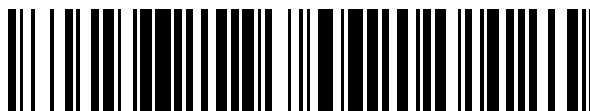


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 370 802**

51 Int. Cl.:
F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07010987 .1**

96 Fecha de presentación: **04.06.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2000667**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.12.2008**

54 Título: **MÉTODO Y DISPOSITIVO PARA CONTROLAR UNA REDUCCIÓN DE CARGA PARA UN ROTOR DE TURBINA EÓLICA.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
22.12.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
22.12.2011

73 Titular/es:
**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
WITTELSBACHERPLATZ 2
80333 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:
Egedal, Per

74 Agente: **Zuazo Araluze, Alexander**

ES 2 370 802 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).

DESCRIPCION

Método y dispositivo para controlar una reducción de carga para un rotor de turbina eólica

5 La presente invención se refiere a un método para controlar una reducción de carga para un rotor de turbina eólica según la reivindicación 1 y a un dispositivo de control según la reivindicación 7 para realizar el método.

10 Las palas de rotores de turbinas eólicas están expuestas a grandes cargas dinámicas cuando la turbina eólica funciona en condiciones de viento turbulento o en condiciones de distorsión de flujo, por ejemplo una alta cizalladura del viento. Hasta ahora, por tanto, las palas de rotores de turbinas eólicas y las estructuras de soporte se han dimensionado para poder resistir las cargas dinámicas que pueden producirse en las condiciones para las que está certificada la turbina. En los últimos años ha quedado claro que proseguir con esta práctica de tener simplemente una fuerza estructural suficiente para cualquier carga que pueda producirse conduciría a diseños muy pesados para grandes turbinas eólicas. Por consiguiente, se han desarrollado diversos métodos para la reducción activa de las cargas de funcionamiento.

15 Un método para reducir activamente las cargas de funcionamiento es el denominado paso de pala cíclico. En el paso de pala cíclico la configuración del paso de cada pala de rotor cambia durante cada revolución, tal como se describe, por ejemplo, en el documento US 4.298.313. Más recientemente se ha descrito una regulación de aleta activa en la que se cambian las propiedades aerodinámicas de los perfiles de pala en lugar del paso de pala.

20 Independientemente del método de actuación elegido, cualquier sistema activo de reducción de carga tiene que controlarse mediante un regulador. Por ejemplo, un regulador para regular el ángulo de paso de las palas de rotor se describe en el documento EP 1 666 723 A1. En el documento US 2006/0145483 A1 se describen un método de control y un dispositivo de control para controlar los ángulos de paso de las palas de rotor de un rotor de turbina eólica o los perfiles aerodinámicos de las palas de rotor basándose en una estrategia de control proporcional-integral (control PI).

25 El documento US 4.297.076 describe una turbina eólica con partes de punta de las palas que son de paso variable y un dispositivo para controlar el paso para aliviar los momentos de flexión sobre las palas. El dispositivo de control comprende la unidad que permite corregir el ángulo de fase de la señal de control con respecto al azimut del rotor.

30 El documento EP 1 719 910 A1 describe un método activo de atenuación de vibración para un generador de turbina eólica y un dispositivo para realizar el método. Se proporciona una componente de señal de atenuación en una señal de referencia de ángulo de paso de pala filtrando la señal de referencia de ángulo de paso de pala con una función de transferencia que incluye una constante de tiempo para aproximar el retraso del mecanismo de cambio de paso en respuesta a esa señal de referencia de ángulo de paso de pala. Un enfoque similar se da a conocer en el documento GB 2 117 934 A.

35 El documento Bossanyi, E.A.: *Individual Blade Pitch Control for Load Reduction, Wind Energy, Wiley, Chichester, GB* volumen 6 (08-10-2002) páginas 119 a 128, describe la posibilidad de usar diferentes demandas de ángulos de paso enviadas a cada pala como manera de reducir las cargas. Se usa un controlador LQG (controlador lineal, cuadrático, gaussiano) para derivar las señales de control.

40 El documento Caselitz P. *et al.*: "Reduction of Fatigue Loads on Wind Energy Converters by Advanced Control Methods", European Wind Energy Conference, XX, XX, octubre de 1997, páginas 555 a 558, describe una compensación del momento de inclinación y guiñada mediante un control de pala individual.

45 Sin embargo, la regulación de un sistema activo de reducción de carga no es una tarea fácil puesto que el sistema tiene que ser rápido para una regulación apropiada, en particular si están implicadas rápidas fluctuaciones de carga. Hasta la fecha no se ha dado a conocer ningún método verdaderamente convincente para una rápida regulación de este tipo. Los métodos de regulación convencionales que usan esquemas de regulación proporcional-integral-diferencial en diversas configuraciones no tienen la capacidad de predicción necesaria para realizar dicha rápida regulación. Además, los tiempos de respuesta de los esquemas de regulación PID son demasiado largos. Se han alcanzado mejores resultados con la aplicación de diversos tipos de algoritmos de aprendizaje. Sin embargo, tales algoritmos de aprendizaje tienden a conducir a sistemas de "caja negra" que no son fáciles de modelar y en los que al diseñador le resulta difícil valorar una función apropiada en todas las condiciones.

50 Es por tanto un objetivo de la presente invención proporcionar un método de control mejorado y un dispositivo de control mejorado para controlar una reducción de carga para un rotor de turbina eólica.

Este objetivo se resuelve mediante un método de control según la reivindicación 1 y un dispositivo de control según la reivindicación 7. Las reivindicaciones dependientes contienen implementaciones adicionales de la invención.

65 El método de control de la invención se usa para controlar una reducción de carga para un rotor de turbina eólica con palas de rotor que comprenden al menos un elemento activo aerodinámico sensible a una señal de control para

5 modificar su configuración. A este respecto, un elemento activo aerodinámico debe entenderse en un sentido amplio como cualquier elemento que puede cambiar activamente las propiedades aerodinámicas de una pala de rotor, tal como una aleta, un dispositivo para configurar el ángulo de paso de una pala de rotor o un dispositivo que permite la modificación del perfil aerodinámico del plano aerodinámico de pala. El método comprende las etapas de detectar las cargas que actúan sobre las palas de rotor en relación con el azimut del rotor, es decir una dirección radial medida desde el buje del rotor que es fija en el espacio. Esta dirección radial, por ejemplo, puede extenderse verticalmente hacia arriba desde el buje del rotor. Se establecen señales de control individuales para modificar las configuraciones de los elementos activos aerodinámicos de las palas de rotor basándose en un sistema de control PI y se proporcionan las señales de control individuales a los elementos activos aerodinámicos. Cada señal de control individual es un número complejo que contiene una amplitud que define el grado de modificación de la respectiva configuración y un ángulo que define la fase de la modificación de la respectiva configuración con respecto al azimut del rotor. Este número complejo se corrige mediante un factor de corrección de ángulo de fase. La entrada al sistema de control PI es un vector complejo de carga. El número de componentes de vector complejo de carga corresponde al número de palas de rotor, es decir el vector complejo de carga tendría tres componentes de vector complejo para un rotor de tres palas. Sin embargo, debe mencionarse que el método de control de la invención es adecuado para rotores con cualquier número de palas de rotor incluso si hay sólo una pala de rotor presente. Si una componente de vector viene dada en representación polar, la amplitud de una componente de vector del vector de carga define la magnitud de la carga que actúa sobre la respectiva pala y el ángulo de esta componente de vector define la fase de la carga con respecto al azimut del rotor. Para corregir el ángulo del número complejo que representa una señal de control individual se multiplica el vector de carga por el factor de corrección de fase antes de introducirse en el sistema de control PI.

La invención se basa en la siguiente consideración:

25 Los retardos en los sensores y los sistemas de configuración de los elementos o dispositivos activos aerodinámicos tienen un gran impacto sobre la respuesta de regulación resultante. Usando un factor de corrección de fase para corregir el número complejo que representa una señal de control pueden adaptarse y tenerse en cuenta tales retardos de modo que puede optimizarse el ángulo que define la fase de la modificación con respecto al azimut del rotor. En comparación con los métodos de regulación PID convencionales, el método de la invención proporciona una rápida respuesta a las fluctuaciones de carga detectadas puesto que los retardos en el sensor y los sistemas de configuración se tienen en cuenta mediante el factor de corrección de fase. En comparación con los algoritmos de aprendizaje, el método de control de la invención no tiende a conducir a sistemas de "caja negra" con las dificultades mencionadas.

35 Las fluctuaciones de carga pueden medirse mediante cualquier medio sensor adecuado, por ejemplo acelerómetros o medidores de esfuerzo.

40 Como ya se mencionó, el ángulo de fase entre el número complejo que representa la señal de control individual y la carga de respuesta que actúa sobre la respectiva pala de rotor depende de factores tales como retardos en el sistema de accionamiento para accionar los elementos activos aerodinámicos, por ejemplo impactos de fase a partir de respuestas de bucle cerrado de servocontroladores. Tales retardos introducirán dependencias de tiempo artificiales en los argumentos de las componentes complejas del vector de carga. Al integrar el vector de carga, esta dependencia de tiempo conducirá a una rotación artificial de las componentes en el plano complejo. Como consecuencia, el ángulo del número complejo en una señal de control individual será impreciso. Sin embargo, multiplicando el vector de carga por el factor de corrección de fase antes de introducirse en el sistema de control PI esta rotación puede contrarrestarse de modo que la señal de control contenga el ángulo correcto en su número complejo.

50 El factor de corrección de fase puede escribirse como al menos un número complejo con valor absoluto unitario y un argumento que define una corrección de fase si el número complejo se representa en representación polar. En particular, el factor de corrección de fase puede comprender un número complejo con valor absoluto unitario y un argumento que define una corrección de fase para cada componente de vector del vector de carga. En este caso el factor de fase puede representarse como una matriz diagonal que debe multiplicarse por el vector de carga. Si, por otro lado, el factor de corrección de fase sólo contiene un único número complejo con valor absoluto unitario y un argumento que define una corrección de fase que es común a todas las componentes de vector del vector de carga, multiplicar el vector de carga por el factor de corrección de fase dará como resultado multiplicar el vector de carga por un factor escalar.

60 El factor de corrección de fase puede derivarse de argumentos de las componentes de vector complejo del vector de carga. En particular, el factor de corrección de fase puede derivarse mediante diferenciación de los argumentos de las componentes de vector complejo con respecto al tiempo, una posterior integración de los argumentos de las componentes de vector complejo a lo largo de un intervalo definido y formación de números complejos con valor absoluto unitario y los resultados de la integración multiplicados por la unidad imaginaria como argumentos.

65 Un dispositivo de control de la invención para controlar una reducción de carga para una rotor de turbina eólica con palas de rotor que comprenden al menos un elemento activo aerodinámico sensible a una señal de control para

5 modificar su configuración, comprende una entrada de datos de carga, una entrada de azimut de rotor, una unidad de detección de oscilación, una unidad de cálculo del factor de corrección, un multiplicador y un controlador PI. A través de la entrada de datos de carga el dispositivo de control puede recibir datos de carga que representan la carga que actúa sobre una pala de rotor. Los datos de carga pueden proporcionarse mediante cualquier medio sensor adecuado para medir la carga que actúa sobre una pala de rotor, por ejemplo un acelerómetro o un medidor de esfuerzo. A través de la entrada de azimut de rotor pueden introducirse los datos de azimut de rotor proporcionados por un detector de azimut en el dispositivo de control. La unidad de detección de oscilación está conectada a la entrada de datos de carga y a la entrada de azimut de rotor para recibir los datos de carga y los datos de azimut de rotor. Está diseñada para detectar componentes de frecuencia de la carga que actúa sobre una pala de rotor a partir de los datos de carga y los datos de azimut de rotor. Además, está diseñada para producir un vector complejo de carga, cuyo número de componentes de vector complejo corresponde al número de palas de rotor. En una representación polar, la amplitud de una componente de vector complejo define la magnitud de la carga que actúa sobre la respectiva pala y el ángulo de la componente de vector en el plano complejo define la fase de la carga con respecto al azimut del rotor. La unidad de cálculo del factor de corrección está conectada a la unidad de detección de oscilación para recibir el vector de carga. Está diseñada para calcular y para producir un factor de corrección de fase basándose en el vector de carga. El multiplicador también está conectado a la unidad de detección de oscilación para recibir el vector de carga. Además, está conectada a la unidad de cálculo del factor de corrección para recibir el factor de corrección de fase. Está diseñada para multiplicar el vector de carga por el factor de corrección de fase. El controlador PI está conectado al multiplicador para recibir el resultado de la multiplicación. Está diseñado para establecer y para producir señales de control individuales para modificar las configuraciones de los elementos activos aerodinámicos de las palas de rotor. El dispositivo de control de la invención está especialmente adaptado para realizar el método de control de la invención. Por tanto, proporciona las propiedades y ventajas que ya se han descrito con respecto al método de control.

25 En una implementación especial del dispositivo de control de la invención, la unidad de cálculo del factor de corrección comprende una unidad de determinación de argumentos, un diferenciador, un integrador y una unidad de formación de factores complejos. En esta implementación, la unidad de determinación de argumentos está conectada a la unidad de detección de oscilación para recibir el vector de carga y está diseñada para determinar los argumentos de las componentes complejas del vector de carga y para producir los argumentos. El diferenciador está conectado a la unidad de determinación de argumentos para recibir los argumentos. Está diseñado para determinar la derivada en el tiempo de los argumentos y para producir la derivada en el tiempo. El integrador está conectado al diferenciador para recibir las derivadas en el tiempo de los argumentos. Está diseñado para integrar las derivadas en el tiempo de los argumentos a lo largo de un intervalo definido y para producir los valores de integración. Finalmente, la unidad de formación de factores complejos está conectada al integrador para recibir los valores de integración. Está diseñada para formar el factor de corrección de fase mediante una multiplicación de los valores de integración por la unidad imaginaria y una posterior potenciación. Al diferenciar el argumento pueden eliminarse del argumento términos no dependientes del tiempo. Entonces, calculando una integral definida, puede derivarse un argumento constante que representa el error de fase respecto a la dependencia artificial con respecto al tiempo en el argumento resumido a lo largo del periodo de integración. Entonces, multiplicando el resultado de la integración con la unidad imaginaria i y formando el término $\exp(i\alpha)$, en el que α representa el resultado de la integración, se proporciona un factor de corrección de fase adecuado teniendo en cuenta los retardos en el sensor y el sistema de accionamiento.

45 Características, propiedades y ventajas adicionales de la presente invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción de una realización de la invención conjuntamente con los dibujos adjuntos.

La figura 1 muestra, en forma de un diagrama de bloques, una turbina eólica con un dispositivo de control de la invención.

50 La figura 2 muestra el dispositivo de control en un diagrama de bloques detallado.

A continuación se describirán el método de control de la invención y el dispositivo de control de la invención con referencia a las figuras 1 y 2.

55 La figura 1 muestra una turbina 1 eólica que comprende un rotor 3 con tres palas 5, 7, 9 de rotor. Cada pala de rotor está equipada con una aleta activa como elemento activo aerodinámico usado en la presente realización para una reducción de carga activa. Además de las aletas activas, o como alternativa, pueden estar presentes mecanismos de control de paso en las palas 5, 7, 9 de rotor como elementos activos aerodinámicos. Las aletas activas de la presente realización están equipadas con accionadores que se representan de manera esquemática como un bloque 11 en la figura 1 y que son sensibles a al menos una señal de control FS proporcionada por el dispositivo 13 de control. Por tanto, el dispositivo 13 de control está conectado a los accionadores 11 para producir una señal de control que define la configuración de las aletas activas.

65 Las palas 5, 7, 9 de rotor están equipadas con medidores de esfuerzo que miden la carga que actúa sobre la aleta. Estos medidores de esfuerzo se indican de manera esquemática en la figura 1 mediante el bloque 15. Sin embargo, pueden usarse medios sensores diferentes para medir la carga, por ejemplo acelerómetros. Además, la turbina 1 eólica está equipada con un detector 17 de azimut para detectar el azimut de rotor 3 en relación con una dirección

dada, en la presente realización en relación con la dirección verticalmente hacia arriba desde el buje del rotor. Las medidores 15 de esfuerzo y el detector 17 de azimut están conectados al dispositivo 13 de control para entregar los datos de carga y los datos de azimut, respectivamente. Estas conexión constituye un lazo de realimentación de modo que se realiza un control de realimentación, es decir la señal de control para modificar la configuración de las aletas activas se determina, basándose de los datos de carga proporcionados por los medidores 15 de carga y los datos de azimut proporcionados por el detector 17 de azimut, de tal manera que se minimizan las cargas medidas por los medidores 15 de carga.

A continuación se describirá el dispositivo 13 de control en más detalle con respecto a la figura 2. El dispositivo de control comprende una entrada 19 de datos de carga que recibe los datos de carga de los medidores 15 de carga y una entrada 21 de azimut de rotor para recibir los datos de azimut de rotor del detector 17 de azimut. Comprende además un analizador 23 de Fourier, un calculador 25 de señales de control, un calculador 27 de factores de corrección y, en la presente realización, tres salidas 29, 21, 33 de señales de control para producir tres señales de control para los accionadores 11.

El analizador 23 de Fourier analiza los datos de carga con respecto a los datos de azimut de modo que deriva de manera continua los coeficientes espectrales de Fourier de las cargas que actúan sobre las aletas de las palas 5, 7, 9 de rotor. La salida del analizador de Fourier es un vector complejo de carga, es decir un vector L con tres componentes de vector complejo L1, L2 y L3, en el que cada componente de vector representa la carga medida por el medidor de esfuerzo de una pala de rotor individual. Queda claro para los expertos en la técnica que el número de componentes de vector puede ser más o menos de tres si el rotor comprende más o menos de tres palas de rotor. En otras palabras, el número de componentes de vector complejo se correlaciona con el número de palas de rotor. Si se representan las componentes de vector complejo en una representación polar, cada componente de vector viene dada por una amplitud y un ángulo de la componente de vector respectiva en el plano complejo con respecto al eje real del plano complejo. Este ángulo se denomina argumento del número complejo. Debido a los retardos en los medidores 15 de esfuerzo y/o en el detector 17 de azimut y/o en el accionador 11, puede presentarse una dependencia artificial con respecto al tiempo en los argumentos de las componentes de vector complejo L1, L2 y L3 que se corregirá en el dispositivo de control de la invención.

El calculador 27 de factor de corrección está conectado al analizador 23 de Fourier para recibir el vector de carga L. Éste calcula y produce un factor de corrección de fase basándose del vector de carga recibido. El factor de corrección de fase calculado debe contrarrestar la dependencia artificial con respecto al tiempo en los argumentos de las componentes de vector del vector de carga al calcular las señales de control para el accionador 11. El calculador de señales de control se conecta de ese modo al analizador 23 de Fourier para recibir el vector de carga y al calculador 27 de factores de corrección para recibir el factor de corrección de fase. Además, el calculador 25 de señales de control está conectado a la entrada de azimut de rotor para recibir la señal de azimut de rotor que actúa como un disparador para decodificar la distribución de las señales de control individuales a las palas 5, 7, 9 de rotor. El calculador 25 de señales de control se conecta adicionalmente a las tres salidas 29, 31, 33 de señales de control para producir las señales de control decodificadas para modificar las configuraciones de las aletas activas con el fin de minimizar las cargas que actúan sobre las aletas.

Las componentes de vector complejo de carga L1, L2 y L3 se representan cada una mediante números complejos $Z1=R1\exp(i\phi1)$, $Z2=R2\exp(i\phi2)$ y $Z3=R3\exp(i\phi3)$ donde R representa la amplitud y ϕ el argumento del respectivo número complejo. Como ya se mencionó, los argumentos $\phi1$, $\phi2$ y $\phi3$ pueden incluir una dependencia artificial con respecto al tiempo debido a los retardos en los sensores o en los accionadores. Estas dependencias artificiales con respecto al tiempo se tienen en cuenta por el factor de corrección de fase calculado en el calculador 27 de corrección de fase.

El calculador 27 de corrección de fase comprende una unidad 35 de extracción de argumentos para extraer los argumentos $\phi1$, $\phi2$ y $\phi3$ de las componentes de vector complejo L1, L2 y L3, un diferenciador 37 que está conectado a la unidad 35 de extracción de argumentos para recibir los argumentos extraídos y que está diseñado para calcular las derivadas en el tiempo de los argumentos, un amplificador 39 que está conectado al diferenciador para recibir los argumentos diferenciados y que está diseñado para amplificar los argumentos diferenciados y para producir argumentos diferenciados amplificados, un integrador 41 que está conectado al amplificador 39 para recibir los argumentos diferenciados amplificados y que está diseñado para integrar los argumentos diferenciados amplificados a lo largo de un periodo de muestreo dado y producir un valor de integración para cada argumento diferenciado amplificado y una unidad 43 de formación de factores complejos de corrección que forma un número complejo con una amplitud de 1 y el resultado de integración multiplicado por la unidad imaginaria i como argumento para cada resultado de integración. Por tanto, el factor complejo de corrección de fase se representa mediante una matriz con la forma

$$\begin{pmatrix} \exp(i\alpha_1) & 0 & 0 \\ 0 & \exp(i\alpha_2) & 0 \\ 0 & 0 & \exp(i\alpha_3) \end{pmatrix}$$

donde α_1 , α_2 y α_3 representan los resultados de integración. Al diferenciar los argumentos ϕ_1 , ϕ_2 y ϕ_3 de las componentes de vector complejo de carga con respecto al tiempo, contribuciones no dependientes del tiempo de los argumentos quedan excluidas del procesamiento posterior. Esas contribuciones no dependientes del tiempo representarán las fases reales de las cargas con respecto al azimut del rotor y por tanto no deben corregirse. Entonces, integrando de nuevo los argumentos diferenciados a lo largo de, por ejemplo, un periodo de muestreo, se calcula el efecto de la dependencia artificial con respecto al tiempo dentro del periodo de muestreo y se usa para formar el factor de corrección de fase para corregir el vector de carga L a lo largo de este periodo de muestreo.

5 El calculador 25 de señales de control comprende un multiplicador que está conectado al analizador 23 de Fourier para recibir el vector de carga L y al calculador 27 de factores de corrección para recibir el factor complejo de corrección. Un controlador 47 PI está conectado al multiplicador 45 para recibir el resultado de multiplicación y calcular las señales de control para modificar adecuadamente las configuraciones de las aletas de las palas 5, 7, 9 de rotor para minimizar así las cargas que actúan sobre las aletas. El controlador PI comprende en paralelo un controlador proporcional con un amplificador 51 y un controlador integral con un amplificador 53 y un integrador 55. Las salidas del controlador proporcional y del controlador integral se combinan mediante un sumador 57 para formar la salida del controlador PI. Esta salida la recibe un decodificador 49 que también está conectado a la entrada 21 de datos de azimut para recibir los datos de azimut proporcionados por el detector 17 de azimut. Basándose en los datos de azimut el decodificador distribuye las señales de control proporcionadas por el controlador PI por las salidas 29, 31, 33 de señales de control desde donde se entregan a los accionadores 11 de las aletas activas de las palas.

10 Aunque en la presente realización se calculan factores individuales de corrección de fase para cada componente de vector complejo de carga L1, L2 y L3, podría ser posible calcular sólo un único factor complejo de corrección de fase común para todas las componentes de vector complejo de carga L1, L2 y L3. Sin embargo, si son necesarios factores individuales de corrección de fase o es suficiente un factor común de corrección de fase depende de los retardos presentes en los accionadores y los sensores.

15 El factor de corrección de fase reduce el movimiento circular de las componentes de vector complejo de carga en el plano complejo y obliga al vector de carga a tener una dirección que tiende a cero.

20 La presente invención proporciona un método en el que los métodos de regulación y algoritmos de aprendizaje avanzados convencionales se reemplazan por un método de regulación que superpone una función de predicción sobre un algoritmo de regulación determinístico, clásico. La ventaja de la invención es que no necesita confiar en "verdaderos" algoritmos de aprendizaje pero mantiene los beneficios de la regulación clásica, que se modela fácilmente, mientras que elimina los inconvenientes de retardo de regulación de tales regulaciones clásicas.

REIVINDICACIONES

1. Método de control para controlar una reducción de carga para un rotor (3) de turbina eólica con palas (5, 7, 9) de rotor que comprenden al menos un elemento activo aerodinámico sensible a una señal de control para modificar su configuración, comprendiendo el método las etapas de
- 5
- detectar las cargas que actúan sobre las palas (5, 7, 9) de rotor en relación con el azimut del rotor;
- 10
- establecer señales de control individuales para modificar las configuraciones de los elementos activos aerodinámicos de las palas (5, 7, 9) de rotor, en el que cada señal de control individual es un número complejo que contiene una amplitud que define el grado de modificación de la respectiva configuración y un ángulo que define la fase de la modificación de la respectiva configuración con respecto al azimut del rotor, y en el que se corrige el ángulo del número complejo mediante un factor de corrección de fase; y
- 15
- proporcionar a los elementos activos aerodinámicos las señales de control individuales;
- caracterizado porque
- 20
- las señales de control individuales se establecen basándose en un sistema (47) de control PI;
 - la entrada al sistema (47) de control PI es un vector complejo de carga;
 - el número de componentes de vector complejo del vector complejo de carga corresponde al número de palas (5, 7,9) de rotor;
- 25
- la amplitud de una componente de vector define la magnitud de la carga que actúa sobre la respectiva pala (5, 7, 9) y el ángulo de esta componente de vector define la fase de la carga con respecto al azimut del rotor (3); y
- 30
- el vector de carga se multiplica por el factor de corrección de fase antes de introducirse al sistema (47) de control PI.
2. Método de control según la reivindicación 1,
- 35
- caracterizado porque
- el factor de corrección de fase es al menos un número complejo con valor absoluto unitario y un argumento que define una corrección de fase.
- 40
3. Método de control según la reivindicación 2,
- caracterizado porque
- 45
- el factor de corrección de fase comprende un número complejo con valor absoluto unitario y un argumento que define una corrección de fase para cada componente de vector del vector de carga.
4. Método de control según la reivindicación 3,
- caracterizado porque
- 50
- el factor de corrección de fase es una matriz que debe multiplicarse por el vector de carga.
5. Método de control según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,
- 55
- caracterizado porque
- el factor de corrección de fase se deriva de los argumentos de las componentes de vector complejo del vector de carga.
- 60
6. Método de control según la reivindicación 5,
- caracterizado porque
- 65
- el factor de corrección de fase se deriva mediante la diferenciación de los argumentos de las componentes de vector complejo con respecto al tiempo, la posterior integración de los argumentos de las componentes de vector complejo y la formación de números complejos con valor absoluto unitario y los resultados de la

integración multiplicados por la unidad imaginaria como argumento.

- 5 7. Dispositivo (13) de control para controlar una reducción de carga para un rotor (3) de turbina eólica con palas (5, 7, 9) de rotor que comprenden al menos un elemento activo aerodinámico sensible a una señal de control para modificar su configuración, que comprende:
- una entrada (19) de datos de carga para recibir los datos de carga que representan la carga que actúa sobre una pala (5, 7, 9) de rotor;
 - 10 - una entrada (21) de azimut de rotor para recibir los datos de azimut de rotor que representan el azimut de rotor;
 - 15 - una unidad (23) de detección de oscilación que se conecta a la entrada (19) de datos de carga y a la entrada (21) de azimut de rotor para recibir los datos de carga y los datos de azimut de rotor, que está diseñada para detectar componentes de frecuencia de la carga que actúa sobre una pala (5, 7, 9) de rotor a partir de los datos de carga y los datos de azimut de rotor, y que está diseñada para producir un vector complejo de carga cuyo número de componentes de vector complejo corresponde al número de palas (5, 7, 9) de rotor, en el que la amplitud de una componente de vector define la magnitud de la carga que actúa sobre la respectiva pala (5, 7, 9) y el ángulo de la componente de vector define la fase de la carga con respecto al azimut de rotor; y
 - 20 - una unidad (27) de cálculo del factor de corrección caracterizado porque
 - 25 - la unidad (27) de cálculo del factor de corrección está conectada a la unidad (23) de detección de oscilación para recibir el vector de carga y está diseñada para calcular y para producir un factor de corrección de fase basándose en el vector de carga;
 - 30 - un multiplicador (45) que está conectado a la unidad (23) de detección de oscilación para recibir el vector de carga y a la unidad (27) de cálculo del factor de corrección para recibir el factor de corrección de fase y que está diseñado para multiplicar el vector de carga por el factor de corrección de fase;
 - 35 - un controlador (47) PI que está conectado al multiplicador (45) para recibir el resultado de la multiplicación y que está diseñado para establecer y producir señales de control individuales para modificar las configuraciones de los elementos activos aerodinámicos de las palas (5, 7, 9) de rotor.
- 40 8. Dispositivo de control según la reivindicación 7, en el que la unidad (27) de cálculo del factor de corrección comprende:
- una unidad (35) de determinación de argumentos que está conectada a la unidad (23) de detección de oscilación para recibir el vector de carga y está diseñada para determinar los argumentos de las componentes de vector complejo del vector de carga y para producir los argumentos;
 - 45 - un diferenciador (37) que está conectado a la unidad (35) de determinación de argumentos para recibir los argumentos y que está diseñado para determinar la derivada en el tiempo de los argumentos y para producir la derivada en el tiempo;
 - 50 - un integrador (41) que está conectado al diferenciador para recibir las derivadas en el tiempo de los argumentos y que está diseñado para integrar las derivadas en el tiempo de los argumentos y para producir los valores de integración; y
 - 55 - una unidad (43) de formación de factores complejos que está conectada al integrador (41) para recibir los valores de integración y que está diseñada para formar el factor de corrección de fase mediante una multiplicación de los valores de integración por la unidad imaginaria y una posterior potenciación.

FIG 1

