(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 551 659**

(21) Número de solicitud: 201430728

(51) Int. CI.:

F03D 7/04 (2006.01)

(12) SOLICITUD DE PATENTE A1

(22) Fecha de presentación:

20.05.2014

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

20.11.2015

(71) Solicitantes:

ACCIONA WINDPOWER, S.A. (100.0%)
Avenida Ciudad de la Innovación, 5
31621 Sarriguren (Navarra) ES

(72) Inventor/es:

MOLINS GARRALDA, Carlos;
GARCÍA BARACE, Alberto;
LABORDA RUBIO, José Luis;
ARLABÁN GABEIRAS, Teresa;
GONZÁLEZ MURÚA, Alejandro;
ARÍSTEGUI LANTERO, José Luis;
GARCÍA SAYÉS, José Miguel y
NÚÑEZ POLO, Miguel

(74) Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

(54) Título: **Método de control de un aerogenerador**

(57) Resumen:

Método de control de un aerogenerador que comprende los pasos de obtener una primera señal de la posición acimutal (θ) para cada pala, obtener al menos una señal indicativa de la velocidad del viento (v), y calcular un término de control de ángulo de paso (Δβ). El paso de calcular el término de control de ángulo de paso de pala (Δβ) 10 comprende emplear al menos una función que depende de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) y porque la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) incluye un tramo creciente en un rango de valores de velocidad de viento por debajo de una velocidad de viento nominal (v_{nom}).

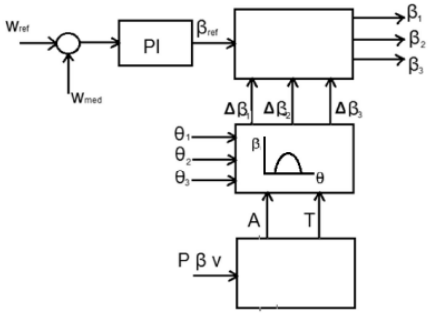

FIG. 7

ES 2 551 659 A1

DESCRIPCIÓN

Método de control de un aerogenerador

OBJETO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se enmarca dentro del campo técnico de los métodos de control de aerogeneradores.

Más concretamente se describe un método de control cíclico de pitch para un aerogenerador, cuyo objeto es incrementar la distancia de la punta de la pala a la torre reduciendo la energía perdida asociada a dicho tipo de controles.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

La tendencia actual en el diseño de aerogeneradores es aumentar la longitud de las palas para aumentar la energía anual producida, mediante un compromiso entre ligereza y rigidez. A su vez, es ventajoso disponer de una misma plataforma (entendiéndose por plataforma los elementos estructurales del aerogenerador, es decir la torre y elementos del buje y la góndola) con el mismo dimensionamiento válida para su uso con diferentes dimensiones de palas para distintas clases de emplazamiento, pues esto abre nuevos mercados al producto optimizando el coste.

Una de las mayores problemáticas al incrementar la longitud de las palas tratando de acotar el peso es el incremento en flexibilidad de las mismas. Dicha flexibilidad unida al incremento en la velocidad de viento hace que aumente también la deflexión de las palas en la dirección en del viento. Esto es, para un aerogenerador a barlovento (configuración normal), llevando la punta de las palas hacia la torre.

Existen diferentes soluciones para evitar que las palas en su deflexión golpeen en la torre ya que si esto ocurriera se producirían daños irreparables en ambos componentes. Una práctica muy habitual consiste en diseñar el eje de giro del rotor de manera que no sea horizontal, sino dotado de un cierto ángulo con respecto a la horizontal, de manera que se aleje la punta de las palas de la torre en su paso frente a ella al girar. Dicho ángulo es conocido como ángulo de tilt. Cuanto mayor sea dicho ángulo, más flexibles y por tanto ligeras pueden ser fabricadas las palas, lo cual repercute positivamente en el peso del resto de componentes y finalmente en el coste del conjunto. Sin embargo se reduce la superficie efectiva del rotor.

Otra posibilidad consiste en emplear bujes con un mayor ángulo de conning. Sin embargo, esto de nuevo produce una reducción del área barrida por el rotor en perpendicular al viento. Estas posibilidades ya conocidas implican una reducción en la energía anual producida.

La zona (o régimen) de vientos en que la posibilidad de impacto de la punta coincide con la zona del codo de la curva de potencia de la máquina (8-13 m/s) en la cual el empuje es máximo. En dicha zona, habitualmente el ángulo de paso de pala es el que consigue la mayor producción posible, denominado comúnmente fine pitch.

En aerogeneradores cuyo objetivo es maximizar la producción sin problemas por impacto de la punta de la pala con la torre, el empuje crece con el viento desde el valor mínimo de conexión hasta que el aerogenerador alcanza la potencia nominal, llegando el empuje a su valor máximo en dicha zona y en ángulos de pitch alrededor de 0º (fine-pitch). Una vez alcanzada la potencia nominal, el ángulo de paso se regula hacia bandera para reducir la captura energética y mantener la potencia en su valor nominal, reduciéndose de nuevo el empuje.

Siendo el empuje la principal causa de la flexión de la pala, se puede deducir que la deflexión será máxima cerca de la zona de vientos de empuje máximo y en ángulos de pitch próximos a fine pitch.

Se conocen del estado de la técnica métodos de control del ángulo de paso de pala colectivo (en

la misma medida en todas las palas) para evitar colisiones de la pala con la torre. Para ello, en la zona de vientos problemática, i.e. la zona del codo de la curva de potencia de la máquina (8-13 m/s), se incrementa el ángulo de paso de las tres palas para evitar que por efecto de las ráfagas de viento, la pala flecte en exceso.

El mayor inconveniente de este método de control es que mueve las tres palas hasta posiciones no óptimas desde el punto de vista aerodinámico lo cual se traduce en una gran pérdida de energía anual.

Para tratar de solventar esa pérdida energética, se han desarrollado en el estado de la técnica estrategias en las que el ángulo de paso de la pala se modifica cíclicamente para cada pala exclusivamente en la zona de giro en que la pala va a pasar por delante de la torre (ángulos azimutales comprendidos entre 90º y 270º).

Este tipo de control se corresponde con el mostrado en el documento US2013045098 en el que se describe un método de control que tiene por objetivo incrementar la distancia de la punta de la pala a la torre. Con este método se controla el ángulo de paso de la pala que se acerca a la torre al girar el rotor, moviéndolo hacia ángulos de menor captura de potencia (i.e, se desenfrenta la pala del viento) cuando se detecta su posición acimutal y está cerca de la posición en la que pasa por la torre.

El método descrito en dicho documento realiza además una compensación de la energía perdida asociada al movimiento de pitch hacia ángulos positivos en la pala que pasa por delante de la torre enfrentando más al viento las otras dos palas. Esto permite también reducir el rizado de potencia asociado. El problema es que esto sólo sirve en zonas de potencia nominal (en otras zonas el ángulo de paso ya es el óptimo, entendido como aquél que proporciona la máxima captura energética) en que existe un excedente de potencia.

Dado que la mínima distancia entre la punta de pala y la superficie de la torre ocurre al paso de ésta por 180º de posición acimutal, se suma un término de ángulo de paso de pala adicional que toma un valor dependiente de la posición acimutal de la pala y que toma su valor máximo al paso de pala por torre (en una posición acimutal que corresponde aproximadamente a 180º, siendo el origen de la referencia la posición de la pala en vertical hacia arriba).

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

El método de control de aerogeneradores de la presente invención permite incrementar la distancia entre la punta de la pala que pasa por la torre del generador en cada momento y la propia torre, para evitar posibles colisiones. Para ello el método de control incluye la aplicación de un término de control de ángulo de paso de pala que se calcula en función de al menos una señal indicativa de la velocidad de viento y en función del ángulo acimutal de cada pala.

El objetivo del método propuesto es disminuir la pérdida de energía asociada a la variación del ángulo de paso de pala que se realiza cuando éstas pasan por la torre (ángulo acimutal de 180º medido tomando como referencia la posición vertical de la pala hacia arriba). Como se ha descrito anteriormente, la variación del ángulo de paso en ese punto se realiza para evitar posibles colisiones de la punta de la pala con la torre del aerogenerador y el presente método permite disminuir dicha pérdida de energía asociada.

Se trata de un método de control que minimiza la pérdida energética que se produce por el hecho de mover la pala hacia ángulos de paso de pala positivos y que comprende la aplicación de un valor para el término adicional del ángulo de paso de pala dependiente de una señal indicativa de la velocidad del viento. Así se consigue que la pérdida energética asociada a la imposición de un ángulo no óptimo se reduzca.

Durante el funcionamiento del aerogenerador la función de control pasa por una zona de producción parcial y por una zona de producción nominal. La zona de producción parcial es la

zona en la que se produce una potencia menor a la potencia nominal del aerogenerador y la zona de producción nominal es la zona en la que se produce una potencia igual a la potencia nominal.

El método descrito emplea como señal indicativa de viento:

-la potencia generada, en la zona de producción parcial con potencial de colisión de la pala con la torre, y

-el ángulo de paso, en la zona de producción nominal con potencial de colisión de la pala con la torre.

Así pues el valor del ángulo de paso de cada pala se controla en función de la posibilidad de que ocurra una colisión de la pala con la torre para minimizar la pérdida energética.

Esta probabilidad de colisión entre la pala y la torre es creciente hasta la potencia nominal, donde generalmente se empieza a regular la potencia de giro del rotor girando la pala hacia mayores ángulos de paso (es decir, hacia bandera) debido a que en dicha zona hay mayores valores de empuje.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra una vista de las posiciones de las palas del aerogenerador en la que se aprecian las posiciones acimutales de las palas y la referencia de ángulo acimutal correspondiente a la posición de la pala en vertical hacia arriba.

Figura 2.- Muestra una gráfica en la que se ha rayado la zona con posibilidad de colisión de la pala con la torre en función de la potencia y de la velocidad del viento.

Figura 3.- Muestra una gráfica de la función que rige el valor del término de control paso de pala para incrementar la distancia de la punta de la pala a la torre en función de la señal indicativa de la velocidad del viento.

Figura 4.- Muestra una gráfica de la función que rige el valor del término de control paso de pala aplicada al cálculo de la amplitud máxima, dependiente de la potencia.

Figura 5.- Muestra una gráfica de la función que rige el valor del término de control de paso de pala para incrementar la distancia de la punta de la pala a la torre para un valor mínimo de ángulo de paso de pala mínimo igual a cero.

Figura 6.- Muestra una gráfica en la que se han representado dos ejemplos de aplicación de la ganancia variable dependiente de la amplitud de la función que regula el valor del término de paso de pala y se observa que el rango de posiciones acimutales en que el término de control de paso de pala es no nulo depende de la amplitud máxima en función de la señal.

Figura 7.- Muestra una vista esquemática del diagrama de bloques implementado en la unidad de control del generador para llevar a cabo el método de control.

Figura 8.- Muestra dos gráficas en las que se ve el valor del ángulo de paso de pala en función de la velocidad del viento y la amplitud del término de control de ángulo de paso aplicado se reduce al disminuir la velocidad del viento.

Figura 9.- Muestra una gráfica en la que el valor máximo del término de control de ángulo de paso de pala se alcanza antes de llegar a una posición acimutal coincidente con una zona próxima a la torre.

Figura 10.- Muestra una gráfica en la que el valor máximo del término de control de ángulo de paso de pala se mantiene en toda la zona de influencia de la torre para estar protegidos frente a variaciones de la velocidad del viento.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN

A continuación se presenta un ejemplo de realización del método de control de aerogeneradores de la presente invención.

En la figura 1 se aprecia una imagen en la que se ha representado la parte superior de un aerogenerador. Se aprecian un rotor con tres palas y la parte superior de la torre. En dicha figura se pueden observar los ángulos acimutales (θ) que reflejan las posiciones de cada pala con respecto a la referencia de ángulo acimutal correspondiente a la posición de la pala en vertical hacia arriba.

En la figura 2 se ha representado la curva de potencia genérica de un aerogenerador en la que se muestra la potencia generada (P) en función de la velocidad del viento (v). El punto inicial de la curva viene determinado por la velocidad de viento a la que el aerogenerador comienza a entregar potencia a la red eléctrica (v_{in}) y el punto final de la velocidad viento a la que el aerogenerador se desconecta de la red eléctrica para no verse sometido a unas excesivas cargas mecánicas (v_{out}).

La zona rayada representa la zona en la que existe riesgo de colisión de la punta de la pala con la torre y está situada entre una velocidad v_1 menor que la v_{nom} y una velocidad v_2 mayor que v_{nom}. Como se observa en la gráfica, la zona rayada abarca parte de la zona de producción parcial y parte de la zona de producción nominal. Dicha zona rayada es la zona en la que el término de control de ángulo de paso de pala ($\Delta\beta$) puede tomar valores positivos dependiendo de la posición azimutal.

Como se ha descrito anteriormente habitualmente el empuje es máximo antes de llegar a la potencia nominal (P_{nom}) pero cuando se alcanza esta potencia el ángulo de paso (β) de las tres palas (cuando se mueven los tres al mismo tiempo) comienza a tomar valores positivos para controlar la velocidad de giro y mantener la potencia acotada entorno a la potencia nominal de forma que el empuje y la flexión se reducen (la flexión se reduce como consecuencia de la reducción en el empuje). En ese momento, como ha disminuido la flexión, disminuye también la probabilidad de que la pala colisione con la torre y por tanto ya no es necesario aplicar a la función de control del ángulo de paso un término dependiente de la posición acimutal de la pala.

El método de control propuesto está destinado a ser empleado en un aerogenerador del tipo de los que comprenden:

-una torre,

-un rotor con una pluralidad de palas que comprenden a su vez respectivos actuadores configurados para variar el ángulo de paso de cada pala, y

-una unidad de control.

Dicho método comprende los siguientes pasos:

-obtener una primera señal de la posición acimutal (θ) para cada pala,

-obtener al menos una señal indicativa de la velocidad del viento (v), y

-calcular un término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) para cada pala en función de la posición acimutal (θ) de cada pala y de la al menos una señal indicativa de la velocidad del viento (v), destinado a aumentar el ángulo de paso (β) de la pala.

Posteriormente, el término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) para cada pala es enviado a cada pala para que los respectivos actuadores varíen el ángulo de paso de acuerdo a dicho término de control.

De esta forma se consigue, aumentando el ángulo de paso (β) de la pala en un rango de posiciones acimutales de pala comprendido entre 90º y 270º, incrementar la distancia entre la punta de la pala y la torre y evitar de esta forma potenciales colisiones de la pala con la torre.

Por otro lado, si el rango de posiciones acimutales en que se aumenta el ángulo de paso (β) de la pala está comprendido entre 270º y 90º, el aerogenerador está protegido frente a carga extrema en caso de que se produzca una variación brusca del perfil de cortadura del viento.

La clave del método propuesto es que el paso de calcular el término de control de ángulo de paso de pala ($\Delta\beta$) comprende emplear al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) y porque la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento comprende un tramo creciente en un rango de valores de viento por debajo de una velocidad de viento nominal (v_{nom}).

La al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento incluye un tramo decreciente en un rango de valores de viento por encima de una velocidad de viento nominal.

Tal y como se aprecia en la figura 2, la zona rayada es en la que se aplica un valor distinto de cero (valor que será positivo en los aerogeneradores con control de paso de pala hacia bandera) para el término de control de ángulo de paso de pala ($\Delta\beta$). Al depender de la posición acimutal (θ) y tomar valores no nulos en un rango de posiciones azimutales próximos al ángulo de paso de pala por delante de la torre (i.e. entre 90º-270º según las referencias de la figura 1) y valores nulos en un rango de posiciones azimutales lejanos al ángulo de paso de pala por delante de la torre (i.e. entre 270º-90º según las referencias de la figura 1), la función es cíclica al cambiar el valor término de control de paso de pala por efecto de la variación de la posición azimutal de pala debida al giro del rotor.

Generalmente emplear medidas de viento es desaconsejable porque tienen bastante ruido ya que se ven afectadas por el paso de la pala por delante del anemómetro y son medidas puntuales. Para evitar estos fallos la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento comprende una medida filtrada de viento. En un ejemplo de realización, la obtención de una medida filtrada de viento se puede hacer promediando medidas puntuales de viento en un intervalo de tiempo determinado, por ejemplo, 5s, 10s, etc.

En una realización de la invención el método emplea la potencia generada como señal indicativa de viento en la zona de producción parcial (para el rango de valores de velocidad de viento por debajo de una velocidad de viento nominal). En esta realización, la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento comprende una medida de potencia generada (P) y la función empleada para calcular el término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) es dependiente de la potencia generada (P) e incluye un tramo creciente en un rango de potencias por debajo de la potencia nominal (Pnom).

En concreto, en una realización de la invención, la función empleada para calcular el término de control del ángulo de paso de pala ($\Delta\beta$) es una función cíclica, con periodo dependiente de la posición azimutal de la pala (θ) y amplitud (A) dependiente de la señal indicativa de viento (v), por tanto A=A(v). Por tanto, la función empleada para calcular el término de control del ángulo de paso de pala presenta una doble dependencia de la posición azimutal de pala y de la señal indicativa de viento $\Delta\beta=\Delta\beta(\theta, v)$.

En una realización, dicha función es una función senoidal que toma una expresión del tipo:

$$\Delta\beta=\Delta\beta(\theta, v)=A(v)*\text{sen}\ (\theta-\pi/2)$$

Además es una función a tramos que toma la siguiente expresión dependiendo de la posición azimutal:

$\Delta\beta$= A(v)*sen ($\theta-\pi/2$) para $\theta 1 < \theta < \theta 2$

$\Delta\beta$= 0 para $\theta 2 < \theta < \theta 1$

Alternativamente, la función puede ser una función triangular o trapezoidal o estar desfasada con respecto a la posición de la torre como se mostrará más adelante.

Como se ha dicho se emplea una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) para el cálculo de un valor del término de control de paso de pala. Dicha función, en una realización, define el valor de la amplitud (A) de la función cíclica en función de la señal indicativa de viento (v).

En la figura 3 se aprecia un gráfico en el que la función define el valor de la amplitud (A) de la función cíclica en función de la señal indicativa de viento (v) que proporcionará como resultado al aplicarse a la función cíclica el valor que toma el término de control del ángulo de paso ($\Delta\beta$) de la pala para aumentar la distancia de la punta de la pala a la torre en función de la señal indicativa de la velocidad del viento.

Dicha gráfica incluye un tramo creciente de V_1 a V_3 siendo V_1 una velocidad menor que la velocidad de viento nominal, e incluye un tramo decreciente de V_4 a V_2 siendo V_2 una velocidad mayor que la velocidad del viento nominal. Es decir A=A(v) y en concreto:

A= 0 para $v < V1$

$A = A_{Max} (V_3-v)/(V_3-V_1)$ para $V_1<v<V_3$ con $V_1<V_3<V_{Nom}$

$A = A_{Max}$ para $V_3<v<V_4$ con $V_3<V_{Nom}$ y $V_4>V_{Nom}$

$A = A_{Max} - A_{Max} (v-V_4)/(V_2-V_4)$ para $V_4<v<V_2$ con $V_4>V_{Nom}$

A=0 para $v>V_2$

Como señales indicativas de viento el método descrito emplea para el cálculo de la amplitud (A) de de la función cíclica, i.e. la función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) para el cálculo de un valor del término de control de paso de pala:

-la potencia generada (P), en la zona de producción parcial con potencial de colisión de la pala con la torre, y

-el ángulo de paso (β), en la zona de producción nominal con potencial de colisión de la pala con la torre.

Así, en una realización se emplean dos funciones para el cálculo de la amplitud A aplicada a la función cíclica, una dependiente de la potencia A(P) y otra dependiente del ángulo de paso de pala A(β).

De esta forma la función que define el valor de la amplitud (A) de la función cíclica en función de la señal indicativa de viento (v) tiene una doble dependencia de la potencia generada y del ángulo de paso de pala de manera que por debajo en la zona de potencias parciales, i.e. por debajo de la velocidad de viento nominal, la función depende de la potencia generada (P) y por encima de la velocidad de viento nominal, la función depende del ángulo de paso de pala (β):

A(P, β) =A(P) para $v < V_{Nom}$

A(P, β) =A(β) para $v>V_{Nom}$

En una realización de la invención, la señal indicativa de viento es la potencia generada

y el método comprende los siguientes pasos:

-obtener la medida de potencia generada (P)

-establecer un primer valor de potencia generada (P_1) y un segundo valor de potencia generada (P_2), donde el segundo valor de potencia generada (P_2) es menor que la potencia nominal (P_{nom}), y el primer valor de potencia generada (P_1) es menor que el segundo valor de potencia generada (P_2),

-calcular el término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) en función de la medida de potencia generada (P).

Según dicha realización, el tramo creciente de la función para calcular el valor del término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) está comprendido entre el primer valor de potencia generada (P_1) y el segundo valor de potencia generada (P_2), tal y como se aprecia en la figura 4 para P_1=0.65 y P_2=0.8.

En dicha figura 4 se muestra un gráfico que representa el valor de la amplitud A en función de la potencia P. Se aprecia en ella cómo por debajo de un umbral delimitado por un primer valor de potencia generada P_1 la amplitud A de la función es nula y para un valor de potencia entre P_1 y P_2 (siendo P_2 un segundo valor de potencia generada menor que la potencia nominal P_{nom} y siendo el primer valor de potencia generada menor que el segundo valor de potencia generada (P_1<P_2)) el valor de la amplitud crece hasta alcanzar su valor máximo A_{Max} cuando la potencia es igual a P_2.

En concreto, en la figura 4 el primer valor de potencia generada equivale a un 0.65 de la potencia nominal del aerogenerador y el segundo valor de potencia generada equivale a un 0.8 de la potencia nominal del aerogenerador, i.e. P_1=0.65 y P_2=0.8. Así, la función que proporciona el valor de la amplitud A es una función a tramos dada por la siguiente expresión:

$A=0$ para $P<P_1 A=A(P)=A_{Max}(P_2-P)/(P_2-P_1)$ para $P_1<P<P_2$ con $P_2<P_{nom}$.

$A=A(P)=A_{Max}$ $P_2<P<P_{nom}$

El valor máximo de la amplitud A_{Max} se calcula para evitar la colisión de pala en el caso más desfavorable de empuje.

En dicha figura 4 se muestra un ejemplo de realización en el que el primer valor de potencia generada (P_1) es de 0,65 pu y el segundo valor de potencia generada (P_2) es de 0,8 pu.

En un ejemplo del método en el que la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento comprende una medida de potencia generada (P), dicho método comprende los siguientes pasos:

-obtener la medida de potencia generada (P),

-establecer un primer valor de potencia generada (P_1) y un segundo valor de potencia generada (P_2), donde el segundo valor de potencia generada (P_2) es menor que la potencia nominal (P_{nom}), y el primer valor de potencia generada (P_1) es menor que el segundo valor de potencia generada (P_2),

-calcular el término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) empleando la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) utilizando como señal indicativa de viento la medida de potencia generada (P),

y donde el tramo creciente de la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento está comprendido entre el primer valor de potencia generada (P_1) y el segundo valor de potencia generada (P_2).

En otro ejemplo de realización de la invención se emplea el ángulo de paso de la pala (β) como señal indicativa de la velocidad del viento en la zona de producción nominal para un rango de velocidades del viento por encima de una velocidad de viento nominal. En esta realización la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento comprende una medida de ángulo de paso de pala (β).

El valor del término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) varía, como se aprecia en la figura 5, entre los siguientes valores:

- Si el ángulo de paso medido (β) es menor que el ángulo de paso mínimo (β_{min}) más un primer umbral de seguridad entonces la amplitud del término de control del ángulo de paso de pala del aerogenerador es máxima.

- Si el ángulo de paso medido (β) es mayor que el ángulo de paso mínimo (β_{min}) más un primer umbral de seguridad y menor que el ángulo de paso mínimo (β_{min}) más un segundo umbral mayor que el primer umbral de seguridad de seguridad entonces la amplitud A es menor que la amplitud máxima A_{Max} del término de control del ángulo de paso de pala.

- Si el ángulo de paso medido (β) es mayor que el ángulo de paso mínimo (β_{min}) más el valor de del término de control del ángulo de paso ($\Delta\beta$) segundo umbral de seguridad entonces la amplitud del término de control de ángulo de paso es nula.

En dicha figura 5 se muestra un ejemplo de realización de la función aplicada al cálculo del valor de la amplitud A dependiente del ángulo de paso de pala A(β). En ella se muestra un ejemplo en el que se ha tomado un ángulo de paso mínimo (β_{min}) igual a cero, un primer valor de seguridad igual a 2º y un segundo valor de seguridad igual a 3º, siendo la función para calcular la amplitud A empleada en la función para el cálculo del término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) una función lineal A(β) y variando los de amplitud resultante entre 0 y A_{Max} con A_{Max}=1.

Así pues el método puede comprender adicionalmente los pasos de:

- obtener la medida de ángulo de paso de pala (β),

-establecer un ángulo de paso de pala mínimo (β_{min}), un primer valor de seguridad y un segundo valor de seguridad,

-calcular el término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) empleando la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) utilizando como señal indicativa de viento la medida de ángulo de paso de pala (β)

y donde la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento comprende un tramo decreciente en un rango de valores de ángulo de paso de pala (β) comprendido entre el ángulo de paso mínimo (β_{min}) más el primer valor de seguridad y el ángulo de paso mínimo (β_{min}) más el segundo valor de seguridad.

En un ejemplo de realización de la invención el paso de calcular el término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) empleando la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) se realiza utilizando como señal indicativa de viento la medida de ángulo de paso de pala (β) cuando la señal indicativa de velocidad de viento está en el rango de valores de velocidad de viento por encima de la velocidad de viento nominal (v_{nom}). Este paso se realiza utilizando como señal indicativa de viento la medida de potencia generada (P) cuando la señal indicativa de velocidad de viento está en el rango de valores de velocidad de viento por debajo de la velocidad de viento nominal (v_{nom}).

En otro ejemplo de realización el rango de valores de azimut (ΔT) en que el término de control de paso de pala ($\Delta\beta$) toma valores no nulos depende de la señal indicativa de la velocidad de

viento, pudiendo emplearse una medida de velocidad de viento filtrada, la potencia generada, el ángulo de paso de pala o el valor de la amplitud (A) dado por la función dependiente de la señal indicativa de viento. Un ejemplo de aplicación de dicha ganancia variable aplicada al periodo de la función cíclica se muestra en la figura 6 en la que la ganancia variable depende de la potencia a la amplitud de la función que regula el valor del ángulo de paso de la pala.

En la gráfica de la figura 6 se aprecia la curva correspondiente de la función de control cuando la potencia es mayor que P_2 y la curva cuando la potencia está entre P_1 y P_2 (como se ha descrito anteriormente, la función tiene una amplitud nula cuando la potencia es menor que P_1).

Adicionalmente, para aumentar más la producción, se propone que el rango (ΔT) de posiciones acimutales en el que el término de control de ángulo de paso de pala es no nulo es dependiente de la amplitud determinada en función de la señal indicativa de viento (puede ser proporcional por ejemplo a la amplitud), i.e. $\Delta T=K*A(P)$, donde K es una constante de proporcionalidad. Esto permite reducir la pérdida energética manteniendo la velocidad de ángulo de paso de pala máxima determinada para alcanzar la amplitud máxima en el tiempo disponible (depende de la velocidad de giro). En la figura 6 se muestra el rango de posiciones acimutales (ΔT) en las que el término de control de ángulo de paso de pala es no nulo.

En un ejemplo de realización de la invención el rango (ΔT) de posiciones acimutales en el que el término de control de ángulo de paso de pala es no nulo es dependiente de la amplitud (A) calculada utilizando la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v).

En una de las gráficas (línea punteada) en que se muestra el valor del término de control de paso de pala para una potencia entre P1 y P2 se aprecia como el rango de posiciones acimutales (ΔT_2) en las que el término de control de ángulo de paso de pala es no nulo es coincidente con rango de posiciones acimutales (ΔT_2) en las que el término de control de ángulo de paso de pala es no nulo para una potencia igual a P2 (i.e. con amplitud igual a amplitud máxima).

Sin embargo, la línea a trazos muestra el valor del término de control de paso de pala según una realización en la que el rango (ΔT) de posiciones acimutales en el que el término de control de ángulo de paso de pala es no nulo es dependiente de la amplitud determinada en función de la señal indicativa de viento (puede ser proporcional por ejemplo a la amplitud), i.e. $\Delta T=K*A(P)= \Delta T_2<\Delta T_1$.

En la figura 7 se observa el diagrama de bloques que se ha implementado en la unidad de control del aerogenerador para llevar a cabo el método descrito. A la consigna de ángulo de paso que depende de la diferencia entre la velocidad de referencia de giro del rotor y la velocidad medida, que es común para la tres palas (β_{ref}), se le suman respectivos términos calculados individualmente para cada pala según los cálculos anteriormente descritos, y que dependen de la posición acimutal de cada pala y de la velocidad del viento.

Como se observa en dichas figura 7, el resultado final de referencia de ángulo de paso de pala (β) para cada pala es:

$\beta_1=\beta_{ref}+\Delta\beta_1$

$\beta_2=\beta_{ref}+\Delta\beta_2$

$\beta_3=\beta_{ref}+\Delta\beta_3$

Como se aprecia en la figura 8, el valor del ángulo de paso de una pala varía en función de la velocidad del viento de forma que la amplitud del término adicional aplicado al valor medio se reduce al disminuir la velocidad del viento ($A_1>A_2$).

En una realización de la invención el paso de calcular un término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) para cada pala en función de la posición acimutal (θ) de cada pala y de la al menos una señal indicativa de la velocidad del viento (v) comprende emplear una función cíclica, donde una amplitud (A) de la función cíclica se calcula utilizando la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v).

El método de control propuesto, como se ha indicado, puede llevarse a cabo con el propósito de evitar la colisión de la pala con la torre o con el objetivo de reducir cargas extremas en el caso de modificaciones en el perfil de cortadura del viento. Dependiendo del objetivo, el rango de posiciones acimutales en que el término de control del ángulo de paso de pala ($\Delta\beta$) toma valores positivos difiere.

Así, para garantizar la protección de la pala antes de llegar a la zona de paso por la torre, la función cíclica para el cálculo del término de control del ángulo de paso de pala ($\Delta\beta$) toma valores positivos cuando la posición acimutal (θ) de la pala está comprendida entre 90º y 270º y preferentemente alcanza la amplitud (A) máxima cuando la posición acimutal (θ) de la pala es menor o igual de 180º.

Adicionalmente y para garantizar la protección de la pala antes de llegar a la zona de paso por la torre, como se aprecia en la figura 9, en una realización preferente la amplitud (A) máxima se alcanza cuando la posición acimutal (θ) de la pala es mayor de 150º y menor de 170º. Es decir, la amplitud máxima de la función de control se alcanza antes de llegar a la posición azimutal coincidente con la zona próxima a la torre.

En otra realización mostrada en la figura 10, y para conseguir garantizar la protección de la pala antes de llegar a la zona de paso por la torre, la función para el cálculo del término de control del ángulo de paso de pala ($\Delta\beta$) mantiene la amplitud (A) sustancialmente constante e igual a la amplitud máxima hasta una posición acimutal (θ) de la pala mayor de 180º. Así pues, el valor máximo se mantiene en toda la zona de influencia de la torre para estar protegidos frente a variaciones de la velocidad del viento. En una realización todavía más preferente la función de cálculo del término de control del ángulo de paso de pala ($\Delta\beta$) mantiene la amplitud (A) sustancialmente constante e igual a la amplitud máxima hasta una posición acimutal (θ) de la pala comprendida entre 190º y 210º.

Los anteriores rangos de posiciones acimutales en que el término de control del ángulo de paso de pala ($\Delta\beta$) toma valores positivos es también conveniente para que el aerogenerador esté protegido frente a potenciales inversiones del perfil de cortadura de viento (el perfil de velocidad de viento pasa a tener una mayor velocidad de viento en zonas más cercanas al suelo que en zonas más alejadas del mismo, al contrario de lo habitual, en que la velocidad de viento por efecto de la rugosidad del terreno es inferior cerca del suelo que en cotas superiores).

En el caso de que el único propósito sea el evitar la colisión de la pala con la torre o proteger al aerogenerador frente a inversiones del perfil de cortadura del viento, la función cíclica tiene una amplitud (A) nula en un rango de posiciones acimutales (θ) de la pala comprendido entre 270º y 90º para reducir la pérdida de producción.

Sin embargo, en el caso de que el objetivo sea reducir cargas extremas en el caso de aumentos bruscos en el perfil de cortadura del viento (adicionalmente a evitar la colisión de la pala con la torre o proteger al aerogenerador frente a inversiones del perfil de cortadura del viento o exclusivamente), la función cíclica empleada para el cálculo del término de control del ángulo de paso de pala ($\Delta\beta$) toma valores positivos cuando la posición acimutal (θ) de la pala está comprendida entre 270º y 90º y preferentemente alcanza la amplitud (A) máxima cuando la posición acimutal (θ) de la pala es substancialmente igual a 360º.

En un ejemplo de realización la función cíclica es una función senoidal. En otro ejemplo de

realización la función cíclica es una función trapezoidal.

REIVINDICACIONES

1.- Método de control de un aerogenerador del tipo de los que comprenden al menos:

-una torre,

-un rotor con una pluralidad de palas que comprenden a su vez respectivos actuadores configurados para variar el ángulo de paso de cada pala, y

-una unidad de control,

donde el método comprende los siguientes pasos:

-obtener una primera señal de la posición acimutal (θ) para cada pala,

-obtener al menos una señal indicativa de la velocidad del viento (v),

-calcular un término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) para cada pala en función de la posición acimutal (θ) de cada pala y de la al menos una señal indicativa de la velocidad del viento (v), destinado a aumentar el ángulo de paso (β) de la pala,

y está caracterizado porque el paso de calcular el término de control de ángulo de paso de pala ($\Delta\beta$) comprende emplear al menos una función que depende de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) y porque la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) incluye un tramo creciente en un rango de valores de velocidad de viento por debajo de una velocidad de viento nominal (v_{nom}).

2.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 1 caracterizado por que la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento incluye un tramo decreciente en un rango de valores de viento por encima de una velocidad de viento nominal (v_{nom}).

3.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 2 caracterizado por que la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento comprende una medida filtrada de viento.

4.- Método de control de un aerogenerador según las reivindicaciones 1 o 2 caracterizado porque la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento comprende una medida de potencia generada (P).

5.-Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 4 caracterizado por que comprende los pasos de:

-obtener la medida de potencia generada (P) - establecer un primer valor de potencia generada (P_1) y un segundo valor de potencia generada (P_2), donde el segundo valor de potencia generada (P_2) es menor que la potencia nominal (P_{nom}), y el primer valor de potencia generada (P_1) es menor que el segundo valor de potencia generada (P_2),

- calcular el término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) empleando la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) utilizando como señal indicativa de viento la medida de potencia generada (P),

y donde el tramo creciente de la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento está comprendido entre el primer valor de potencia generada (P_1) y el segundo valor de potencia generada (P_2).

6.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 5, caracterizado por que el primer valor de potencia generada (P_1) es de 0,65 pu y el segundo valor de potencia generada (P_2) es de 0,8 pu.

7.- Método de control de un aerogenerador según las reivindicaciones 2 o 4 caracterizado por

que la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento comprende una medida de ángulo de paso de pala (β).

8.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 7 caracterizado por que comprende los pasos de:

-obtener la medida de ángulo de paso de pala (β),

-establecer un ángulo de paso de pala mínimo (β_{min}), un primer valor de seguridad y un segundo valor de seguridad,

-calcular el término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) empleando la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) utilizando como señal indicativa de viento la medida de ángulo de paso de pala (β)

y donde la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento comprende un tramo decreciente en un rango de valores de ángulo de paso de pala (β) comprendido entre el ángulo de paso mínimo (β_{min}) más el primer valor de seguridad y el ángulo de paso mínimo (β_{min}) más el segundo valor de seguridad.

9.- Método de control de un aerogenerador según las reivindicaciones 5 y 8 caracterizado por que el paso de calcular el término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) empleando la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v) se realiza utilizando como señal indicativa de viento la medida de ángulo de paso de pala (β) cuando la señal indicativa de velocidad de viento está en el rango de valores de velocidad de viento por encima de la velocidad de viento nominal (v_{nom}) y se realiza utilizando como señal indicativa de viento la medida de potencia generada (P) cuando la señal indicativa de velocidad de viento está en el rango de valores de velocidad de viento por debajo de la velocidad de viento nominal (v_{nom}).

10.- Método de control de un aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el paso de calcular un término de control de ángulo de paso ($\Delta\beta$) para cada pala en función de la posición acimutal (θ) de cada pala y de la al menos una señal indicativa de la velocidad del viento (v) comprende emplear una función cíclica, donde una amplitud (A) de la función cíclica se calcula utilizando la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v).

11.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 10 caracterizado por que la función cíclica alcanza la amplitud (A) máxima cuando la posición acimutal (θ) de la pala es menor de 180º.

12.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 10 caracterizado por que la función cíclica alcanza la amplitud (A) máxima cuando la posición acimutal (θ) de la pala es mayor de 150º y menor de 170º.

13.- Método de control de un aerogenerador según las reivindicaciones 11 o 12 caracterizado por que la función cíclica mantiene la amplitud (A) sustancialmente constante e igual a la amplitud máxima hasta una posición acimutal (θ) de la pala mayor de 180º.

14.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 13 caracterizado por que la función cíclica mantiene la amplitud (A) sustancialmente constante e igual a la amplitud máxima hasta una posición acimutal (θ) de la pala comprendida entre 190º y 210º.

15.- Método de control de un aerogenerador según las reivindicaciones 11 a 14 caracterizado por que la función cíclica tiene una amplitud (A) nula en un rango de posiciones acimutales (θ) de la pala comprendido entre 270º y 90º.

16.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 10 caracterizado por que la

función cíclica es una función senoidal.

17.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 10 caracterizado por que la función cíclica es una función trapezoidal.

18.- Método de control de un aerogenerador según las reivindicaciones 10 a 17 caracterizado porque el rango (ΔT) de posiciones acimutales en el que el término de control de ángulo de paso de pala es no nulo es dependiente de la amplitud (A) calculada utilizando la al menos una función dependiente de la al menos una señal indicativa de la velocidad de viento (v).

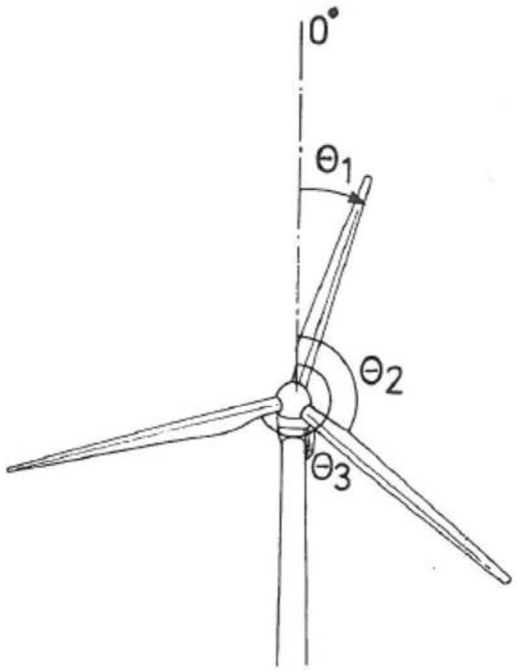

FIG. 1

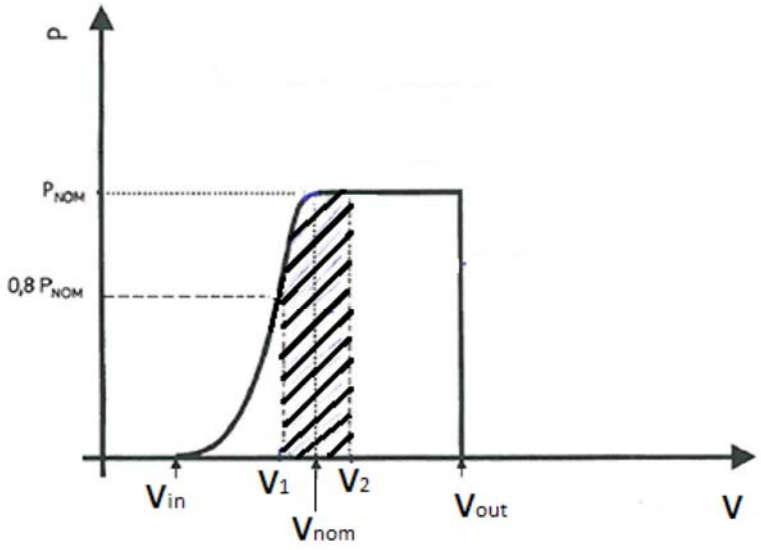

FIG. 2

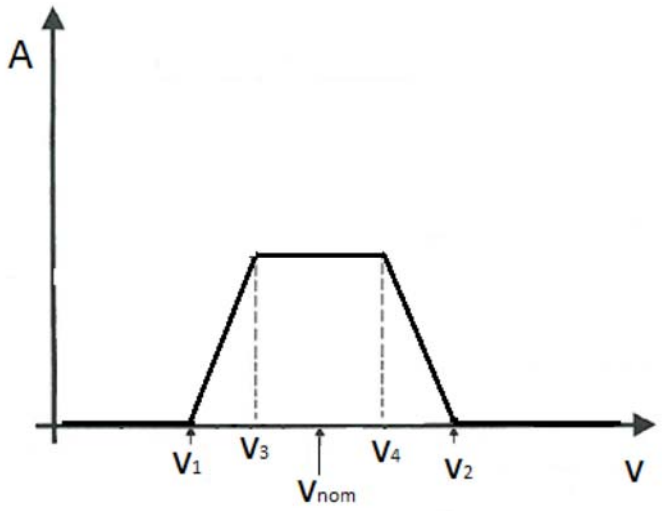

FIG. 3

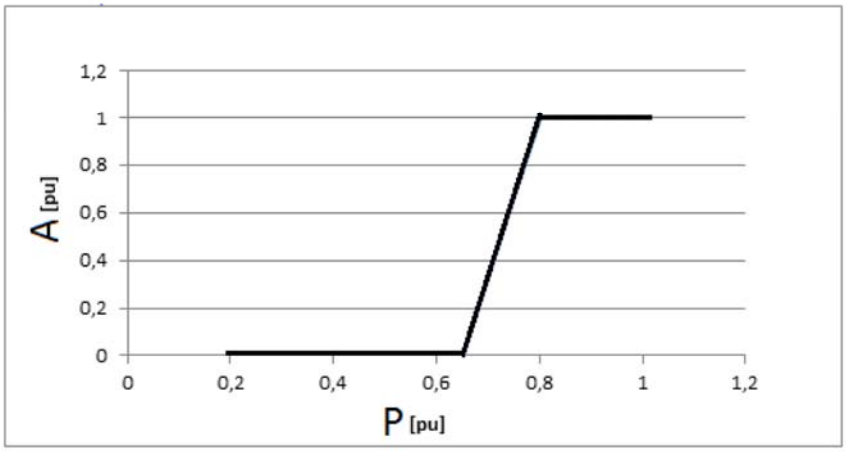

FIG. 4

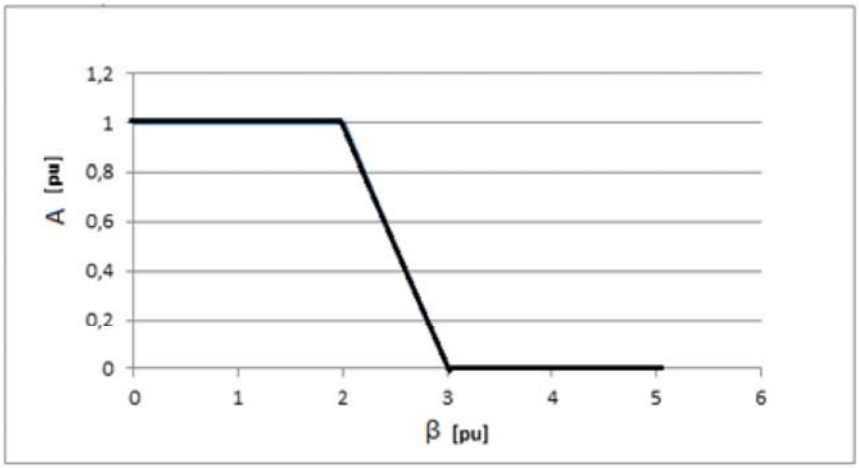
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
A [pu]
0
1
2
3
4
5
6
β [pu]

FIG. 5

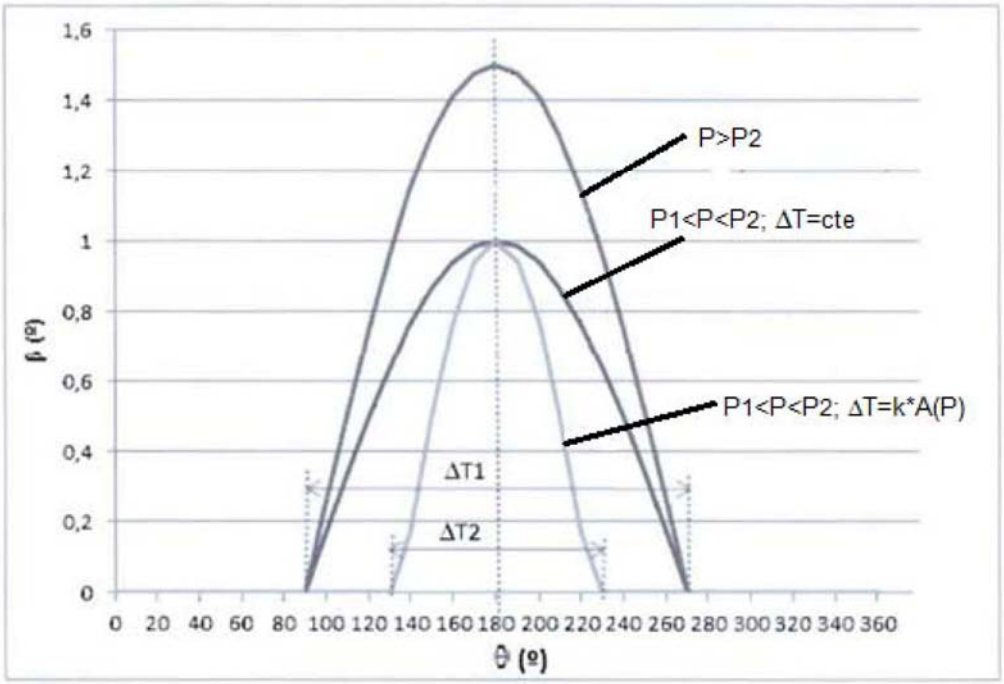
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
β (º)
P>P2
P1<P<P2; ΔT=cte
P1<P<P2; ΔT=k*A(P)
ΔT1
ΔT2
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360
θ (º)

FIG. 6

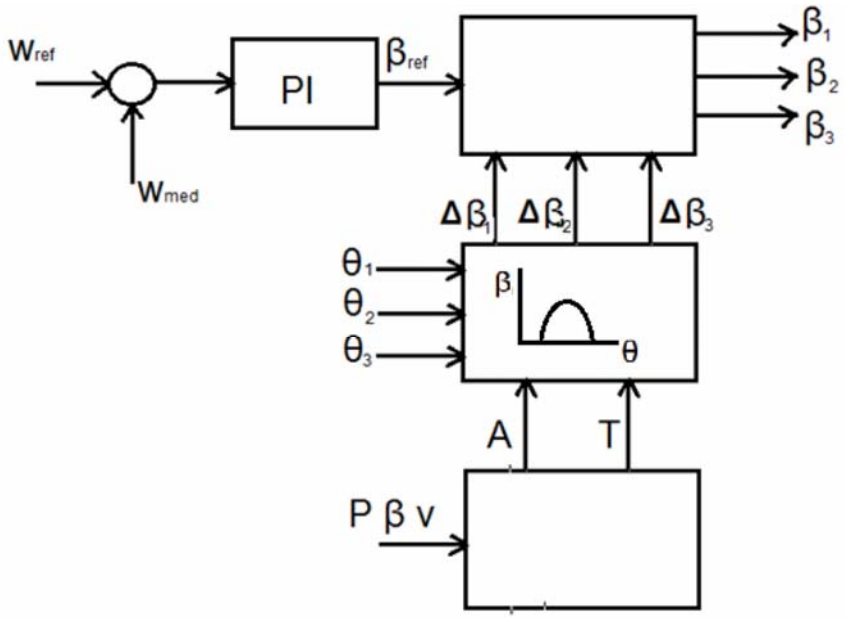
Wref
PI
βref
β1
β2
β3
Wmed
Δβ1
Δβ2
Δβ3
θ1
θ2
θ3
β
θ
A
T
P β v

FIG. 7

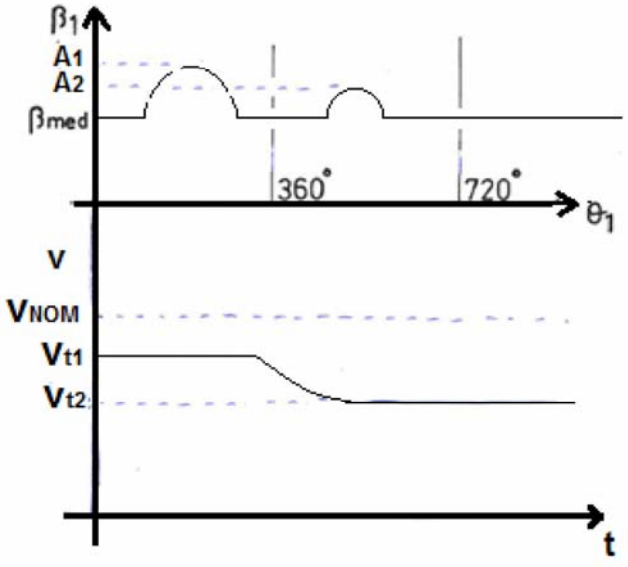
β1
A1
A2
βmed
360°
720°
θ1
V
VNOM
Vt1
Vt2
t

FIG. 8

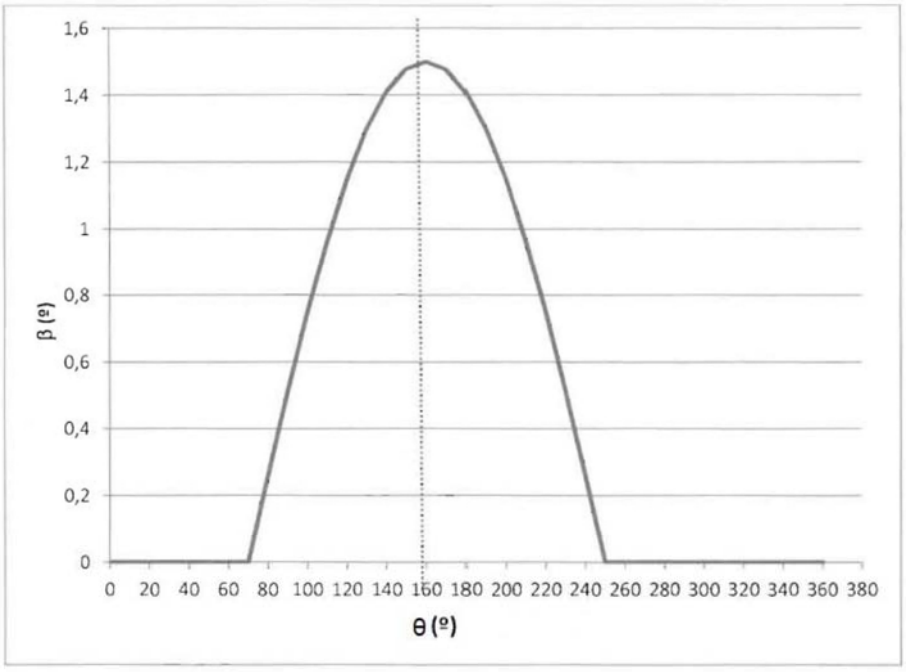
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
β (º)
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380
θ (º)

FIG. 9

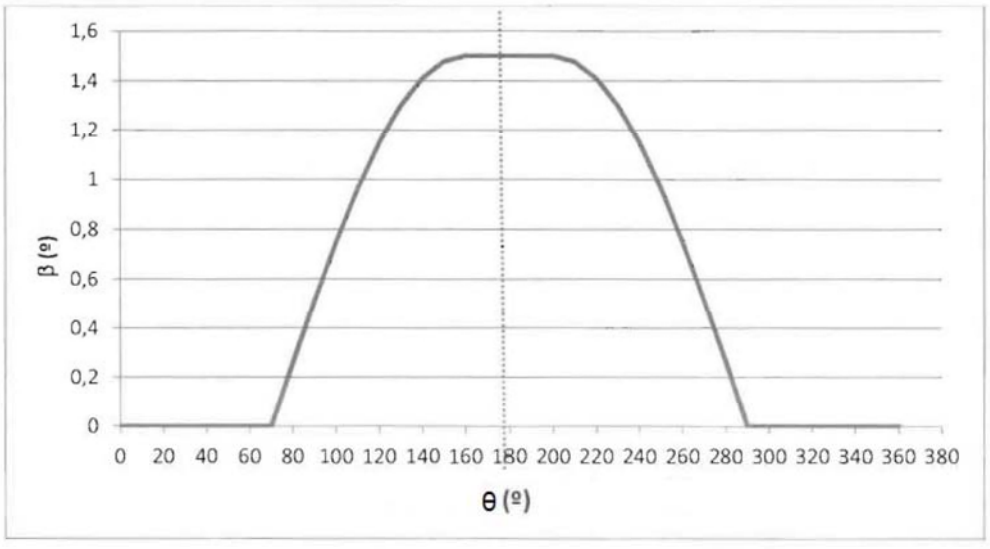
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
β (º)
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380
θ (º)

FIG. 10

OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(21) N.º solicitud: 201430728

(22) Fecha de presentación de la solicitud: 20.05.2014

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) **Int. Cl. :** ***F03D7/04*** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	(56) **Documentos citados**	**Reivindicaciones afectadas**
X	ES 2228121 T3 (VESTAS WIND SYS AS) 01.04.2005, columna 3, línea 34 – columna 4, línea 65; figuras 1-3.	1-3,7,10,16
A		4-6,8-9,11-15, 17-18
A	WO 2013000810 A2 (LM WIND POWER AS et al.) 03.01.2013, reivindicaciones 1-10; figuras.	1-18
A	US 2010092288 A1 (SOERENSEN TOMMY) 15.04.2010, párrafos [19-21]; reivindicaciones 11-15; figuras.	1-18
A	WO 2008145126 A2 (VESTAS WIND SYS AS et al.) 04.12.2008, página 4, líneas 17-20; página 7, líneas 5-11; reivindicaciones 1,4,7.	1-18

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	**Examinador**	**Página**
09.09.2015	P. Sarasola Rubio	1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F03D

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 09.09.2015

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	4-6, 8-9, 10-18	**SI**
	Reivindicaciones	1-3, 7	**NO**
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	4-6, 8-9, 11-15, 17-18	**SI**
	Reivindicaciones	1-3, 7, 10, 16	**NO**

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	ES 2228121 T3 (VESTAS WIND SYS AS)	01.04.2005

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El documento objeto del informe se refiere a un método de control de pitch para un aerogenerador, cuyo objeto es incrementar la distancia de la punta de la pala a la torre reduciendo la energía perdida asociada a dicho tipo de controles.
La **reivindicación 1** describe que dicho método de control obtiene una primera señal de la posición acimutal para cada pala, obtiene al menos una señal indicativa de la velocidad del viento y calcula un término de control de ángulo de paso para cada pala, empleando para ello al menos una función que depende de una señal indicativa de la velocidad de viento la cual incluye un tramo creciente en un rango de valores de velocidad de viento por debajo de una velocidad de viento nominal.
El documento D01 es un documento del estado de la técnica muy próximo al objeto de la reivindicación 1. Dicho documento divulga un método para evitar la colisión de la pala con la torre en base a la medida de cargas en las palas. En este caso se miden las cargas mecánicas sobre las palas y de dichas medidas se obtiene la posición de las mismas y la velocidad del viento. En función de eso se varía el paso de pala para evitar colisiones y tener una potencia óptima. En las gráficas de las figuras 2 y 3 del documento D01, se observa cómo se va aumentando el paso de pala hasta llegar a una velocidad de viento nominal, después del cual se disminuye el paso de pala y correspondientemente se reduce la carga mecánica sobre las mismas.
Por ello, se considera que la **reivindicación 1** no tiene novedad a la vista del documento D01 (Ley 11/1986, Art. 8.1., 6.1).
La **reivindicación 2** indica que la función se hace decreciente a partir de una velocidad de viento nominal, por lo que también carecería de novedad a la vista del D01 (columna 4, líneas 1-5) (Ley 11/1986, Art. 8.1., 6.1).
La **reivindicación 3** indica que se realiza una medida filtrada de viento, al igual que se hace en el D01 al calcular la medida del viento no con una anemómetro, si no en función del par motriz medido en cada pala, ya que se descompone en la suma del par gravitatorio, que varía según la posición de la pala en cada rotación (curva senoidal) y del par del viento, función del viento real que incide sobre cada pala (columna 4, líneas 9-26). Por lo tanto, la reivindicación 3 también carecería de novedad a la vista del D01 (Ley 11/1986, Art. 8.1., 6.1).
La **reivindicación 4** establece que la señal indicativa de la velocidad del viento comprende la medida de la potencia generada. Esto no aparece descrito en el D01, ya que la medida del viento la hace a partir de la medida de carga en las palas, por lo que la reivindicación 4 y sus **reivindicaciones dependientes 5 y 6** contarían con novedad y actividad inventiva a la vista del documento D01.
La **reivindicación 7** establece que una señal indicativa de la velocidad de viento comprende una medida de ángulo de paso de pala. En el documento D01, al hacer la medida de la velocidad del viento descomponiendo las cargas, implícitamente ha de usarse la medida del paso de pala, por lo que la reivindicación 7 carecería de novedad a la vista del documento D01.
Las **reivindicaciones 8 y 9** no se describen en el D01, por lo que contarían con novedad y actividad inventiva.
La **reivindicación 10** indica que la función de control del paso de pala es cíclica y su amplitud depende de la velocidad del viento. El D01 (columna 4 líneas 11-16) expresa que efectivamente las cargas sobre las palas son cíclicas, concretamente senoidales, ya que dependen de la posición acimutal de las mismas. Por lo tanto es evidente para un experto en la materia hacer un control de paso de pala cíclico, es decir, teniendo en cuenta la posición acimutal de las palas. Por lo tanto, la reivindicación 10 y la **reivindicación 16**, carecerían de actividad inventiva a la vista del documento D01.
Las **reivindicaciones 11-15, 17-18** indican diferentes características de la función cíclica que no se encuentran descritas en el documento D01, luego tendrían novedad y actividad inventiva.