

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 668 476**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.04.2013 PCT/DK2013/050117**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.10.2013 WO13159779**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2013 E 13718103 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.04.2018 EP 2841764**

54 Título: **Un método para el control de una turbina eólica durante la parada**

30 Prioridad:

23.04.2012 DK 201270205

25.04.2012 US 201261637863 P

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

18.05.2018

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

HAMMERUM, KELD y

KRÜGER, THOMAS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 668 476 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

Un método para el control de una turbina eólica durante la parada

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método para el control de una turbina eólica de paso controlado individualmente durante la parada. Más en particular, el método de la invención reduce las cargas sobre las palas de la turbina eólica durante la parada. La invención se refiere además a una unidad de control adaptada para realizar el método, y a una turbina eólica que comprende dicha unidad de control.

Antecedentes de la invención

En las turbinas eólicas de paso controlado, el paso de las palas de la turbina eólica se ajusta en respuesta a las condiciones del viento, y para obtener una producción de energía deseada. Cuando las palas de la turbina eólica giran durante la operación, las cargas sobre cada pala de la turbina eólica cambian, por ejemplo debido a cizalladura del viento, paso de la torre, turbulencias, etc. Esto puede producir una distribución asimétrica de la carga entre las palas de la turbina eólica. Esto no es deseable, dado que conduce a altas cargas sobre el rotor, el tren de accionamiento, etc. Para evitar esto, se usa a veces una estrategia de control individual del paso. De acuerdo con una estrategia de control individual del paso, se ajustan los ángulos de paso de las palas individuales para tener en cuenta las condiciones en la posición de cada pala.

Cuando se genera un comando de detención o comando de parada para una turbina eólica de paso controlado, por ejemplo debido a una situación de emergencia, normalmente se mueven las palas de la turbina eólica a una posición de bandera, es decir sus ángulos de paso se cambian hasta que las palas de la turbina eólica están en una posición en la que ya no capturan el viento. Es deseable a menudo mover las palas de la turbina eólica tan rápidamente como sea posible a la posición de bandera.

Sin embargo, en caso de turbinas eólicas de paso controlado individualmente, los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica no son idénticos cuando se recibe un comando de detención o comando de parada. Por el contrario, el ángulo de paso de cada pala de la turbina eólica se ha ajustado de tal manera que tiene en cuenta las condiciones que predominan en la posición exacta de la pala en cuestión. Si simplemente todas las palas de la turbina eólica se mueven tan rápidamente como sea posible hacia la posición de bandera cuando se recibe el comando de detención o comando de parada, permanecerán las diferencias mutuas de los ángulos de paso cuando las palas de la turbina eólica continúan su rotación en el plano del rotor, mientras se mueven hacia la posición de bandera. De ese modo las palas de la turbina eólica se mueven fuera de las posiciones que están dictadas por los ajustes en los ángulos de paso, pero los ajustes no se alteran. Esto puede conducir a cargas asimétricas sobre las palas de la turbina eólica que son incluso peores que las que serían si los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica fueran simplemente idénticos. Es por lo tanto deseable proporcionar una estrategia de control durante la parada de una turbina eólica de paso controlado individualmente, que reduzca la carga asimétrica sobre las palas de la turbina eólica.

El documento EP 2 290 232 divulga un dispositivo de control del ángulo de paso de turbina eólica configurado para llevar a cabo el control de paso individual. Cuando se introduce un comando de detención en la turbina eólica, se adaptan los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica, y a continuación se mueven los ángulos de paso a una posición de bandera. Cuando se introduce el comando de detención de la turbina eólica, puede identificarse una pala de la turbina eólica representativa basándose en el ángulo de paso de entre la pluralidad de las palas de la turbina eólica. Se hace coincidir entonces el ángulo de paso de la pala de la turbina eólica representativa y los ángulos de paso de las otras palas de la turbina eólica, y a continuación se mueven los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica a la posición de bandera. La pala de la turbina eólica representativa puede ser la pala de la turbina eólica cuyo ángulo de paso esté más próximo a la posición de bandera.

El dispositivo de control del documento EP 2 290 232 reduce las cargas asimétricas sobre las palas de la turbina eólica durante la parada, debido a que se alinean los ángulos de paso antes de que las palas de la turbina eólica se muevan a la posición de bandera. Sin embargo, el proceso de parada se retrasa debido a que debe tener lugar la alineación antes de que comience el movimiento hacia la posición de bandera. Además, se usa la misma estrategia de parada cada vez que se introduce el comando de detención, incluso aunque esta estrategia de parada pueda no ser apropiada en todas las situaciones.

El documento US2009/148286 divulga una forma de reducir la carga asimétrica del rotor en una turbina eólica que incluye el cálculo de un tiempo de retraso para el cambio de paso de cada pala hacia la posición de bandera tras el inicio de una condición de parada. Comenzando a moverse las palas con el ángulo de pala mayor hacia la posición de bandera con una velocidad de paso inicial, mientras que las palas con el ángulo de pala más pequeño comienzan a moverse hacia la posición de bandera con una velocidad de paso final. Una vez que todas las palas han alcanzado aproximadamente un ángulo de pala idéntico, las palas se mueven simultáneamente todas a la posición de bandera con la velocidad de paso final.

Descripción de la invención

Es un objeto de realizaciones de la presente invención proporcionar un método para el control de una turbina eólica de paso controlado individualmente durante la parada, en el que se minimicen las cargas asimétricas sobre las palas de la turbina eólica, mientras se minimiza el tiempo desde el comando de parada hasta que se completa la parada.

Es un objeto adicional de realizaciones de la invención proporcionar un método para el control de una turbina eólica de paso controlado individualmente durante la parada, en el que pueda seleccionarse una estrategia de parada óptima bajo las circunstancias dadas.

De acuerdo con un primer aspecto la invención proporciona un método para el control de una turbina eólica de paso controlado individualmente durante la parada, comprendiendo dicha turbina eólica al menos tres palas de turbina eólica, comprendiendo el método las etapas tal como se definen en la reivindicación 1.

En el presente contexto la expresión "turbina eólica de paso controlado individualmente" debería interpretarse que significa una turbina eólica en la que el ángulo de paso de cada una de las palas de la turbina eólica se ajusta individualmente para tener en cuenta las condiciones que predominan en la posición exacta de cada pala de la turbina eólica, para reducir las cargas asimétricas sobre las palas de la turbina eólica, como se ha descrito anteriormente.

De acuerdo con el método de la invención, se recibe inicialmente un comando de parada. El comando de parada indica que la operación de la turbina eólica ha de detenerse. El comando de parada puede generarse, por ejemplo, en respuesta a una situación de emergencia detectada, tal como un fallo o defecto de un componente de la turbina eólica, una temperatura medida en la turbina eólica que está fuera de intervalo, o cualquier otra situación adecuada que requiera que se interrumpa la operación de la turbina eólica. Alternativa o adicionalmente, el comando de parada puede generarse en respuesta a condiciones ambientales medidas, tales como la velocidad del viento, humedad, densidad del aire, etc. que están fuera del intervalo de operación de la turbina eólica. En cualquier caso, cuando se recibe un comando de parada, es deseable normalmente detener la operación de la turbina eólica tan rápido como sea posible.

Cuando se ha recibido el comando de parada, se determina un parámetro de pala de cada una de las palas de la turbina eólica. En el presente contexto la expresión "parámetro de pala" debería interpretarse que significa un parámetro, por ejemplo un parámetro medible, que es indicativo de un estado de la pala. El parámetro de pala es un ángulo de paso.

El parámetro de pala puede ser ventajosamente un parámetro que sea indicativo de las cargas mecánicas sobre la pala de la turbina eólica, y/o que refleje diferencias en las cargas mecánicas sobre las palas.

Debería observarse que la etapa de determinar un parámetro de pala de cada una de las palas de la turbina eólica no incluye necesariamente determinar un valor absoluto del parámetro de pala de cada pala de la turbina eólica. En su lugar, pueden determinarse valores relativos, por ejemplo de tal manera que se determine el valor de cada pala de la turbina eólica con relación a un punto de referencia, o con relación a los parámetros de las otras palas de la turbina eólica. Obtener simplemente la medición del parámetro de pala de cada una de las palas de la turbina eólica con relación a las otras palas de la turbina eólica proporcionará, en algunos casos, información suficiente con relación a las cargas asimétricas sobre el rotor de la turbina eólica, y en dichos casos no hay necesidad de obtener los valores absolutos de los parámetros de pala.

Los parámetros de pala pueden medirse. Como alternativa, pueden ser conocidos inherentemente para el sistema de control. Este es el caso, por ejemplo, si el parámetro de pala es un ángulo de paso, dado que el ángulo de paso se calcula por el sistema de control, y a continuación se gira la pala hacia el ángulo de paso calculado.

Los parámetros de pala de las palas de la turbina eólica obtenidos de esta forma se comparan a continuación. En el caso en que la etapa de determinar los parámetros de pala de las palas de la turbina eólica comprenda obtener valores relativos de los parámetros de pala, la etapa de comparar los parámetros de pala puede formar parte de la etapa de determinar los parámetros de pala. Basándose en esta etapa de comparación, se selecciona una estrategia de parada para la turbina eólica. La estrategia de parada se selecciona de entre un grupo de dos o más estrategias de parada predefinidas. En consecuencia, puede seleccionarse siempre una estrategia de parada que sea apropiada bajo las circunstancias dadas, basándose en la comparación de los parámetros de pala.

En el caso de que el parámetro de pala sea indicativo de la carga mecánica sobre la pala, y/o refleje diferencias en las cargas mecánicas sobre las palas, la comparación de los parámetros de pala de las palas revela diferencias en las cargas mecánicas entre las palas, es decir revela cargas asimétricas sobre las palas. De ese modo se selecciona la estrategia de control basándose en las cargas asimétricas, o cargas asimétricas esperadas, de las palas. Por lo tanto, puede seleccionarse una estrategia de parada que reduzca o elimine dichas cargas asimétricas.

Finalmente, las palas de la turbina eólica se mueven hacia la posición de bandera de acuerdo con la estrategia de parada seleccionada.

5 En el presente contexto la expresión "mover las palas de la turbina eólica hacia una posición de bandera" debería interpretarse que significa cambiar los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica de tal manera que los ángulos de paso se conviertan en más próximos a la posición de bandera. Por lo tanto, el movimiento es un movimiento de rotación alrededor de un eje longitudinal de la pala de la turbina eólica.

10 Como se ha mencionado anteriormente, los parámetros de pala son ángulos de paso de las palas de la turbina eólica. Dado que se controla el paso de la turbina eólica individualmente, los ángulos de paso de las tres o más palas de la turbina eólica diferirán entre sí. De acuerdo con esta realización, los ángulos de paso individuales de las palas de la turbina eólica se comparan durante la etapa de comparación, y se selecciona la estrategia de parada basándose en las diferencias en los ángulos de paso.

15 En el caso en que los parámetros de pala son ángulos de paso de las palas de la turbina eólica, la etapa de comparar los ángulos de paso puede comprender identificar una primera pala de la turbina eólica, una segunda pala de la turbina eólica y una tercera pala de la turbina eólica, en el que la primera pala de la turbina eólica es la pala de la turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más alejado de una posición de bandera, la tercera pala de la turbina eólica es la pala de la turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más próximo a una posición de
20 bandera, y la segunda pala de la turbina eólica tiene un ángulo de paso intermedio.

De acuerdo con esta realización, la etapa de comparación revela cómo de próximos están los ángulos de paso de cada una de las palas de la turbina eólica a la posición de bandera, así como cuál de las palas de la turbina eólica está más próxima a la posición de bandera, y qué pala de la turbina eólica está más alejada de la posición de
25 bandera. Por lo tanto, en este caso, se selecciona una estrategia de parada que tenga en cuenta las posiciones mutuas de las palas de la turbina eólica, con relación a la posición de bandera.

La etapa de comparar los ángulos de paso puede comprender además la etapa de comparar el ángulo de paso, θ_2 , de la segunda pala de la turbina eólica con un promedio del ángulo de paso, θ_1 , de la primera pala de la turbina eólica y el ángulo de paso, θ_3 , de la tercera pala de la turbina eólica, y en el que la etapa de seleccionar una estrategia de parada comprende seleccionar una primera estrategia de parada en el caso de que θ_2 sea mayor que el promedio de θ_1 y θ_3 , y seleccionar una segunda estrategia de parada en el caso de que θ_2 sea más pequeño que o igual al promedio de θ_1 y θ_3 .
30

De acuerdo con esta realización, el ángulo de paso intermedio, θ_2 , se compara con el promedio del ángulo de paso más grande y el ángulo de paso más pequeño, $(\theta_1+\theta_3)/2$. Si el ángulo de paso intermedio es mayor que este promedio, es decir si $\theta_2 > (\theta_1+\theta_3)/2$, se selecciona una primera estrategia de parada. En este caso el ángulo de paso intermedio está más próximo al ángulo de paso más grande que al ángulo de paso más pequeño, y la estrategia de parada seleccionada tiene esto en cuenta.
35

Por otro lado, si el ángulo de paso intermedio es más pequeño que o igual al promedio, es decir si $\theta_2 \leq (\theta_1+\theta_3)/2$, se selecciona una segunda estrategia de parada. En este caso el ángulo de paso intermedio está más próximo al ángulo de paso más pequeño que al ángulo de paso más grande, y la estrategia de parada seleccionada tiene esto en cuenta.
40

Debería observarse que en el presente contexto se supone que el ángulo de paso de una pala de la turbina eólica se incrementa cuando el ángulo de paso se cambia desde una posición de operación a una posición de bandera. Por lo tanto, en el presente contexto la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera tiene el ángulo de paso más grande, y la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera tiene el ángulo de paso más pequeño.
45

La primera estrategia de parada puede comprender mover la segunda pala de la turbina eólica y la tercera pala de la turbina eólica a una primera velocidad, k_1 , y mover la primera pala de la turbina eólica a una segunda velocidad, k_2 , en las que $k_1 < k_2$. En el presente contexto el término "velocidad" debería interpretarse que significa una velocidad de cambio de paso de la pala de la turbina eólica. Como se ha mencionado anteriormente, la primera estrategia de parada se selecciona cuando el ángulo de paso intermedio está más próximo al ángulo de paso más grande que al ángulo de paso más pequeño. En este caso, se selecciona una estrategia de parada, en la que la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera así como la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio se mueven hacia la posición de bandera a una baja velocidad, mientras que la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera se mueve hacia la posición de bandera a una velocidad más alta. De ese modo se permite que la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera "alcance" a las otras palas de la turbina eólica. Simultáneamente, las otras palas de la turbina eólica se mueven hacia la posición de bandera. De ese modo se asegura que cualquier asimetría en la carga mecánica sobre las palas de la turbina eólica se reduce tan rápidamente como sea posible, sin retrasar el proceso de mover las palas de la turbina eólica a la posición de bandera.
50
55
60
65

Alternativa o adicionalmente, la segunda estrategia de parada puede comprender mover la tercera pala de la turbina eólica a una primera velocidad, k_1 , y mover la primera pala de la turbina eólica y la segunda pala de la turbina eólica a una segunda velocidad, k_2 , en las que $k_1 < k_2$. Como se ha descrito anteriormente, la segunda estrategia de parada se selecciona cuando el ángulo de paso intermedio está más próximo al ángulo de paso más pequeño que al ángulo de paso más grande. En este caso se selecciona una estrategia de parada, en la que la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera se mueve hacia la posición de bandera a una baja velocidad, mientras que la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera a una velocidad más alta. De ese modo se permite que las dos últimas palas de la turbina eólica "alcancen" a la pala de la turbina eólica, que está más próxima a la posición de bandera. Simultáneamente, esta pala de la turbina eólica se mueve hacia la posición de bandera. De ese modo se reduce cualquier asimetría en las cargas mecánicas sobre las palas de la turbina eólica tan rápidamente como sea posible, sin retrasar el proceso de mover las palas de la turbina eólica a la posición de bandera.

El método puede comprender además las etapas de:

- supervisar los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica durante la parada, y
- conmutar desde la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada en el caso de que θ_2 sea más pequeño que o igual al promedio de θ_1 y θ_3 .

De acuerdo con esta realización, en el caso de que se seleccione inicialmente la primera estrategia de parada, se supervisan los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica, y tan pronto como están presentes los criterios para seleccionar la segunda estrategia de parada, se realiza una conmutación desde la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada. En el caso de que la primera y segunda estrategias de parada sean las estrategias de parada descritas anteriormente, esto significa que la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera se mueve a la velocidad baja durante todo el proceso de parada, y la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera se mueve a la velocidad alta durante todo el proceso de parada, o al menos hasta que ha alcanzado el ángulo de paso de la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera. Sin embargo, la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio se mueve inicialmente a la velocidad baja, y posteriormente, cuando la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera se ha movido suficientemente próxima a la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio, la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio se mueve a la velocidad alta durante la parte restante del proceso de parada, o al menos hasta que haya alcanzado el ángulo de paso de la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera. Dicho proceso de parada reduce incluso adicionalmente la asimetría en las cargas mecánicas sobre las palas de la turbina eólica.

El método puede comprender además la etapa de conmutar desde la segunda estrategia de parada de vuelta a la primera estrategia de parada en el caso de que θ_2 exceda el promedio de θ_1 y θ_3 en una cantidad predefinida, o en el caso de que θ_2 se convierta en mayor que el promedio de θ_1 y θ_3 , y haya transcurrido un tiempo predeterminado desde que se realizó la conmutación desde la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada.

De acuerdo con esta realización, se realiza una conmutación desde la segunda estrategia de parada a la primera estrategia de parada si cambian las condiciones. Si θ_2 excede el promedio de θ_1 y θ_3 , están de nuevo presentes los criterios para seleccionar la primera estrategia de parada, y por lo tanto será adecuado conmutar de vuelta a la primera estrategia de parada. Sin embargo, para asegurar que θ_2 ha superado realmente el promedio de θ_1 y θ_3 , y que la detección de esta situación no es un resultado de una medición errónea, una fluctuación, etc., la conmutación no se realiza hasta que θ_2 haya superado el promedio de θ_1 y θ_3 en una cantidad predefinida, o hasta que haya transcurrido un cierto tiempo desde la conmutación de la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada. De ese modo se impide que se realicen conmutaciones repetidas y rápidas entre la primera y la segunda estrategias de parada.

Alternativa o adicionalmente, el método puede comprender además las etapas de:

- supervisar los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica durante la parada, y
- conmutar desde la segunda estrategia de parada a la primera estrategia de parada en el caso de que θ_3 se convierta en mayor que o igual a θ_2 .

De acuerdo con esta realización, se seleccionó inicialmente la segunda estrategia de parada, o se realizó una conmutación desde la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada durante el proceso de parada en la forma descrita anteriormente. En el caso de que las estrategias de parada sean las estrategias de parada descritas anteriormente, esto significa que la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera, así como la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio se mueven a una velocidad más alta que la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo

a la posición de bandera. De ese modo los ángulos de paso de estas dos palas se aproximan al ángulo de paso de la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera. Cuando el ángulo de paso de la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio alcanza el ángulo de paso de la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio se mueve a una velocidad baja, junto con la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, durante la parte restante del proceso de parada. La pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera se mueve aún a la velocidad alta, es decir continúa aproximándose a las otras dos palas de la turbina eólica. Cuando el ángulo de paso de la última pala de la turbina eólica alcanza el ángulo de paso de las otras dos palas de la turbina eólica, la última pala de la turbina eólica se mueve también a la velocidad baja durante la parte restante del proceso de parada.

Como alternativa, el método puede comprender además las etapas de:

- 15 - supervisar los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica durante la parada, y
- conmutar desde la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada en el caso de que θ_1 se convierte en igual a θ_2 .

20 De acuerdo con esta realización, en el caso de que se seleccione inicialmente la primera estrategia de parada, se supervisan los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica. Cuando la primera pala de la turbina eólica "alcanza" a la segunda pala de la turbina eólica, es decir cuando θ_1 se convierte en igual a θ_2 , se realiza una conmutación a la segunda estrategia de parada. En el caso de que la primera y segunda estrategias de parada sean las estrategias de parada descritas anteriormente, esto significa que la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera se mueve a la velocidad baja durante todo el proceso de parada, y la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera se mueve a la velocidad alta durante todo el proceso de parada, o al menos hasta que ha alcanzado el ángulo de paso de la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera.

30 La pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio se mueve inicialmente a la velocidad baja. Cuando la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera alcanza el ángulo de paso de la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio, la velocidad de la pala de la turbina eólica se incrementa a la velocidad alta, y la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio se mueve a la velocidad alta, junto con la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera. Dicho proceso de parada también reduce significativamente la asimetría en las cargas mecánicas sobre la pala de la turbina eólica.

El método puede comprender además las etapas de:

- 40 - supervisar los parámetros de pala de las palas de la turbina eólica durante la parada,
- seleccionar una nueva estrategia de parada de entre el grupo de dos o más estrategias de parada en el caso en que se satisfaga(n) uno o más criterios predefinidos, y
- 45 - continuar el movimiento de las palas de la turbina eólica hacia la posición de bandera de acuerdo con la nueva estrategia de parada.

50 Esto podría realizarse, por ejemplo, en la forma descrita anteriormente. Como alternativa, las estrategias de parada seleccionadas pueden diferir de las estrategias de parada descritas anteriormente y/o los parámetros de pala supervisados pueden no ser los ángulos de paso, sino que en su lugar puede ser otra clase adecuada de parámetros de pala, tal como el momento de flexión de la pala, aceleración de la pala, etc.

55 Los uno o más criterios pueden comprender que el parámetro de pala de una de las palas de la turbina eólica se convierte en igual al parámetro de pala de una de las otras palas de la turbina eólica, es decir una de las palas de la turbina eólica "alcanza" a una de las otras palas de la turbina eólica durante el proceso de parada. Cuando esto sucede, la asimetría de los parámetros de pala probablemente haya cambiado en comparación con la situación inicial en el momento en que se seleccionó la estrategia de parada. Por lo tanto, en este caso, puede ser apropiado reconsiderar la estrategia de parada seleccionada, y posiblemente seleccionar otra estrategia de parada que sea adecuada bajo las nuevas circunstancias.

60 La etapa de seleccionar una estrategia de parada puede comprender seleccionar la estrategia de parada que dé como resultado la asimetría más baja de carga de palas sobre las palas de la turbina eólica mientras se mueven las palas de la turbina eólica hacia la posición de bandera.

65 De acuerdo con un segundo aspecto la invención proporciona una unidad de control para el control de los ángulos de paso de una turbina eólica de paso controlado individualmente, comprendiendo la turbina eólica al menos tres

palas de turbina eólica, siendo capaz la unidad de control de realizar el método de acuerdo con el primer aspecto de la invención. La invención se refiere adicionalmente a una turbina eólica de paso controlado individualmente que comprende al menos tres palas de turbina eólica y una unidad de control de acuerdo con el segundo aspecto de la invención.

5 **Breve descripción de los dibujos**

Se describirá ahora la invención con detalle adicional con referencia a los dibujos adjuntos en los que

10 La Fig. 1 ilustra la asimetría de paso de una turbina eólica,

La Fig. 2 muestra una representación de la máquina de estado de selección de estrategias de parada durante la parada de una turbina eólica de paso controlado individualmente, de acuerdo con una primera realización de la invención,

15 La Fig. 3 es un gráfico que ilustra un primer proceso de parada de acuerdo con una realización de la invención,

La Fig. 4 es un gráfico que ilustra un segundo proceso de parada de acuerdo con una realización de la invención,

20 La Fig. 5 muestra una representación de la máquina de estado de una selección de estrategias de parada durante la parada de una turbina eólica de paso controlado individualmente, de acuerdo con una segunda realización de la invención,

25 La Fig. 6 es un gráfico que ilustra un tercer proceso de parada de acuerdo con una realización de la invención, y

La Fig. 7 es un gráfico que ilustra un cuarto proceso de parada de acuerdo con una realización de la invención.

Descripción detallada de los dibujos

30 La Fig. 1 muestra tres palas de la turbina eólica 1a, 1b y 1c, dispuestas en un sistema de coordenadas rotativo, en el que la pala de la turbina eólica 1a siempre coincide con el eje z. Para cada pala de la turbina eólica 1a, 1b, 1c, el ángulo de paso correspondiente se representa por un vector, θ_A , θ_B , y θ_C . Los vectores apuntan en la misma dirección que la pala de la turbina eólica correspondiente 1a, 1b, 1c, y las magnitudes de los vectores son iguales a los ángulos de paso, es decir $|\theta_x| = \theta_x$. Se muestra un vector de paso agregado, $\theta_\Sigma = \theta_A + \theta_B + \theta_C$.

35 Puede mostrarse que la magnitud al cuadrado del vector agregado viene dada por:

$$|\theta_\Sigma|^2 = \theta_A^2 + \theta_B^2 + \theta_C^2 - \theta_A\theta_B - \theta_A\theta_C - \theta_B\theta_C$$

40 El vector agregado representa una asimetría de paso en el sentido de que su magnitud es igual a cero si todos los ángulos de paso son iguales.

A continuación, considérese la derivada en el tiempo de la segunda magnitud al cuadrado:

45
$$\frac{d}{dt} |\theta_\Sigma|^2 = 2\dot{\theta}_A\dot{\theta}_A + 2\dot{\theta}_B\dot{\theta}_B + 2\dot{\theta}_C\dot{\theta}_C - \dot{\theta}_A\dot{\theta}_B - \dot{\theta}_A\dot{\theta}_C - \dot{\theta}_B\dot{\theta}_C - \dot{\theta}_A\dot{\theta}_C - \dot{\theta}_B\dot{\theta}_C - \dot{\theta}_B\dot{\theta}_C$$

Dado que esta expresión es simétrica en el sentido de que las palas de la turbina eólica 1a, 1b, 1c pueden renombrarse sin afectar al resultado, las palas de la turbina eólica se renombran en lo que sigue de tal manera que θ_1 es el ángulo de paso más bajo, es decir el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera, θ_2 es el ángulo de paso intermedio, y θ_3 es el ángulo de paso más grande, es decir el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera. Por lo tanto, $\theta_3 \geq \theta_2 \geq \theta_1$.

50 Considérese una situación en la que cada una de las palas de la turbina eólica 1a, 1b, 1c puede moverse a dos velocidades positivas, discretas de paso, k_1 o k_2 , en la que $k_2 > k_1$. Si los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica 1a, 1b, 1c son diferentes y necesitan estar alineados, tienen sentido dos estrategias.

55 De acuerdo con una primera estrategia, la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera se mueve hacia la posición de bandera a la velocidad alta, k_2 , mientras las palas de la turbina eólica que tienen el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, y el ángulo de paso intermedio, se mueven hacia la posición de bandera a la velocidad baja, k_1 . Por lo tanto, en este caso:

$$\dot{\theta}_1 = k_2, \dot{\theta}_2 = k_1, \dot{\theta}_3 = k_1$$

En este caso se permite que la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera "alcance" a las otras dos palas de la turbina eólica.

5 De acuerdo con una segunda estrategia, la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera se mueve hacia la posición de bandera a la velocidad baja, k_1 , mientras las palas de la turbina eólica que tienen el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera, y el ángulo de paso intermedio, se mueven hacia la posición de bandera a la velocidad alta, k_2 . Por lo tanto, en este caso:

$$\dot{\theta}_1 = k_2, \dot{\theta}_2 = k_2, \dot{\theta}_3 = k_1$$

10 En este caso las palas de la turbina eólica que tienen el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera y el ángulo de paso intermedio, tienen permitido "alcanzar" a la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera.

15 Para tener la capacidad de seleccionar entre estas dos estrategias, se investiga qué estrategia reduce la magnitud del vector de la asimetría más rápido, es decir qué estrategia da como resultado el valor más bajo de la derivada del tiempo anterior.

Para la primera estrategia, la derivada en el tiempo, Δ_1 , viene dada por:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= 2\theta_1 k_2 + 2\theta_2 k_1 + 2\theta_3 k_1 - k_2 \theta_2 - \theta_1 k_1 - k_2 \theta_3 - \theta_1 k_1 - k_1 \theta_3 - \theta_2 k_1 \\ \Delta_1 &= k_1(\theta_2 + \theta_3 - 2\theta_1) + k_2(2\theta_1 - \theta_2 - \theta_3) \end{aligned}$$

25 De manera similar, para la segunda estrategia, la derivada en el tiempo, Δ_2 , viene dada por:

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= 2\theta_1 k_2 + 2\theta_2 k_2 + 2\theta_3 k_1 - k_2 \theta_2 - \theta_1 k_2 - k_2 \theta_3 - \theta_1 k_1 - k_2 \theta_3 - \theta_2 k_1 \\ \Delta_2 &= k_1(2\theta_3 - \theta_2 - \theta_1) + k_2(\theta_1 + \theta_2 - 2\theta_3) \end{aligned}$$

El criterio para seleccionar la primera estrategia es que $\Delta_1 < \Delta_2$. Esto es verdadero cuando:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &< \Delta_2 \\ k_1(\theta_2 + \theta_3 - 2\theta_1) + k_2(2\theta_1 - \theta_2 - \theta_3) &< k_1(2\theta_3 - \theta_2 - \theta_1) + k_2(\theta_1 + \theta_2 - 2\theta_3) \\ k_1(2\theta_2 - \theta_1 - \theta_3) &< k_2(2\theta_2 - \theta_1 - \theta_3) \end{aligned}$$

40 Dado que $k_2 > k_1 > 0$, esta desigualdad es verdadera cuando la expresión en el paréntesis es mayor que cero, es decir:

$$\begin{aligned} 2\theta_2 - \theta_1 - \theta_3 &> 0 \\ \theta_2 &> (\theta_1 + \theta_3)/2 \end{aligned}$$

45 En consecuencia, la primera estrategia podría seleccionarse si $\theta_2 > (\theta_1 + \theta_3)/2$, es decir, si el ángulo de paso intermedio es mayor que el promedio del ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera y el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera.

50 De manera similar, podría seleccionarse la segunda estrategia si el $\theta_2 \leq (\theta_1 + \theta_3)/2$, es decir si el ángulo de paso intermedio es más pequeño que o igual al promedio del ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera y el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera.

55 La Fig. 2 muestra una representación de la máquina de estado de selección de estrategias de parada durante la parada de una turbina eólica de paso controlado individualmente, de acuerdo con una primera realización de la invención. Se usan las dos estrategias de parada descritas anteriormente con referencia a la Fig. 1.

60 En 2 se recibe un comando de parada, que indica que ha de detenerse la operación de la turbina eólica. Se determinan entonces los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica, y las palas de la turbina eólica se renombran posiblemente en la forma descrita anteriormente con referencia a la Fig. 1, para establecer cuál de las palas de la turbina eólica tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, qué pala de la turbina eólica tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera, y qué pala de la turbina eólica tiene el ángulo de paso intermedio.

Entonces se compara el ángulo de paso intermedio, θ_2 , con el promedio de los otros dos ángulos de paso, $(\theta_1 + \theta_3)/2$.

Si esta comparación revela que $\theta_2 > (\theta_1 + \theta_3)/2$, entonces se selecciona la primera estrategia, en 3. Por otro lado, si la comparación revela que $\theta_2 \leq (\theta_1 + \theta_3)/2$, entonces se selecciona la segunda estrategia, en 4.

Una vez se ha seleccionado la estrategia de parada apropiada, para reducir la asimetría de paso tan rápidamente como sea posible, se supervisan los ángulos de paso de las tres palas de la turbina eólica. Si se seleccionó inicialmente la primera estrategia de parada, en 3, el ángulo de paso intermedio, θ_2 , se compara continuamente con el promedio de los otros dos ángulos de paso, $(\theta_1 + \theta_3)/2$. Tan pronto como se revela que $\theta_2 \leq (\theta_1 + \theta_3)/2$, se realiza una conmutación de estrategia desde la primera estrategia a la segunda estrategia, en 4. Por lo tanto, la velocidad de la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio se incrementa desde k_1 a k_2 .

Si se seleccionó inicialmente la segunda estrategia, en 4, o si se realizó una conmutación desde la primera estrategia a la segunda estrategia, el ángulo de paso intermedio, θ_2 , se compara con el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, θ_3 . Cuando el ángulo de paso intermedio alcanza el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, es decir cuando $\theta_2 = \theta_3$, se realiza una conmutación de estrategia desde la segunda estrategia a la primera estrategia, en 3. Por lo tanto, la velocidad de la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio se disminuye desde k_2 a k_1 , y θ_2 y θ_3 tienen valores idénticos durante la parte restante del proceso de parada.

A continuación de esto, el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera, θ_1 , se compara con el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, θ_3 . Cuando el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera alcanza el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, es decir cuando $\theta_3 = \theta_1$, las tres palas de la turbina eólica tienen ángulos de paso idénticos, y las palas de la turbina eólica se mueven posteriormente juntas hacia la posición de bandera durante la parte restante del proceso de parada, en 5. Por lo tanto, la velocidad de la última pala de la turbina eólica se reduce también desde k_2 a k_1 .

Las Figs. 3 y 4 ilustran dos secuencias de parada diferentes, que conmutan entre la primera estrategia y la segunda estrategia como se ha descrito anteriormente.

En la Figura 3, se muestran los ángulos de paso de las tres palas de la turbina eólica en función del tiempo. El ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, θ_3 , se representa por una línea continua, el ángulo de paso intermedio, θ_2 , se representa por una línea de puntos, y el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera, θ_1 , se representa por una línea de punto y raya.

En el instante 6 se recibe un comando de parada. Una comparación de los ángulos de paso revela que el ángulo de paso intermedio es mayor que el promedio de los otros dos ángulos de paso. Por lo tanto se selecciona la primera estrategia, es decir θ_2 y θ_3 se mueven hacia la posición de bandera a la velocidad baja, k_1 , mientras θ_1 se mueve hacia la posición de bandera a la velocidad alta, k_2 .

Esta estrategia se mantiene hasta que θ_1 se ha movido tan próximo a los otros dos ángulos de paso, que el ángulo de paso intermedio, θ_2 , es igual al promedio de los otros dos ángulos de paso. Esto ocurre en el instante 7. Entonces se realiza una conmutación de estrategia desde la primera estrategia a la segunda estrategia, es decir la velocidad de la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio, θ_2 , se incrementa desde k_1 a k_2 , es decir que esta pala de la turbina eólica se mueve posteriormente hacia la posición de bandera a la misma velocidad que la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera.

Esta estrategia se mantiene hasta que el ángulo de paso intermedio, θ_2 , alcanza el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, θ_3 , es decir hasta que $\theta_2 = \theta_3$. Esto ocurre en el instante 8. A continuación se realiza una conmutación de estrategia desde la segunda estrategia a la primera estrategia, es decir la velocidad de la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio, θ_2 , se reduce de nuevo desde k_2 a k_1 , y θ_2 continúa siendo igual a θ_3 durante la parte restante del proceso de parada.

Finalmente, cuando el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera, θ_1 , alcanza también el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, θ_3 , es decir cuando $\theta_3 = \theta_1$, la velocidad de la última pala de la turbina eólica se reduce también desde k_2 a k_1 . Esto ocurre en el instante 9. En consecuencia, en ese instante de tiempo las tres palas de la turbina eólica se han alineado, y se mueven posteriormente juntas hacia la posición de bandera a la velocidad baja, k_1 .

En la situación mostrada en la Fig. 4, se recibe también un comando de parada en el instante 6. Sin embargo, en este caso el ángulo de paso intermedio es más pequeño que el promedio de los otros dos ángulos de paso. Por lo tanto se selecciona la segunda estrategia, es decir θ_1 y θ_2 se mueven hacia la posición de bandera a la velocidad alta, k_2 , mientras θ_3 se mueve hacia la posición de bandera a la velocidad baja, k_1 .

Cuando el ángulo de paso intermedio, θ_2 , alcanza el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, θ_3 , es decir cuando $\theta_3 = \theta_2$, la velocidad de θ_2 se reduce desde k_2 a k_1 , como se ha descrito anteriormente. Esto ocurre en el instante 8. Además, cuando el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera, θ_1 , alcanza el ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, θ_3 , es decir cuando $\theta_3 = \theta_1$, la velocidad de

θ_1 se reduce también desde k_2 a k_1 , como se ha descrito anteriormente. Esto ocurre en el instante 9.

La Fig. 5 muestra una representación de la máquina de estado de selección de estrategias de parada durante la parada de una turbina eólica de paso controlado individualmente, de acuerdo con una segunda realización de la invención. Se usan las dos estrategias de parada descritas anteriormente con referencia a la Fig. 1.

En 10 se recibe un comando de parada, que indica que ha de detenerse la operación de la turbina eólica. Se determinan entonces los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica, y las palas de la turbina eólica se clasifican de acuerdo con los ángulos de paso. Esto puede incluir renombrar las palas de la turbina eólica en la forma descrita anteriormente con referencia a las Figs. 1 y 2.

Entonces se compara el ángulo de paso intermedio, θ_2 , con el promedio de los otros dos ángulos de paso, $(\theta_1+\theta_3)/2$. Si esta comparación revela que $\theta_2 > (\theta_1+\theta_3)/2$, entonces se selecciona la primera estrategia, en 11. Por otro lado, si la comparación revela que $\theta_2 \leq (\theta_1+\theta_3)/2$, entonces se selecciona la segunda estrategia, en 12.

Una vez se ha seleccionado la estrategia de parada apropiada, para reducir la asimetría de paso tan rápidamente como sea posible, se supervisan los ángulos de paso de las tres palas de la turbina eólica. Si una de las palas de la turbina eólica "alcanza" a una de las otras palas de la turbina eólica, cambiará el orden de las palas de la turbina eólica. Por ejemplo, si la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera "alcanza" a la pala de la turbina eólica intermedia, entonces la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera se convierte en la pala de la turbina eólica intermedia, y viceversa. En este caso la estrategia inicialmente seleccionada puede no ser ya apropiada. Por lo tanto, cuando se detecta que una de las palas de la turbina eólica ha "alcanzado" a otra de las palas de la turbina eólica, y la otra de las palas ha cambiado por lo tanto como se ha descrito anteriormente, el proceso se devuelve a 10, en el que se determinan y se comparan una vez más los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica, y se renombran las palas de la turbina eólica.

Entonces el ángulo de paso intermedio, θ_2 , se compara con el promedio de las otras dos palas de la turbina eólica, $(\theta_1+\theta_3)/2$, y se selecciona una nueva estrategia de parada basándose en esta comparación de la forma descrita anteriormente.

Las Figs. 6 y 7 ilustran dos secuencias de parada diferentes, que conmutan entre la primera estrategia y la segunda estrategia como se ha descrito anteriormente con referencia a la Fig. 5. Las Figs. 6 y 7 son similares a las Figs. 3 y 4.

En la Figura 6, se muestran los ángulos de paso de las tres palas de la turbina eólica en función del tiempo. El ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, θ_3 , se representa por una línea continua, el ángulo de paso intermedio, θ_2 , se representa por una línea de puntos, y el ángulo de paso que está más alejado de la posición de bandera, θ_1 , se representa por una línea de punto y raya.

En el instante 6 se recibe un comando de parada. Una comparación de los ángulos de paso revela que el ángulo de paso intermedio es mayor que el promedio de los otros dos ángulos de paso. Por lo tanto se selecciona la primera estrategia de parada, es decir θ_2 y θ_3 se mueven hacia la posición de bandera a la velocidad baja, k_1 , mientras θ_1 se mueve hacia la posición de bandera a la velocidad alta, k_2 .

Esta estrategia se mantiene hasta que θ_1 ha "alcanzado" a θ_2 , es decir hasta que $\theta_1=\theta_2$, en el instante 13. Entonces se realiza una conmutación de estrategia desde la primera estrategia a la segunda estrategia, es decir la velocidad de la pala de la turbina eólica que tiene el ángulo de paso intermedio, θ_2 , se incrementa desde k_1 a k_2 , es decir esta pala de la turbina eólica se mueve posteriormente hacia la posición de bandera a la misma velocidad que la pala de la turbina eólica que tenía inicialmente el ángulo de paso que estaba más alejado de la posición de bandera, es decir que estas dos palas de la turbina eólica se mueven juntas en el sentido de que sus ángulos de paso permanecen idénticos.

Esta estrategia se mantiene hasta que estos dos ángulos de paso alcanzan al ángulo de paso que está más próximo a la posición de bandera, θ_3 , es decir hasta que $\theta_1=\theta_2=\theta_3$. Esto ocurre en el instante 14. En consecuencia, en ese instante de tiempo las tres palas de la turbina eólica se han alineado, y se mueven posteriormente juntas hacia la posición de bandera a la velocidad baja, k_1 .

La situación mostrada en la Fig. 7 es idéntica a la situación mostrada en la Fig. 4 y por lo tanto no se describirá aquí.

Por lo tanto, las Figs. 6 y 7 ilustran que cuando se recibe un comando de parada, se selecciona una estrategia de parada basándose en la asimetría de los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica. La estrategia seleccionada se mantiene hasta que una de las palas de la turbina eólica "alcanza" a una de las otras palas de la turbina eólica, es decir hasta que los ángulos de paso de dos de las palas de la turbina eólica han quedado alineados. Cuando esto sucede, se reconsidera la elección de estrategia de parada, y se realiza una conmutación de estrategia de control si es apropiado.

REIVINDICACIONES

1. Un método para el control de una turbina eólica de paso controlado individualmente durante la parada, comprendiendo dicha turbina eólica al menos tres palas de turbina eólica, comprendiendo el método las etapas de:

- 5 a) recibir un comando de parada para detener la operación de la turbina eólica,
- b) determinar un ángulo de paso de cada una de las palas de la turbina eólica,
- 10 c) comparar los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica, e identificar una primera pala de la turbina eólica, una segunda pala de la turbina eólica y una tercera pala de la turbina eólica, en el que la primera pala de la turbina eólica es la pala de la turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más alejado de una posición de bandera, la tercera pala de la turbina eólica es la pala de la turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más próximo a una posición de bandera, y la segunda pala de la turbina eólica tiene un ángulo de paso intermedio,
- 15 d) seleccionar una estrategia de parada para la turbina eólica de entre un grupo de dos o más estrategias de parada predefinidas, basándose en la etapa de comparación,
- 20 e) mover las palas de la turbina eólica hacia una posición de bandera de acuerdo con la estrategia de parada seleccionada,
- f) supervisar los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica durante la parada,
- 25 g) seleccionar una nueva estrategia de parada de entre el grupo de dos o más estrategias de parada en el caso de que se satisfagan uno o más criterios predefinidos,
- h) continuar el movimiento de las palas de la turbina eólica hacia la posición de bandera de acuerdo con la nueva estrategia de parada, y

30 caracterizado por que la etapa de comparar los ángulos de paso comprende además la etapa de comparar el ángulo de paso, θ_2 , de la segunda pala de la turbina eólica con un promedio del ángulo de paso, θ_1 , de la primera pala de la turbina eólica y el ángulo de paso, θ_3 , de la tercera pala de la turbina eólica, y en el que la etapa de seleccionar una estrategia de parada comprende seleccionar una primera estrategia de parada en el caso de que θ_2 sea mayor que el promedio de θ_1 y θ_3 , y seleccionar una segunda estrategia de parada en el caso de que θ_2 sea más pequeño que o igual al promedio de θ_1 y θ_3 .

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que una primera estrategia de parada comprende mover la segunda pala de la turbina eólica y la tercera pala de la turbina eólica a una primera velocidad, k_1 , y mover la primera pala de la turbina eólica a una segunda velocidad, k_2 , en las que $k_1 < k_2$.

3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que una segunda estrategia de parada comprende mover la tercera pala de la turbina eólica a una primera velocidad, k_1 , y mover la primera pala de la turbina eólica y la segunda pala de la turbina eólica a una segunda velocidad, k_2 , en las que $k_1 < k_2$.

4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además las etapas de:

- supervisar los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica durante la parada, y
- 50 - conmutar desde la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada en el caso de que θ_2 sea más pequeño que o igual al promedio de θ_1 y θ_3 .

5. Un método de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende además la etapa de conmutar desde la segunda estrategia de parada de vuelta a la primera estrategia de parada en el caso de que θ_2 exceda el promedio de θ_1 y θ_3 en una cantidad predefinida, o en el caso de que θ_2 se convierta en mayor que el promedio de θ_1 y θ_3 , y haya transcurrido un tiempo predeterminado desde que se realizó la conmutación desde la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada.

6. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 4, que comprende además las etapas de:

- 60 - supervisar los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica durante la parada, y
- conmutar desde la segunda estrategia de parada a la primera estrategia de parada en el caso de que θ_3 se convierta en igual a θ_2 .

65

7. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, que comprende además las etapas de:

- supervisar los ángulos de paso de las palas de la turbina eólica durante la parada, y

5 - conmutar desde la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada en el caso de que θ_1 se convierte en igual a θ_2 .

8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que uno o más criterios comprenden que el ángulo de paso de una de las palas de la turbina eólica se convierte en igual al parámetro de pala de una de las otras palas de la turbina eólica.

9. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de seleccionar una estrategia de parada comprende seleccionar la estrategia de parada que dé como resultado la asimetría más baja de carga de palas sobre las palas de la turbina eólica mientras se mueven las palas de la turbina eólica hacia la posición de bandera.

10. Una unidad de control para el control de los ángulos de paso de una turbina eólica de paso controlado individualmente, comprendiendo la turbina eólica al menos tres palas de turbina eólica, configurada la unidad de control para realizar el método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

11. Una turbina eólica de paso controlado individualmente que comprende al menos tres palas de turbina eólica y una unidad de control de acuerdo con la reivindicación 10.

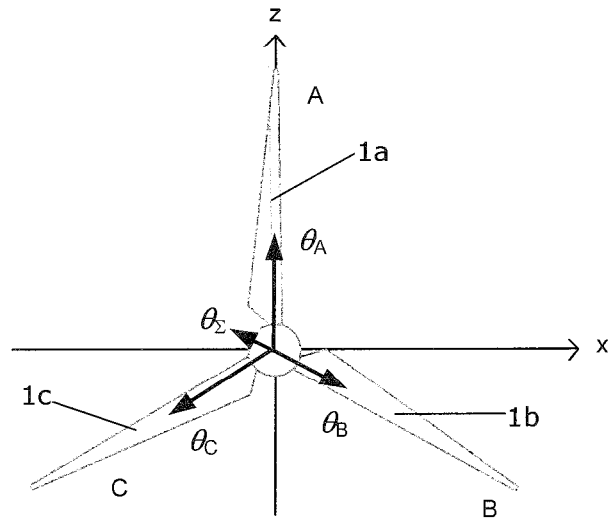


Fig. 1

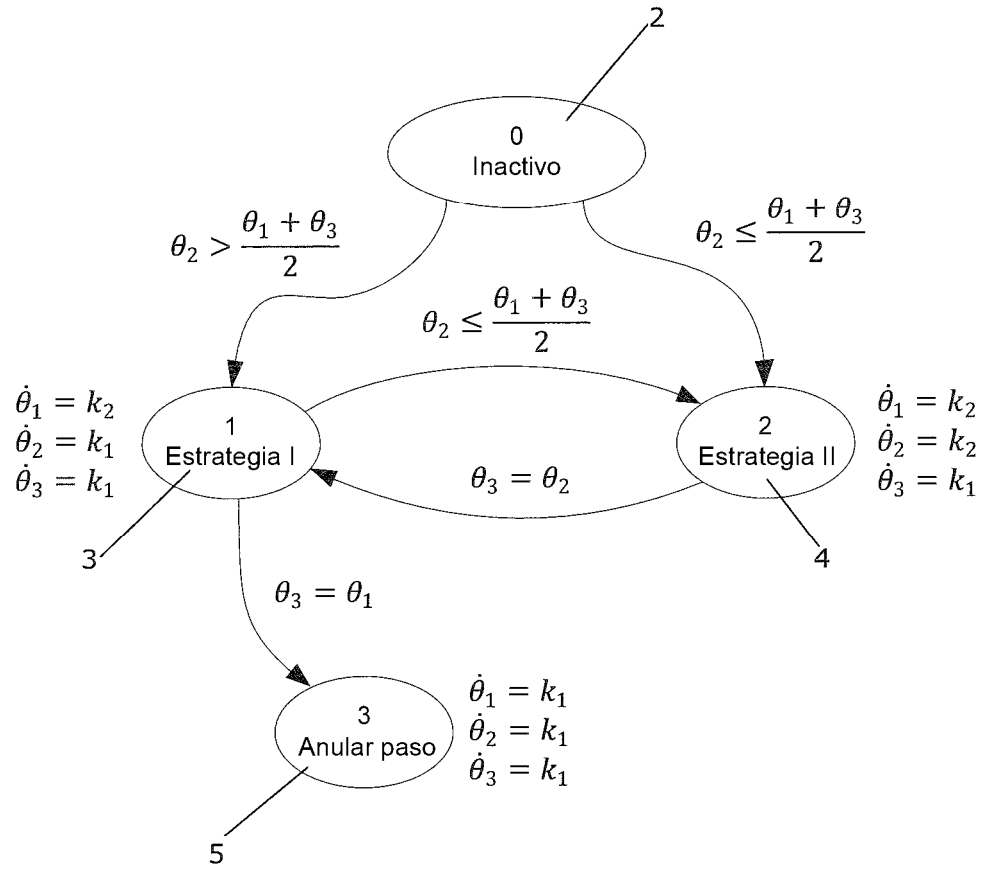


Fig. 2

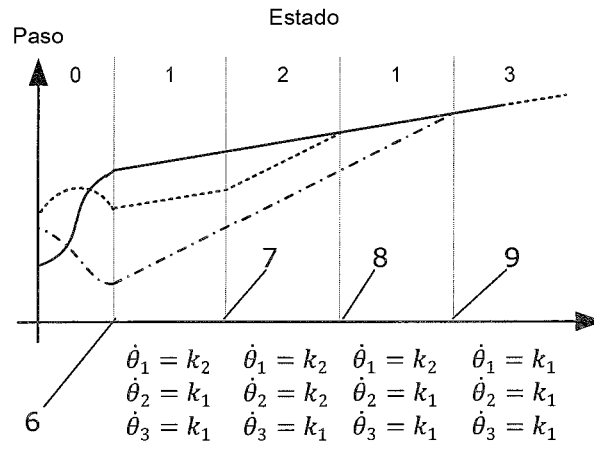


Fig. 3

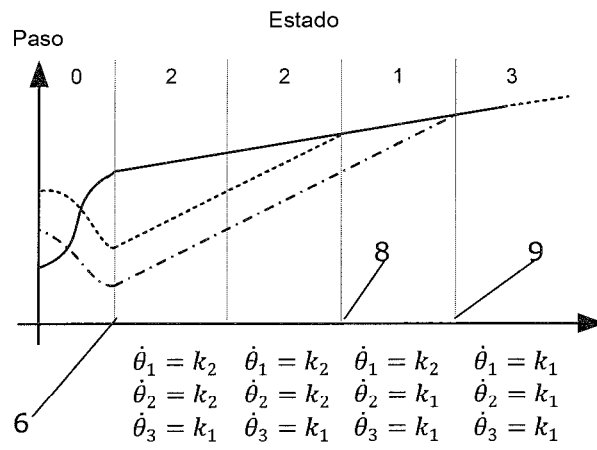


Fig. 4

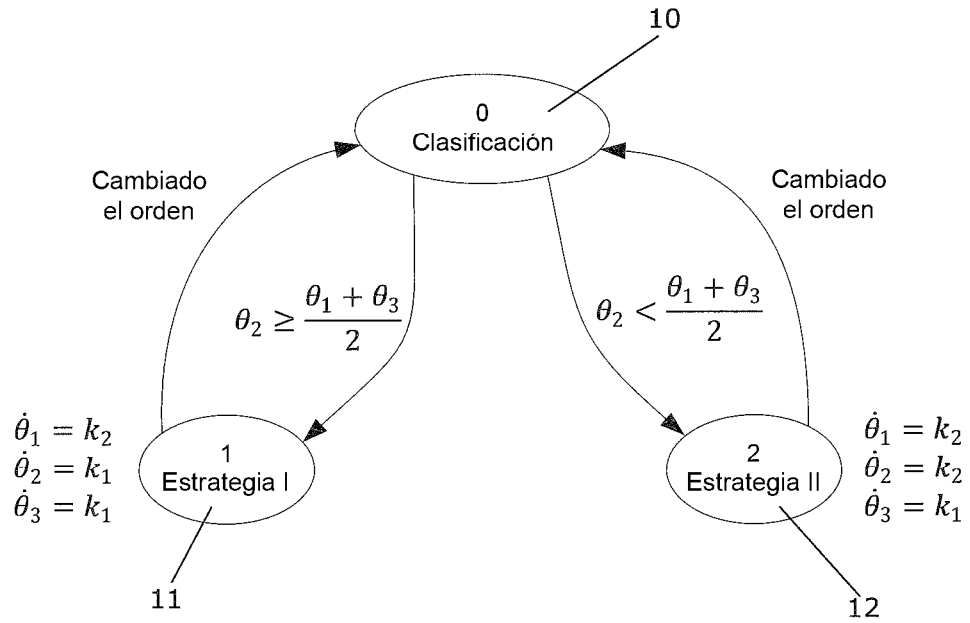


Fig. 5

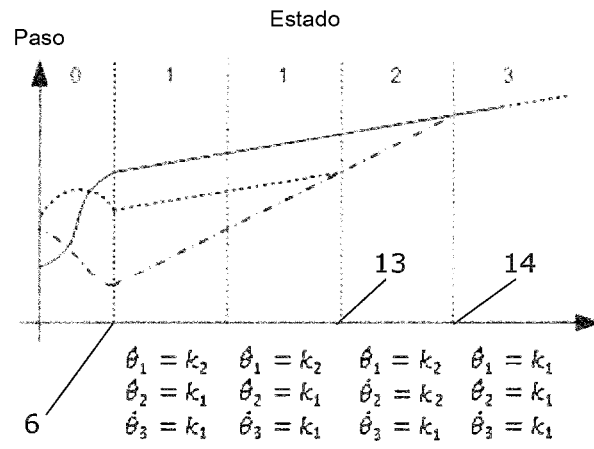


Fig. 6

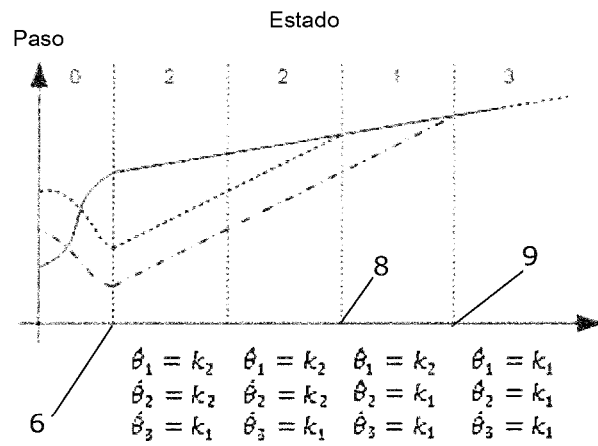


Fig. 7