funcionamiento se puede conseguir con un número de revoluciones óptimo la máxima potencia, y que con frecuencia se define también como posición de servicio. La posición de bandera es preferiblemente la posición en la que no se puede producir ninguna potencia. En este caso, las palas de rotor se giran fuera del viento al igual que una bandera.

Con preferencia un primer límite del número de revoluciones se sitúa en una gama de más del 15% por encima de un número de revoluciones nominal del aerogenerador que presenta especialmente una potencia nominal de más de 1,45 MW. El número de revoluciones nominal es en el marco de la invención un número de revoluciones con el que el aerogenerador alcanza por primera vez una potencia nominal. La velocidad del viento correspondiente se llama en este caso velocidad del viento nominal. Especialmente en aerogeneradores en los que a elevadas velocidades del viento por encima de la velocidad de viento nominal se reduce el número de revoluciones de trabajo, el término de número de revoluciones nominal también se puede referir al número de revoluciones de trabajo reducido en el respectivo punto de trabajo. Un número de revoluciones nominal puede ser, por ejemplo, en un aerogenerador con una potencia nominal de 1,5 MW, de 1.800 revoluciones por minuto (rpm). Este número de revoluciones nominal se mide en el rotor del generador o en el árbol rápido del engranaje. Sin embargo, también se puede definir otro número de revoluciones nominal, concretamente el que se registra en el cubo del rotor o en el generador cuando no existe ningún engranaje. Los números de revoluciones nominales correspondientes pueden ser preferiblemente del orden de 5 a 20 revoluciones por minuto, con especial preferencia del orden de 8 a 18 revoluciones por minuto. Por potencia nominal se entiende la máxima potencia constante del aerogenerador, o sea, la potencia a la que predomina aproximadamente un valor óptimo de potencia extraída, siendo el desgaste del aerogenerador, al mismo tiempo, el menor posible. La potencia nominal será especialmente en aerogeneradores Offshore, en especial en

emplazamientos de vientos fuertes, la potencia con la que el aerogenerador produzca a lo largo de su vida útil la máxima potencia total.

5 El primer límite del número de revoluciones se sitúa preferiblemente entre un 20 y un 35%, especialmente entre un 22 y un 28% por encima del número de revoluciones nominal del aerogenerador. Se prefiere especialmente un valor de aproximadamente un 25% por encima del número de revoluciones nominal del aerogenerador.

10 Un segundo límite del número de revoluciones se sitúa preferiblemente entre un 35% a 45% por encima de un número de revoluciones nominal del aerogenerador que presenta en especial una potencia nominal de más de 1,45 MW. Este segundo límite del número de revoluciones, en el que al rebasarlo se dispara el sistema de seguridad, se sitúa por encima del límite del número de revoluciones hasta ahora habitual en el estado de la técnica para instalaciones de más de 1,45 MW. En los aerogeneradores más pequeños y por lo tanto menos inertes y menos críticos en lo que se refiere a la carga (por ejemplo, 600 kW), este límite del número de revoluciones tiene que ser más alto.

15 El segundo límite del número de revoluciones se sitúa preferiblemente entre el 5% al 20% por encima del primer límite del número de revoluciones del aerogenerador, siendo la gama baja especialmente interesante en caso de trenes de transmisión muy rígidos, por ejemplo, sin engranaje, puesto que allí no se producen vibraciones torsionales.

20 Con especial preferencia un tercer límite del número de revoluciones es del orden del 10 al 20%, especialmente del 15 al 17% por encima de un número de revoluciones nominal de un aerogenerador que presenta especialmente una potencia nominal de más de 1,45 MW. El tercer límite del número de revoluciones es en comparación bajo. Esto significa que el frenado del aerogenerador a través del freno aerodinámico mediante el ajuste del ángulo de al menos una pala de rotor con un índice de ajuste angular relativamente bajo ya comienza en un límite del número de revoluciones relativamente bajo.

En el marco de la invención esto se considera, tanto al existir una señal de fallo, como especialmente también al producirse una señal de fallo.

25 Con preferencia el segundo límite del número de revoluciones no se rebasa con una ráfaga de viento con una probabilidad de aparición de una vez al año. Esto significa especialmente que la probabilidad de aparición de una carga como esta es tan baja que se puede acreditar con un nivel de seguridad relativamente bajo.

30 Preferiblemente la señal de fallo significa la superación de un tercer límite del número de revoluciones que es más bajo que el primer límite del número de revoluciones, una desconexión de la carga del generador, un fallo de red y/o un fallo en el ajuste angular de al menos una pala de rotor. Preferiblemente el índice de ajuste angular de la al menos una pala de rotor es en caso de existencia de la señal de fallo con especial preferencia inferior a 4,6 °/s, especialmente inferior a 4,5 °/s. El índice de ajuste angular se puede regular preferiblemente con un dispositivo de regulación asignado al sistema de control del funcionamiento o por medio de un dispositivo de regulación separado. Convenientemente, el índice de ajuste angular de la al menos una pala de rotor se cambia al rebasar un ángulo de pala preestablecido a un índice de ajuste angular más bajo, especialmente a un índice de ajuste angular inferior a la mitad, especialmente inferior a una cuarta parte del índice de ajuste angular anterior. Alternativamente a la regulación por medio del dispositivo de regulación, la reducción del índice de ajuste también se puede llevar a cabo con ayuda de un conjunto de hardware apropiado, por ejemplo, paquetes de acumuladores escalonados para el suministro de energía a los accionamientos de regulación.

40 El primer límite del número de revoluciones se sitúa preferiblemente en una gama de más del 15% por encima de un número de revoluciones nominal del aerogenerador que presenta especialmente una potencia nominal de más de 1,45 MW. Con un número de revoluciones nominal de 1.800 revoluciones por minuto, el primer límite del número de revoluciones se sitúa preferiblemente en una gama de más de 2.070 revoluciones por minuto y con especial preferencia en una gama de más de 2.160 revoluciones por minuto. Preferiblemente el primer límite del número de revoluciones se sitúa entre un 20 y un 35%, especialmente entre un 22% y un 28% por encima del número de revoluciones nominal del aerogenerador. Esto corresponde a un número de revoluciones nominal de 1.800 en una gama de entre 2.160 y 2.430, especialmente en una gama de 2.196 a 2.304 revoluciones por minuto.

50 Preferiblemente el segundo límite del número de revoluciones se sitúa entre un 35% a 45% por encima de un número de revoluciones nominal del aerogenerador que presenta en especial una potencia nominal de más de 1,45 MW. Esto corresponde, en el caso de un número de revoluciones nominal de 1.800 revoluciones por minuto, a una gama de 2.430 revoluciones por minuto a 2.610 revoluciones por minuto.

Preferiblemente el segundo límite del número de revoluciones se sitúa entre un 5% a 20% por encima del primer límite del número de revoluciones del aerogenerador. Esto corresponde en el caso de un primer límite del número de revoluciones de 2.200 revoluciones por minuto a 2.310 revoluciones por minuto hasta 2.640 revoluciones por minuto.

55 Preferiblemente el tercer límite del número de revoluciones se sitúa entre un 10% a 20%, especialmente entre un 15 % a 17 % por encima de un número de revoluciones nominal del aerogenerador que presenta en especial una potencia nominal de más de 1,45 MW. Esto corresponde, en el caso de un número de revoluciones nominal de

- 1.800 revoluciones por minuto, a una gama de 1.980 revoluciones por minuto a 2.610 revoluciones por minuto, especialmente a una gama de 2.070 a 2106 revoluciones por minuto. El frenado del rotor a través del dispositivo de freno mecánico termina preferiblemente al no alcanzar un cuarto límite del número de revoluciones predeterminable, por ejemplo al llegar al número de revoluciones nominal. El frenado del rotor a través del dispositivo de freno mecánico termina además preferiblemente cuando un ángulo medio de la pala de rotor rebasa un valor límite predeterminable y cuando se supera un tiempo predeterminable desde el comienzo del frenado del rotor a través del dispositivo de freno mecánico.
- 5 La tarea se resuelve además por medio de un aerogenerador según la reivindicación 5.
- 10 La base la constituye el conocimiento según la invención de que una excitación excesiva de la vibración de la torre se puede contrarrestar por medio de un empuje negativo del rotor, si el índice de ajuste angular inicial después de la señal de fallo se limita, al menos durante un espacio de tiempo de una mitad del período de vibración de la torre, ventajosamente durante todo el espacio de tiempo de un período de vibración completo, a valores por debajo de 6,5°/s. Las normales frecuencias propias de la torre oscilan actualmente entre 0,2 y 0,4 Hz, es decir, un período de vibración tiene una duración de entre 2,5 y 5 segundos. Por lo tanto, el índice de ajuste en caso de una torre rígida
- 15 tiene que reducirse al valor indicado durante al menos 1,3 segundos después del disparo de la señal de fallo, y en caso de una torre blanda durante 2,5 segundos. Sin embargo, resulta mucho más efectivo realizar la limitación durante 2,5 o 5 segundos, a fin de evitar del mejor modo posible una excitación de la primera carga vibratoria de la torre después de la señal de fallo. En las futuras instalaciones de mayor tamaño, en las que se esperan frecuencias propias más bajas, las condiciones se tendrán que adaptar lógicamente en la forma debida.
- 20 Con preferencia, el índice medio de ajuste angular es inferior a 6°/s, especialmente inferior a 5°/s, en especial inferior a 4,5°/s.
- Con preferencia, el índice de ajuste angular se controla o regula y se reduce todavía más con el creciente aumento del ángulo de pala y/o con la reducción del número de revoluciones.
- 25 Con preferencia, la señal de fallo en caso de una eliminación de carga de un generador se produce acoplada a una ráfaga de viento extrema, siendo la probabilidad de aparición de la ráfaga de viento inferior a una vez cada tres meses, especialmente inferior a una vez al año.
- La invención se describe a continuación, sin limitación de la idea general de la invención, a la vista de unos ejemplos de realización y con referencia a los dibujos, señalándose expresamente los dibujos en relación con todos los detalles según la invención no explicados detalladamente en el texto. Se muestra en la
- 30 Figura 1 una representación esquemática de un aerogenerador;
- Figura 2 un diagrama en bloque esquemático de componentes esenciales de un aerogenerador;
- Figura 3 diagramas esquemáticos para dos casos de carga que se producen en un aerogenerador según la invención, a saber
- Figura 3a la velocidad del viento durante el tiempo de una ráfaga de viento de un año calculada;
- 35 Figura 3b el índice de ajuste angular a través del tiempo,
- Figura 3c el número de revoluciones a través del tiempo,
- Figura 3d la potencia eléctrica a través del tiempo,
- Figura 3e el momento de frenado a través del tiempo,
- Figura 3f un momento de flexión en la base de la torre a través del tiempo y
- 40 Figura 3g el par de giro del rotor a través del tiempo,
- Figura 4 diagramas esquemáticos de valores de dos aerogeneradores existentes, por un lado, según la invención (línea continua) y existentes, por otro lado, según el estado de la técnica (línea discontinua) representando
- Figura 4a la velocidad del viento de una ráfaga calculada a través del tiempo,
- Figura 4b un índice de ajuste angular a través del tiempo,
- 45 Figura 4c un número de revoluciones a través del tiempo,
- Figura 4d una potencia eléctrica a través del tiempo,
- Figura 4e un momento de frenado a través del tiempo,

Figura 4f un momento de flexión en la base de torre a través del tiempo y

Figura 4g un par de giro del rotor a través del tiempo.

En las siguientes figuras los elementos iguales o similares o componentes correspondientes se identifican con el mismo número de referencia, por lo que se prescinde de una nueva presentación de los mismos.

5 La figura 1 muestra una representación esquemática de un aerogenerador 10. El aerogenerador 10 presenta una torre 11 y un rotor 12 que comprende tres palas de rotor 14 fijadas en un cubo de rotor 13. Al incidir el aire, el rotor 12 gira de manera conocida. Como consecuencia, un generador conectado al rotor 12 o al cubo de rotor 13 puede producir potencia que se introduce en una red de consumo.

10 La figura 2 muestra esquemáticamente los componentes esenciales del aerogenerador 10. Un sistema de control 15, que también se puede definir como instalación de control del funcionamiento o sistema de control del funcionamiento, controla y/o regula el funcionamiento del aerogenerador 10. Junto al sistema de control 15 se prevé un sistema de vigilancia de seguridad 16 conectado a una cadena de seguridad 20. La cadena de seguridad 20 comprende, por ejemplo, un detector de vibraciones, un interruptor (de desconexión de emergencia) manual y un relé de conmutación del número de revoluciones. La cadena de seguridad 20 sirve para frenar el aerogenerador en caso de producirse un incidente relevante en lo que se refiere a la seguridad, por ejemplo al producirse vibraciones fuertes o al accionar un operario el interruptor de emergencia, hasta que llegue a un estado no crítico. La cadena de seguridad 20 se puede diseñar como cadena de Hardware. Al activar la cadena de seguridad 20, lo que se indica por medio de la flecha en relación con los componentes eléctricos 21, el generador 23 se retira de la red 25 y el árbol del rotor 9 o árbol rápido 22 se frena, por ejemplo a través del sistema de regulación de palas 18 o del freno mecánico 19 o también, lo que no se representa, directamente, evitando uno o varios dispositivos de regulación o de control, como el sistema de regulación de palas 19. El sistema de vigilancia de seguridad 16 también se puede diseñar de modo que verifique la funcionalidad del sistema de control del funcionamiento 15. En este aspecto el sistema de vigilancia de seguridad 16 se configura preferiblemente como una especie de "Watch-Dog". El sistema de control del funcionamiento 15' también puede comprender el sistema de vigilancia de seguridad 16, como se representa con líneas discontinuas. En este caso se trata de un sistema de control del funcionamiento 15' con el sistema de vigilancia de seguridad 16 integrado.

25 El sistema de control del funcionamiento 15, 15' se conecta a través de las correspondientes líneas de datos electrónicas a un regulador 17 y al sistema de regulación de palas 18 y, además, al freno mecánico 19. Por sistema de regulación de palas 18 se entiende especialmente un actuador que se encarga de una regulación de las palas de rotor 14. De manera correspondiente se entiende por freno mecánico 19 un actuador que se encarga 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, algo que no se representa aquí.

30 Con el número 26 se identifica una conexión de datos que aporta al sistema de control del funcionamiento 15 ó 15' un ángulo de pala de rotor o los ángulos de pala de rotor de las palas de rotor 14. Con el número de referencia 27 se representa una conexión de datos que aporta al sistema de control del funcionamiento 15 ó 15' un número de revoluciones real del árbol rápido 22. Con 30 se identifica una línea de datos que aporta al sistema de control del funcionamiento 15 ó 15' una señal de fallo que en este ejemplo de realización tiene su origen en los componentes eléctricos 21.

40 El funcionamiento del aerogenerador es el siguiente. Al incidir el viento, el rotor 12 gira según la dirección de rotación 29. Como consecuencia gira también el árbol de rotor 9, que hace girar el árbol rápido 22 con un engranaje 24 en una transmisión de, por ejemplo, 1:100. Por este motivo se genera en el generador 23 una tensión eléctrica que se regula, reajusta y/o transforma en los componentes eléctricos 21 en una tensión alterna. A la salida de los componentes eléctricos 21 se prevé una conexión a la red 25, por medio de la cual se suministra al consumidor tensión o potencia eléctrica. En el capítulo 5, por ejemplo, del libro de texto arriba mencionado "Windkraft Systemauslegung, Netzintegration und Regelung" de Siegfried Heier, se revelan conceptos de regulación y de control de aerogeneradores generalmente conocidos.

45 Al aparecer una ráfaga de viento extrema 31 es posible que, al coincidir la misma con una desconexión de la carga del generador, es decir, especialmente una supresión brusca de la carga de red, por ejemplo como consecuencia de un fallo de convertidor, generador, transformador o de la red o del disparo de la cadena de seguridad, el número de revoluciones del rotor o del generador alcance valores muy críticos y elevados, por lo que se hace necesario un frenado brusco que puede dar lugar a una fuerte fatiga del material del aerogenerador o a daños.

50 La invención contrarresta estos riesgos previendo que el rotor 12 o el árbol de rotor 9 o, de forma correspondiente el árbol rápido 22, ya se frena a través de un ajuste angular 28 relativamente lento, al aparecer una señal de fallo correspondiente, por ejemplo al rebasar un tercer límite del número de revoluciones relativamente bajo. Debido al índice de ajuste angular relativamente pequeño de menos de 6,5 %/s, se inicia un frenado con poca carga.

55 Si a causa de la fuerza de la ráfaga de viento 31 este frenado no fuera suficiente y el número de revoluciones del rotor, que en el marco de la invención también incluye los términos de tren de transmisión o rotor del generador, rebasara un primer límite del número de revoluciones predeterminable superior al tercer límite del número de

5 revoluciones, se activa a través del programa de frenado según la invención, por medio del sistema de control del funcionamiento 15 ó 15', el freno mecánico 19. Sólo cuando las dos variantes de frenado, a saber, el frenado aerodinámico a través de la regulación de palas 18 y el frenado mecánico a través del freno mecánico 19 no resultan suficientes o la ráfaga de viento 31 sea tan fuerte que se rebasa un segundo límite del número de revoluciones, se activa el sistema de seguridad 16, 20.

10 El sistema de seguridad 16, 20 provoca una activación de los dispositivos de freno redundante en cuanto al control del funcionamiento y, en su caso, un efecto de frenado aún más fuerte, por ejemplo un ajuste de palas con un índice de ajuste angular más alto y/o la aplicación de una mayor presión hidráulica a un freno hidráulico. Sin embargo, el segundo límite del número de revoluciones se ha concebido de manera que, incluso en caso de descarga del generador, el mismo sólo se alcance en caso de ráfagas de viento tan extremas que se produzcan con una probabilidad inferior a una vez en tres meses. En este ejemplo de realización especial se parte de una ráfaga de viento con una probabilidad de aparición de menos de una vez al año. Un diseño sencillo de un sistema de seguridad que se puede utilizar perfectamente y que comprende un sistema de vigilancia de seguridad 16 y una cadena de seguridad 20, se describe a modo de ejemplo en las páginas 473 y 474 de la publicación "Wind Energy Handbook" antes mencionada.

15 En las figuras 3a a 3g se representan diagramas por medio de los cuales se explicará la invención para dos casos de carga distintos. La figura 3a muestra un diagrama de la velocidad del viento a través del tiempo, representándose una ráfaga de viento extrema habitual que se puede calcular, por ejemplo, en la fórmula 5.1 de la página 215 del documento "Wind Energy Handbook" citado con anterioridad de forma más exacta. Se trata de una ráfaga que se produce con una probabilidad de exactamente una vez al año en el emplazamiento considerado. La figura 3d muestra un diagrama de la potencia eléctrica en kW a través del tiempo, representándose dos casos, en concreto el primer caso en el que a los 7,5 segundos, aproximadamente, se produce una caída de la carga, en concreto durante la fuerza mínima de la ráfaga y en comparación, a los 9 segundos, aproximadamente, que corresponde a un punto que se puede ver más o menos en el centro del franco ascendente de la ráfaga de la figura 3a. El segundo caso es el que es más crítico para el aerogenerador y que se representa a rayas. Para el diseño seguro del aerogenerador, la caída de carga debe poder producirse en cualquier momento sin que se produzca una situación peligrosa.

20 La figura 3b muestra un índice de ajuste angular en $\%/\text{s}$ de una pala de rotor 14. En primer lugar se puede ver que en los dos casos de la figura 3d, debido a la forma de la ráfaga con la consiguiente reducción de las velocidades del viento, la tasa de velocidad o el índice de ajuste angular es, en principio, negativo, es decir, las palas de rotor se colocan a favor del viento para que se pueda generar un par de giro mayor. En caso de caída de la carga, se ajusta en ambos casos de manera relativamente rápida, por medio del sistema de control del funcionamiento, un índice de ajuste angular de menos de 5 $\%/\text{s}$. Las pequeñas disminuciones del índice de ajuste angular se deben a la breve sobrecarga de los accionamientos para el ajuste del ángulo.

25 El número de revoluciones generado por la ráfaga del árbol rápido 22 se representa en la figura 3c. La ondulación de la señal del número de revoluciones se debe a la vibración torsional del tren de transmisión antes descrita. En el primer caso no crítico, el número de revoluciones asciende a escasamente 2.200 revoluciones por minuto y en el casi más crítico (línea discontinua) a algo menos de 2.500 revoluciones por minuto. Para este ejemplo de realización el segundo límite del número de revoluciones se ha fijado en 2.500 revoluciones por minuto. Como consecuencia del aumento del número de revoluciones de disparo de la cadena de seguridad a 2.500 revoluciones por minuto, se evita el disparo de la cadena de seguridad. De este modo las cargas del aerogenerador se pueden reducir claramente. El número de revoluciones de disparo usual para la cadena de seguridad de aerogeneradores del orden de 1,5 MW y más es, por ejemplo, de 2.400 revoluciones por minuto.

30 En la figura 3e se representa esquemáticamente en un diagrama el momento de frenado de un freno mecánico a través del tiempo. Se puede ver que para el primer caso (línea continua) el freno mecánico no se ha activado dado que no se rebasa el primer límite del número de revoluciones. Sólo para el segundo caso (línea discontinua) se activa el freno mecánico al superar el primer límite del número de revoluciones de 2.260 revoluciones por minuto, que se aplica aproximadamente a los 11,5 segundos, después de lo cual el freno mecánico empieza a actuar con un pequeño retardo.

35 En la figura 3f se representa el momento de flexión de la base de la torre en kNm a través del tiempo para ambos casos. Se ve claramente que el segundo caso (línea discontinua) es más crítico con vistas al momento de flexión de la base de la torre. También se puede ver que en ambos casos se produce una vibración amortiguada de la torre a causa de la ráfaga.

40 En la figura 3g se representa el par de giro del rotor en kNm. También aquí se representan distintos casos con líneas continuas y discontinuas. Se reconoce que, a causa de la repentina caída de carga, el tren de transmisión presenta fuertes vibraciones torsionales comparables a las de un muelle tensado que se suelta de repente. En el segundo caso (representado a rayas) se ve el desplazamiento de la vibración como consecuencia de la actuación del freno mecánico.

45 Para poder explicar la invención todavía mejor, se representa en las figuras 4a a 4g un caso de carga correspondiente de una ráfaga de viento extrema (ráfaga anual) según la figura 4a en caso de caída de carga del

generador según la figura 4d. Se representa un control diferente del procedimiento, por una parte un sistema de control del funcionamiento según la invención preferido del aerogenerador (línea continua) y, por otra parte, un sistema de control del funcionamiento según la invención algo menos preferido. El mismo ya presenta, al contrario que en el estado de la técnica, índices de ajuste angular muy bajos fijados en caso de parada de emergencia en valores muy bajos de 5 °/s o 6 °/s. Sin embargo, este sistema de control del funcionamiento no presenta ningún primer límite del número de revoluciones para el disparo del freno a través del sistema de control del funcionamiento, sino únicamente el disparo del freno a través del sistema de seguridad a un número de revoluciones de 2.400 revoluciones por minuto. Este proceso de control del funcionamiento representado a rayas se describe en primer lugar.

Según la figura 4d se puede ver que la caída de carga se produce aproximadamente en el centro del flanco ascendente de la ráfaga de viento de la figura 4a, es decir, en la zona crítica. En el ejemplo se exige en caso de desconexión de la carga un índice de regulación de pala de 5 °/s. Al rebasar el número de revoluciones de disparo de 2.400 revoluciones por minuto (véase figura 4c), se provoca a través del sistema de seguridad una parada de emergencia. Se requiere un índice de regulación de pala mayor de 6 °/s, pero debido a un dispositivo de ajuste angular concebido de forma escasa, éste no se puede mantener de manera constante. Al mismo tiempo se activa el freno mecánico, por lo que con este procedimiento la reducción del número revoluciones es más rápida que en el ejemplo de realización preferido representado con líneas continuas. El resultado son momentos de flexión en la base de la torres relativamente altos (Figura 4f).

En un ejemplo adicional conforme a la línea continua de la figura 4b, el índice de regulación de pala se ajusta y regula a menos de 4,6 °/s, en especial exactamente a 4 °/s. Al superar el primer límite del número de revoluciones (aquí 2.270 revoluciones por minuto) interviene según la figura 4e el freno mecánico, es decir, algo más pronto que en el ejemplo indicado en primer lugar. Gracias a la reducida velocidad de regulación de pala, la deceleración del rotor resulta en conjunto menos brusca. Conforme a la figura 4 f se obtienen momentos de flexión en la base de la torre más favorables en el segundo ejemplo (línea continua) en comparación con el primer ejemplo (línea discontinua). El par de giro del rotor a través del tiempo se representa en la figura 4g. Se reconoce un aumento limitado de la carga del tren de transmisión que, en relación con la reducción de la carga en la torre, es aceptable, especialmente por tratarse de un caso de carga muy raro. También se puede ver que se producen momentos de frenado negativos, dado que el rotor vibra contra el freno.

Por consiguiente, la invención se refiere al diseño y al funcionamiento de aerogeneradores, especialmente para el caso DLC1.5 (Design Load Case para una ráfaga anual con fallo de red). Con el sistema de control del funcionamiento tradicional se pueden producir momentos de flexión en la base de la torre de hasta 100.000 kNm (inclusive factor de seguridad). Un empuje aerodinámico mayor, que es tanto mayor cuanto más alta y dinámica es la torre, es decir, cuanto más baja es la frecuencia propia de la torre, puede incrementar adicionalmente la dinámica propia de la torre.

Mediante el cambio del índice de regulación de pala de, por ejemplo 6 a 5 °/s y el aumento del número de revoluciones de disparo de la cadena de seguridad de 2.400 a 2.500 revoluciones por minuto y mediante la previsión de una potencia del freno mecánico al rebasar un primer límite del número de revoluciones de 2.200 revoluciones por minuto, se puede alcanzar sin problemas una reducción de los momentos de flexión de la base de la torre del 14 % en el aerogenerador representado en el ejemplo con una potencia nominal de 2 MW. El primer límite del número de revoluciones se elige preferiblemente de modo que, en caso de fallo de red o supresión de la carga de red sin aparición de una ráfaga, la regulación de pala sea suficiente para garantizar un funcionamiento seguro sin freno mecánico. Éste sólo actúa cuando en un momento desfavorable incide una ráfaga de viento. Al aumentar el primer límite del número de revoluciones, por ejemplo a 2.230 ó 2.270 revoluciones por minuto, sólo se produce un momento de flexión algo más alto en la base de la torres en comparación con el caso con 2.200 revoluciones por minuto, lo que puede ser, como muestra la figura 4, ventajoso para una parametrización sencilla del sistema de control del funcionamiento o de la instalación de control del funcionamiento, por ejemplo cuando este límite del número de revoluciones ya existe para otros procesos de control del funcionamiento. Una reducción adicional del momento de flexión de la base de la torre se puede conseguir reduciendo aún más el índice de regulación de pala, por ejemplo a preferiblemente 4,5 °/s más, con preferencia a 4 °/s, tal como muestra la figura 4b.

El segundo límite del número de revoluciones de un aerogenerador de 1,5 MW puede ser, gracias a la invención, más alto de lo que es habitual, por ejemplo de 2.570 revoluciones por minuto o incluso de 2.660 revoluciones por minuto. El freno mecánico representado en la figura 4e se activa antes de lo normal. Se evita además un índice de regulación de pala elevado, por ejemplo empleando un ajuste no regulado directamente a través de un acumulador. La carga del tren de transmisión no empeora de manera significativa, como se puede ver en la figura 4g. Con preferencia, el procedimiento para el funcionamiento del aerogenerador sólo se emplea a velocidades de viento medias superiores a 9 m/s e inferiores a unos 20 m/s.

A continuación la invención se representa a la vista de algunas variantes combinadas entre sí y también separadas. El experto en la materia debe entender esta revelación en el sentido de que también se puede llevar a cabo una combinación de las variantes separadas. En especial, las partes o una parte del objeto de una solución según la invención reflejada en una de las reivindicaciones y/o una o varias variantes de realización preferidas, también

pueden ser características de otra solución según la invención en la que esta característica o estas características no se indiquen directamente en la descripción en relación con esta solución.

Lista de referencias

	10	Aerogenerador
5	11	Torre
	12	Rotor
	13	Árbol de rotor
	14	Pala de rotor
	15	Sistema de control del funcionamiento
10	15'	Sistema de control del funcionamiento con sistema de vigilancia de seguridad integrado
	16	Sistema de vigilancia de seguridad
	17	Regulador
	18	Sistema de regulación de pala
	19	Freno mecánico
15	20	Cadena de seguridad
	21	Componentes eléctricos
	22	Árbol rápido
	23	Generador (con rotor y estator)
	24	Engranaje
20	25	Red
	26	Conexión de datos
	27	Conexión de datos
	28	Ajuste angular
	29	Dirección de rotación
25	30	Señal de fallo
	31	Ráfaga de viento

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador (10), presentando el aerogenerador (10) un rotor (12, 13, 22), al menos una pala de rotor (14) de ángulo regulable, una torre (11), un sistema de control del funcionamiento (15, 15') y un sistema de seguridad (16, 20) con los siguientes pasos de procedimiento:
- 5 accionamiento del aerogenerador (10) regulado o controlado por el sistema de control del funcionamiento (15, 15') para la producción de tensión eléctrica hasta la aparición de una señal de fallo (30),
- caracterizado por la activación del sistema de seguridad (16, 20) al producirse la señal de fallo (30) y el posterior frenado del rotor (12, 13, 22) a través de un ajuste de ángulo (28) con un índice de ajuste angular medio, especialmente inicial, inferior a 6,5°/s de la al menos una pala de rotor, determinado a través de un espacio de tiempo de una mitad del período de vibración o del período de vibración completo de la torre.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el índice medio de ajuste angular es inferior a 6°/s, especialmente inferior a 5°/s, especialmente inferior a 4,6°/s.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que el índice de ajuste angular se controla o regula y se reduce todavía más con el creciente aumento del ángulo de pala y/o con la reducción del número de revoluciones.
- 15 4. Procedimiento según la reivindicación 2 o 3, caracterizado por que la señal de fallo (30) en caso de una eliminación de carga de un generador (23) se produce acoplada a una ráfaga de viento extrema (31), siendo la probabilidad de aparición de la ráfaga de viento (31) inferior a una vez cada tres meses, especialmente inferior a una vez al año.
- 20 5. Aerogenerador (10) con un rotor (12, 13, 22), al menos una pala de rotor (14), cuyo ángulo se puede regular, una torre (11), un sistema de control del funcionamiento (15, 15') y un sistema de seguridad (16, 20), previéndose el sistema de control del funcionamiento (15, 15') para el accionamiento regulado o controlado del aerogenerador (10) para la producción de tensión eléctrica hasta la aparición de una señal de fallo (30), caracterizado por que durante y/o después de la aparición de la señal de fallo (30) se puede activar el sistema de seguridad (16, 20), provocándose por medio del sistema de seguridad (16, 20) un frenado del rotor (12, 13, 22) a través de un ajuste de ángulo (28) con un índice medio de ajuste angular, especialmente inicial, de menos de 6,5°/s de al menos una pala de rotor, determinado durante un espacio de tiempo de una mitad de un período de vibración o de un período de vibración completo de la torre.
- 25 6. Aerogenerador (10) según la reivindicación 5, caracterizado por que el índice medio de ajuste angular es inferior a 6°/s, especialmente inferior a 5°/s, especialmente inferior a 4,5°/s.
- 30 7. Aerogenerador (10) según la reivindicación 6, caracterizado por que el índice de ajuste angular se controla o regula y se reduce todavía más con el creciente aumento del ángulo de pala y/o con la reducción del número de revoluciones.
8. Aerogenerador (10) según la reivindicación 6 o 7, caracterizado por que la señal de fallo (30) en caso de una eliminación de carga de un generador (23) se produce acoplada a una ráfaga de viento extrema (31), siendo la probabilidad de aparición de la ráfaga de viento (31) inferior a una vez cada tres meses, especialmente inferior a una vez al año.
- 35

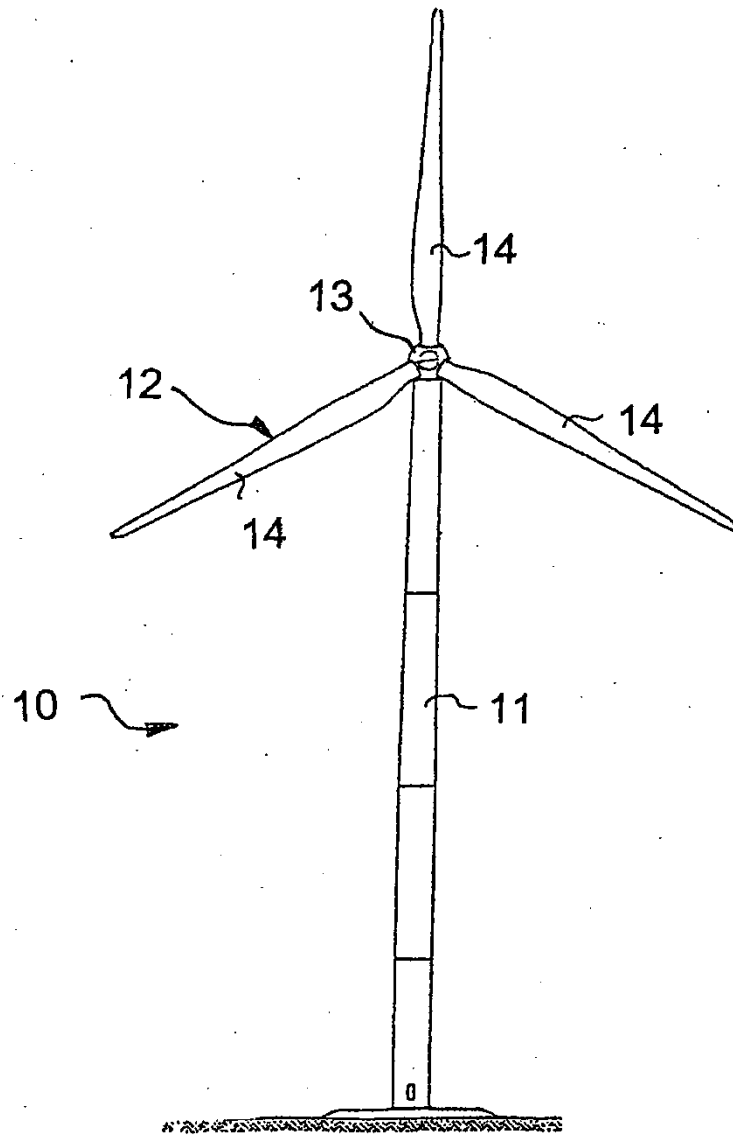


Fig 1

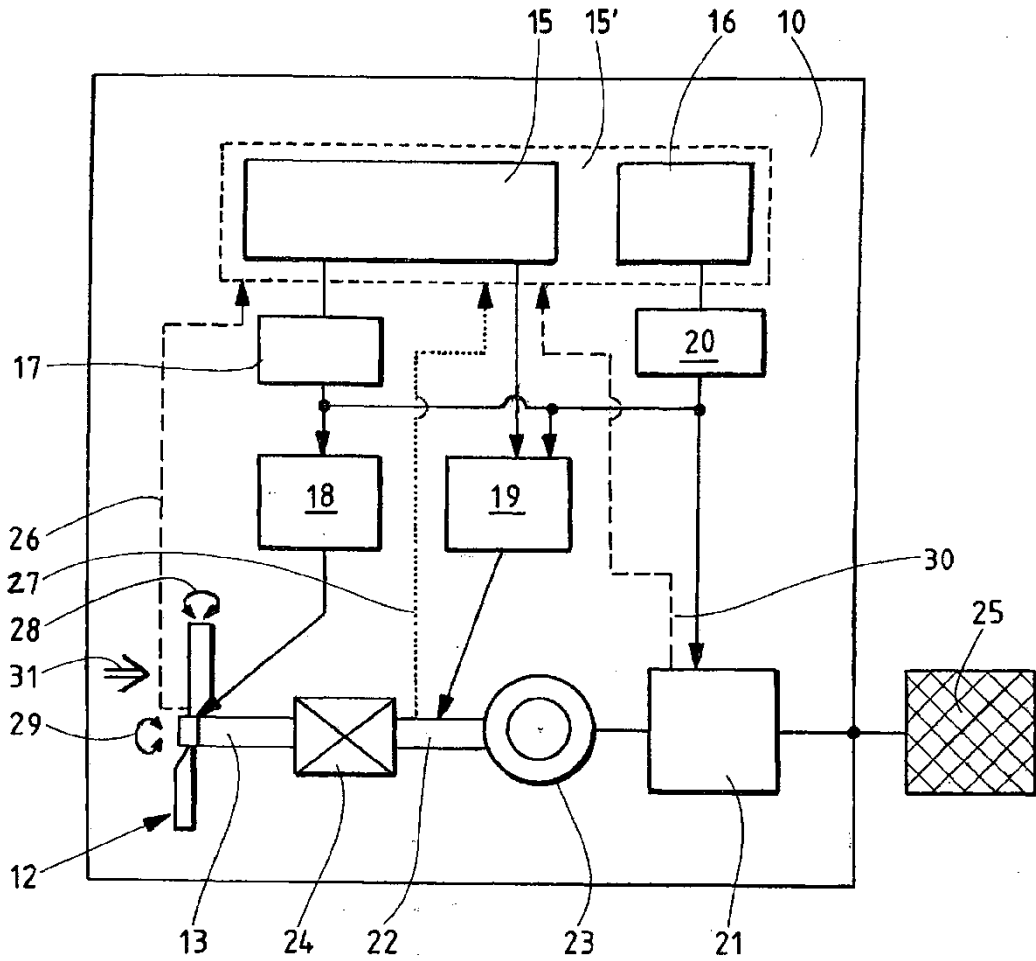


Fig. 2

