

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 831 827**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2015** **E 15161896 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.09.2020** **EP 3076011**

54 Título: **Método para hacer funcionar una turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.06.2021

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)
Borupvej 16
7330 Brande, DK**

72 Inventor/es:

**ALBERTS, JOHANNES GERHARDES WARDJAN
y
HOEGH, GUSTAV**

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 831 827 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

Método para hacer funcionar una turbina eólica

5 La invención se refiere a un método y a un dispositivo de control para hacer funcionar una turbina eólica durante la marcha al ralentí. Además, se proponen una turbina eólica y un producto de programa informático.

10 Una turbina eólica comprende una torre, una góndola, un buje de rotor conectado a la góndola y al menos una pala de rotor conectada al buje de rotor. El aire en movimiento tal como, por ejemplo, el viento, que impacta sobre la al menos una pala de rotor transfiere una parte de su energía cinética a las palas de rotor provocando la rotación de las palas de rotor y el buje de rotor alrededor de un eje de rotación. El buje de rotor está acoplado a un generador eléctrico para generar energía eléctrica durante la rotación del buje de rotor.

15 En caso de "detener" una turbina eólica debido a la falta de viento o algunas otras condiciones de funcionamiento (por ejemplo, averías), puede que el buje de rotor de la turbina eólica no se detenga completamente, sino que se permite que rote ("al ralentí") a velocidades de rotación extremadamente bajas ("velocidad de marcha al ralentí"), normalmente de alrededor de 0,2 rpm. Durante tal tipo de estado detenido ("marcha al ralentí"), la velocidad de marcha al ralentí del buje de rotor depende de una velocidad del viento y de un ángulo de paso de la pala individual. De ese modo, un ángulo de paso de cero grados hace que se regule el paso de la pala o la cuerda de pala de manera que esté esencialmente en paralelo con respecto a un plano de rotación de las palas de rotor, mientras un ángulo de paso que se aproxima a 90 grados da como resultado la regulación del paso de la pala de manera que esté esencialmente en perpendicular con respecto al plano de rotación.

20 Durante la marcha al ralentí, la pala de rotor puede estar en una posición fija igual al tope final mecánico (limitación física en, por ejemplo, 88 grados) del sistema de paso sin ningún control activo de la velocidad de rotación del buje de rotor.

30 En una turbina eólica en estado detenido, es decir, al ralentí, pueden aparecer algunos problemas: según un primer escenario a modo de ejemplo, puede haber una coubicación de frecuencias a determinadas velocidades de marcha al ralentí, provocada por vibraciones mecánicas y por vibraciones armónicas que dan como resultado cargas más altas, por ejemplo, en un generador o en una caja de engranajes. Por tanto, una turbina eólica no puede hacerse funcionar a velocidades de rotación con coubicaciones de frecuencias que se producen durante periodos de tiempo prolongados sin provocar daños graves, por ejemplo, al generador con la consecuencia de, por ejemplo, una sustitución de generador costosa.

35 Según un escenario a modo de ejemplo adicional para una turbina eólica en estado detenido, la turbina eólica no está en marcha al ralentí, es decir, el buje de rotor está casi en parada para velocidades de viento de bajas a medias, en las que el rotor se mueve a veces pequeñas distancias en ambos sentidos. Tal tipo de "balanceo" del buje de rotor entre dos posiciones también puede provocar daños a los cojinetes del buje de rotor.

40 Además, si no se obtiene una velocidad de rotación suficiente durante la marcha al ralentí, la lubricación del cojinete principal de la turbina eólica no será suficiente, lo que también puede dar como resultado daños graves.

45 Además, en el caso de una turbina eólica marina en estado detenido por lo que está en marcha al ralentí con baja velocidad, un desfase de viento y las olas puede producir también daños adicionales en la torre, lo que puede evitarse aumentando la velocidad de rotación del buje de rotor durante la marcha al ralentí (por ejemplo, a aproximadamente 5 rpm) lo que proporciona una amortiguación suficiente para impedir daños por fatiga excesivos en la turbina.

50 El documento US 2008/118342 A1 se refiere a una turbina eólica que funciona en un modo de rodaje lento con el fin de reducir las oscilaciones en la estructura de soporte creada por impactos mecánicos en la estructura de soporte. De ese modo, la velocidad en modo de rodaje lento se controla partiendo de la base de una oscilación medida o esperada de la torre.

55 Por tanto, el objeto es superar tales desventajas y, en particular, proporcionar un enfoque mejorado para hacer funcionar una turbina eólica durante la marcha al ralentí.

60 Este problema se soluciona según las características de las reivindicaciones independientes. Las realizaciones adicionales resultan de las reivindicaciones dependientes.

65 Con el fin de superar este problema, se proporciona un método para hacer funcionar una turbina eólica durante la marcha al ralentí, que comprende un buje de rotor, controlando de ese modo una velocidad de rotación del buje de rotor durante la marcha al ralentí de la turbina eólica basándose en una velocidad de rotación determinada del buje de rotor y una velocidad de rotación de referencia del buje de rotor. De ese modo, el control de la velocidad de rotación se basa en al menos un intervalo de velocidad de rotación permitido, en el que la velocidad de rotación de referencia del buje de rotor se establece igual a la velocidad de rotación determinada del buje de rotor siempre que

la velocidad de rotación determinada del buje de rotor esté dentro de uno del al menos un intervalo de velocidad de rotación permitido, en el que la velocidad de rotación del buje de rotor se controla

- 5 - ajustando un ángulo de paso de al menos una pala de rotor del buje de rotor basándose en la velocidad de rotación determinada del buje de rotor, y/o
- ajustando un par motor de un generador que se comunica con el buje de rotor basándose en la velocidad de rotación determinada del buje de rotor.

10 Al implementar un sistema de realimentación activo en una turbina eólica, puede garantizarse una velocidad de marcha al ralentí mínima, mediante lo cual la velocidad de marcha al ralentí de la turbina eólica puede controlarse reduciendo las cargas provocadas por desfases de viento-olas, ahorrando de ese modo costes de material en la torre y la cimentación.

15 Como ventaja adicional, puede evitarse la coincidencia o la coubicación de frecuencias de vibraciones mecánicas o armónicas, garantizando de ese modo un funcionamiento apropiado y, por tanto, eficaz de la turbina eólica.

20 Al hacer funcionar la turbina eólica según la solución propuesta, la velocidad de marcha al ralentí de la turbina eólica puede variar con la ventaja de que puede no ser necesario un control estricto de una referencia de velocidad de marcha al ralentí fija.

25 La determinación de la velocidad de rotación puede basarse en una medición activa o directa de la velocidad de rotación. Alternativamente o además de eso, la velocidad de rotación puede obtenerse o estimarse (indirectamente) basándose en al menos un parámetro de funcionamiento adicional de la turbina eólica.

Como ejemplo, la velocidad de rotación puede determinarse, es decir estimarse, procesando señales de tensión del generador que tienen una correlación proporcional con la velocidad de rotación del buje de rotor.

30 Alternativamente, la velocidad de rotación puede determinarse u obtenerse procesando una dirección gravitacional de un acelerómetro ubicado en el buje de rotor.

El control de la velocidad de rotación se basa en al menos un intervalo de velocidad de rotación permitido.

35 Un intervalo de velocidad de rotación permitido es un rango, área o intervalo definido de velocidades de rotación en el que se permite que una turbina eólica esté en marcha al ralentí, es decir, que esté en un estado detenido, rotando de ese modo con velocidades de rotación bajas.

40 El intervalo de velocidad de rotación permitido puede ser parte de una región de referencia de velocidad de rotación genérica que comprende intervalos de velocidad de rotación permitidos adicionales, de manera opcional junto con uno o más intervalos de velocidad de rotación no permitidos y/o una velocidad de rotación mínima y/o una velocidad de rotación permitida máxima.

45 Un intervalo de velocidad de rotación puede limitarse mediante un umbral de velocidad de rotación inferior y/o un umbral de velocidad de rotación superior. En el caso de dos umbrales de velocidad adyacentes, el umbral de velocidad de rotación superior del primer intervalo de velocidad puede ser al mismo tiempo el umbral de velocidad de rotación inferior del segundo intervalo de velocidad y viceversa.

50 Al controlar la velocidad de rotación basándose en un intervalo de velocidad o una región de velocidad permitidos en lugar de una referencia de velocidad de rotación fija, pueden minimizarse ventajosamente las actividades de regulación de paso y el consumo de potencia auxiliar correspondiente.

La velocidad de rotación del buje de rotor no se cambia, siempre que la velocidad de rotación determinada del buje de rotor sea conforme a uno del al menos un intervalo de velocidad de rotación permitido.

55 Alternativamente, la velocidad de rotación del buje de rotor no se cambia sustancialmente, siempre que la velocidad de rotación determinada del buje de rotor sea conforme a uno de al menos un intervalo de velocidad de rotación permitido.

60 Un cambio de la velocidad de rotación del buje de rotor significa un aumento o una disminución de la velocidad de rotación.

65 En una realización adicional, en caso de que la velocidad de rotación determinada del buje de rotor no sea conforme a uno del al menos un intervalo de velocidad de rotación permitido, la velocidad de rotación del buje de rotor se cambia hasta que la velocidad de rotación medida sea conforme a uno del al menos un intervalo de velocidad de rotación permitido.

En la siguiente realización, uno del al menos un intervalo de velocidad de rotación permitido comprende

- una velocidad de marcha al ralentí mínima permitida, y/o

5 - una velocidad de marcha al ralentí máxima permitida.

También es una realización que el control de la velocidad de rotación se base en al menos un intervalo de velocidad de rotación no permitido.

10 Conforme a otra realización, en caso de que la velocidad de rotación determinada del buje de rotor sea conforme a uno del al menos un intervalo de velocidad de rotación no permitido, la velocidad de rotación del buje de rotor se cambia hasta que la velocidad de rotación determinada sea conforme a uno del al menos un intervalo de velocidad de rotación permitido.

15 Según una realización, el control de la velocidad de rotación se basa en un enfoque de histéresis.

Al aplicar un enfoque de histéresis, la velocidad de rotación del buje de rotor se cambia para que esté dentro de otro intervalo de velocidad de rotación permitido, en lugar de mantener la velocidad de rotación dentro del mismo intervalo de velocidad de rotación permitido. El enfoque de histéresis puede aplicarse en el caso de aumentos y
20 disminuciones rápidas de la velocidad del viento.

El par motor del generador, es decir, el par eléctrico generado por el generador o sistema eléctrico, puede ajustarse suministrando corriente al generador (es decir haciendo funcionar el generador como un motor), generando de ese modo un par que aumentará la velocidad de rotación del buje de rotor, consumiendo de ese modo la potencia
25 proporcionada por una red de distribución conectada a la turbina eólica.

Conforme a otra realización, el al menos un intervalo de velocidad de rotación no permitido está definido por un punto de consigna de velocidad de rotación crítica.

30 Un punto de consigna de velocidad de rotación crítica representa una velocidad de rotación crítica del buje de rotor que debe evitarse durante la marcha al ralentí. Por tanto, "crítica" significa sencillamente cualquier tipo de exención o excepción de un intervalo de velocidad permitido.

Alternativamente, puede usarse un conjunto de puntos de consigna de velocidad de rotación crítica que representa
35 varios valores de velocidades de rotación críticas que deben evitarse.

El al menos un intervalo de velocidad de rotación no permitido puede definirse adicionalmente por una ventana de velocidad de rotación crítica que comprende un umbral de velocidad de rotación inferior y superior y que
40 corresponde a al menos un punto de consigna de velocidad de rotación crítica.

El problema expuesto anteriormente también se soluciona mediante una turbina eólica que comprende una unidad de procesamiento que está dispuesta para controlar una velocidad de rotación de un buje de rotor durante la marcha
al ralentí de la turbina eólica basándose en una velocidad de rotación determinada del buje de rotor.

45 El problema expuesto anteriormente también se soluciona mediante un dispositivo de control que comprende y/o que está asociado con una unidad de procesador y/o un circuito cableado y/o un dispositivo lógico, que está dispuesto de tal manera que el método tal como se describe en el presente documento puede ejecutarse en el mismo.

50 Se observa que dicha unidad de procesador puede comprender al menos uno, en particular varios medios que están dispuestos para ejecutar las etapas del método descrito en el presente documento. Los medios pueden estar separados de manera lógica o física; en particular, varios medios independientes de manera lógica pueden combinarse en al menos una unidad física.

55 Dicha unidad de procesamiento puede comprender al menos uno de los siguientes: un procesador, un microcontrolador, un circuito cableado, un ASIC, una FPGA, un dispositivo lógico.

La solución proporcionada en el presente documento comprende además un producto de programa informático que
60 puede cargarse directamente en una memoria de un ordenador digital, que comprende partes de código de software para realizar las etapas del método tal como se describe en el presente documento.

Además, el problema expuesto anteriormente se soluciona mediante un medio legible por ordenador, por ejemplo,
un almacenamiento de cualquier tipo, que tenga instrucciones ejecutables por ordenador adaptadas para hacer que
un sistema informático realice el método tal como se describe en el presente documento.

65

Las realizaciones de la invención se muestran e ilustran en las siguientes figuras:

la figura1 muestra en un diagrama de bloques una vista general esquemática de una realización a modo de ejemplo del controlador según la solución propuesta;

5 la figura2 representa en una vista esquemática una región de referencia de velocidad de rotación definida tal como se usa por la solución propuesta.

10 Con referencia a la figura1, en un diagrama de bloques, se muestra una vista general esquemática de una realización a modo de ejemplo de un controlador 100 según la solución propuesta. El controlador 100 puede disponerse como un controlador de realimentación controlado por velocidad-paso, que comprende un dispositivo 110 de evaluación de velocidad de referencia acoplado por medio de un dispositivo 120 de sustracción a un dispositivo 130 controlador de velocidad-paso.

15 De ese modo, una salida 116 del dispositivo 110 de evaluación de velocidad de referencia está conectada a una entrada 121 del dispositivo 120 de sustracción. Una salida 123 del dispositivo 120 de sustracción está conectada a una entrada 131 del dispositivo 130 controlador de velocidad-paso que está conectado por medio de una salida 132 a una entrada 141 de una turbina 140 eólica. Además, una salida 142 de la turbina 140 eólica está conectada a una entrada 115 del dispositivo 110 de evaluación de referencia y a una entrada 122 del dispositivo 120 de sustracción.

20 Una señal 150 que representa una velocidad de rotación determinada, por ejemplo, medida ω_{medida} de un buje de rotor de la turbina 140 eólica se proporciona a la entrada 115 del dispositivo 110 de evaluación de referencia y a la entrada 122 del dispositivo 120 de sustracción. Alternativamente, la señal 150 puede representar la velocidad de rotación determinada obtenida a partir de o estimada basándose en parámetros adicionales tales como, por ejemplo, una tensión real de un generador (no mostrado en la figura 1).

25 Además de eso, una señal 151 que representa una velocidad de rotación mínima, es decir, una velocidad de marcha al ralentí mínima permitida ω_{min} se proporciona a una entrada 111 y una señal 152 que representa una velocidad de rotación máxima, es decir, una velocidad de marcha al ralentí máxima permitida ω_{max} se proporciona a una entrada 112 del dispositivo 110 de evaluación de referencia.

30 En la disposición a modo de ejemplo tal como se muestra en la figura1, una señal 153 adicional que representa una velocidad de rotación crítica $\omega_{critica}$ del buje de rotor que debe evitarse (a continuación, en el presente documento, también denominada "punto de consigna de velocidad de rotación crítica") se suministra a una entrada 113 del dispositivo 110 de evaluación de referencia. Alternativamente, un conjunto de puntos de consigna de velocidad de rotación crítica que representa varias velocidades de rotación críticas que deben evitarse, pueden proporcionarse por medio de la señal 153 al dispositivo 110 de evaluación de referencia.

35 Una señal 154 que representa una ventana de velocidad de rotación crítica $\omega_{ventana}$ que corresponde a al menos un punto de consigna de velocidad de rotación crítica $\omega_{critica}$ se guía a una entrada 114 del dispositivo 110 de evaluación. Basándose en las señales 150...154 de entrada se obtiene una señal 155 que representa una velocidad de rotación de referencia ω_{ref} mediante el dispositivo 110 de evaluación de referencia que se reenvía por medio de la salida 116 a la entrada 121 del dispositivo 120 de sustracción.

40 Según la solución propuesta, el controlador 100, tal como se muestra a modo de ejemplo en la figura 1, está activo durante el estado de marcha al ralentí y el estado de arranque de la turbina 140 eólica. De ese modo, en lugar de usar un ángulo de paso fijo, el funcionamiento de la turbina eólica durante la marcha al ralentí se controla basándose en una región de referencia de velocidad de rotación definida al menos por la velocidad de marcha al ralentí ω_{min} mínima y la ω_{max} máxima permitidas. El motivo para usar la región de referencia de velocidad de rotación definida anteriormente en lugar de usar una única referencia de velocidad de rotación durante la marcha al ralentí es que cualquier consumo de potencia auxiliar debe minimizarse durante la marcha al ralentí de la turbina eólica, lo que puede conseguirse en particular reduciendo las actividades de regulación de paso (por tanto, la solución propuesta no debe centrarse en única velocidad de marcha al ralentí fija, aunque podría hacerlo). De hecho, los requisitos de marcha al ralentí mencionados anteriormente en cuanto a la velocidad de marcha al ralentí mínima permitida ω_{min} y la velocidad de marcha al ralentí máxima permitida ω_{max} deben cumplirse durante la marcha al ralentí. Estos requisitos de marcha al ralentí pueden comprender adicionalmente al menos un intervalo de velocidad de rotación que debe evitarse, estando definido ese intervalo de velocidad de rotación por el al menos un punto de consigna de velocidad de rotación crítica $\omega_{critica}$ junto con la ventana de velocidad de rotación crítica $\omega_{ventana}$ correspondiente.

45 Los requisitos de marcha al ralentí propuestos se muestran a modo de ejemplo en la figura 2 que representa en una vista esquemática la región 200 de referencia de velocidad de rotación definida anteriormente según la solución propuesta. La región 200 de referencia de velocidad de rotación especifica intervalos 210, 220 de velocidad de rotación permitidos e intervalos 230, 240, 250 de velocidad de rotación no permitidos. Según la figura 2 el primer intervalo 230 de velocidad de rotación no permitido (en este caso, la marcha al ralentí no está permitida debido a una velocidad de rotación demasiado baja del buje de rotor) está definido por una velocidad 260 de rotación "cero" (es decir 0 rpm) y una velocidad 261 de marcha al ralentí mínima permitida (ω_{min}). El primer intervalo 210 de

velocidad de rotación permitido está definido por la velocidad 261 de marcha al ralentí mínima permitida (ω_{\min}) y una primera velocidad 262 de rotación (ω_1) que representa al mismo tiempo un umbral de velocidad de rotación inferior de una ventana de velocidad 268 de rotación crítica (ω_{ventana}) que se correlaciona con un punto de consigna de velocidad 267 de rotación crítica ($\omega_{\text{crítica}}$). La ventana de velocidad 267 de rotación crítica (ω_{ventana}) que representa el intervalo 240 de velocidad de rotación no permitido (en este caso, la marcha al ralentí no está permitida debido a, por ejemplo, resonancia armónica) está definida adicionalmente por una segunda velocidad 265 de rotación (ω_2) que representa un umbral de velocidad de rotación superior de la ventana de velocidad 268 de rotación crítica (ω_{ventana}).

El intervalo 220 de velocidad de rotación permitido está definido por la segunda velocidad 265 de rotación (ω_2) que representa un umbral de velocidad de rotación inferior del intervalo 220 de velocidad de rotación permitido y una velocidad 266 de marcha al ralentí máxima permitida (ω_{\max}). El intervalo 250 de velocidad de rotación no permitido (la marcha al ralentí no está permitida debido a, por ejemplo, una velocidad de rotación demasiado alta) está definido por un intervalo de velocidad de rotación más allá de la velocidad 266 de marcha al ralentí máxima permitida (ω_{\max}).

Al hacer funcionar la turbina eólica según la solución propuesta, la velocidad de marcha al ralentí de la turbina eólica puede variar durante la marcha al ralentí, con la ventaja de que puede no ser necesario un control estricto de una referencia de velocidad de marcha al ralentí definida.

A continuación, se explicará con más detalle el método propuesto para hacer funcionar una turbina eólica durante la marcha al ralentí: la velocidad 150 de rotación medida (ω_{medida}) proporcionada a la entrada 115 se verifica mediante el dispositivo 110 de evaluación de velocidad de referencia para comprobar si la velocidad de rotación real (marcha al ralentí), es decir, la velocidad 150 de rotación medida está dentro de uno de los intervalos 210, 220 de velocidad de rotación permitidos. En caso de que la velocidad 150 de rotación medida esté dentro de uno de los intervalos 210, 220 de velocidad de rotación permitidos, la velocidad 155 de rotación de referencia (ω_{ref}) se establece igual a la velocidad 150 de rotación medida (ω_{medida}). Como consecuencia, una señal 156 de error obtenida por el dispositivo 120 de sustracción y que representa una diferencia entre la velocidad 150 de rotación medida (ω_{medida}) proporcionada y la velocidad 155 de rotación de referencia (ω_{ref}) se establece igual a un valor "cero" (es decir 0 rpm). Proporcionar tal tipo de señal de error ("señal de cero") al controlador 130 velocidad-paso no provoca ningún cambio en una señal 157 de ángulo de paso de referencia (θ_{ref}) obtenida por el dispositivo 130 controlador de velocidad-paso que controla ángulos de paso individuales de la turbina 140 eólica. Por consiguiente, los ángulos de paso reales de las palas del buje de rotor se mantendrán sin cambios.

En caso de que la velocidad 150 de rotación medida (ω_{medida}) no esté dentro de uno de los intervalos 210, 220 de velocidad de rotación permitidos, la velocidad 155 de rotación de referencia (ω_{ref}) se establece de manera distinta a la velocidad 150 de rotación medida (ω_{medida}). Como consecuencia, la señal 156 de error se establece de manera distinta de "cero" provocando un cambio a la señal 157 de ángulo de paso de referencia (θ_{ref}) que iniciará finalmente un cambio de los ángulos de paso de la turbina 140 eólica, aumentando o reduciendo de ese modo los ángulos de paso individuales de las palas de rotor. Por consiguiente, la velocidad de marcha al ralentí de la turbina eólica se reducirá o aumentará hasta que la velocidad 150 de rotación medida (ω_{medida}) esté nuevamente dentro de uno de los intervalos 210, 220 de velocidad de rotación permitidos.

Según un primer escenario a modo de ejemplo, se permite que la turbina 140 eólica funcione al ralentí entre la velocidad 261 de marcha al ralentí mínima permitida con $\omega_{\min} = 1$ rpm y la velocidad 266 de marcha al ralentí máxima permitida con $\omega_{\max} = 5$ rpm. Como requisito adicional, es decir, limitación, no se permite que la turbina 140 eólica esté en marcha al ralentí entre la primera velocidad 262 de rotación con $\omega_1 = 2$ rpm y la segunda velocidad 265 de rotación con $\omega_2 = 3$ rpm. Preferiblemente, se permite que la turbina 140 eólica esté en marcha al ralentí a aproximadamente 1,5 rpm. En caso de que la velocidad 150 de rotación medida (ω_{medida}) esté dentro de uno de los intervalos 210, 220 de velocidad de rotación permitidos, la velocidad 155 de rotación de referencia (ω_{ref}) se establece igual a la velocidad 150 de rotación medida (ω_{medida}) real sin provocar ningún cambio a los ángulos de paso individuales de las palas de rotor.

En un escenario a modo de ejemplo adicional que sigue al primer escenario, el viento cae y la velocidad 150 de marcha al ralentí es aproximadamente $\omega_{\text{medida}} = 0,9$ rpm. Tan pronto como la velocidad 150 de marcha al ralentí cae por debajo de la velocidad 261 de marcha al ralentí mínima permitida con $\omega_{\min} = 1$ rpm, la velocidad 155 de rotación de referencia (ω_{ref}) no se establece igual a la velocidad 150 de marcha al ralentí (ω_{medida}) real. En cambio, la velocidad 155 de rotación de referencia se establece a la velocidad 261 de marcha al ralentí mínima permitida con $\omega_{\text{ref}} = \omega_{\min} = 1$ rpm provocando que una señal 156 de error de $1,0 - 0,9 = 0,1$, lo que induce a la turbina 140 eólica a regular el paso hacia dentro, es decir, a reducir los ángulos de paso individuales de las palas de rotor para aumentar la velocidad de rotación.

Según un tercer escenario a modo de ejemplo, la turbina 140 eólica está en marcha al ralentí a una velocidad 150 de marcha al ralentí inicial de $\omega_{\text{medida}} = 1,5$ rpm, en el que el viento se levanta repentinamente y la velocidad 150 de marcha al ralentí aumenta. De ese modo, la velocidad 155 de rotación de referencia (ω_{ref}) se establece igual a la

velocidad 150 de marcha al ralentí real, es decir, $\omega_{ref} = \omega_{medida}$ hasta que la velocidad 150 de marcha al ralentí alcanza la primera velocidad 262 de rotación con $\omega_1 = 2$ rpm. Al superar la primera velocidad 262 de rotación, la velocidad 155 de rotación de referencia se establece igual a la primera velocidad 262 de rotación con $\omega_{ref} = \omega_1 = 2$ rpm. Por consiguiente, la señal 156 de error resultante obtenida por el dispositivo 120 de sustracción que representa la diferencia entre la velocidad 155 de rotación de referencia y la velocidad 150 de rotación medida provoca que la turbina 140 eólica regule el paso hacia fuera, es decir, que aumente los ángulos de paso individuales de las palas de rotor para mantener la velocidad 150 de marcha al ralentí por debajo de la primera velocidad 262 de rotación.

En caso de que la velocidad del viento aumente adicionalmente de manera rápida, la velocidad de marcha al ralentí ω_{medida} puede alcanzar una tercera velocidad 264 de rotación (ω_3) antes de que sea efectiva la disminución prevista mencionada anteriormente de la velocidad 150 de marcha al ralentí por debajo de la primera velocidad 262 de rotación. En tal tipo de situación, es decir, en caso de que la velocidad 150 de marcha al ralentí alcance la tercera velocidad 264 de rotación (ω_3) en lugar de disminuir por debajo de la primera velocidad 262 de rotación (ω_1), la velocidad 155 de rotación de referencia (ω_{ref}) se establece a una segunda velocidad 265 de rotación (ω_2) antes de que la turbina eólica pueda disminuir la velocidad 150 de rotación (esto también se denomina "enfoque de histéresis", indicado por una flecha doble referenciada por el índice 270 en la figura 2). Por consiguiente, la velocidad 150 de rotación se aumentará hasta alcanzar el intervalo 220 de velocidad de rotación permitido, es decir, $\omega_{medida} >= \omega_2$.

A la inversa, según un escenario a modo de ejemplo adicional, la turbina 140 eólica está en marcha al ralentí según el intervalo 220 de velocidad de rotación permitido a una velocidad 150 de marcha al ralentí de, por ejemplo, $\omega_{medida} = 3,5$ rpm en el que el viento se ralentiza rápidamente y la velocidad 150 de marcha al ralentí disminuye. De ese modo, siempre que la velocidad 150 de marcha al ralentí esté dentro, es decir, según el intervalo 220 de velocidad de rotación, la velocidad 155 de rotación de referencia se establece igual a la velocidad 150 de marcha al ralentí real, es decir, $\omega_{ref} = \omega_{medida}$ hasta que la velocidad 150 de marcha al ralentí alcanza la segunda velocidad 265 de rotación, es decir, $\omega_2 = 3$ rpm. Al caer por debajo de la segunda velocidad 265 de rotación, la velocidad 155 de rotación de referencia se establece ahora igual a la segunda velocidad 265 de rotación, es decir, $\omega_{ref} = \omega_2 = 3$ rpm. Por consiguiente, la señal 156 de error resultante obtenida por el dispositivo 120 de sustracción provoca que la turbina 140 eólica regule el paso hacia dentro, es decir, que minimice el ángulo de paso individual de las palas de rotor para acelerar la velocidad 150 de marcha al ralentí por encima de la segunda velocidad 265 de rotación.

En caso de que la velocidad del viento disminuya adicionalmente de manera rápida, la velocidad 150 de marcha al ralentí puede alcanzar una cuarta velocidad 263 de rotación (ω_4) antes de que sea efectivo el aumento previsto de la velocidad 150 de marcha al ralentí. En tal tipo de situación, es decir, en caso de que la velocidad 150 de marcha al ralentí alcance la cuarta velocidad 265 de rotación (ω_4) en lugar de aumentarse a la segunda velocidad 265 de rotación, la velocidad 155 de rotación de referencia se establece a la primera velocidad 262 de rotación, es decir, $\omega_{ref} = \omega_1$, (al aplicar el "enfoque de histéresis") antes de que la turbina 140 eólica pueda aumentar la velocidad 150 de rotación. Por consiguiente, la velocidad 150 de rotación se disminuirá hasta alcanzar el intervalo 210 de velocidad de rotación permitido, es decir, $\omega_{medida} <= \omega_1$.

Basándose en la solución propuesta, puede conseguirse ventajosamente una minimización de actividades de regulación de paso y, por tanto, una reducción de la demanda de potencia auxiliar, así como una reducción del desgaste y la rotura mecánicos en el sistema de regulación de paso hidráulico y mecánico, dando como resultado una ampliación de la vida útil de una turbina eólica. Los escenarios a modo de ejemplo mencionados anteriormente, se basan en una región de referencia de velocidad de rotación (tal como se muestra a modo de ejemplo en la figura 2) que comprende, por ejemplo, dos intervalos de velocidad de rotación permitidos y un intervalo de velocidad de rotación no permitido, así como una velocidad de marcha al ralentí mínima permitida y una velocidad de marcha al ralentí máxima permitida. Esto puede ampliarse a cualquier número de intervalos de velocidad de rotación permitidos y/o intervalos de velocidad de rotación no permitidos que se ajusten a las turbinas eólicas específicas.

Según una realización alternativa de la solución propuesta, la velocidad 155 de rotación de referencia (ω_{ref}) se establece dentro de uno de los intervalos 210, 220 de velocidad de rotación permitidos, aplicando de ese modo una zona muerta a la señal 156 de error resultante obtenida mediante el dispositivo 120 de sustracción. De ese modo, puede aplicarse el mismo enfoque de histéresis mencionado anteriormente, por ejemplo, cambiando la velocidad 155 de rotación de referencia entre los intervalos 210, 220 de velocidad de rotación permitidos.

Basándose en la solución propuesta, puede implementarse un sistema de realimentación basándose en una velocidad de marcha al ralentí mínima garantizada.

Ventajosamente, la solución propuesta permite el funcionamiento de las turbinas eólicas durante la marcha al ralentí, en particular a velocidades del viento inferiores o superiores de una manera controlada y segura, garantizando de ese modo una velocidad de marcha al ralentí definida. Como beneficio, puede reducirse el daño a los cojinetes principales, ampliándose posiblemente la vida útil del cojinete principal y prolongando la vida útil de turbina.

5 Como ventaja adicional, en particular para escenarios marinos, en el caso de un desfase de viento y olas, las cargas pueden reducirse significativamente aplicando la solución propuesta, dando como resultado torres y cimentaciones con menos capacidad y costes menores o una vida útil ampliada de la torre/cimentación. Como ejemplo, puede reducirse la carga de fatiga por flexión de torre delanteras-posteriores durante un desfase de viento y olas conllevando a ahorros de coste significativos por turbina eólica.

10 Como ventaja adicional, la solución propuesta permite una implementación eficaz de la lubricación del cojinete de regulación de paso, reduciendo de ese modo el daño a los cojinetes y reduciendo los costes, así como ampliando la vida útil. Debido al buje de rotor que está marcha al ralentí, se hace circular aceite y/o grasa dentro de los cojinetes de regulación de paso, proporcionando de ese modo una lubricación eficaz del cojinete de regulación de paso.

15 Aunque la invención se describe con detalle mediante las realizaciones y escenarios anteriores, se observa que la invención no se limita en absoluto a tales realizaciones o escenarios. En particular, un experto en la técnica puede obtener alternativas a partir de las realizaciones, los escenarios y las ilustraciones a modo de ejemplo, sin superar el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Método para hacer funcionar una turbina (140) eólica durante la marcha al ralentí, que comprende un buje de rotor, controlando de ese modo una velocidad de rotación del buje de rotor durante la marcha al ralentí de la turbina (140) eólica basándose en una velocidad (150) de rotación determinada del buje de rotor y una velocidad (155) de rotación de referencia del buje de rotor, en el que el control de la velocidad de rotación se basa en al menos un intervalo (210, 220) de velocidad de rotación permitido, en el que la velocidad (155) de rotación de referencia del buje de rotor se establece igual a la velocidad (150) de rotación determinada del buje de rotor siempre que la velocidad (150) de rotación determinada del buje de rotor esté dentro de uno del al menos un intervalo (210, 220) de velocidad de rotación permitido, en el que la velocidad de rotación del buje de rotor se controla
 - ajustando un ángulo de paso de al menos una pala de rotor del buje de rotor basándose en la velocidad (150) de rotación determinada del buje de rotor, y/o
 - ajustando un par motor de un generador que se comunica con el buje de rotor basándose en la velocidad (150) de rotación determinada del buje de rotor.
2. Método según la reivindicación 1, en el que

en caso de que la velocidad (150) de rotación determinada del buje de rotor no sea conforme a uno del al menos un intervalo (210, 220) de velocidad de rotación permitido, la velocidad de rotación del buje de rotor se cambia hasta que la velocidad (150) de rotación determinada sea conforme a uno del al menos un intervalo (210, 220) de velocidad de rotación permitido.
3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que

uno del al menos un intervalo (210, 220) de velocidad de rotación permitido comprende

 - una velocidad (261) de marcha al ralentí mínima permitida, y/o
 - una velocidad (266) de marcha al ralentí máxima permitida.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que

el control de la velocidad de rotación se basa en al menos un intervalo (230, 240, 250) de velocidad de rotación no permitido.
5. Método según la reivindicación 4, en el que

en caso de que la velocidad (150) de rotación determinada del buje de rotor sea conforme a uno del al menos un intervalo (230, 240, 250) de velocidad de rotación no permitido, la velocidad de rotación del buje de rotor se cambia hasta que la velocidad (150) de rotación determinada sea conforme a uno del al menos un intervalo (210, 220) de velocidad de rotación permitido.
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el control de la velocidad de rotación se basa en un enfoque de histéresis.
7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un intervalo (230, 240, 250) de velocidad de rotación no permitido está definido por un punto (267) de consigna de velocidad de rotación crítica.
8. Turbina eólica que comprende

una unidad de procesamiento que está dispuesta para controlar una velocidad de rotación de un buje de rotor durante la marcha al ralentí de la turbina eólica basándose en una velocidad de rotación determinada del buje de rotor y una velocidad (155) de rotación de referencia del buje de rotor, en la que el control de la velocidad de rotación se basa en al menos un intervalo (210, 220) de velocidad de rotación permitido,

en la que la velocidad (155) de rotación de referencia del buje de rotor se establece igual a la velocidad (150) de rotación determinada del buje de rotor siempre que la velocidad (150) de rotación determinada del buje de rotor esté dentro de uno del al menos un intervalo (210, 220) de velocidad de rotación permitido, en la que la velocidad de rotación del buje de rotor se controla

 - ajustando un ángulo de paso de al menos una pala de rotor del buje de rotor basándose en la velocidad (150) de rotación determinada del buje de rotor, y/o

- ajustando un par motor de un generador que se comunica con el buje de rotor basándose en la velocidad (150) de rotación determinada del buje de rotor.

- 5 9. Dispositivo de control que comprende y/o que está asociado con una unidad de procesador y/o un circuito cableado y/o un dispositivo lógico que está dispuesto para realizar el método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 7.
- 10 10. Producto de programa informático que puede cargarse directamente en una memoria de un ordenador digital, que comprende partes de código de software que, cuando el programa se ejecuta mediante un ordenador, hacen que el ordenador realice las etapas del método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

FIG 1

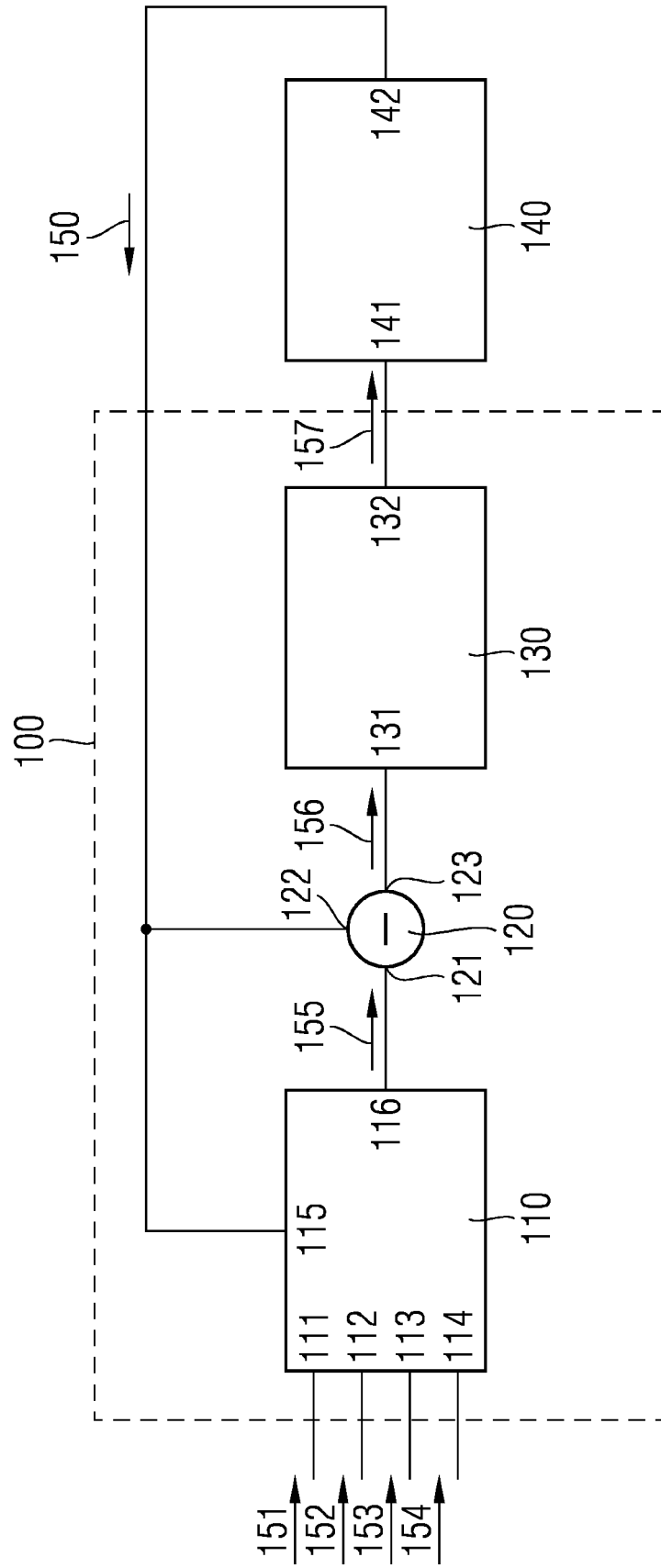


FIG 2

