



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 301 400**

⑫ Número de solicitud: 200602931

⑮ Int. Cl.:
F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **17.11.2006**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **16.06.2008**

⑭ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
16.06.2008

⑰ Solicitante/s:
GAMESA INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L.
Polígono Industrial Los Agustinos - c/ A, s/n
31013 Pamplona, Navarra, ES

⑱ Inventor/es: **Otamendi Claramunt, Diego;**
Escalante Arroyo, Emilio;
Rodríguez Parro, Gema y
Echarte Casquero, Francisco Javier

⑳ Agente: **No consta**

㉔ Título: **Método de reducción de cargas en un aerogenerador.**

㉖ Resumen:

Método de reducción de cargas en un aerogenerador ante una desconexión de la red eléctrica durante una ráfaga de viento, que emplea un sistema de control compuesto por tres lazos, con el que se corrige la velocidad de puesta en bandera de las palas a lo largo de una parada de emergencia controlada, mediante una ley no lineal que tiene en cuenta la posición de las palas, las vibraciones de la torre y los límites de velocidad del giro del generador.

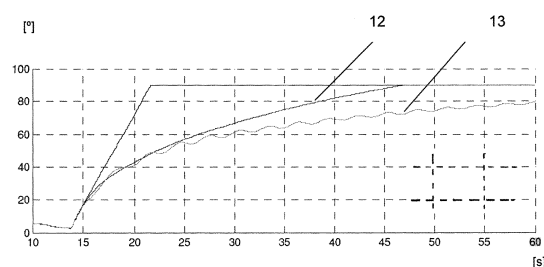


FIG 4

ES 2 301 400 A1

DESCRIPCIÓN

Método de reducción de cargas en un aerogenerador.

5 Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un método de reducción de cargas en un aerogenerador y especialmente, a un método de reducción de cargas en un aerogenerador durante una parada de emergencia controlada cuando se combina una desconexión de la red eléctrica durante la acción de una ráfaga de viento. El citado método de reducción de cargas está basado en la regulación de la velocidad de puesta en bandera de las palas del aerogenerador.

Antecedentes de la invención

Los aerogeneradores de velocidad variable con medios de control para el cambio de paso de las palas, son ampliamente conocidos en el estado del arte. Estos medios de control generalmente incluyen al menos un motor de cambio de paso y una transmisión, conectados a un dispositivo de control que reciben datos de los componentes del aerogenerador y envían señales al motor de cambio de paso para girar la pala alrededor de su eje longitudinal de acuerdo a unas estrategias que permiten optimizar la potencia producida y a su vez proteger el propio aerogenerador en los casos de ráfagas de viento o situaciones de emergencia.

Ante las ráfagas extremas de viento y/o las situaciones de emergencia como la desconexión del generador de la red eléctrica, el mal funcionamiento de alguno de sus componentes, etc., el estado de la técnica conocido contempla sistemas de control para detener el aerogenerador llevando las palas a posición de bandera lo más rápido posible, de forma que las paradas de emergencia, si bien en muchos casos son de corta duración, suelen ser incontroladas y lesivas para ciertos componentes del aerogenerador.

Los siguientes documentos muestran un amplio abanico de técnicas y medios empleados en el estado del arte para reducir las cargas o las vibraciones, ocurridas en algunos casos durante el funcionamiento en condiciones normales del aerogenerador, y en otros, durante paradas de emergencia:

La solicitud WO2005083266, contempla un método de aislamiento de las vibraciones en la góndola y la torre de un aerogenerador en condiciones normales de funcionamiento, basado en la medición de la aceleración de la góndola mediante acelerómetros fijados en ella, y el posterior procesado para el cálculo del ángulo de la pala con el que conseguir el empuje necesario del viento que anule dichas vibraciones.

La publicación WO06007838, se refiere a un sistema lineal de puesta en bandera de las palas del aerogenerador en dos velocidades durante una parada de emergencia producida por una ráfaga de viento. Mediante una primera alta velocidad del orden de 10°/s, se consigue orientar rápidamente las palas fuera de la dirección del viento para evitar una velocidad de giro en el eje del generador por encima de los márgenes de seguridad establecidos, y posteriormente, a través de otra velocidad de cambio de paso más lenta, del orden de 5°/s, se sitúan las palas en posición de bandera fuera del empuje del viento.

El documento WO05116445, describe un sistema de control del pitch que cuando detecta una velocidad del viento superior a cierto límite, el aerogenerador responde orientando las palas fuera de la dirección del viento y variando el ángulo azimutal de la góndola un rango predeterminado.

La publicación US04435647, se refiere a un método para la disminución de la primera frecuencia de oscilaciones de la torre de un aerogenerador al tiempo que mantiene constante la potencia del generador durante las variaciones de la intensidad del viento a lo largo del funcionamiento en condiciones normales del aerogenerador.

Los documentos US6619918 y US20040057828, tratan sobre dos sistemas de control para mantener una distancia de seguridad entre la punta de la pala y la torre del aerogenerador a través del control instantáneo de las cargas mecánicas que afectan a las palas, deduciendo la posición de la punta de la pala y actuando sobre la orientación de la pala respecto al viento para mantener siempre dicha distancia de seguridad.

La diferencia principal entre las solicitudes encontradas en el estado del arte y la presente invención, radica en que en este caso se contempla una parada de emergencia controlada a lo largo de todo el proceso de puesta en bandera de las palas, cuando sucede una desconexión del aerogenerador de la red eléctrica coincidiendo con una ráfaga de viento: Uno de los peores supuestos a la hora de realizar la certificación de un aerogenerador.

Descripción de la invención

El objetivo de la presente invención es la protección de la turbina eólica frente a cargas que generen esfuerzos y/o fatiga más allá de un nivel deseado sobre la estructura y los componentes mecánicos de un aerogenerador, y al mismo tiempo procurar un método operacional para una parada de emergencia en caso de combinarse la incidencia de una ráfaga de viento sobre el aerogenerador acompañada de la desconexión del mismo de la red eléctrica.

Conforme al método de la presente invención, ante un fallo que desconecte el aerogenerador de la red eléctrica durante la incidencia de una ráfaga de viento, se cumplen los objetivos arriba citados reduciendo en primer lugar la excesiva velocidad que alcanza el rotor del generador hasta unos márgenes de seguridad, y en segundo lugar, disminuyendo las vibraciones que producen fatiga en la estructura y los componentes mecánicos del aerogenerador durante una parada de emergencia, a través de una rápida puesta en bandera de las palas, que de forma controlada en todo momento, varíe la velocidad de cambio de paso para aprovecha el empuje del viento en las palas de manera que se oponga resistencia a la vibración de la torre: Así se consigue principalmente minimizar las fuerzas y el momento generados sobre la raíz de las palas, el primer cojinete, la base y la parte superior de la torre.

El método de reducción de cargas en un aerogenerador ante una desconexión de la red eléctrica durante una ráfaga de viento se ha desarrollado con la intención de resolver uno de los casos de cargas más dañino para la actual certificación de los aerogeneradores, pero también es aplicable para el resto de estados normales de funcionamiento. De esta forma se consigue una reducción en las cargas y las vibraciones de todos los componentes del aerogenerador, una reducción de las cargas para la certificación de la máquina, se aumenta la vida a fatiga de todos los componentes no sólo para las cargas certificadas sino también para el resto de casos reales, se disminuyen las oscilaciones de la torre mejorando así su disponibilidad, y es posible optimizar tanto el espesor de las paredes de la torre como el del resto de los componentes del aerogenerador reduciendo el material empleado y por consiguiente abaratando también los costes, o bien se puede optar por aumentar en el margen de seguridad de la máquina en vez de cambiar el diseño de los elementos.

Las ráfagas de viento en forma de sombrero mejicano se caracterizan por un ligero descenso de la velocidad inicial del viento al comienzo del fenómeno, seguido de un incremento repentino de la velocidad, otra rápida disminución por debajo de la velocidad inicial, y una recuperación hasta el valor inicial de la velocidad del viento al final del fenómeno. Uno de los peores supuestos para la certificación de un aerogenerador ante cargas extremas se da cuando además de la acción de una ráfaga de viento en forma de sombrero mejicano, ocurre también una desconexión del aerogenerador de la red eléctrica durante dicha ráfaga. La mayor parte de los componentes mecánicos del aerogenerador se dimensionan para este supuesto.

Breve descripción de las figuras

La Fig. 1 muestra el perfil del viento del caso de una ráfaga en forma de sombrero mejicano, en el que la desconexión de la red eléctrica sucede en el primer valle de la ráfaga.

La Fig. 2 representa un esquema simplificado de un aerogenerador y sus elementos internos, así como su comportamiento frente a la acción del viento.

La Fig. 3 enseña el esquema de control del método de reducción de cargas.

La Figura 4 desglosa las diferentes estrategias que se superponen en la evolución del giro de las palas alrededor de su eje longitudinal durante la parada de emergencia.

Realización preferente de la invención

Tal y como se aprecia en la Fig. 1, los casos de cargas extremas en los que se combina la acción de una ráfaga de viento en forma de sombrero mejicano junto con la desconexión del aerogenerador de la red de suministro eléctrico, vienen definidos por las características de la ráfaga de viento y el momento de desconexión del aerogenerador de la red eléctrica. Un caso práctico de cargas extremas contemplado en las normas IEC, se refiere a una ráfaga de viento con una velocidad inicial de 12 m/s seguida de una desconexión del aerogenerador que puede ser al inicio del fenómeno (1), con la mínima velocidad de viento (primer valle de viento) (2), en su momento de aceleración (3), con el viento máximo de la ráfaga (4). Asimismo, también se contemplan y se definen los mismos puntos de desconexión del aerogenerador de la red eléctrica para una ráfaga con forma de sombrero mejicano pero con una velocidad inicial del viento de 25 m/s.

Tal y como se muestra en la figura 2, una desconexión del aerogenerador (14) de la red eléctrica o un fallo de ésta, independientemente de si simultáneamente incide una ráfaga de viento o no sobre la máquina, supone la pérdida de tensión en generador (5) que, en caso de no orientar las palas (6) rápidamente a la posición de bandera, conlleva una repentina aceleración del rotor del generador (5) por la desaparición el par eléctrico que se opone al giro. Por ende, el empuje del viento (7) produce un incremento en la velocidad de giro de las palas (6), que aumenta las cargas en la raíz de la pala, en el primer cojinete, en la torre (8) y puede llegar a poner en peligro la integridad del propio generador (5) debido a la fuerza centrífuga. Igualmente, durante el funcionamiento en condiciones normales del aerogenerador (14), el viento (7) incide sobre la superficie orientada al viento de las palas (6) de la máquina y éstas oponen resistencia al giro debido al par eléctrico del generador (5). Como consecuencia del empuje del viento (7) y la resistencia de las palas (6), la torre (8) adquiere cierta flexión en la misma dirección del viento; si en un momento dado se desconecta el aerogenerador (14) de la red eléctrica se pierde dicha resistencia, lo que produce que la torre (8) comience a pendular principalmente en su primer modo de oscilación, pudiendo llegar a producirse daños a fatiga en caso de repetirse a menudo este fenómeno.

Las cargas extremas en los componentes mecánicos del aerogenerador son aún más graves cuando dicha desconexión de la red de suministro se produce durante una ráfaga de viento. En este caso, el giro del rotor además de acelerarse por el aumento en la velocidad del viento, también se acelera por la pérdida del par eléctrico que se opone al giro del generador, de manera que las fuerzas y los momentos en la base y la parte superior de la torre (8) aumentan en gran medida, ídem para la raíz de la pala, la propia pala, el primer cojinete y los daños causados por la excesiva velocidad en el generador. Además, el pendular de la torre puede ser aún más grave dependiendo en qué momento de la ráfaga suceda la desconexión, y por consiguiente los daños a fatiga deben tomarse muy en cuenta a la hora de dimensionar no sólo la torre sino también el resto de los componentes mecánicos del aerogenerador (14). Por lo tanto la presente invención propone un sistema de control a través del cual se reducen las cargas en los componentes mecánicos y estructurales del aerogenerador (14) al mismo tiempo que se atenúa la amplitud de la oscilación de la torre y permite optimizar el diseño de sus componentes ó incrementar los márgenes de seguridad.

La dificultad a la hora de afrontar el problema radica principalmente en que por un lado las ráfagas de viento no tienen efectos lineales, y por otro lado, en que no es posible predecir el momento en el que se producirá una desconexión del aerogenerador (14) de la red de suministro eléctrico en un caso real. Por lo tanto, la presente invención pretende abordar estos dos grados de libertad a través de un sistema de control tal y como se muestra en la figura 3, compuesto por tres lazos de control. El lazo de control abierto (9), fija los puntos operacionales larguen el rango de funcionamiento del aerogenerador (14) en condiciones normales como durante la puesta en bandera de las palas en los casos de emergencia, mientras que los otros dos lazos cerrados (10 y 11) se encargan de incorporar estrategias de control activo para corregir y asegurar el punto óptimo requerido en cada instante de su funcionamiento en condiciones normales y en la puesta en bandera de la pala, procurando así la consecución de los principales objetivos de controlar la velocidad del generador, equivalente a evitar valores extremos de la fuerza que produce el giro de las palas, y reducir los valores máximos de la flexión en la base de la torre debidos a las oscilaciones provocadas por el empuje de las palas. Desde el punto de vista del control, el primer lazo abierto (9) fija los valores de la respuesta estática del sistema, mientras que los lazos cerrados (10 y 11) mejoran el comportamiento del generador y de la torre actualizando los valores de forma dinámica y con respuestas no lineales.

En este sentido el lazo abierto (9) del sistema comprende el control de la orientación de las palas durante el funcionamiento en condiciones normales del aerogenerador (14) para regular la potencia y el giro del rotor del generador, y también incluye un proceso de parada controlada o puesta en bandera de las palas para los casos de emergencia. Tal y como se aprecia en la curva (12) de la figura 4, el caso de parada controlada que nos ocupa según el control en lazo abierto (9) se define por un inicio a alta velocidad de cambio de paso y una posterior deceleración suave hasta llegar a la posición de bandera final, en base a valores predeterminados de velocidades de cambio de paso medio de las palas. De esta forma se disminuye el riesgo de sobrepasar la velocidad del generador por encima de los límites de seguridad, al tiempo que también se reduce la amplitud de la vibración de la torre desde el primer momento de la emergencia.

Del mismo modo, tal y como se aprecia en la curva (13) de la figura 4, el primer lazo cerrado (10) de control trata de mitigar la amplitud de las vibraciones de la torre en cada instante. Para ello, combina un sistema que predice los efectos de las ráfagas de viento e incrementa el valor del ángulo de la orientación de las palas antes de una posible desconexión del aerogenerador (14) de la red eléctrica con la que se reducen las cargas sobre la torre, junto con la variación de forma dinámica y no lineal del rango de velocidades de la puesta en bandera de las palas, que contrarresta dichas vibraciones en la torre con el empuje del viento en las palas, en base a los valores de la flexión en la base de la torre ó de la aceleración en la punta de la torre. Esta estrategia superpone una curva no lineal de aspecto sinusoidal (13) sobre la curva del primer lazo abierto de control (12).

Y por último, el segundo lazo cerrado (11) delimita la curva (13) de la figura 4 para evitar ángulos negativos de ataque, ya que si bien los coeficientes de elevación negativos pueden ayudar a reducir las cargas y la oscilación de la torre en casos muy concretos, al mismo tiempo también aumentan la velocidad del rotor del generador pudiendo llegar a provocar daños en la multiplicadora, las palas, la raíz de las palas, el generador, y en el primer cojinete del eje principal del aerogenerador. Este lazo cerrado (11) de control tendrá en cuenta los parámetros de los que depende el ángulo de ataque como pueden ser de la velocidad del rotor, la velocidad del viento y el ángulo de orientación de las palas para evitar ángulos de ataque que puedan producir velocidades de giro por encima del valor máximo determinado para el cual fueron diseñados dichos componentes.

La aplicación de el método arriba explicado, demuestra una mejora en la respuesta del aerogenerador respecto al estado del arte publicado hasta la fecha, en relación con la minimización de las cargas y las vibraciones en los componentes del aerogenerador, la reducción de las cargas extremas para la certificación del aerogenerador, el aumento de la vida a fatiga de todos los componentes, no sólo para las cargas certificadas sino también para el resto de casos reales, la disminución de la oscilación en la torre y como consecuencia mejora su disponibilidad y posibilita optimizar tanto el espesor de sus paredes como el del resto de los componentes del aerogenerador, reduciendo así el material empleado y por consiguiente el coste; o bien se logra un aumento en el margen de seguridad de la máquina.

REIVINDICACIONES

1. Método para la reducción de cargas en un aerogenerador conectado a una red eléctrica, que está compuesto por al menos una pala, un sistema de cambio de paso de velocidad variable, un generador, una torre, un conjunto de sensores dispuestos en dichos elementos, un sistema de alimentación ininterrumpida y un sistema de control conectado a dichos sensores y al sistema de cambio de paso, **caracterizado** porque ante una desconexión de la red eléctrica en el transcurso de una ráfaga de viento, se realiza una parada de emergencia controlada que comprende una rápida puesta en bandera de las palas con una disminución progresiva de la velocidad de cambio de paso a medida que las palas se acercan a la posición de bandera, y una corrección dinámica en forma de onda sinusoidal de la velocidad de cambio de paso de la pala durante el recorrido de puesta en bandera.

2. Método para la reducción de cargas en un aerogenerador según reivindicación 1 **caracterizado** porque la disminución progresiva de la velocidad de cambio de paso se regula a partir de un lazo abierto que toma como referencia valores predeterminados de velocidades de cambio de paso medio de las palas, y la corrección dinámica en forma de onda sinusoidal se introduce a partir dos lazos realimentados que toman como referencia la oscilación de la torre y la velocidad del generador respectivamente.

3. Método para la reducción de cargas en un aerogenerador según reivindicación 2 **caracterizado** porque el lazo realimentado que toma como referencia la oscilación de la torre, acelera o decelera dinámicamente la puesta en bandera de las palas, de forma que el efecto aerodinámico de la variación de la velocidad de cambio de paso produce un empuje del viento en las palas que contrarresta las oscilaciones de la torre a lo largo del proceso de puesta en bandera.

4. Método para la reducción de cargas en un aerogenerador según reivindicación 3 **caracterizado** porque el lazo realimentado que toma como referencia la velocidad del generador evita ángulos negativos de ataque en las palas que producen un aumento en la velocidad de giro del generador por encima de unos límites de seguridad.

5. Método para la reducción de cargas en un aerogenerador según reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la parada de emergencia se emplea en cualquier emergencia que comprende la desconexión de la red de suministro sin la necesidad de combinarse con una ráfaga de viento.

6. Método para la reducción de cargas en un aerogenerador según reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la parada de emergencia se emplea ante cualquier ráfaga de viento, sin la necesidad de combinarse con una desconexión de la red de suministro.

7. Método de reducción de cargas en un aerogenerador según reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque comprende la utilización de cualquiera de los tres lazos de control por separado ó la combinación de dos de los tres lazos de control.

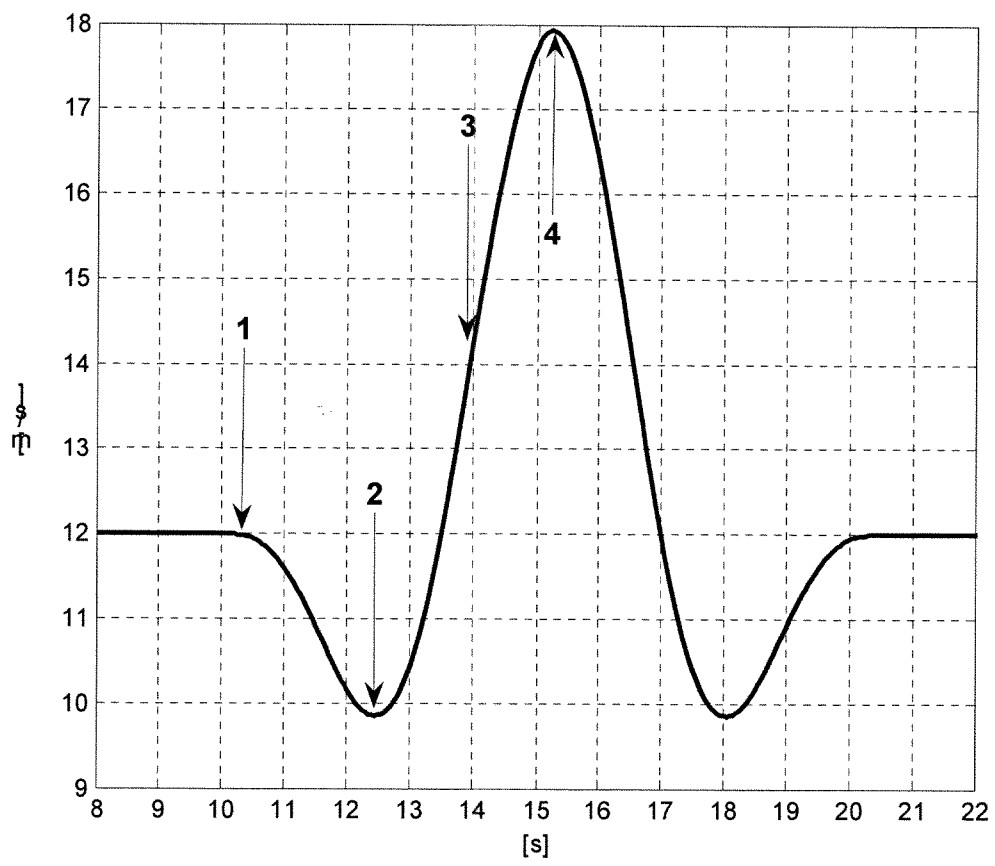


FIG. 1

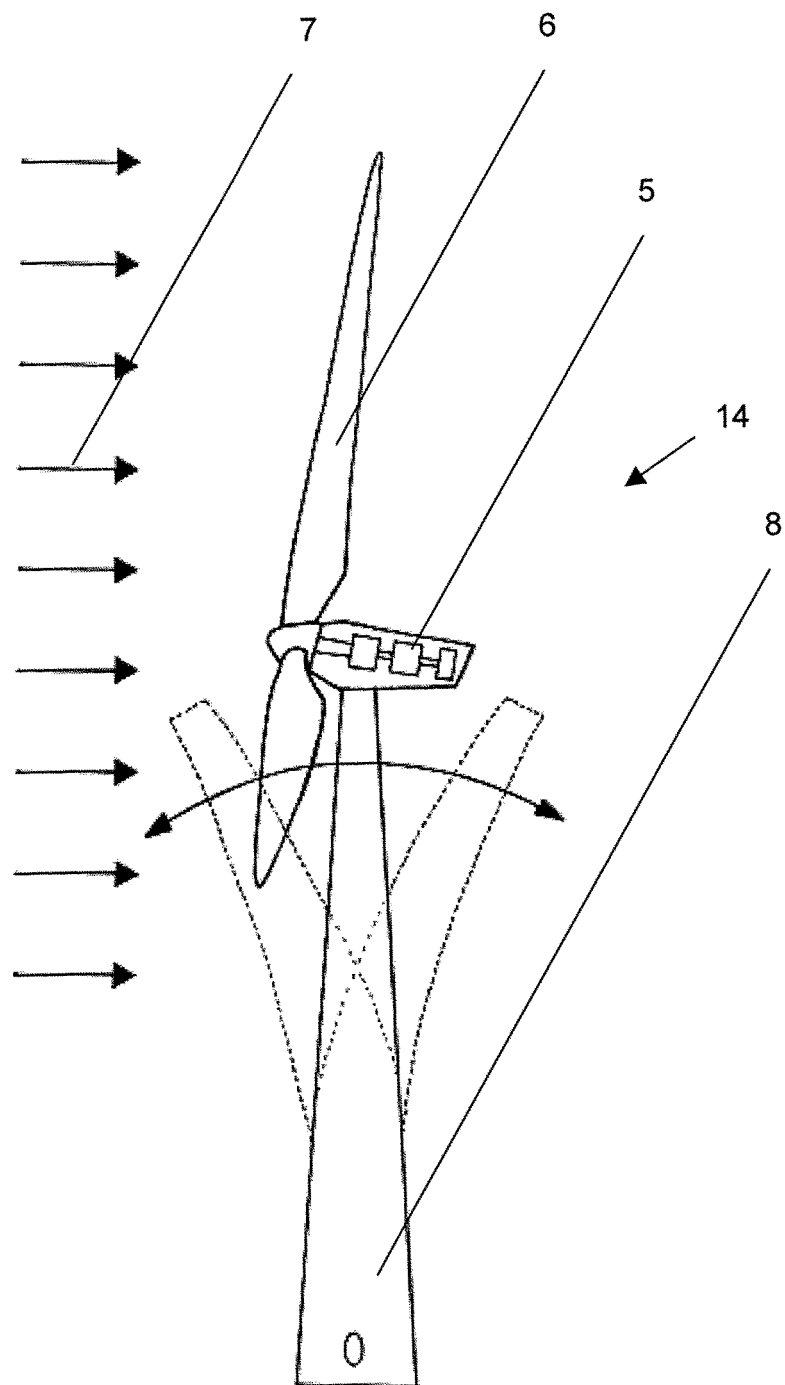


FIG. 2

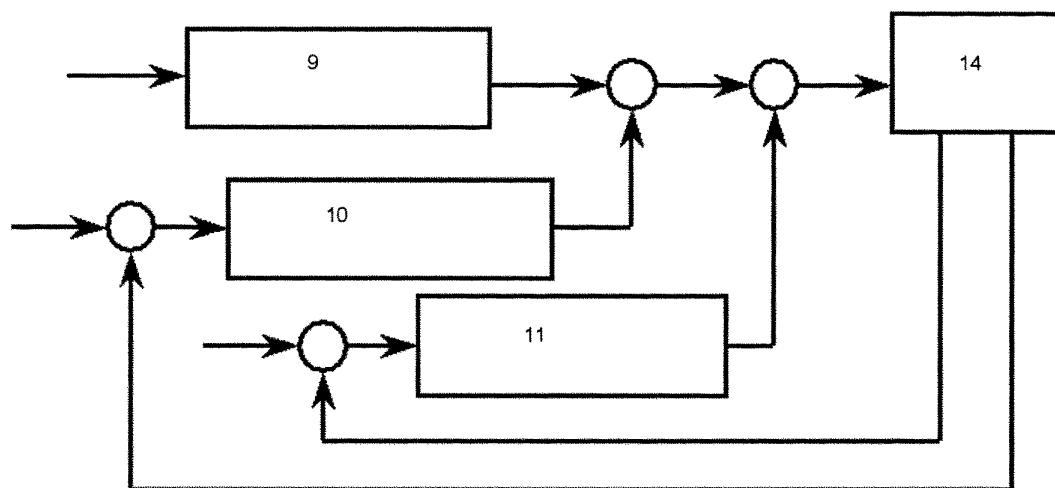


FIG. 3

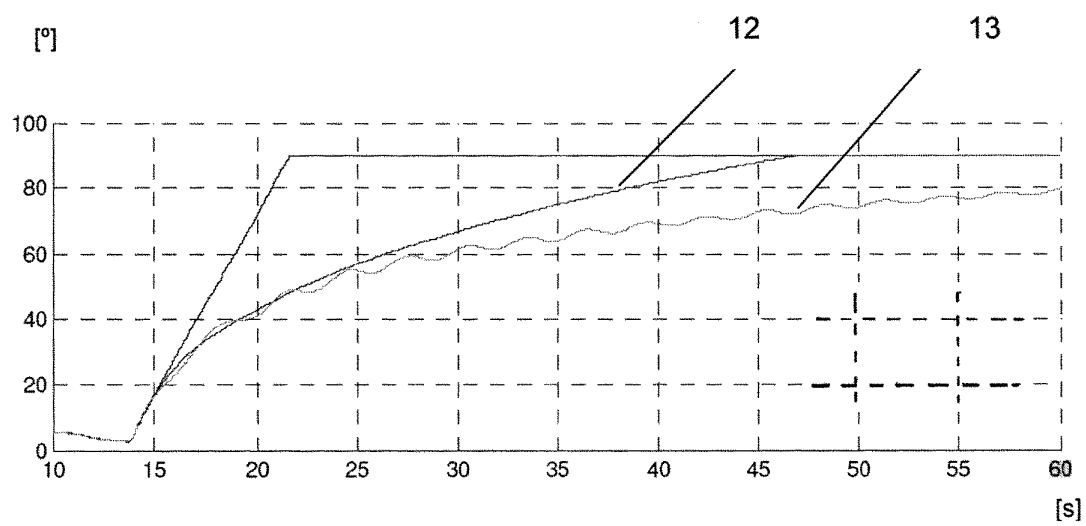


FIG 4



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 301 400

⑫ Nº de solicitud: 200602931

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 17.11.2006

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: **F03D 7/04** (2006.01)
F03D 7/02 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 2006066111 A1 (SURYANARAYANAN et al.) 30.03.2006, todo el documento.	1-7
A	GB 2023237 A (UNITED TECHNOLOGIES CORP) 28.12.1979, todo el documento.	1-7
A	DE 19731918 A1 (WOBLEN ALOYS) 28.01.1999, todo el documento.	1-7

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

13.05.2008

Examinador

Mª A. López Carretero

Página

1/1