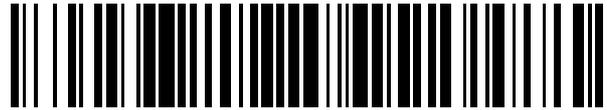


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 623 880**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.07.2004 PCT/DK2004/000512**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.01.2006 WO06007838**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2004 E 04739009 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017 EP 1771657**

54 Título: **Método y sistema de control para el control de una pala de turbina eólica durante el proceso de parada del rotor**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.07.2017

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
5, Smed Sorensens Vej 5
6950 Ringkobing , DK**

72 Inventor/es:

**JEPPESEN, OLE, MØLGAARD;
BENGTSON, JOHN y
HANSEN, TORBEN, MØLLER**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 623 880 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 sistema de control para el control de una pala de turbina eólica durante el proceso de parada del rotor

5 Antecedentes de la invención

La invención se refiere a un método para el control de al menos una pala de turbina eólica durante el proceso de parada del rotor en un sistema de turbina eólica, sistema de control, turbina eólica y uso de los mismos.

10 Descripción de la técnica relacionada

El proceso de parada puede iniciarse para evitar situaciones de sobrecarga para una turbina eólica, por ejemplo, si el generador eléctrico de la turbina eólica se desconecta súbitamente de la red eléctrica.

15 Previamente, las palas de turbina eólica de una turbina eólica se han controlado durante un proceso de parada mediante el uso de valores preestablecidos para la velocidad de cambio de paso hasta que el paso de las palas está completamente contra el viento.

20 Los sistemas de control de paso comprenden principalmente componentes mecánicos e hidráulicos tales como accionadores hidráulicos para girar las palas de la turbina eólica hacia o contra el viento alrededor de su eje longitudinal.

25 La solicitud de patente europea N.º EP 0 942 168 A1 divulga un método para el control de una pala de turbina eólica durante el proceso de parada del rotor en un sistema de turbina eólica, en el que se controla la velocidad de cambio de paso de la pala cuando se mueve hacia una posición de estabilidad donde no se proporciona aceleración al rotor en respuesta a una realimentación del sistema.

30 Un problema con la técnica anterior es que los valores para la velocidad de cambio de paso han de ser escogidos conservadoramente para asegurar que cualquier parte de la turbina eólica y especialmente las palas no experimentan una situación de sobrecarga por el control durante el proceso de parada. Sin embargo, si el proceso de parada es demasiado lento los medios de generador y engranaje de la turbina eólica pueden sufrir daños.

35 Un problema relacionado es que la turbina eólica y especialmente las palas han de dimensionarse bastante robustas para sobrevivir a cualquier esfuerzo durante el proceso de parada en el que el proceso se prolongue por la baja velocidad de cambio de paso.

Un problema adicional es el hecho de que el rotor pueda quedar fuera de control, es decir, acelerar a velocidades fatales debido a la baja velocidad de cambio de paso.

40 Un objeto de la invención es establecer una técnica sin las desventajas anteriormente mencionadas. Especialmente, es un objeto establecer soluciones que sean óptimas en conexión con el proceso de parada del rotor de turbina eólica y especialmente rotores de las grandes turbinas eólicas modernas sin provocar daños a las turbinas eólicas.

La invención

45 La invención se refiere a un método para el control de al menos una pala de turbina eólica durante el proceso de parada del rotor en un sistema de turbina eólica, por ejemplo durante situaciones extremas tales como la desconexión de una red eléctrica o fuertes vientos, en donde dicho método optimiza la velocidad de control de las palas de dichas palas al menos hacia una posición de no aplicación de fuerza de aceleración f_{ac} al rotor en respuesta a uno o más valores de realimentación del sistema y/o a el entorno del sistema.

50 Los ángulos de paso de dicha al menos una pala de turbina eólica se controlan en relación con una curva cíclica o una no lineal similar durante cada giro del rotor por ejemplo en relación con la velocidad del viento en diferentes secciones del área barrida. De ese modo, la turbina eólica puede protegerse contra daños debido a que surjan fuerzas fatales debidas a fuerzas de viento asimétricas sobre el área barrida, desequilibrios en el rotor y/o los sistemas de control del rotor.

60 Debería entenderse que el ángulo de paso se controla en relación con valores de realimentación para manejar situaciones no lineales durante cada giro del rotor y por ello sigue una curva no lineal pero no se controla a lo largo de una curva como tal.

65 Por ello se establece un método sin las desventajas anteriormente mencionadas de la técnica anterior. Especialmente, es ventajoso que el método permita al rotor de la turbina eólica detenerse óptima y activamente en respuesta a valores de realimentación de la turbina eólica y/o del entorno de la turbina eólica. El control activo de las palas de la turbina eólica permite a la turbina eólica detenerse rápidamente sin exponer a la turbina eólica a fuerzas excesivas, es decir una optimización entre tiempo y fuerzas en la parada del rotor.

El método es particularmente ventajoso en conexión con las largas y pesadas palas de turbina eólica de las modernas turbinas eólicas en las que las posibles fuerzas excesivas son ciertamente significativas.

5 En consecuencia, el método permite que la turbina eólica que incluye el sistema del rotor se dimensione menos robusta de lo normal dado que la turbina eólica no se someterá a fuerzas considerables y potencialmente peligrosas durante el proceso óptimo y veloz de parada.

10 En un aspecto de la invención, dicho control incluye la regulación del ángulo de paso de una o más palas de turbina eólica con control de paso o pérdida activa a partir del valor en el inicio del proceso de parada hasta un valor de dicha posición de no aceleración por ejemplo a sustancialmente 90 grados. Optimizar el control de paso de las palas en el periodo desde el inicio del proceso de parada hasta que se establece la posición de palas de no aceleración, es especialmente ventajoso dado que las fuerzas de la pala en este periodo son potencialmente dañinas para la turbina eólica si no se mantienen bajo control rápidamente, por ejemplo debido al incremento de la velocidad del rotor durante el periodo. La velocidad del rotor se contiene y está de nuevo bajo control cuando se alcanza la
15 posición de no aceleración.

20 En un aspecto adicional de la invención, la regulación del ángulo de oscilación de un mecanismo de oscilación del rotor se usa en la obtención de la no aceleración de dicha al menos una pala de turbina eólica. El mecanismo de oscilación permite a la pala cambios de la carga durante cada giro de las palas de la turbina eólica en respuesta a velocidades del viento asimétricas sobre el área de barrido con el uso de un cojinete en el buje del rotor. El ángulo de oscilación es un dato de medición importante durante el proceso de parada dado que la falta de control en el mecanismo de oscilación puede dar como resultado la aplicación de fuerzas involuntarias a las palas, impacto entre las palas y la torre así como sobrecarga del mecanismo de oscilación.

25 En un aspecto adicional de la invención, dicho control incluye una configuración en bucle cerrado con dichos valores de realimentación establecidos mediante medición de datos mecánicos o físicos del sistema y/o el entorno del sistema tales como la medición de los datos de la posición del paso, carga de la pala, ángulo de oscilación, azimut, fricción de los cojinetes de la pala, velocidad del viento, dirección del viento, cizalladura del viento y/o densidad del viento. De ese modo, es posible cambiar rápidamente el paso de las palas de la turbina eólica a una posición de no
30 aceleración y por ello reducir una sobrevelocidad del rotor y sin sobrecarga de la turbina eólica y la estructura de palas. En consecuencia, los valores de realimentación aseguran que se evite una rotura fatal de la turbina eólica dado que el componente crítico de la turbina eólica y el entorno se supervisan y realimentan al sistema de control de palas.

35 La frase "datos mecánicos o físicos" debería entenderse como la medición de datos que no se refieren a la producción de potencia eléctrica generada por el sistema de turbina eólica u otras mediciones en relación a la generación de potencia durante períodos normales de generación de potencia.

40 En un aspecto también adicional de la invención, la velocidad del cambio de paso se controla en relación con una curva no lineal con una pendiente inicial más alta. De ese modo, es posible superar cualquier inercia y cambiar el paso de la pala rápidamente contra el viento. El cambio de paso puede realizarse más próximo a los límites físicos de la turbina eólica y especialmente del sistema de rotor dado que se miden, realimentan y usan los datos necesarios en el cambio de paso continuo de las palas contra el viento. Adicionalmente, la velocidad puede limitarse a un valor bajo cuando los valores de realimentación indican que
45

50 En un aspecto de la invención, el control de la velocidad de cambio de paso comprende un transitorio inicial elevado desde 0 a cerca de 15 grados/segundo en los primeros pocos segundos, por ejemplo, en los primeros cinco segundos tal como entre el primer y el tercer segundo. De ese modo, es una realización ventajosa de la invención conseguida y especialmente en conexión con las palas de turbina eólica modernas de una longitud más allá de 30 metros, por ejemplo palas de 39 o 44 metros y con un peso de al menos 5 toneladas.

55 En otro aspecto de la invención, dichos uno o más valores de realimentación dan como resultado valores de control para el control de dicha al menos una pala de turbina eólica dentro de valores límite de control. Por ello, puede cambiarse el paso de las palas de la turbina eólica con una velocidad inicial alta y una velocidad posterior más baja en respuesta a los valores de realimentación y por ello estableciendo una curva de velocidad no lineal.

60 En otro aspecto de la invención, los ángulos de paso de dicha al menos una pala de turbina eólica se controlan individualmente durante cada giro del rotor para obtener una fuerza sustancialmente común sobre el rotor. Por ello, el rotor puede protegerse contra fuerzas asimétricas y potencialmente fatales durante cada giro en el proceso de parada.

65 La invención se refiere adicionalmente a un sistema de control para el control de al menos una pala de turbina eólica durante el proceso de parada del rotor en un sistema de turbina eólica, por ejemplo durante situaciones extremas tal como desconexión de una red eléctrica o fuertes vientos, en el que el sistema comprende

medios sensores para medir uno o más valores del sistema y/o el entorno del sistema,

medios de cálculo para establecer uno o más valores de realimentación de dichos valores medidos, y

5 medios de control para el control de dicha al menos una pala de turbina eólica en el que dichos medios optimizan la velocidad de control de la pala de dichas palas al menos hacia una posición de no fuerza de aceleración f_{ac} aplicada al rotor en respuesta a dichos uno o más valores de realimentación.

10 El sistema accionador del cambio de paso controla los ángulos de paso de dicha al menos una pala de turbina eólica con relación a una curva cíclica o no lineal durante cada giro del rotor, por ejemplo con relación a la velocidad del viento en diferentes secciones del área barrida.

15 Por ello se establece un sistema de control sin las desventajas anteriormente mencionadas de la técnica anterior. Especialmente, es ventajoso que el sistema de control permita que la turbina eólica sea activamente detenida en respuesta a valores de realimentación. El control activo de las palas de la turbina eólica permite a la turbina eólica ser detenida rápidamente sin exponer la turbina eólica a fuerzas excesivas, es decir una optimización entre tiempo y fuerzas durante el proceso de parada.

20 El sistema de control es particularmente ventajoso en conexión con las palas de turbina eólica largas y significativamente pesadas de las turbinas eólicas modernas. Adicionalmente, las turbinas eólicas modernas y especialmente las palas de la turbina eólica pueden diseñarse sin el sobredimensionamiento estándar para sobrevivir a situaciones extremas dado que el sistema de control puede detener las turbinas eólicas antes de que se enfrenten a fuerzas excesivas.

25 En aspectos de la invención, dichos medios de control comprenden medios y algoritmos tales como sistemas de accionador del paso para el control del paso desde el valor inicial del proceso de parada a un valor de dicha posición de no aceleración, por ejemplo de 90 grados de dicha al menos una pala de turbina eólica tal como una o más palas de turbina eólica con control de paso o pérdida activa y/o un mecanismo de oscilación que se usa en la obtención de la no aceleración de dicha al menos una pala de turbina eólica.

30 En otro aspecto de la invención, dichos medios sensores incluyen sensores de posición de paso, sensores de carga de pala, sensores de azimut, sensores de viento y/o sensores de ángulo de oscilación para la medición de datos mecánicos o físicos del sistema de turbina eólica y/o el entorno del sistema. Por ello, es una realización ventajosa de la invención conseguida mediante el establecimiento de los valores relevantes y necesarios de la turbina eólica y entornos a ser usados en los algoritmos como valores de realimentación durante el proceso de parada.

35 En un aspecto adicional de la invención, dicho sistema incluye una configuración en bucle cerrado para establecer dichos uno o más valores de realimentación. Por ello, es una realización ventajosa conseguida de la invención.

40 En otro aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden medios para el control de la velocidad de cambio de paso con relación a una curva no lineal con una pendiente inicial más alta. Por ello es una realización ventajosa conseguida de la invención.

45 En un aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden medios para el control de la velocidad de cambio de paso con un transitorio inicial alto desde 0 a cerca de 15 grados/segundo en los primeros pocos segundos, por ejemplo en los primeros cinco segundos tal como entre el primer y el tercer segundo. Por ello, es una realización ventajosa conseguida de la invención.

En un aspecto de la invención, dicho sistema controla dicha al menos una pala de turbina eólica dentro de valores límite de control. Por ello, es una realización ventajosa conseguida de la invención.

50 En un aspecto adicional de la invención, dichos medios de cálculo incluyen un microprocesador y medios de almacenamiento de ordenador por ejemplo para algoritmos de cambio de paso y valores preestablecidos de dichos valores límite de control. El uso de los medios de cálculo en los medios de control y en combinación con sistemas de accionador del paso que reaccionan rápidamente permite a las palas de la turbina eólica girarse contra el viento sin ser dañadas durante el giro.

55 La invención también se refiere a una turbina eólica con al menos unas palas de turbina eólica con control de paso o pérdida activa en el rotor y un sistema de control para el control de un sistema accionador del paso y del ángulo de paso de dicha al menos una turbina eólica en respuesta a uno o más valores de realimentación de la turbina eólica y/o del entorno de la turbina eólica durante un proceso de parada.

60 En aspectos de la invención, dicha al menos una pala de turbina eólica es parte de una turbina eólica con dos o tres palas y dicho sistema accionador del paso incluye motores eléctricos, por ejemplo motores paso a paso eléctricos que controlan el ángulo de paso de dicha al menos una pala de turbina eólica. El uso de motores eléctricos permite la creación de sistemas accionadores del paso precisos y que reaccionan rápidamente lo que es ventajoso en
65 conexión con la presente invención.

En otros aspectos de la invención, dicha turbina eólica comprende un mecanismo de oscilación del rotor y dicho sistema accionador del paso controla los ángulos de paso de dicha al menos una pala de turbina eólica individualmente durante cada giro del rotor para obtener una fuerza sustancialmente común sobre el rotor.

5 Figuras

La invención se describirá en lo que sigue con referencia a las figuras en las que

- 10 la fig. 1 ilustra una gran turbina eólica moderna que incluye tres palas de turbina eólica en el rotor de la turbina eólica,
- la fig. 2 ilustra un ejemplo de la distribución de fuerzas del viento a las que se enfrenta el rotor de la turbina eólica durante el giro,
- 15 la fig. 3 ilustra esquemáticamente la funcionalidad de un sistema de cambio de paso en una turbina eólica con el paso controlado,
- las figs. 4 y 5 ilustran la funcionalidad y velocidad de cambio de paso de un sistema de control bien conocido para el control de las palas de turbina eólica,
- 20 la fig. 6 ilustra la estrategia de control del ángulo de paso de un sistema de control para el control de las palas de turbina eólica,
- las figs. 7 y 8 ilustran la funcionalidad y velocidad de cambio de paso de un sistema de control para el control de las palas de turbina eólica de acuerdo con la invención,
- 25 la fig. 9 ilustra una estrategia de control del ángulo de paso de un sistema de control tal como se ha ilustrado en la fig. 7,
- 30 la fig. 10 ilustra esquemáticamente una realización preferida del sistema de control para el control de las palas de turbina eólica durante un proceso de parada.

Descripción detallada

35 La fig. 1 ilustra una turbina eólica 1 moderna con una torre 2 y una góndola 3 de turbina eólica situada en la parte superior de la torre. Las palas 5 del rotor de la turbina eólica se conectan a la góndola a través de un árbol de baja velocidad que se extiende fuera del frente de la góndola.

40 Como se ilustra en la figura, el viento por encima de un cierto nivel activará el rotor y le permitirá girar en una dirección perpendicular al viento. El movimiento de giro se convierte en energía eléctrica que se suministra normalmente a la red de transmisión tal como es conocido por los expertos en la materia dentro del área.

45 La fig. 2 ilustra la distribución de las fuerzas del viento a las que se enfrenta el gran rotor 6, por ejemplo fuertes fuerzas del viento en la parte superior del rotor (por ejemplo 10 metros por segundo) y fuerzas decrecientes del viento (por ejemplo desde 8 a 2 metros por segundo) hacia la parte inferior del rotor. La distribución de fuerzas del viento enfrentadas por el rotor puede dar como resultado un momento muy fuerte sobre la turbina eólica por el que las fuerzas del viento tratan literalmente de desprender la góndola de la torre o la cimentación. Las palas de la turbina eólica se controlan individualmente para nivelar la distribución de las fuerzas del viento, es decir, con el paso menos contra el viento en la parte superior que en la parte inferior del movimiento giratorio realizado por el rotor que incluye las palas. Esta técnica se denomina paso cíclico de las palas de turbina eólica, es decir un cambio cíclico del ángulo de paso durante una rotación completa de una pala.

55 Las fuerzas de viento asimétricas pueden surgir o incrementarse por cizalladura del viento o estelas de viento desde otras turbinas eólicas en un parque eólico o por condiciones meteorológicas o geográficas.

La fig. 3 ilustra esquemáticamente la funcionalidad del sistema de paso en una turbina eólica con el paso controlado. La turbina se ilustra solamente con una pala 5 de turbina eólica. La pala se ilustra en dos posiciones con relación a la dirección del viento; una posición de trabajo "a" y una posición de no aceleración o no energía "b", respectivamente, y (no mostrada) una posición de aparcamiento. La pala está en la posición b con el paso cambiado o girada contra el viento alrededor de su eje longitudinal en un grado tal que una fuerza de aceleración f_{ac} es cero, es decir una posición de no aceleración para el rotor de la turbina eólica. La posición a ilustra la pala 5 de la turbina eólica en cualquier posición de trabajo normal en la que la pala ha cambiado el paso o girado hacia el viento mediante lo que el viento establece fuerzas de empuje sobre la pala haciendo que el rotor de la turbina eólica y el árbol giren. El ángulo Φ es el ángulo desde las posiciones a hasta la b a la posición de aparcamiento y por ello el ángulo desde una posición de trabajo dada a través de la posición de no aceleración a la posición de aparcamiento, es decir el ángulo al que debe cambiarse la pala de la turbina eólica durante un proceso de parada tal como una

parada de emergencia de una turbina eólica para protegerla mediante la eliminación de fuerzas de la pala (y por ello del resto de la turbina eólica).

5 El viento afecta al perfil de la pala de la pala de turbina eólica con una fuerza dirigida ortogonalmente F_{emp} y una fuerza dirigida en paralelo F_{arr} sobre el perfil de la pala. Hay un excedente de fuerza y la pala de la turbina eólica acelerará si la suma de los componentes del vector apunta hacia adelante. Y desacelerará si la suma de los componentes del vector apunta hacia atrás.

10 Las figs. 4 y 5 ilustran la funcionalidad de un sistema de control previo para el control de las palas de turbina eólica.

10 La fig. 4 ilustra esquemáticamente cómo un controlador 7 controla el modelo flexible 8 que representa una pala 5 de turbina eólica con el paso controlado del rotor 6 en una turbina eólica 1 durante el proceso de parada. El paso continuamente variable puede operar con un ángulo Φ entre 0 y 90 grados en el que la posición de aparcamiento representa la pala de la turbina eólica estando sustancialmente contra el viento.

15 Desde la posición de operación normal a la posición de aparcamiento es el ángulo Φ al que debe girarse la pala de turbina eólica para detener el rotor en su giro. La velocidad angular define el tiempo de cambio de paso desde una posición de operación a una posición de aparcamiento de la pala de turbina eólica.

20 El cambio de paso de palas del sistema de turbina eólica se lleva a cabo normalmente mediante un sistema hidráulico con tanque y bombas colocados en la góndola, mientras que se colocan servoválvulas y cilindros en el buje. Los cilindros se proveen con aceite presurizado a través del árbol de baja velocidad hueco y una entrada giratoria de aceite. El control del sistema hidráulico se establece normalmente mediante un sistema de relés eléctricos.

25 La fig. 5 ilustra un ejemplo de una curva de relación de la fuerza aplicada para conseguir una velocidad de cambio de paso angular a lo largo del tiempo en conexión con el controlador de la fig. 4, es decir una curva sobre la aceleración del sistema.

30 La curva comprende un primer y un segundo nivel de fuerza aplicada a la pala de la turbina eólica en la que el primer nivel es más alto que el segundo para iniciar el cambio de paso de la pala y dar como resultado una velocidad de cambio de paso angular sustancialmente lineal o constante desde una posición de operación a una posición de no energía o aparcamiento. Los niveles se eligen bastante conservadores con un margen significativo para cualquier nivel que pueda producir daños a la pala de la turbina eólica o a otros componentes de la turbina eólica.

35 Los o/s sobre la figura deberían entenderse como °/s, es decir grados por segundo.

40 La fig. 6 ilustra la estrategia de control del ángulo de paso de un sistema de control para el control de las palas de turbina eólica en un rotor de turbina eólica como el ilustrado en la fig. 4. Cada una de las tres curvas ilustra el comportamiento de una pala de turbina eólica durante un período normal y de parada del rotor en el que el proceso de parada se inicia cerca de 360 grados, es decir, un giro del rotor después del inicio de la curva y cerca de un giro y medio del rotor antes de que se alcance un ángulo de paso de 90 grados.

45 La estrategia comprende el cambio de paso en relación a la velocidad del viento sobre el área barrida mediante lo que el ángulo de paso se cambia cíclicamente en cada giro del rotor, es decir las palas barren hacia y contra el viento durante un giro. Cuando se inicia el proceso de parada del rotor se cambia el paso de las palas como se ha ilustrado en las figs. 4 y 5, es decir con una velocidad de cambio de paso lineal a lo largo del tiempo forzando a las palas a seguir las curvas ilustradas en la fig. 6.

50 Las figs. 7 y 8 ilustran la funcionalidad y velocidad de cambio de paso de un sistema de control para el control de las palas de turbina eólica de acuerdo con la invención.

55 La fig. 7 ilustra esquemáticamente cómo el controlador 7 controla el modelo flexible 8 que representa una pala 5 de turbina eólica con el paso controlado del rotor 6 en una turbina eólica 1 durante el proceso de parada. El controlador 7 optimiza la velocidad de cambio de paso de las palas de turbina eólica durante el proceso de parada en respuesta a uno o más valores de realimentación desde los medios de realimentación 9. Los valores de realimentación se establecen por los sensores en el sistema de la turbina eólica 1 y/o el entorno del sistema de la turbina eólica 1. Los sensores del entorno pueden detectar o supervisar la velocidad del viento, dirección del viento, cizalladura del viento y/o densidad del viento así como otros valores relevantes del entorno.

60 La fig. 8 ilustra un ejemplo de una curva de relación de la fuerza aplicada para conseguir una velocidad de cambio de paso angular a lo largo del tiempo de la presente invención, es decir una curva sobre la aceleración del sistema.

65 La curva incluye una aceleración de transitorio elevado inicial desde 0 a cerca de 15 grados/segundo en los primeros pocos segundos, por ejemplo en los primeros cinco segundos tal como entre el primer y el tercer segundo. La curva forma una situación estable después de la condición transitoria inicial en la que no se alcanza una posición de no

aceleración. Por ello, se asegura que la velocidad de cambio de paso angular tiene un alto valor inicial y un valor sucesivo más bajo y por ello forma una curva de velocidad no lineal.

5 La turbina eólica puede detenerse en una situación de emergencia (por ejemplo, pérdida de la carga de la compañía sobre el generador eléctrico en el que es inminente una sobre-aceleración del rotor fatal o en situaciones de fuerte viento) mediante el cambio rápidamente del paso de las palas de la turbina eólica a una "posición de estabilidad dinámica" en la que las fuerzas de aceleración de las palas F_{ac} es cero (la posición de no aceleración). Las palas pueden llevarse posteriormente a una parada completa a ritmo más lento. El ángulo de paso necesario para la obtención de la estabilidad dinámica depende de las diferentes velocidades del viento pero es típicamente cerca de 10-15°. Las palas de la turbina eólica deberían cambiar el paso individualmente para superar cualquier desequilibrio del rotor, por ejemplo una pala con un sistema de cambio de paso que reaccione más despacio que otra pala o palas. El enfoque correcto en esta situación puede ser, por ejemplo, ralentizar los otros sistemas de cambio de paso de palas para evitar cualquier daño estructural a la turbina eólica debido a un desequilibrio en el rotor. El proceso de detención de la turbina eólica puede continuar posteriormente después de que se consiga el equilibrio necesario en el rotor.

El o/s en la figura debería entenderse como °/s, es decir grados por segundo.

20 La fig. 9 ilustra una estrategia de control del ángulo de paso preferida en un sistema de control tal como el ilustrado en la fig. 7.

Cada una de las tres curvas ilustra el comportamiento de una pala de turbina eólica durante un período normal y uno de parada del rotor en el que el proceso de parada se inicia cerca de 360 grados, es decir un giro del rotor después del inicio de la curva y cerca de un giro y medio del rotor antes de que se alcance un ángulo de paso de 90 grados.

25 La estrategia comprende el cambio de paso en relación a la velocidad del viento sobre el área barrida mediante lo que el ángulo de paso se cambia cíclicamente en cada giro del rotor, es decir las palas oscilan hacia y contra el viento durante un giro. Cuando se inicia el proceso de parada del rotor, las palas se orientan como se ha ilustrado en las figs. 7 y 8 con una velocidad de cambio de paso no lineal a lo largo del tiempo y valores de realimentación que permiten que el ángulo de paso de las palas siga las curvas óptimas como las ilustradas en la fig. 9, por ejemplo con un cambio de paso cíclico en el proceso de parada.

35 La fig. 10 ilustra esquemáticamente una realización preferida de un sistema de control para el control de las palas de turbina eólica durante un proceso de parada.

40 Los datos de la turbina eólica 1 y/o del entorno de la turbina eólica se miden con medios de sensores 11 tales como sensores de posición de paso, sensores de carga de palas, sensores de carga de la torre, sensores de la cimentación, sensores de orientación y/o sensores del ángulo de oscilación. Los datos de sensores medidos se suministran a unos medios de cálculo 11 para convertir los datos en una señal de realimentación. La señal de realimentación se usa en el controlador 12 para el control del paso mediante el establecimiento de los valores de control MF para el control de dicha al menos una pala 5 de turbina eólica con valores límites de control +MF, -MF. Se considera que la señal de realimentación y los valores de control MF son señales que controlan el paso de las palas de tal manera que ninguna parte de la turbina eólica es afectada por sobrecargas durante un proceso de parada, por ejemplo, en situaciones extremas tales como una pérdida de la red eléctrica o situaciones de viento elevado.

45 Los valores de control pueden ser preferentemente valores de fuerza y/o de par de torsión.

50 Los medios de cálculo 11 incluyen preferentemente un microprocesador y medios de almacenamiento de ordenador para que los valores límites preestablecidos de dichos valores de control se comparen con los valores de control actuales MF. Mediante la comparación de forma continua de los valores de control actuales con los valores preestablecidos en un bucle de realimentación cerrado es posible optimizar los valores de control para (sustancialmente) controlar el rotor en los límites de diseño de la turbina eólica y especialmente en los límites de diseño de las palas de la turbina eólica.

55 La invención se ha ejemplificado anteriormente con referencia a ejemplos específicos de una turbina eólica con un sistema de control para el control de las palas de turbina eólica durante el proceso de parada. Sin embargo, debería entenderse que la invención no está limitada a los ejemplos particulares descritos anteriormente sino que puede diseñarse y alterarse en una multitud de variedades dentro del alcance de la invención tal como se especifica en las reivindicaciones, por ejemplo usando otros datos de medición como un suplemento o en lugar de los anteriormente mencionados tales como mediciones de temperatura en los componentes relevantes de las turbinas eólicas.

60

Lista

1. Turbina eólica o sistema de turbina eólica
2. Torre de turbina eólica
3. Góndola de turbina eólica
4. Buje de turbina eólica
5. Pala de turbina eólica
6. Rotor
7. Medios de controlador y algoritmo
8. Modelo flexible, por ejemplo una pala de turbina eólica de paso controlado
9. Medios de realimentación, por ejemplo incluyendo una señal de ángulo de paso, ángulo de oscilación, paso angular o velocidad de oscilación (θ , $d\theta/dt$)
10. Medios detectores
11. Medios de cálculo que incluyen algoritmos
12. Controlador para paso/oscilación
13. Sistema de control
- a, b. Posición de trabajo y una posición de no aceleración, no energía o aparcamiento para el rotor de la turbina eólica
- F_{ac} . Fuerza de aceleración para la pala de la turbina eólica
- F_{emp} . Fuerza de empuje para la pala de la turbina eólica
- F_{arr} . Fuerza de arrastre para la pala de la turbina eólica
- MF. Valores de control
- Φ . Ángulo entre una posición de trabajo dada y una posición de no aceleración, no energía o aparcamiento para el rotor de la turbina eólica

REIVINDICACIONES

1. Método para el control de al menos una pala (5) de turbina eólica durante el proceso de parada del rotor (6) en un sistema de turbina eólica (1), por ejemplo durante situaciones extremas tales como desconexión de una red eléctrica o fuerte viento,
- 5
- en el que dicho método optimiza la velocidad de control de las palas de dichas palas al menos hacia una posición de no fuerza de aceleración (f_{ac}) aplicada al rotor en respuesta a uno o más valores de realimentación del sistema y/o el entorno del sistema, estando el método
- 10
- caracterizado por que
- el ángulo de paso de dicha al menos una pala (5) de turbina eólica se controla en relación a una curva cíclica o una no lineal similar durante cada giro del rotor (6).
- 15
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho control incluye la regulación del ángulo de paso de una o más palas de turbina eólica con control de paso o pérdida activa desde el valor del inicio del proceso de parada a un valor de dicha posición de no aceleración por ejemplo, a sustancialmente 90 grados.
- 20
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la regulación del ángulo de oscilación de un mecanismo de oscilación del rotor se usa en la obtención de la no aceleración de dicha al menos una pala (5) de turbina eólica.
4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que los ángulos de paso de dicha al menos una pala (5) de turbina eólica se controlan individualmente durante cada giro del rotor (6) para obtener una fuerza sustancialmente común sobre el rotor.
- 25
5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicho control incluye una configuración en bucle cerrado con dichos valores de realimentación establecidos mediante la medición de datos mecánicos o físicos del sistema de turbina eólica (1) y/o el entorno del sistema tales como datos de medición de la posición del paso, carga de palas, carga de la torre, carga de la cimentación, ángulo de oscilación, azimut, fricción de los cojinetes de pala, velocidad del viento, dirección del viento, cizalladura del viento y/o densidad del viento.
- 30
6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dichos uno o más valores de realimentación dan como resultado valores de control (MF) para el control de dicha al menos una pala (5) de turbina eólica dentro de valores límites de control (-MF, +MF).
- 35
7. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la velocidad de cambio de paso se controla en relación con una curva no lineal con una pendiente inicial más alta.
- 40
8. Método de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el control de la velocidad del cambio de paso comprende un transitorio inicial alto desde 0 a cerca de 15 grados/segundo en los primeros pocos segundos, por ejemplo en los primeros cinco segundos tal como entre el primer y el tercer segundo.
- 45
9. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que los ángulos de paso de dicha al menos una pala (5) de turbina eólica se controlan en relación con una curva cíclica o no lineal similar durante cada giro del rotor (6) en relación con la velocidad del viento en diferentes secciones del área barrida.
- 50
10. Sistema de control (13) para el control de al menos una pala (5) de turbina eólica durante el proceso de parada del rotor (6) en un sistema de turbina eólica (1), por ejemplo durante situaciones extremas tales como la desconexión de una red eléctrica o fuerte viento, en el que el sistema comprende
- medios sensores (10) para medir uno o más valores del sistema y/o el entorno del sistema,
- medios de cálculo (11) para establecer uno o más valores de realimentación de dichos valores medidos, y
- medios de control (12) para controlar dicha al menos una pala (5) de turbina eólica en el que dichos medios optimizan la velocidad de control de palas de dichas palas al menos hacia una posición de no fuerza de aceleración (f_{ac}) aplicada al rotor en respuesta a dichos uno o más valores de realimentación,
- 55
- caracterizado por que
- dichos medios controlan el ángulo de paso de dicha al menos una pala (5) de turbina eólica en relación con una curva cíclica o no lineal similar durante cada giro del rotor (6).
- 60
11. Sistema de control (13) de acuerdo con la reivindicación 10, en el que dichos medios de control (12) comprenden medios y algoritmos tales como sistemas accionadores del paso para el control del paso desde el valor inicial del proceso de parada a un valor de dicha posición de no aceleración, por ejemplo de 90 grados de dicha al menos una pala (5) de turbina eólica tal como una o más palas de turbina eólica con control de paso o pérdida activa.
- 65

12. Sistema de control (13) de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en el que dichos medios de control (12) comprenden un mecanismo de oscilación que se usa en la obtención de la no aceleración de dicha al menos una pala (5) de turbina eólica.
- 5 13. Sistema de control (13) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que dichos medios sensores (11) incluyen sensores de posición de paso, sensores de carga de pala, sensores de azimut, sensores de viento y/o sensores del ángulo de oscilación para la medición de datos mecánicos o físicos del sistema de turbina eólica (1) y/o el entorno del sistema.
- 10 14. Sistema de control (13) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en el que dicho sistema incluye una configuración en bucle cerrado para establecer dichos uno o más valores de realimentación.
- 15 15. Sistema de control (13) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el que dichos medios de control (12) comprenden medios para el control de la velocidad de cambio de paso con un transitorio inicial alto desde 0 a cerca de 15 grados/segundo en los primeros pocos segundos, por ejemplo en los primeros cinco segundos tal como entre el primer y el tercer segundo.
- 20 16. Sistema de control (13) de acuerdo con la reivindicación 15, en el que dichos medios de cálculo (11) incluyen un microprocesador y medios de almacenamiento de ordenador, por ejemplo para algoritmos de paso y valores preestablecidos de dichos valores límite de control (-MF, +MF).
- 25 17. Turbina eólica (1) con al menos unas palas (5) de turbina eólica con control de paso o pérdida activa en el rotor y un sistema de control (13) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16 para el control de un sistema accionador del paso y el ángulo de paso de dicha al menos una pala (5) de turbina eólica en respuesta a uno o más valores de realimentación de la turbina eólica y/o el entorno de la turbina eólica durante un proceso de parada.
- 30 18. Turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 17, en la que dicha al menos una pala (5) de turbina eólica es parte de una turbina eólica con dos o tres palas.
- 35 19. Turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 17 o 18 en la que dicho sistema accionador del paso incluye motores eléctricos, por ejemplo motores paso a paso eléctricos que controlan el ángulo de paso de dicha al menos una pala (5) de turbina eólica.
- 40 20. Turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17 a 19, en la que dicha turbina eólica comprende un mecanismo de oscilación del rotor.
21. Uso de un método para el control de la posición de al menos una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 en conexión con la parada de emergencia de un sistema de turbina eólica (1), por ejemplo durante situaciones extremas tales como la desconexión de una red eléctrica.
22. Uso de un método para el control de la posición de al menos una pala de turbina eólica de acuerdo con las reivindicaciones 10 a 16 en conexión con la parada de emergencia de un sistema de turbina eólica (1), por ejemplo durante situaciones extremas tales como la desconexión de una red eléctrica.

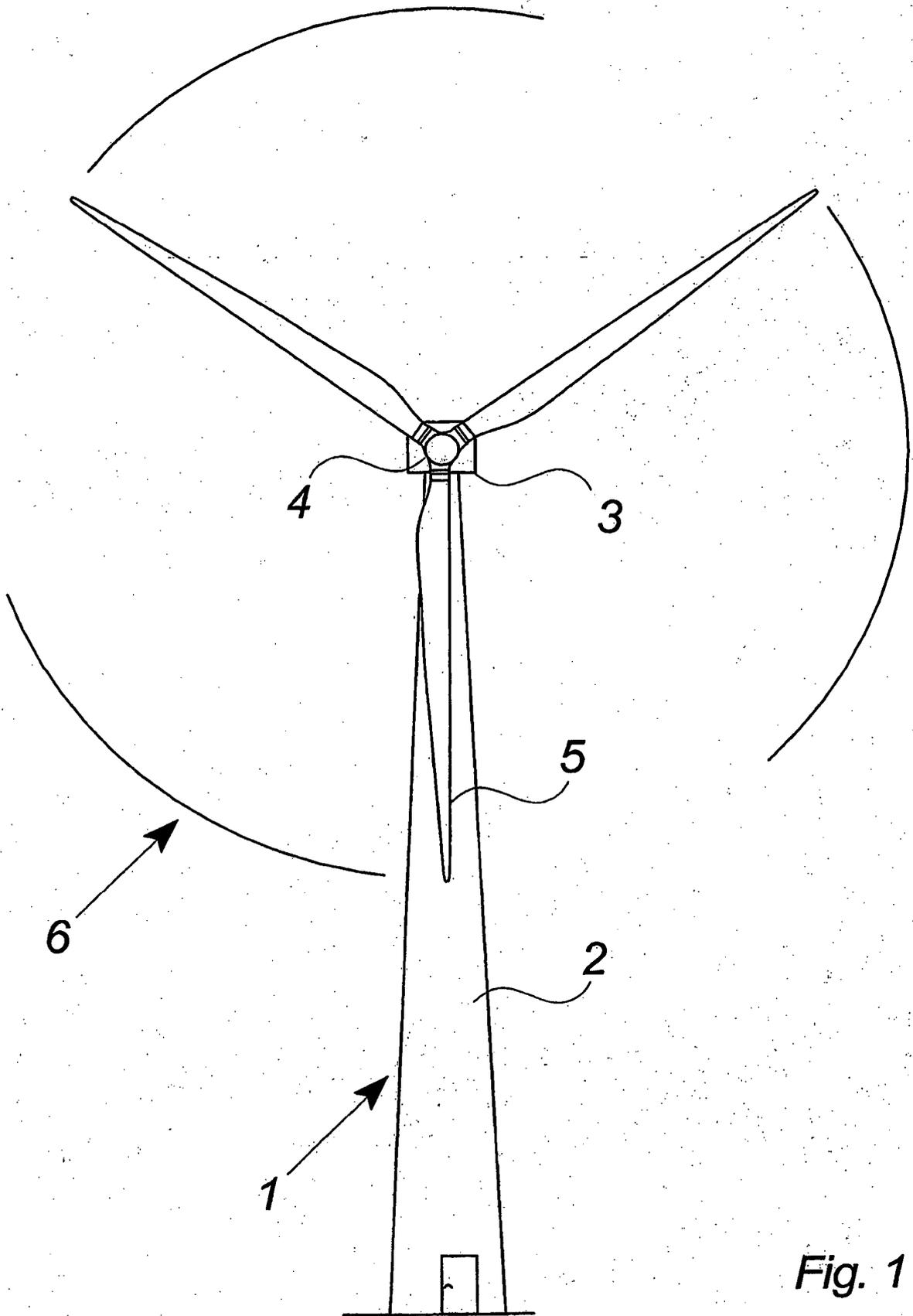


Fig. 1

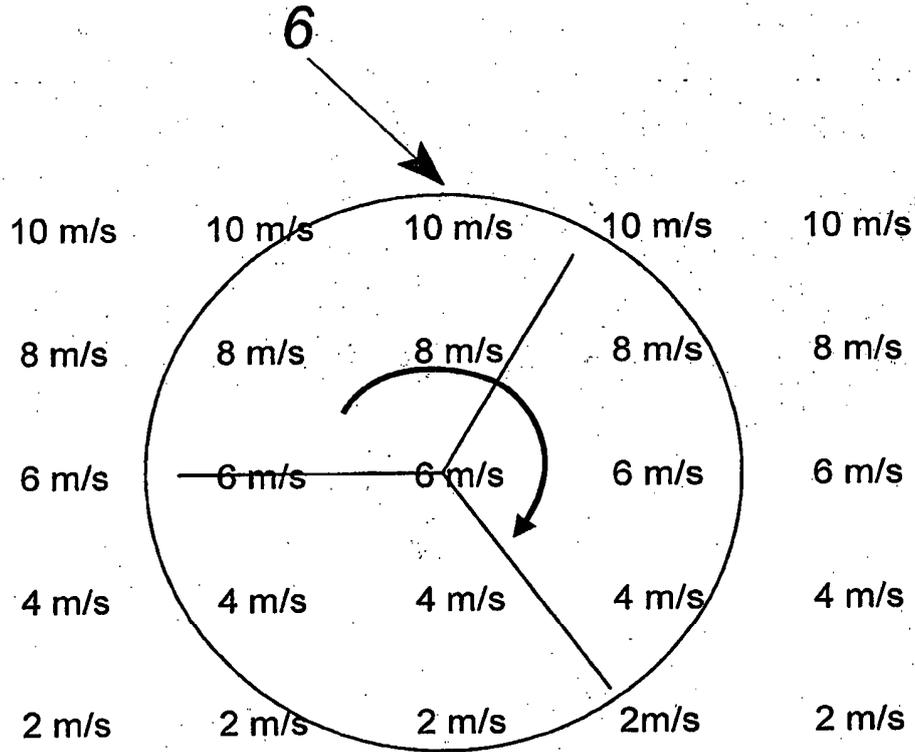


Fig. 2

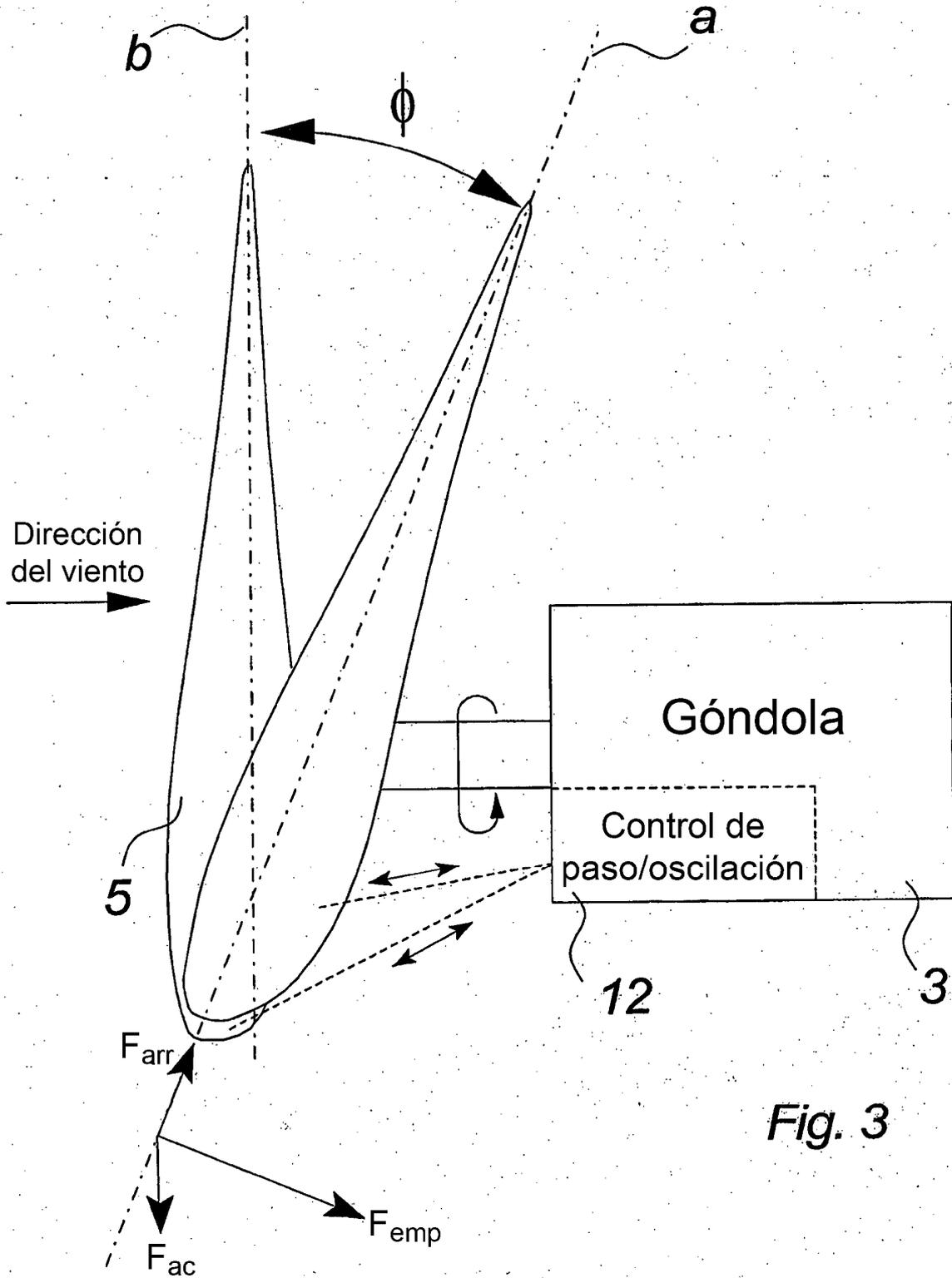


Fig. 3

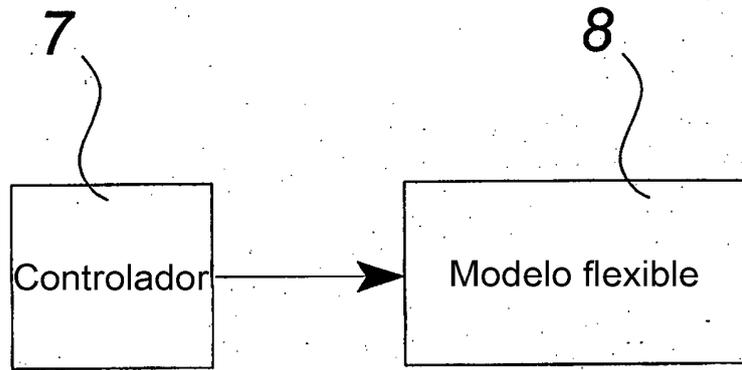


Fig. 4

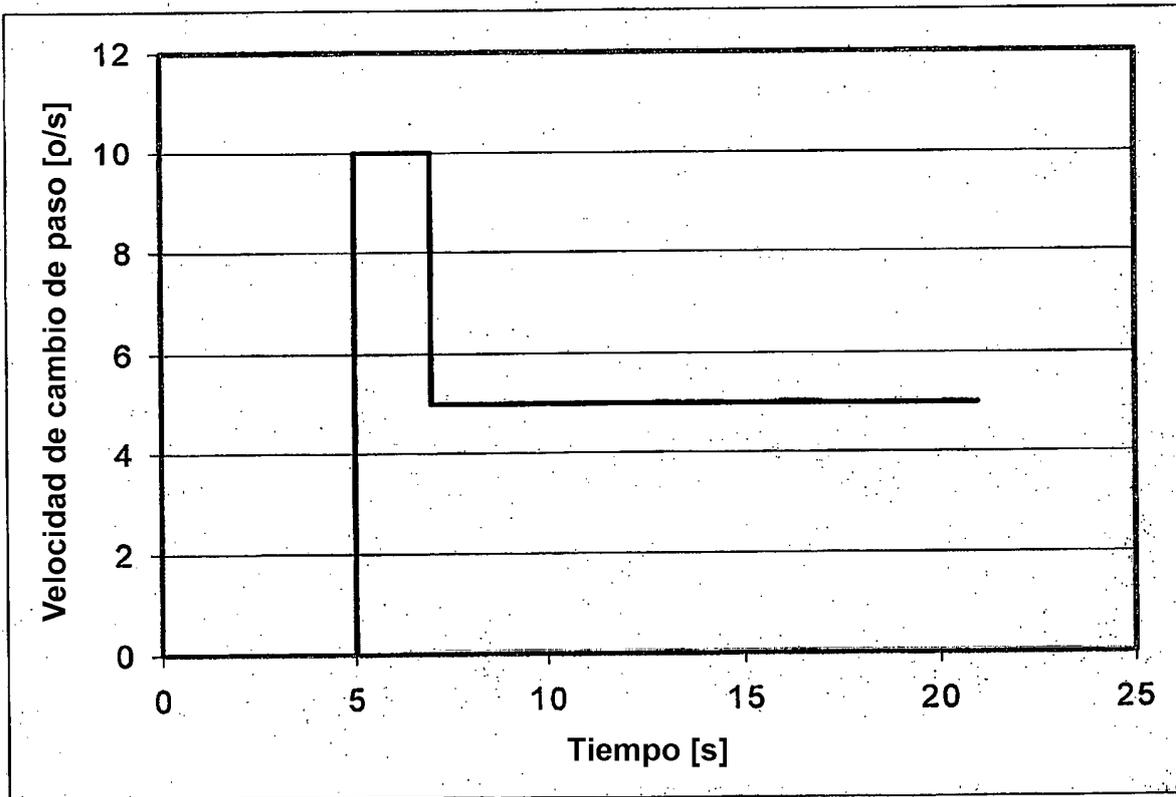


Fig. 5

Cambio de paso cíclico en parada de emergencia

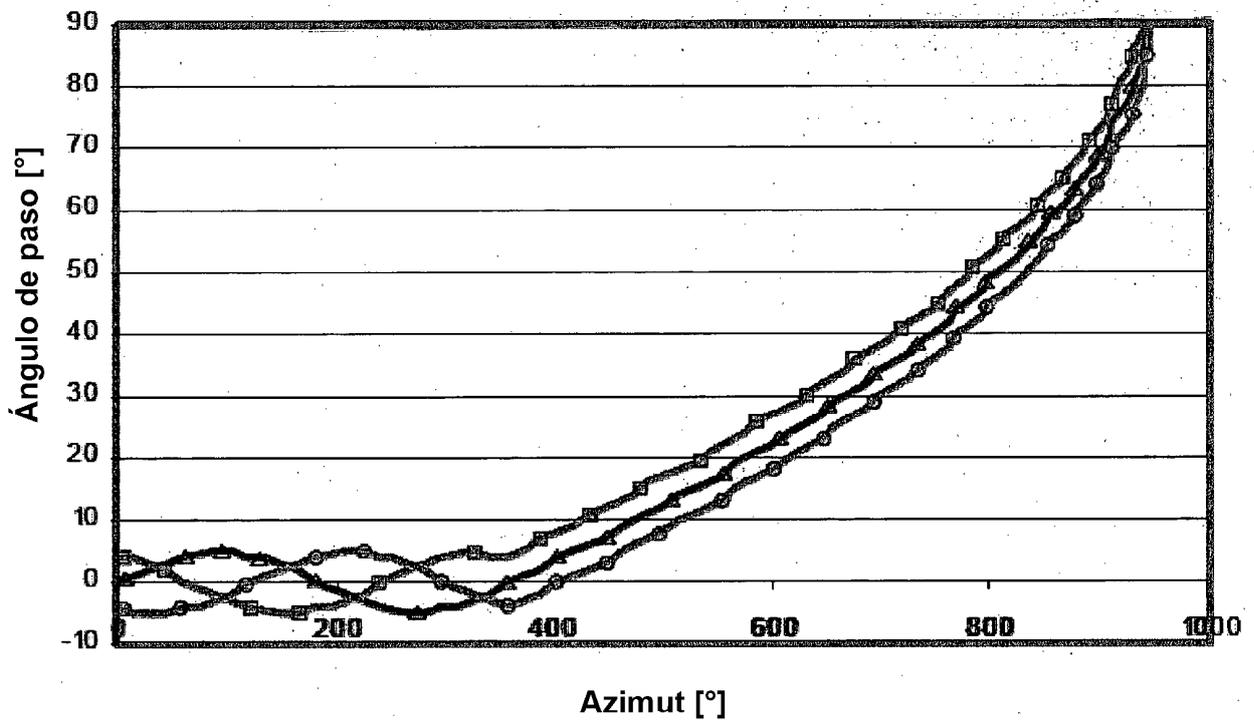
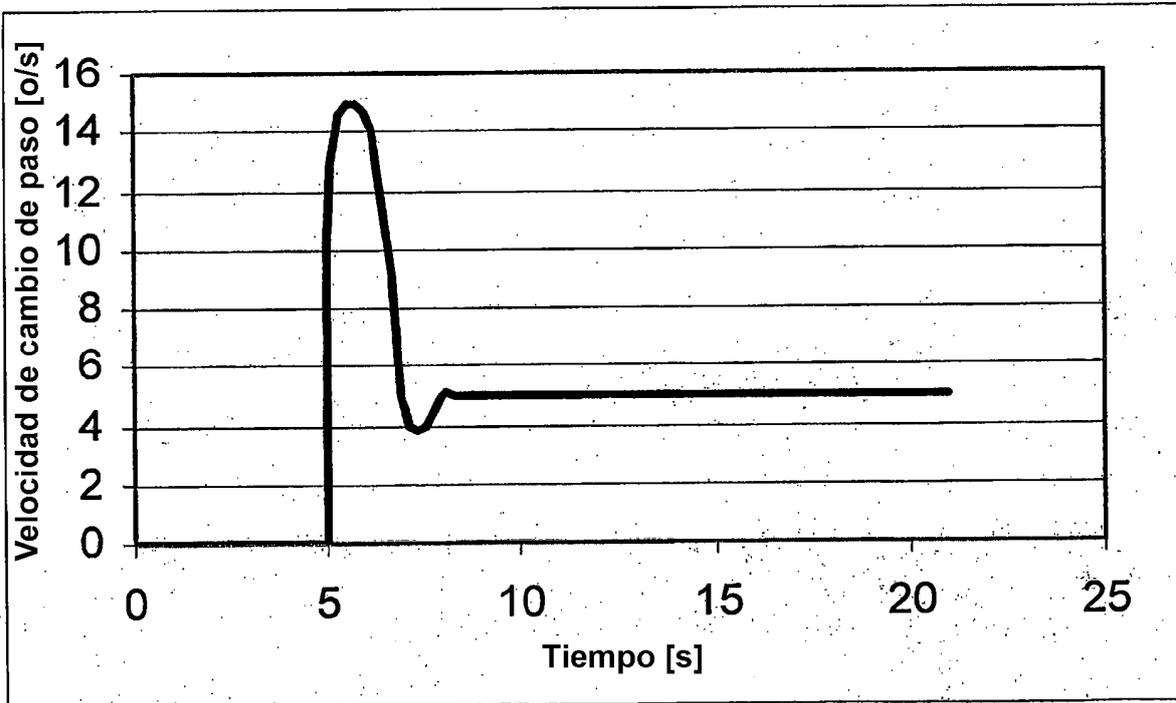
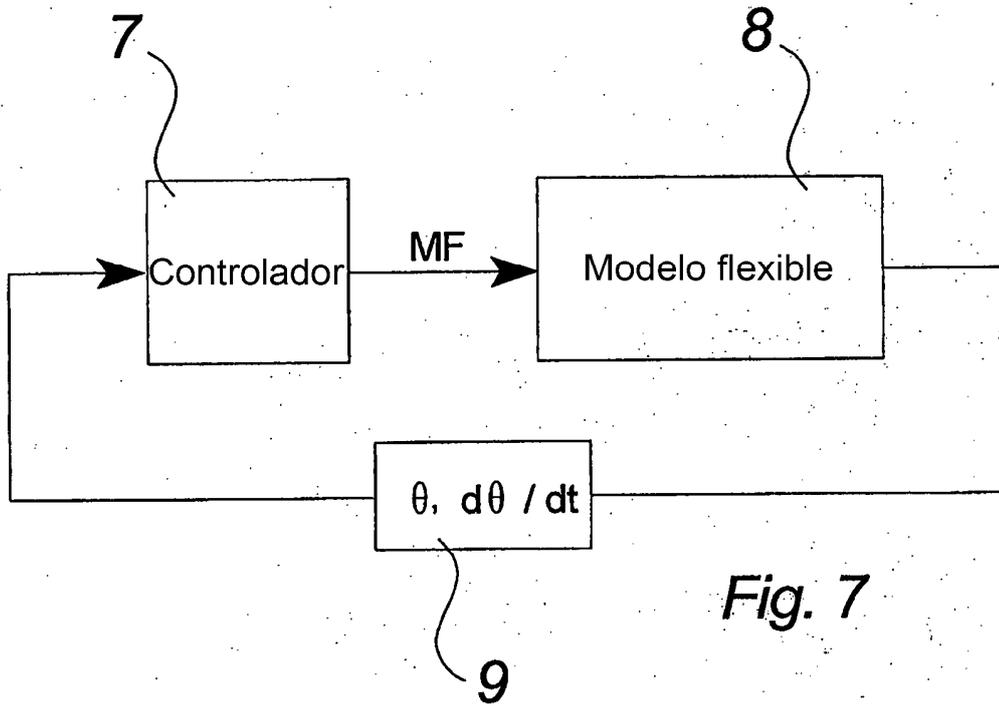


Fig. 6



Cambio de paso cíclico en parada de emergencia

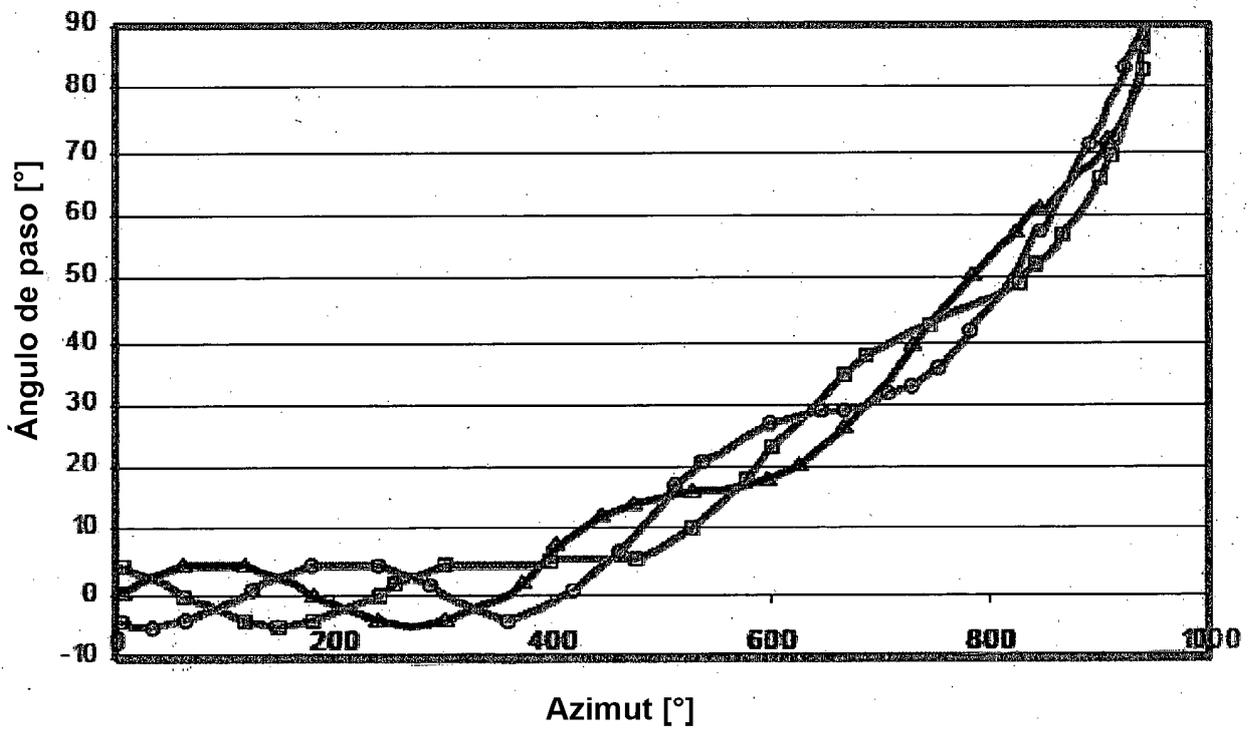


Fig. 9

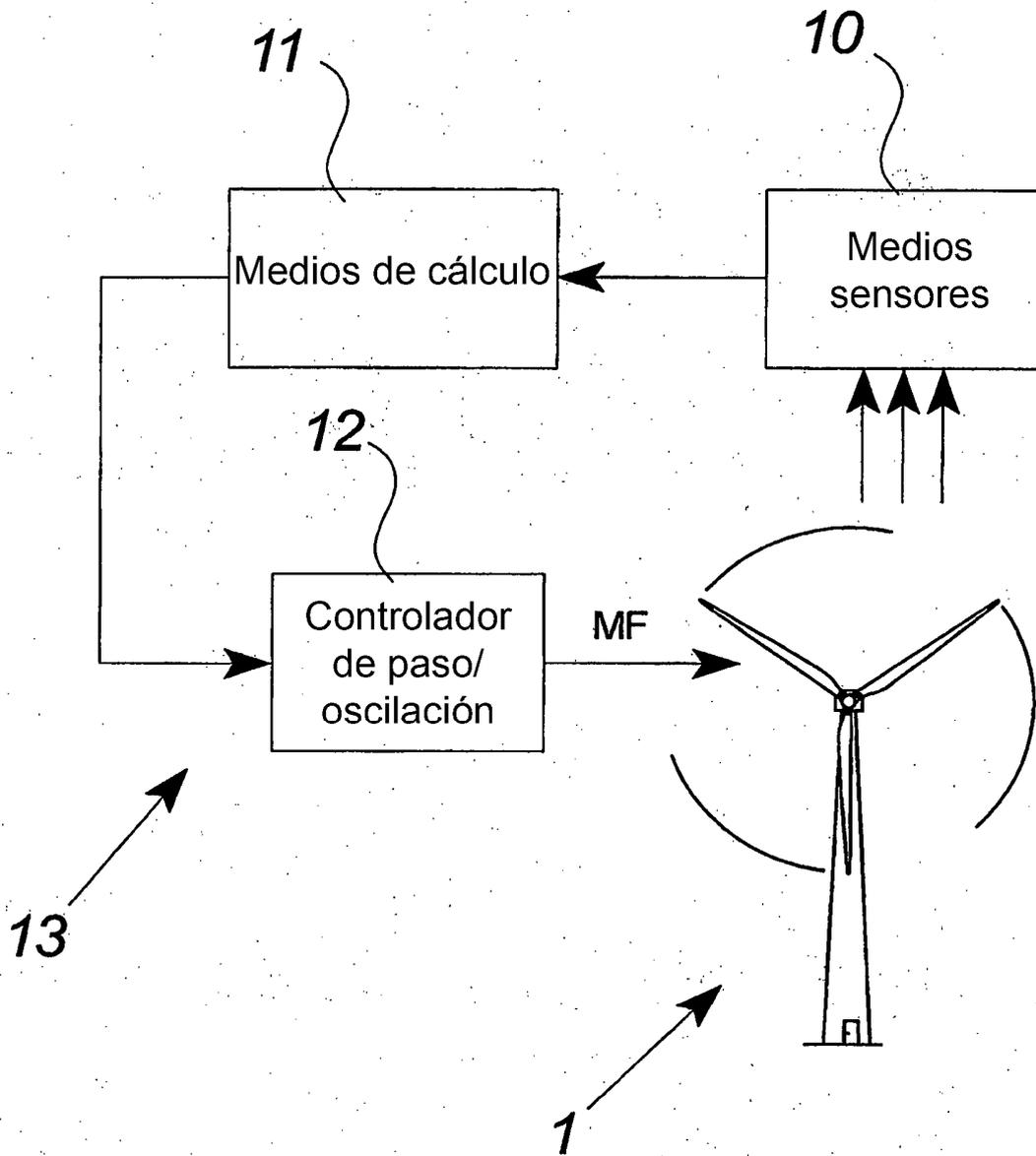


Fig. 10