

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 974 184**

51 Int. Cl.:

F03D 7/00 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.05.2020** **PCT/CN2020/092333**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.04.2021** **WO21077734**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2020** **E 20878613 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2024** **EP 4050203**

54 Título: **Método y aparato de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador**

30 Prioridad:

25.10.2019 CN 201911023169

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

26.06.2024

73 Titular/es:

**BEIJING GOLDWIND SCIENCE & CREATION
WINDPOWER EQUIPMENT CO. LTD. (100.0%)
No. 19 Kangding Road, Beijing Economic &
Technological Development Zone, Daxing District
Beijing 100176, CN**

72 Inventor/es:

**YANG, JUANXIA;
LI, YONGMING y
ZHAO, SHUCHUN**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 974 184 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 y aparato de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador

5 **Campo**

La presente divulgación se refiere generalmente al campo técnico de la generación de energía eólica y, más en particular, a un método y dispositivo de control de paso basados en un espacio libre de un aerogenerador.

10 **Antecedentes**

El espacio libre es un indicador de diseño clave en el desarrollo de un aerogenerador, especialmente con el desarrollo de rotores grandes y palas de fibra de vidrio ligeras, las palas se vuelven bastante blandas y el espacio libre se enfrenta a un desafío bastante severo.

15 En la actualidad, se ha aplicado una tecnología de detección inteligente en la monitorización del espacio libre. Al detectar el espacio libre en tiempo real y activar oportunamente una medida de protección en caso de riesgo, el espacio libre se mejora hasta cierto punto y se mejora la seguridad de una unidad. Un esquema de protección existente basado en la medición del espacio libre es proteger una siguiente pala a través del control de paso en una sola pala de acuerdo con la medición del espacio libre de una pala actual, para impedir que la siguiente pala "barra la torre". Sin embargo, el esquema de control de paso para una sola pala tiene el riesgo de desequilibrio del rotor, y el esquema de control de paso existente para una sola pala es de bucle abierto, que no forma una protección de retroalimentación de bucle cerrado basada en el espacio libre.

25 El documento US 2014/0 294 584 A1 divulga un método para poner en funcionamiento un aerogenerador. En el método, se determinan la velocidad del viento representativa instantánea y la distancia entre la torre y una de las palas. Se determina un ajuste de paso de distancia de torre basándose en la distancia determinada, y el uno o más sistemas de paso aplican el ajuste de paso de distancia de torre determinado a al menos una siguiente pala para estar en la sombra de la torre.

30 El documento EP 2 726 735 B1 divulga un método para controlar un aerogenerador, en particular, un método para controlar el paso de una o más palas de un aerogenerador y un sistema relacionado. El método comprende recopilar primeros datos indicativos de una condición dinámica de la primera pala de aerogenerador y el rotor, comprendiendo los primeros datos de rotor y primeros datos de deflexión, siendo los datos del rotor indicativos de la posición de acimut y la velocidad de rotación del rotor en un plano del rotor perpendicular al eje del rotor, y siendo los primeros datos de deflexión indicativos de la posición, velocidad y aceleración de una o más partes de la primera pala de aerogenerador. Además, el método comprende calcular una distancia de espacio libre de la torre esperada en un momento posterior del paso de la torre para la primera pala de aerogenerador basándose en los primeros datos que incluyen la aceleración de una o más partes de la primera pala de aerogenerador, y realizar medidas para impedir la colisión de la torre, si la distancia de espacio libre de la torre esperada cumple un criterio de riesgo de colisión.

Sumario

45 Un objeto de una realización de la presente divulgación es proporcionar un método y dispositivo de control de paso basados en un espacio libre de un aerogenerador, para superar al menos uno de los inconvenientes anteriores. La invención se expone en el conjunto de reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

50 La figura 1 es un diagrama de flujo de un método de control de paso basado en un espacio libre de un aerogenerador de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

la figura 2 es una vista esquemática de un sistema de monitorización del espacio libre de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

55 las figuras 3A a 3C son vistas esquemáticas de la medición de un acimut de rotor de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

60 la figura 4 es un diagrama de flujo de etapas de ajuste dinámico de un valor de ángulo de paso adicional de cada pala de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

las figuras 5A a 5D son vistas esquemáticas que muestran los efectos de control del método de control de paso anterior en una condición de trabajo de cizalladura del viento extrema de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

65 las figuras 6A a 6E son vistas esquemáticas que muestran los efectos de control del método de control de paso anterior

en una condición de trabajo de generación de energía normal de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

5 la figura 7 es un diagrama de bloques de un dispositivo de control de paso basado en un espacio libre de un aerogenerador de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

la figura 8 es un diagrama de bloques de un controlador de un aerogenerador de acuerdo con una realización de la presente divulgación; y

10 la figura 9 es un diagrama de bloques de un sistema de control de un aerogenerador de acuerdo con una realización de ejemplo de la presente divulgación.

Descripción detallada de las realizaciones

15 Diferentes ejemplos de realización se describirán totalmente con referencia a los dibujos. Algunas realizaciones se muestran en los dibujos.

La figura 1 es un diagrama de flujo de un método de control de paso basado en un espacio libre de un aerogenerador de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

20 Haciendo referencia a la figura 1, en la etapa S10, se obtiene un espacio libre del aerogenerador en tiempo real. El aerogenerador incluye al menos dos palas. En algunas realizaciones, el aerogenerador puede incluir tres palas.

25 De acuerdo con una realización de la presente divulgación, el espacio libre se refiere a una distancia desde una punta de pala a una superficie de torre durante la rotación de un rotor, y las restricciones para el espacio libre se definen en la norma IEC:

$$(L_s - P_{CT}) * \gamma_m * \gamma_r < L_s \quad (1)$$

30 En la fórmula (1), L_s es un espacio libre estático, γ_m es un factor de seguridad material, γ_r es un factor de seguridad de carga y P_{CT} es un valor requerido de un espacio libre dinámico.

35 Se pueden usar diferentes dispositivos de detección existentes para detectar el espacio libre del aerogenerador en tiempo real, de modo que el espacio libre del aerogenerador se pueda obtener del dispositivo de detección en tiempo real. Por ejemplo, diferentes dispositivos de detección pueden incluir un sensor para medir el espacio libre.

40 En algunas realizaciones, antes de realizar la etapa S10, el método de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador puede incluir además: realizar una detección de fallos en el sensor. Por ejemplo, se puede determinar si el sensor falla detectando un estado disponible del sensor. El estado disponible del sensor se puede determinar basándose en una señal de latido del sensor y un indicador de precisión de algoritmo del sensor. Se considera que el sensor no ha fallado si se determina que el sensor está en el estado disponible actualmente, y el espacio libre del aerogenerador se puede obtener a partir del sensor en este momento. Se considera que el sensor ha fallado si se determina que el sensor está en un estado no disponible actualmente y, en este momento, los datos detectados por el sensor no se pueden usar, y se notifica una señal que indica que el sensor falla para un mantenimiento oportuno.

45 En algunas realizaciones, antes de realizar la detección de fallos en el sensor, se puede determinar además si se habilita una función de control de paso basada en el espacio libre. La detección de fallos se realiza en el sensor si la función de control de paso está en un estado habilitado. Si la función de control de paso no está en el estado habilitado, se determina continuamente si está habilitada la función de control de paso basándose en el espacio libre. Como un ejemplo, se puede determinar si la función de control de paso está habilitada detectando un indicador de habilitación para indicar la función de control de paso basándose en el espacio libre.

50 En algunas realizaciones, antes de realizar la etapa S10, el método de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador puede incluir además: determinar un acimut de rotor actual. La etapa S10 se realiza para obtener el espacio libre del aerogenerador si el acimut del rotor indica que la pala está ubicada dentro de un intervalo de acimut efectivo para medir el espacio libre.

60 Un método para detectar el espacio libre del aerogenerador se describe con referencia a la figura 2. Se debería entender que el método para detectar el espacio libre mostrado en la figura 2 es simplemente un ejemplo. La presente divulgación no se limita al mismo, y también se pueden usar otros métodos para detectar el espacio libre.

La figura 2 es una vista esquemática de un sistema de monitorización del espacio libre de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

65 La figura 2 es una vista esquemática que muestra una instalación del sistema de monitorización del espacio libre para detectar el espacio libre del aerogenerador. Como se muestra en la figura 2, 101 es un aparato de recopilación del

sistema de monitorización del espacio libre. El aparato de recopilación puede estar dispuesto en la parte inferior de una góndola del aerogenerador, y el aparato de recopilación detecta y calcula el espacio libre en tiempo real cuando la pala gira al punto más bajo. 102 es un sensor de acimut para detectar el acimut del rotor. 103 es un sistema de control del aerogenerador. El sistema 103 de control obtiene el espacio libre del aparato 101 de recopilación en tiempo real, y obtiene el acimut del rotor del sensor de acimut en tiempo real, para realizar el control de paso.

Como un ejemplo, un dispositivo con peso ligero, alta precisión (preferentemente, dentro de 0,1 m), alta fiabilidad, una fuerte adaptabilidad ambiental y una alta frecuencia de muestreo se puede seleccionar como el aparato de recopilación del sistema de monitorización del espacio libre de la torre. El aparato de recopilación puede obtener una imagen que incluye las palas y la torre, y analizar la imagen para determinar el espacio libre de la torre.

Las figuras 3A a 3C son vistas esquemáticas de la medición del acimut de rotor de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

Como se muestra en las figuras 3A a 3C, tomando el aerogenerador con tres palas como ejemplo, se supone que una primera pala, una segunda pala y una tercera pala del aerogenerador giran en el sentido de las agujas del reloj. El acimut del rotor ψ (azimut del rotor) registra una posición del rotor. El acimut del rotor es de 0 grados ($\psi=0$ grados) cuando la primera pala está verticalmente hacia arriba y $\psi=180$ grados cuando la primera pala está en la posición más baja.

Como un ejemplo, en una realización de la presente divulgación, los intervalos de acimut efectivos para medir el

espacio libre se pueden definir como $\left[\frac{PI}{3} - \delta, \frac{PI}{3} + \delta \right]$, $[PI - \delta, PI + \delta]$, y $\left[5 \times \frac{PI}{3} - \delta, 5 \times \frac{PI}{3} + \delta \right]$, respectivamente. En el presente documento, $PI=180$ grados y δ es un intervalo de ángulo para generar un espacio libre medido efectivo. Diferentes métodos de detección de espacio libre pueden tener diferentes intervalos de acimut efectivos para medir el espacio libre.

Regresando a la figura 1, en la etapa S20, un valor de ángulo de paso adicional de cada pala se ajusta dinámicamente de acuerdo con el espacio libre obtenido en tiempo real.

En algunas realizaciones, se puede establecer de antemano una correspondencia entre múltiples intervalos de espacio libre y múltiples ajustes del ángulo de paso adicional. En este caso, se puede determinar un intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real, y el valor de ángulo de paso adicional de cada pala se puede ajustar dinámicamente basándose en el ajuste del ángulo de paso adicional correspondiente al intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre.

Las etapas de ajuste dinámico del valor de ángulo de paso adicional de cada pala se describirán con referencia a la figura 4 a continuación en el presente documento.

La figura 4 es un diagrama de flujo de etapas de ajuste dinámico del valor de ángulo de paso adicional de cada pala de acuerdo con una realización de la presente divulgación. Se debería entender que el método de ajuste dinámico del valor de ángulo de paso adicional de cada pala que se muestra en la figura 4 es simplemente un ejemplo. La presente divulgación no se limita al mismo y también se pueden usar otros métodos para ajustar dinámicamente el valor de ángulo de paso adicional de cada pala basándose en el espacio libre.

Haciendo referencia a la figura 4, en la etapa S201, se determina un intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real.

Después de obtener el espacio libre del aerogenerador, se puede determinar, basándose en intervalos de espacio libre preestablecidos, a qué intervalo de espacio libre de los intervalos de espacio libre preestablecidos pertenece el espacio libre obtenido.

En la etapa S202, el valor de ángulo de paso adicional de cada pala se ajusta dinámicamente de acuerdo con el intervalo de espacio libre determinado. Si el intervalo de espacio libre determinado es un primer intervalo de espacio libre (es decir, el espacio libre es menor que un umbral de seguridad de espacio libre), se activa una función de protección de apagado por exceso de espacio libre y se controla el aerogenerador para que se apague. Si el intervalo de espacio libre determinado es un segundo intervalo de espacio libre (es decir, el espacio libre es mayor o igual que el umbral de seguridad de espacio libre), se activa una función de protección de ángulo de paso adicional y el valor de ángulo de paso adicional de cada pala se ajusta dinámicamente.

Cuando el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real es el primer intervalo de espacio libre, esto indica que el aerogenerador actualmente tiene un gran riesgo de "barrer la torre" y el aerogenerador se puede controlar para apagarse en este momento. Por ejemplo, el aerogenerador se puede controlar para apagarse

rápidamente.

En otras palabras, la protección de espacio libre se realiza controlando el aerogenerador para que se apague en caso de que el espacio libre obtenido en tiempo real esté dentro del primer intervalo de espacio libre, y la protección de espacio libre se realiza ajustando el valor de ángulo de paso adicional en caso de que el espacio libre obtenido en tiempo real esté dentro del segundo intervalo de espacio libre.

En algunas realizaciones, después de que se active la función de protección de ángulo de paso adicional, el valor de ángulo de paso adicional se ajusta sobre la base de un valor dado de ángulo de paso original, para reducir la capacidad del aerogenerador de absorber energía eólica, de modo que el espacio libre aumenta. Al mismo tiempo, el espacio libre se supervisa en tiempo real, y el valor de ángulo de paso adicional se ajusta además dinámicamente en función del cambio del espacio libre obtenido en tiempo real, para garantizar que el espacio libre esté dentro de un intervalo seguro, formando de este modo una estrategia de control de paso de bucle cerrado basada en el espacio libre.

El proceso específico de ajuste dinámico del valor de ángulo de paso adicional de cada pala después de que se active la función de protección de ángulo de paso adicional se describirá a continuación.

Cuando el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real es el segundo intervalo de espacio libre, esto indica que el espacio libre del aerogenerador es menor y se debe intervenir a través del control de paso. Por lo tanto, el valor de ángulo de paso adicional se aumenta gradualmente dentro de un primer tiempo preestablecido, para alcanzar un valor de ángulo adicional preestablecido.

Como un ejemplo, el proceso de aumentar gradualmente el valor de ángulo de paso adicional puede hacer referencia a aumentar el valor de ángulo de paso adicional en cada período de cálculo para alcanzar el valor de ángulo adicional preestablecido. El método anterior de aumentar gradualmente el valor de ángulo de paso adicional puede aumentar el ángulo de paso adicional al valor de ángulo adicional preestablecido en un corto tiempo. En el presente documento, el valor de ángulo adicional preestablecido puede hacer referencia a un valor de ángulo de paso adicional que puede mantener la pala dentro de un intervalo de espacio libre seguro, y el valor de ángulo adicional preestablecido se puede determinar basándose en la demanda de propulsión para el espacio libre y la capacidad de respuesta de un actuador de paso determinado basándose en una condición de viento actual.

En algunas realizaciones, el valor de ángulo de paso adicional se puede aumentar a una velocidad uniforme en cada período de cálculo. Por ejemplo, tomando el valor de ángulo adicional preestablecido de 2 grados como ejemplo, el valor de ángulo de paso adicional se puede aumentar en 2 grados a una velocidad uniforme en 1 segundo.

En el proceso de aumentar gradualmente el valor de ángulo de paso adicional o después de que el valor de ángulo de paso adicional alcance el valor de ángulo adicional preestablecido, si el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real cambia del segundo intervalo de espacio libre a un tercer intervalo de espacio libre, un valor de ángulo de paso adicional actual se mantiene invariable. En ese momento, esto indica que el espacio libre ya ha estado en un intervalo de espacio libre seguro mediante el ajuste anterior del ángulo de paso adicional.

En el presente documento, mantener invariable el valor de ángulo de paso adicional actual se refiere a mantener invariable un valor de ángulo de paso adicional de un período de cálculo anterior. En concreto, cuando el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre cambia del segundo intervalo de espacio libre al tercer intervalo de espacio libre, el valor de ángulo de paso adicional en este momento se mantiene invariable.

En caso de que el ángulo de paso adicional sea invariable, el cambio del espacio libre depende principalmente del cambio de la velocidad del viento actual. Si la velocidad del viento disminuye gradualmente, el espacio libre puede aumentar aún más. Si el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real cambia del tercer intervalo de espacio libre a un cuarto intervalo de espacio libre, esto indica que el espacio libre es excesivamente grande, lo que puede causar una pérdida innecesaria de generación de energía. Por lo tanto, el valor de ángulo de paso adicional se debe reducir para disminuir gradualmente el espacio libre y, además, es necesario aumentar la capacidad del aerogenerador de absorber la energía eólica. Específicamente, el valor de ángulo de paso adicional actual se puede disminuir gradualmente dentro de un segundo tiempo preestablecido. Como un ejemplo, con el fin de impedir que la carga provocada por la absorción de energía eólica por el aerogenerador aumente demasiado rápido en el proceso de reducción del ángulo de paso, se puede establecer una duración temporal del segundo tiempo preestablecido para que sea mayor que una duración temporal del primer tiempo preestablecido, de modo que el valor de ángulo de paso adicional se reduzca gradualmente.

Como un ejemplo, el proceso de disminución gradual del valor de ángulo de paso adicional puede hacer referencia a la disminución del valor de ángulo de paso adicional en cada período de cálculo. En algunas realizaciones, el valor de ángulo de paso adicional se puede disminuir a una velocidad uniforme en cada período de cálculo. Si el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real cambia del cuarto intervalo de espacio libre al tercer intervalo de espacio libre, el valor de ángulo de paso adicional se reduce continuamente hasta que expira el segundo tiempo preestablecido. Si el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real cambia del tercer intervalo de espacio libre al segundo intervalo de espacio libre antes de que expire el segundo

tiempo preestablecido, el valor de ángulo de paso adicional se reinicia para aumentar gradualmente dentro del primer tiempo preestablecido para alcanzar el valor de ángulo adicional preestablecido.

Se debería entender que, en una realización de la presente divulgación, la función de protección de ángulo de paso adicional se activa en caso de que el espacio libre obtenido en tiempo real esté dentro del segundo intervalo de espacio libre. Si se determina que el espacio libre obtenido en tiempo real está dentro del tercer intervalo de espacio libre o el cuarto intervalo de espacio libre antes de que se active la función de protección de ángulo de paso adicional, no se requiere intervención adicional ya que no hay valor de ángulo de paso adicional, y se puede controlar el aerogenerador para ejecutar una estrategia de control convencional en este momento.

En una realización de la presente divulgación, se establecen tres umbrales para la protección de espacio libre, y los tres umbrales incluyen un primer umbral, un segundo umbral y un tercer umbral. Un umbral de seguridad de espacio libre para activar el apagado del aerogenerador se determina como el primer umbral, un umbral de espacio libre para activar la protección de ángulo de paso adicional se determina como el segundo umbral y un umbral de espacio libre para activar un restablecimiento de la protección de ángulo de paso adicional se determina como el tercer umbral. El tercer umbral es mayor que el segundo umbral y el segundo umbral es mayor que el primer umbral.

Se pueden obtener cuatro intervalos de espacio libre, es decir, el primer intervalo de espacio libre, el segundo intervalo de espacio libre, el tercer intervalo de espacio libre y el cuarto intervalo de espacio libre, basándose en los tres umbrales establecidos anteriormente.

En primer lugar, un valor cero sirve como un límite inferior del primer intervalo de espacio libre, el primer umbral sirve como un límite superior del primer intervalo de espacio libre y el primer intervalo de espacio libre es un intervalo medio cerrado y medio abierto. El primer umbral sirve como un límite inferior del segundo intervalo de espacio libre, el segundo umbral sirve como un límite superior del segundo intervalo de espacio libre y el segundo intervalo de espacio libre es un intervalo medio cerrado y medio abierto. El segundo umbral sirve como un límite inferior del tercer intervalo de espacio libre, el tercer umbral sirve como un límite superior del tercer intervalo de espacio libre y el tercer intervalo de espacio libre es un intervalo medio cerrado y medio abierto. El tercer umbral sirve como un límite inferior del cuarto intervalo de espacio libre y el cuarto intervalo de espacio libre es un intervalo medio cerrado y medio abierto. Un límite superior del cuarto intervalo de espacio libre puede hacer referencia a un valor máximo teórico de espacio libre determinado de acuerdo con la condición de funcionamiento real del aerogenerador.

Regresando a la figura 1, en la etapa S30, se determina un valor de control de ángulo de paso de cada pala de acuerdo con un valor dado de ángulo de paso existente y el valor de ángulo de paso adicional de cada pala.

Dentro de cada período de cálculo, el valor de control del ángulo de paso de cada pala es la suma del valor dado del ángulo de paso existente y el valor de ángulo de paso adicional de la pala en el período de cálculo. El valor dado de ángulo de paso puede hacer referencia a un valor dado de ángulo de paso existente bajo la estrategia de paso convencional. Es decir, la función de protección de ángulo de paso adicional de acuerdo con la realización de la presente divulgación es añadir un valor de ángulo de paso sobre la base de la estrategia de paso convencional, para ajustar el espacio libre.

En el caso de aumentar gradualmente el valor de ángulo de paso adicional, el valor de ángulo de paso adicional se puede aumentar gradualmente desde cero hasta el valor de ángulo adicional preestablecido. En el caso de disminuir gradualmente el valor de ángulo de paso adicional, el valor de ángulo de paso adicional se puede disminuir gradualmente a cero.

En la etapa S40, cada pala se controla para realizar una acción de paso basándose en el valor de control de ángulo de paso determinado, para ajustar el espacio libre del aerogenerador.

En algunas realizaciones, simultáneamente para cada pala del aerogenerador, el valor de control de ángulo de paso determinado se aplica a la pala correspondiente, para controlar todas las palas para realizar una acción de paso simultáneamente, lo que puede evitar eficazmente el riesgo de desequilibrio del rotor en el esquema de control de paso existente para una sola pala.

En algunas realizaciones de la presente divulgación, también se puede incluir una función de protección para evitar la activación frecuente de la función de protección de ángulo de paso adicional.

Con el fin de evitar el aumento de la fatiga de paso provocada por la conmutación frecuente entre el aumento y la disminución del valor de ángulo de paso adicional debido a la activación frecuente de la función de control de paso basándose en el espacio libre, la función de protección de ángulo de paso adicional ya no se activará dentro de un tiempo preestablecido después de que se haya completado una vez una protección de ángulo de paso adicional completa. Por lo tanto, el método de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador de acuerdo con la realización de la presente divulgación puede incluir además las siguientes operaciones. Si se determina que una protección de ángulo de paso adicional completa se ha completado una vez, la función de protección de ángulo de paso adicional se detiene para evitar la activación frecuente de esta función, y se inicia la temporización. Durante la

temporización, la función de protección de apagado por exceso de espacio libre se mantiene habilitada, para garantizar el funcionamiento seguro del aerogenerador. Cuando la temporización ha alcanzado un tiempo preestablecido, se vuelve a habilitar la función de protección de ángulo de paso adicional. Como un ejemplo, se puede determinar que la protección de ángulo de paso adicional completa se ha completado una vez cuando se cumple la siguiente condición:

Las figuras 5A a 5D son vistas esquemáticas que muestran los efectos de control del método de control de paso anterior en una condición de trabajo de cizalladura del viento extrema de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

Las figuras 5A a 5D muestran resultados de simulación en condiciones de trabajo DLC1.5 basándose en la norma IEC. La figura 5A muestra el cambio de la velocidad del viento en una superficie de rotor cuando se produce la cizalladura vertical extrema del viento, con el tiempo en abscisa y el valor de velocidad del viento en ordenada. Una diferencia en la velocidad del viento entre la parte superior de la superficie de rotor y la parte inferior de la superficie de rotor lleva a una rápida reducción del espacio libre. En la figura 5A, la línea entrecortada indica la velocidad del viento en la parte superior de la superficie de rotor y la línea continua indica la velocidad del viento en la parte inferior de la superficie de rotor.

Como se muestra en la figura 5B, la abscisa es el tiempo, la línea continua representa el intervalo de espacio libre donde se ubica el espacio libre obtenido en el tiempo, la línea entrecortada indica el cambio en tiempo real del valor de ángulo de paso adicional y la línea de puntos indica el cambio del indicador de habilitación de la función de protección de ángulo de paso adicional. Esto indica que la función de protección de ángulo de paso adicional está en un estado habilitado en un caso en el que el indicador de habilitación es 1 e indica que la función de protección de ángulo de paso adicional no está en el estado habilitado en un caso en el que el indicador de habilitación es 0.

Tomando la figura 5B como ejemplo, cuando llega la cizalladura vertical extrema del viento, si el espacio libre disminuye para estar dentro del segundo intervalo de espacio libre, el valor de ángulo de paso adicional se controla para aumentar gradualmente, para aumentar gradualmente el espacio libre; cuando el espacio libre aumenta para estar dentro del cuarto intervalo de espacio libre, el valor de ángulo de paso adicional se controla para disminuir gradualmente. En el proceso de disminuir gradualmente el valor de ángulo de paso adicional, si el espacio libre disminuye para estar dentro del segundo intervalo de espacio libre de nuevo, esto indica que la mala condición de viento aún no ha terminado, el valor de ángulo de paso adicional se debe aumentar gradualmente de nuevo, hasta que termine la mala condición de viento y el espacio libre esté en un estado seguro. Después de que el ciclo de control de protección de espacio libre completo se haya completado una vez, el indicador de habilitación se cambia a un nivel bajo, y no se permite que la función de protección de ángulo de paso adicional se active nuevamente dentro del tiempo preestablecido.

Como se muestra en la figura 5C, la abscisa es el tiempo y la ordenada es el valor de ángulo de paso. La línea entrecortada indica el valor de ángulo de paso de la pala cuando la función de protección de ángulo de paso adicional está encendida y la línea continua indica el valor de ángulo de paso de la pala cuando la función de protección de ángulo de paso adicional no está encendida. Se puede ver a partir de la figura 5C que el valor de ángulo de paso de la pala cuando la función de protección de ángulo de paso adicional está encendida aumenta en relación con el valor de ángulo de paso de la pala cuando la función de protección de ángulo de paso adicional no está encendida.

Como se muestra en la figura 5D, la abscisa es el tiempo y la ordenada es el valor de espacio libre mínimo. La línea entrecortada indica el valor de espacio libre mínimo cuando la función de protección de ángulo de paso adicional está encendida y la línea continua indica el valor de espacio libre mínimo cuando la función de protección de ángulo de paso adicional no está encendida. Se puede ver a partir de la figura 5D que el valor de espacio libre mínimo cuando se enciende la función de protección de ángulo de paso adicional aumenta significativamente en relación con el espacio libre mínimo cuando no se enciende la función de protección de ángulo de paso adicional.

Las figuras 6A a 6E son vistas esquemáticas que muestran los efectos de control del método de control de paso anterior en una condición de trabajo de generación de energía normal de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

Las figuras 6A a 6E muestran resultados de simulación en condiciones de trabajo DLC1.2 basándose en la norma IEC. Un mecanismo de activación en la condición de trabajo de generación de energía normal es el mismo que en la condición de trabajo de cizalladura extrema del viento anterior, y el método de control de paso basado en la realización de la presente divulgación puede aumentar el espacio libre hasta cierto punto.

La figura 6A es una curva de variación de la velocidad del viento de turbulencia normal, con el tiempo en la abscisa y el valor de velocidad del viento en la ordenada. Como se muestra en la figura 6B, la abscisa es el tiempo, la línea continua representa el intervalo de espacio libre donde se ubica el espacio libre obtenido en tiempo real, la línea entrecortada representa el cambio en tiempo real del valor de ángulo de paso adicional, y la línea de puntos representa el cambio del indicador de habilitación de la función de protección de ángulo de paso adicional.

Como se muestra en la figura 6C, la abscisa es el tiempo y la ordenada es el valor de ángulo de paso. La línea entrecortada indica el valor de ángulo de paso de la pala cuando la función de protección de ángulo de paso adicional está encendida y la línea continua indica el valor de ángulo de paso de la pala cuando la función de protección de ángulo de paso adicional no está encendida. Se puede ver a partir de la figura 6C que el valor de ángulo de paso de la pala cuando la función de protección de ángulo de paso adicional está encendida aumenta en relación con el valor de ángulo de paso de la pala cuando la función de protección de ángulo de paso adicional no está encendida.

Como se muestra en la figura 6D, la abscisa es el tiempo y la ordenada es el valor de espacio libre mínimo. La línea entrecortada indica el valor de espacio libre mínimo cuando la función de protección de ángulo de paso adicional está encendida y la línea continua indica el valor de espacio libre mínimo cuando la función de protección de ángulo de paso adicional no está encendida. Se puede ver a partir de la figura 6D que el valor de espacio libre mínimo cuando se enciende la función de protección de ángulo de paso adicional aumenta en relación con el valor de espacio libre mínimo cuando no se enciende la función de protección de ángulo de paso adicional.

Como se muestra en la figura 6E, la abscisa es el tiempo y la ordenada es la energía en la red. Se puede ver a partir de la figura 6E que activar la función de protección de ángulo de paso adicional bajo la condición de trabajo de generación de energía normal puede llevar a una pequeña pérdida de generación de energía.

La figura 7 es un diagrama de bloques de un dispositivo de control de paso basado en un espacio libre de un aerogenerador de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

Como se muestra en la figura 7, el dispositivo 100 de control de paso basándose en el espacio libre del aerogenerador de acuerdo con la realización de la presente divulgación incluye: un módulo 101 de adquisición de espacio libre, un módulo 102 de ajuste de ángulo de paso adicional, un módulo 103 de determinación de valor de control de ángulo de paso y un módulo 104 de control de paso. El aerogenerador incluye al menos dos palas. En algunas realizaciones, el aerogenerador puede incluir tres palas.

El módulo 101 de adquisición de espacio libre está configurado para obtener el espacio libre del aerogenerador en tiempo real.

En algunas realizaciones, el dispositivo de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador de acuerdo con la realización de la presente divulgación puede incluir además: un módulo de determinación de acimut (no mostrado en la figura). El módulo de determinación de acimut está configurado para determinar un acimut de rotor actual. Cuando el acimut de rotor indica que la pala está ubicada dentro de un intervalo de acimut efectivo para medir el espacio libre, el módulo de adquisición de espacio libre obtiene el espacio libre del aerogenerador.

En algunas realizaciones, se pueden usar diferentes dispositivos de detección existentes para detectar el espacio libre del aerogenerador en tiempo real, y el módulo 101 de adquisición de espacio libre obtiene el espacio libre del aerogenerador del dispositivo de detección en tiempo real. Los diferentes dispositivos de detección pueden incluir un sensor para medir el espacio libre. El dispositivo de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador de acuerdo con la realización de la presente divulgación puede incluir además: un módulo de determinación de fallos (no mostrado en la figura). El módulo de detección de fallos está configurado para realizar la detección de fallos en el sensor. El módulo de detección de fallos puede determinar si el sensor falla detectando un estado disponible del sensor. El estado disponible del sensor se puede determinar basándose en una señal de latido del sensor y un indicador de precisión de algoritmo del sensor.

Se considera que el sensor no falla cuando el módulo de detección de fallos determina que el sensor está actualmente en el estado disponible, y el módulo 101 de adquisición de espacio libre puede obtener el espacio libre del aerogenerador del sensor en este momento.

Se considera que el sensor falla cuando el módulo de detección de fallos determina que el sensor está actualmente en un estado no disponible, y los datos detectados por el sensor no se pueden usar en este momento. El módulo de control de paso controla inmediatamente el aerogenerador para cambiar a otra estrategia de protección de espacio libre. Se notifica una señal que indica que el sensor falla para el mantenimiento oportuno del sensor defectuoso.

En algunas realizaciones, el módulo de detección de fallos puede determinar además si está habilitada la función de control de paso basándose en el espacio libre de acuerdo con la realización de la presente divulgación. El módulo de detección de fallos realiza la detección de fallos en el sensor cuando la función de control de paso está en un estado habilitado. Cuando la función de control de paso no está en el estado habilitado, el módulo de detección de fallos determina continuamente si está habilitada la función de control de paso basándose en el espacio libre. Como un ejemplo, el módulo de detección de fallos puede determinar si la función de control de paso está habilitada detectando un indicador de habilitación para indicar la función de control de paso basándose en el espacio libre.

El módulo 102 de ajuste de ángulo de paso adicional está configurado para ajustar dinámicamente un valor de ángulo de paso adicional de cada pala basándose en el espacio libre obtenido en tiempo real.

En algunas realizaciones, el módulo 102 de ajuste de ángulo de paso adicional puede determinar un intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real y ajustar dinámicamente el valor de ángulo de paso adicional de cada pala basándose en un ajuste del ángulo de paso adicional correspondiente al intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre.

5 La figura 8 es un diagrama de bloques de un controlador de un aerogenerador de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

10 Como se muestra en la figura 8, el controlador 200 del aerogenerador de acuerdo con la realización de la presente divulgación incluye: un procesador 201, una interfaz 202 de entrada/salida y una memoria 203.

15 Específicamente, la memoria 203 está configurada para almacenar un programa informático. El programa informático, cuando se ejecuta por el procesador 201, implementa el método de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador descrito anteriormente. La interfaz 202 de entrada/salida está configurada para conectar diferentes dispositivos de entrada/salida.

Como un ejemplo, el controlador 200 del aerogenerador puede ser un controlador principal dispuesto en el aerogenerador o un subcontrolador que interactúa con el controlador principal.

20 En el presente documento, el método de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador mostrado en la figura 1 se puede realizar en el procesador 201 mostrado en la figura 8. Es decir, se pueden implementar módulos mostrados en la figura 7 por un procesador de hardware de propósito general tal como un procesador de señal digital o una matriz de puertas programables en campo, o por un procesador de hardware dedicado tal como un chip dedicado, o por software completamente a través de un programa informático. Por ejemplo, se pueden implementar
25 módulos mostrados en la figura 7 como módulos en el procesador 201 mostrado en la figura 8.

La figura 9 es un diagrama de bloques de un sistema de control de un aerogenerador de acuerdo con una realización de ejemplo de la presente divulgación.

30 Como se muestra en la figura 9, el sistema 300 de control del aerogenerador de acuerdo con la realización de la presente divulgación incluye: un sensor 301 y un controlador 302.

35 El sensor 301 está configurado para detectar un espacio libre del aerogenerador en tiempo real. El sensor 301 en el presente documento puede ser cualquier dispositivo existente que sea capaz de detectar el espacio libre del aerogenerador. Por ejemplo, el sensor 301 puede incluir, aunque no de forma limitativa, un sensor de distancia (tal como un telémetro láser multicapa).

40 El controlador 302 está configurado para obtener el espacio libre del aerogenerador del sensor 301 en tiempo real, para realizar el método de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador descrito anteriormente.

Es decir, el método de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador mostrado en la figura 1 se realiza en el controlador 302, que no se repetirá en el presente documento.

45 Se proporciona además un medio de almacenamiento legible por ordenador que almacena un programa informático de acuerdo con una realización de la presente divulgación. El medio de almacenamiento legible por ordenador almacena el programa informático, que, cuando se ejecuta por un procesador, hace que el procesador realice el método de control de paso anterior basado en el espacio libre del aerogenerador. El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser cualquier dispositivo de almacenamiento de datos que puede almacenar datos leídos por un sistema informático. Ejemplos del medio de almacenamiento legible por ordenador incluyen: memoria de solo lectura, memoria de acceso aleatorio, CD-ROM, cinta magnética, disquete, dispositivo óptico de almacenamiento de datos y onda portadora (tal como transmisiones de datos por Internet a través de una trayectoria de transmisión alámbrica o inalámbrica).

55 A través del método y dispositivo de control de paso basados en el espacio libre del aerogenerador de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación, todas las palas del aerogenerador se pueden aplicar con los correspondientes ángulos de paso simultáneamente, reduciendo de este modo el riesgo de desequilibrio del rotor.

60 Asimismo, el método y dispositivo de control de paso basados en el espacio libre del aerogenerador de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación pueden realizar el control de retroalimentación de bucle cerrado basándose en el espacio libre medido en tiempo real, y mejorar el espacio libre con más seguridad y eficacia.

Asimismo, el método y dispositivo de control de paso basados en el espacio libre del aerogenerador de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación pueden reducir además la pérdida de generación de energía al tiempo que garantiza la seguridad del espacio libre.

65 Asimismo, el método y dispositivo de control de paso basados en el espacio libre del aerogenerador de acuerdo con

las realizaciones de la presente divulgación tienen un ciclo de desarrollo de algoritmo corto y un bajo coste de cálculo.

En resumen, el problema de espacio libre de la pala blanda se puede resolver y el coste de la pala se puede reducir de manera efectiva usando el método y dispositivo de control de paso basados en el espacio libre del aerogenerador de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación.

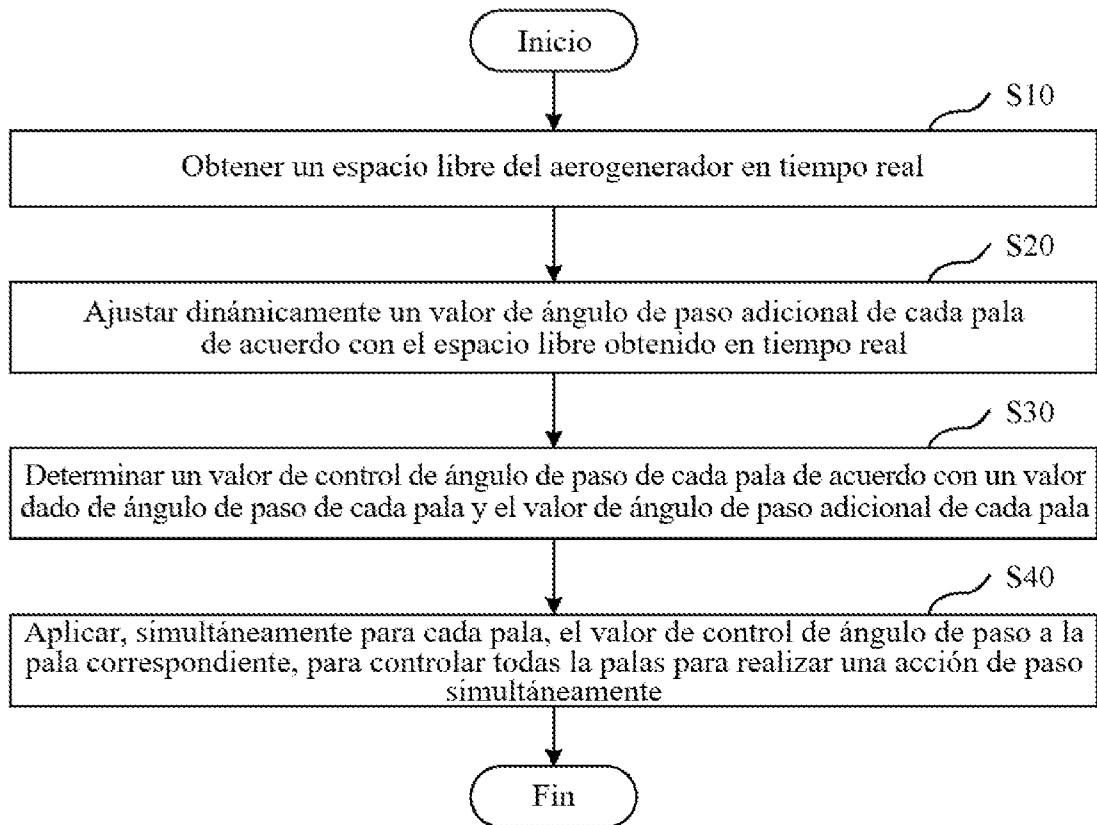
5

REIVINDICACIONES

1. Un método de control de paso basado en un espacio libre de un aerogenerador, en donde el aerogenerador comprende al menos dos palas, y el método de control de paso comprende:
 - 5 obtener (S10) un espacio libre del aerogenerador en tiempo real;
 - ajustar dinámicamente (S20) un valor de ángulo de paso adicional de cada pala de acuerdo con el espacio libre obtenido en tiempo real;
 - determinar (S30), para cada pala, un valor de control de ángulo de paso de la pala de acuerdo con un valor dado de ángulo de paso existente de la pala y el valor de ángulo de paso adicional de la pala; y
 - 10 aplicar (S40), simultáneamente para cada pala, el valor de control de ángulo de paso determinado a la pala correspondiente del aerogenerador para controlar todas las palas para realizar una acción de paso simultáneamente, para ajustar el espacio libre del aerogenerador;
 - caracterizado por que la etapa de ajustar dinámicamente (S20) el valor de ángulo de paso adicional de cada pala de acuerdo con el espacio libre obtenido en tiempo real comprende:
 - 15 determinar un intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real;
 - activar una función de protección de ángulo de paso adicional y aumentar gradualmente el valor de ángulo de paso adicional dentro de un primer tiempo preestablecido, para alcanzar un valor de ángulo adicional preestablecido, si el intervalo de espacio libre determinado es un segundo intervalo de espacio libre; y
 - en el proceso de aumentar gradualmente el valor de ángulo de paso adicional o después de que el valor de ángulo de
 - 20 paso adicional alcance el valor de ángulo adicional preestablecido, mantener un valor de ángulo de paso adicional actual invariable si el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real cambia del segundo intervalo de espacio libre a un tercer intervalo de espacio libre, y disminuir gradualmente el valor de ángulo de paso adicional actual dentro de un segundo tiempo preestablecido, si el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real cambia del tercer intervalo de espacio libre a un cuarto intervalo de espacio
 - 25 libre, en donde una duración temporal del segundo tiempo preestablecido es mayor que una duración temporal del primer tiempo preestablecido.
2. El método de control de paso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la etapa de ajustar dinámicamente el valor de ángulo de paso adicional de cada pala de acuerdo con el intervalo de espacio libre determinado comprende:
 - 30 activar una función de protección de apagado para el exceso de espacio libre y controlar el aerogenerador para que se apague, si el intervalo de espacio libre determinado es un primer intervalo de espacio libre.
3. El método de control de paso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la etapa de ajustar dinámicamente el valor de ángulo de paso adicional de cada pala comprende:
 - 35 disminuir continuamente el valor de ángulo de paso adicional hasta que expire el segundo tiempo preestablecido, si el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real cambia del cuarto intervalo de espacio libre al tercer intervalo de espacio libre; y
 - reiniciar para aumentar gradualmente el valor de ángulo de paso adicional dentro del primer tiempo preestablecido para alcanzar el valor de ángulo adicional preestablecido, si el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio
 - 40 libre obtenido en tiempo real cambia del tercer intervalo de espacio libre al segundo intervalo de espacio libre antes de que expire el segundo tiempo preestablecido.
4. El método de control de paso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el primer intervalo de espacio libre, el segundo intervalo de espacio libre, el tercer intervalo de espacio libre y el cuarto intervalo de espacio libre se
 - 45 determinan de las siguientes maneras:
 - un umbral de seguridad de espacio libre para activar el apagado del aerogenerador se determina como un primer umbral,
 - un umbral de espacio libre para activar una protección de ángulo de paso adicional se determina como un segundo umbral y
 - 50 un umbral de espacio libre para activar un restablecimiento de la protección de ángulo de paso adicional se determina como un tercer umbral,
 - en donde, un valor cero sirve como un límite inferior del primer intervalo de espacio libre y el primer umbral sirve como un límite superior del primer intervalo de espacio libre,
 - el primer umbral sirve como un límite inferior del segundo intervalo de espacio libre y el segundo umbral sirve como
 - 55 un límite superior del segundo intervalo de espacio libre,
 - el segundo umbral sirve como un límite inferior del tercer intervalo de espacio libre y el tercer umbral sirve como un límite superior del tercer intervalo de espacio libre, y
 - el tercer umbral sirve como un límite inferior del cuarto intervalo de espacio libre y un límite superior del cuarto intervalo de espacio libre es un valor máximo teórico de espacio libre.
 - 60
5. El método de control de paso de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:
 - detener la función de protección de ángulo de paso adicional e iniciar la temporización, si se determina que una
 - protección de ángulo de paso adicional completa se ha completado una vez,
 - mantener la habilitación de la función de protección de apagado para el exceso de espacio libre durante la
 - 65 temporización, y volver a habilitar la función de protección de ángulo de paso adicional cuando la temporización alcanza un tercer tiempo preestablecido,

en donde se determina que la protección de ángulo de paso adicional completa se ha completado una vez si se cumple la siguiente condición:
el valor de ángulo de paso adicional aumenta desde cero y disminuye a cero dentro del segundo tiempo preestablecido.

- 5 6. El método de control de paso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde en cada período de cálculo, el valor de control de ángulo de paso de cada pala es una suma del valor dado del ángulo de paso existente y el valor de ángulo de paso adicional en el período de cálculo.
- 10 7. El método de control de paso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la etapa de obtener un espacio libre del aerogenerador en tiempo real comprende:
realizar la detección de fallos en un sensor para detectar el espacio libre del aerogenerador, en donde se determina si el sensor falla detectando una señal de latido y un indicador de precisión de algoritmo del sensor;
obtener el espacio libre del aerogenerador del sensor en tiempo real, si se determina que el sensor no falla; y
15 controlar el aerogenerador para cambiar a una estrategia de protección de espacio libre convencional existente, si se determina que el sensor falla.
8. El método de control de paso de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:
determinar un acimut de rotor actual,
en donde el espacio libre del aerogenerador se obtiene en el caso en el que el acimut de rotor indica que la pala está
20 ubicada dentro de un intervalo de acimut efectivo para medir el espacio libre.
9. Un dispositivo de control de paso basado en un espacio libre de un aerogenerador, en donde el aerogenerador comprende al menos dos palas, y el dispositivo de control de paso comprende:
un módulo (101) de adquisición de espacio libre, configurado para obtener un espacio libre del aerogenerador en
25 tiempo real;
un módulo (102) de ajuste de ángulo de paso adicional, configurado para ajustar dinámicamente un valor de ángulo de paso adicional de cada pala de acuerdo con el espacio libre obtenido en tiempo real;
un módulo (103) de determinación de valor de control de ángulo de paso, configurado para determinar, para cada pala, un valor de control de ángulo de paso de la pala de acuerdo con un valor dado de ángulo de paso existente de la pala
30 y el valor de ángulo de paso adicional de la pala; y
un módulo (104) de control de paso, configurado para aplicar, simultáneamente para cada pala, el valor de control de ángulo de paso determinado a la pala correspondiente del aerogenerador para controlar todas las palas para realizar una acción de paso simultáneamente, para ajustar el espacio libre del aerogenerador, caracterizado por que el módulo de ajuste de ángulo de paso adicional está configurado además para:
35 determinar un intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real;
activar una función de protección de ángulo de paso adicional y aumentar gradualmente el valor de ángulo de paso adicional dentro de un primer tiempo preestablecido, para alcanzar un valor de ángulo adicional preestablecido, si el intervalo de espacio libre determinado es un segundo intervalo de espacio libre; y
en el proceso de aumentar gradualmente el valor de ángulo de paso adicional o después de que el valor de ángulo de
40 paso adicional alcance el valor de ángulo adicional preestablecido, mantener un valor de ángulo de paso adicional actual invariable si el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real cambia del segundo intervalo de espacio libre a un tercer intervalo de espacio libre, y disminuir gradualmente el valor de ángulo de paso adicional dentro de un segundo tiempo preestablecido, si el intervalo de espacio libre correspondiente al espacio libre obtenido en tiempo real cambia del tercer intervalo de espacio libre a un cuarto intervalo de espacio
45 libre, en donde una duración temporal del segundo tiempo preestablecido es mayor que una duración temporal del primer tiempo preestablecido.
10. Un medio de almacenamiento legible por ordenador que almacena un programa informático, en donde el programa informático, cuando se ejecuta por un procesador, implementa el método de control de paso basado en el espacio
50 libre del aerogenerador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
11. Un controlador de un aerogenerador, que comprende:
un procesador;
una interfaz de entrada/salida; y
55 una memoria para almacenar un programa informático, en donde el programa informático, cuando se ejecuta por el procesador, implementa el método de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
12. Un sistema de control de un aerogenerador, que comprende:
60 un sensor, configurado para detectar un espacio libre del aerogenerador en tiempo real; y
un controlador, configurado para obtener el espacio libre del aerogenerador del sensor en tiempo real, para implementar el método de control de paso basado en el espacio libre del aerogenerador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

**Figura 1**

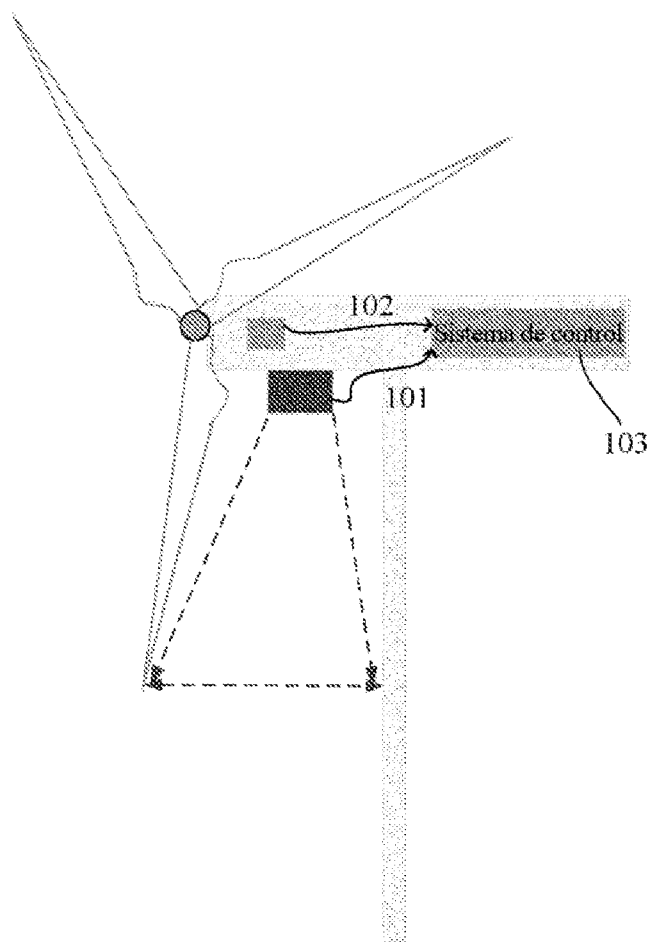


Figura 2

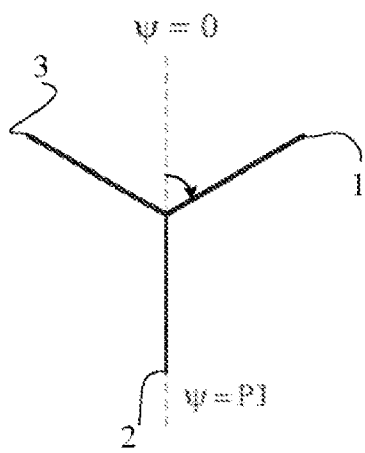


Figura 3A

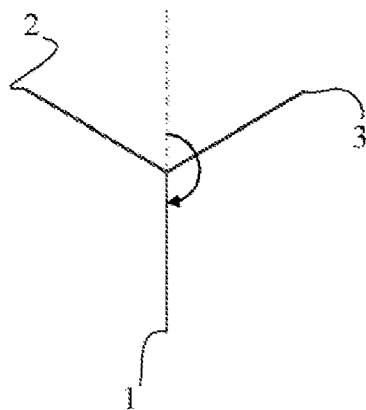


Figura 3B

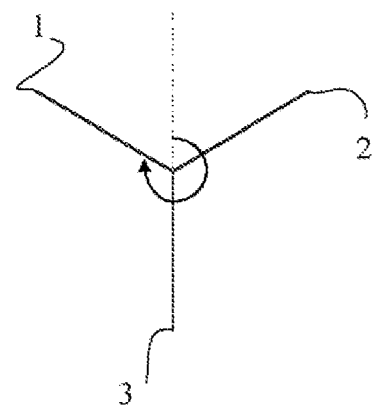


Figura 3C

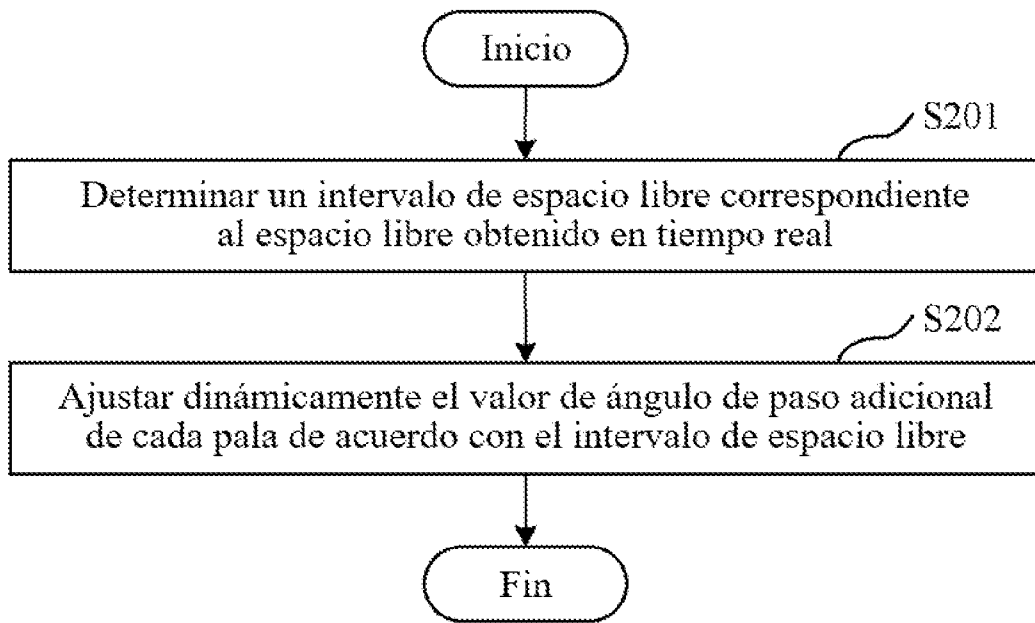


Figura 4

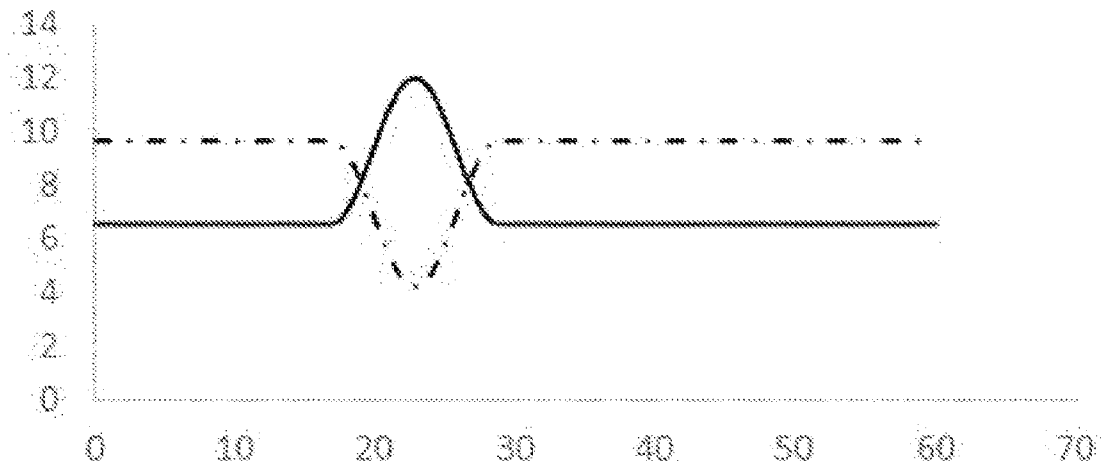


Figura 5A

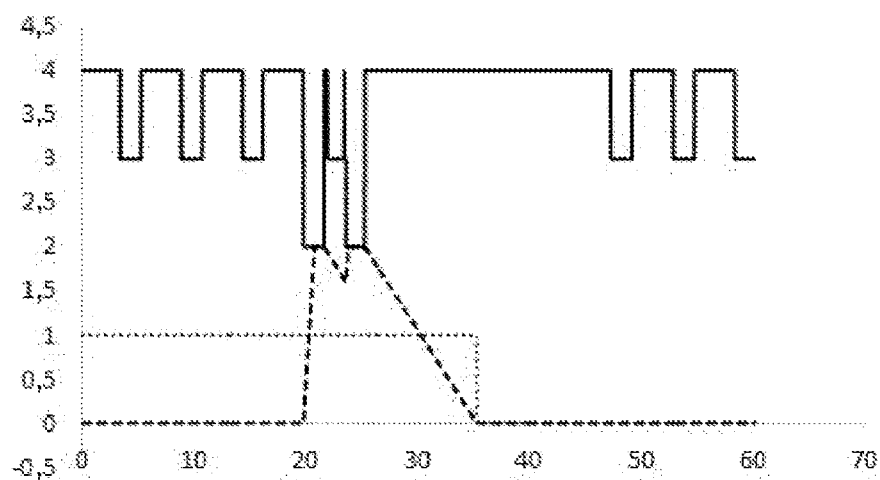


Figura 5B

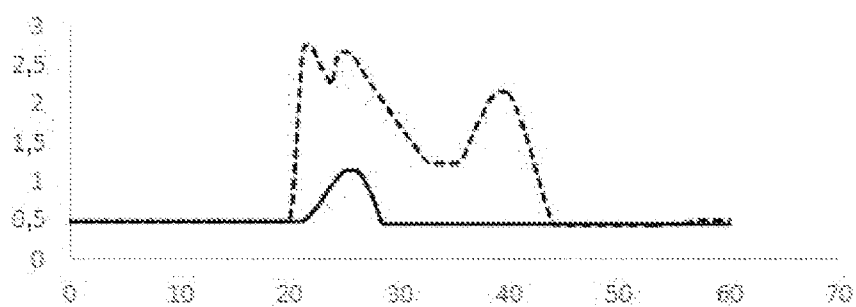


Figura 5C

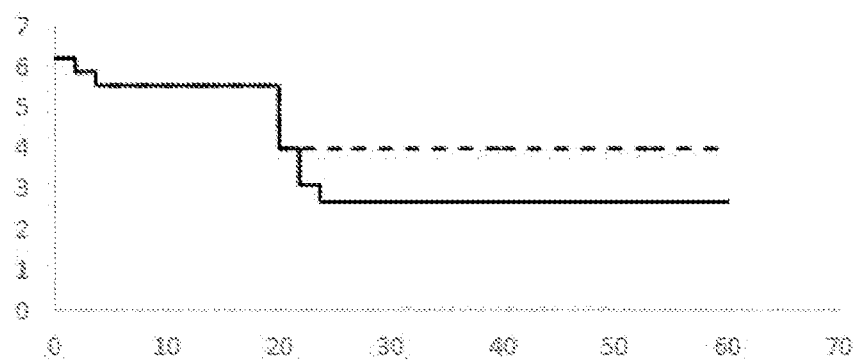


Figura 5D

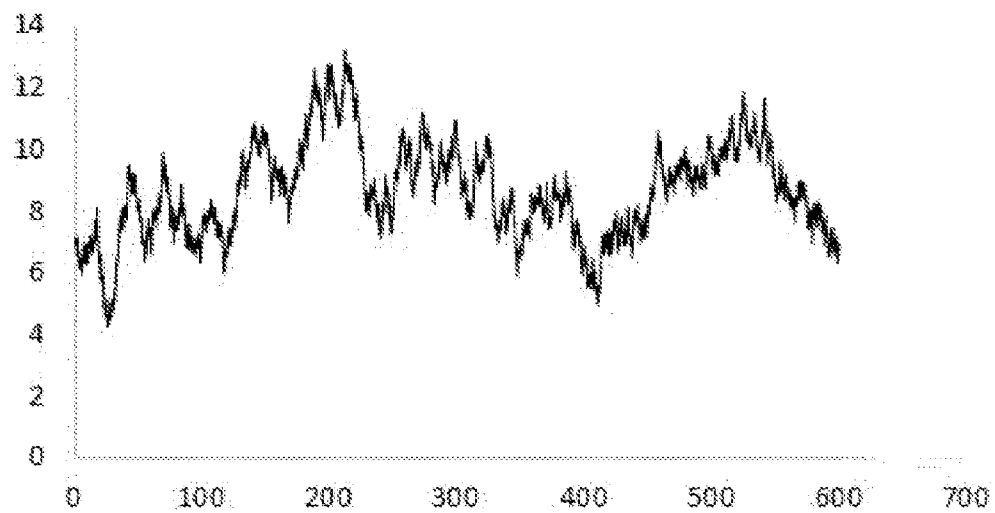


Figura 6A

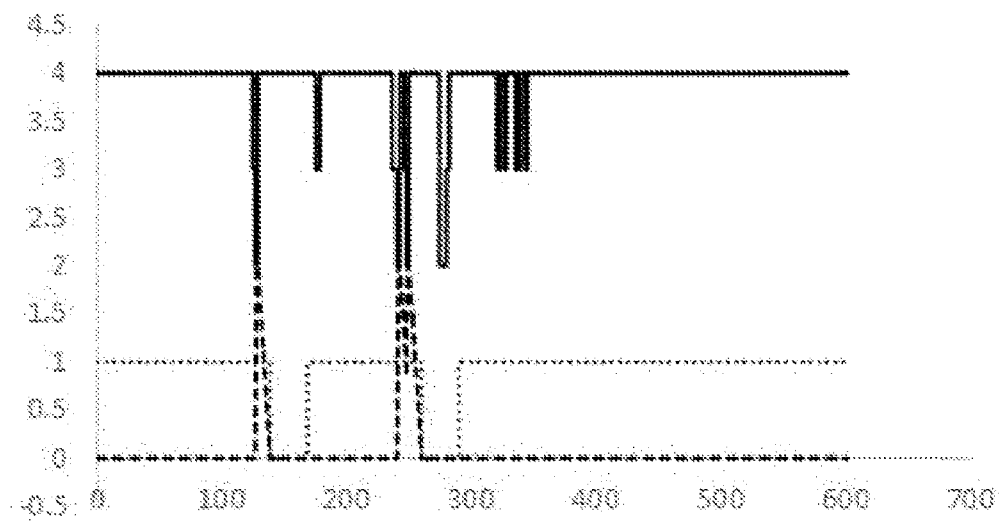


Figura 6B

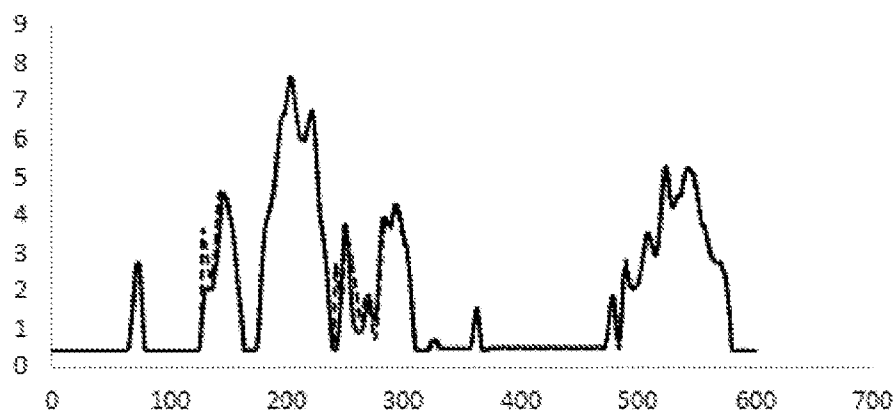


Figura 6C

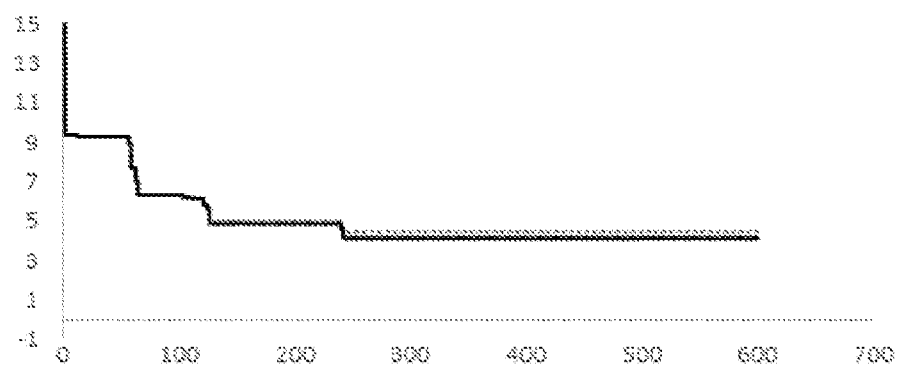


Figura 6D

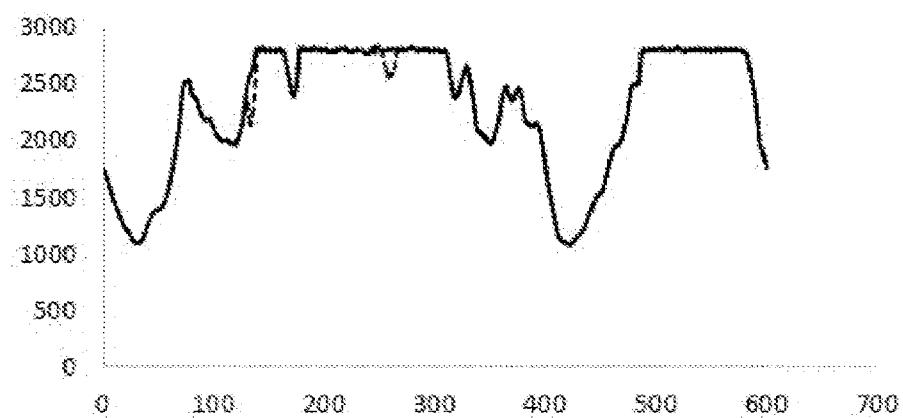


Figura 6E

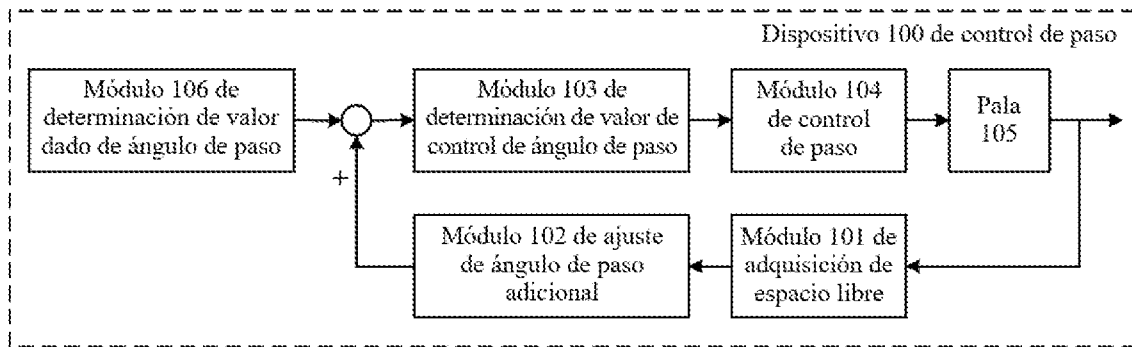


Figura 7

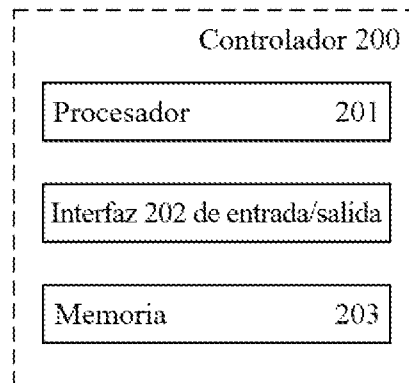


Figura 8

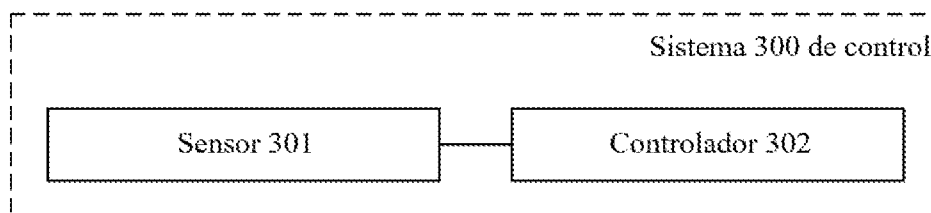


Figura 9