

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 847 073**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.08.2010** **E 10008926 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.09.2020** **EP 2292928**

54 Título: **Métodos y sistemas de control de aerogeneradores**

30 Prioridad:

03.09.2009 ES 200901821

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

30.07.2021

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY
INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L. (100.0%)
Avenida de la Innovación 9-11
31621 Sarriguren (Navarra), ES**

72 Inventor/es:

HERNÁNDEZ MASCARELL, OCTAVIO

ES 2 847 073 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Métodos y sistemas de control de aerogeneradores

5 CAMPO DE LA INVENCION

La invención se refiere a métodos y sistemas de control de aerogeneradores de velocidad variable y, en particular, a métodos y sistemas de control de aerogeneradores utilizando un enfoque adaptativo predictivo.

10 ANTECEDENTES

15 Los aerogeneradores son dispositivos que convierten energía mecánica en energía eléctrica. Un aerogenerador típico incluye una góndola montada sobre una torre que alberga un tren de potencia para transmitir la rotación de un rotor a un generador eléctrico y otros componentes tal como los motores de orientación mediante los que se gira el aerogenerador, varios controladores y un freno. El rotor soporta varias palas que se extienden radialmente para capturar la energía cinética del viento y causan un movimiento rotatorio del tren de potencia. Las palas del rotor tienen una forma aerodinámica de manera que cuando el viento pasa a través de la superficie de la pala se crea una fuerza ascensional que causa la rotación de un eje al que está conectado -directamente o a través de un dispositivo de multiplicación- un generador eléctrico situado dentro de la góndola. La cantidad de energía producida por los aerogeneradores depende de la superficie de barrido del rotor de palas que recibe la acción del viento y, consecuentemente, el incremento de la longitud de las palas implica normalmente un incremento de la potencia del aerogenerador.

25 En los métodos y sistemas de control conocidos la energía producida por un aerogenerador se incrementa con la velocidad del viento hasta que se alcanza un nivel nominal pre-establecido y a partir de ahí se mantiene constante. Ello se hace regulando el ángulo de paso de las palas de manera que el ángulo de paso de las palas del rotor se cambia hacia un menor ángulo de ataque para reducir la energía capturada y hacia un mayor ángulo de ataque para incrementar la energía capturada. Por tanto, la velocidad del generador y, consecuentemente, la energía producida puede mantenerse relativamente constantes con velocidades crecientes del viento.

30 Sin embargo, en el caso de ráfagas y turbulencias la velocidad del viento puede cambiar drásticamente en un intervalo de tiempo relativamente pequeño requiriendo cambios relativamente rápidos del ángulo de paso de las palas para mantener constante la energía producida que son difíciles de implementar teniendo en cuenta la dinámica del actuador del control del ángulo de paso y la inercia de los componentes mecánicos. Como resultado, la velocidad del generador puede rebasar el límite superior de velocidad y el aerogenerador se para al efecto de evitar daños.

35 La regulación de la potencia y de la velocidad del rotor implementada en la mayoría de los sistemas conocidos de control de los aerogeneradores está basada en un enfoque Proporcional-Integral-Derivativo (PID) que reacciona a los errores producidos entre las mediciones de las variables y sus valores de consigna con sus limitaciones asociadas.

40 De cara a solucionar este problema se conocen varias propuestas de sistemas de control que mejoran su rendimiento particularmente en situaciones de velocidades de viento variables como la propuesta descrita en WO 2008/046942 A1.

45 Por otra parte son conocidos muchos sistemas de control de propósito general. Uno de ellos es el sistema de control adaptativo predictivo descrito en las patentes españolas 460649 y 2206315 pero el solicitante no conoce ninguna propuesta de un sistema de control adaptativo predictivo para aerogeneradores.

50 Van der Hooft et al. (ECN Revisión Literaria, 2003) en "Wind turbine algorithms" describe una investigación y desarrollo de algoritmos de control de aerogeneradores (potencia) para maximizar el rendimiento energético y reducción de la fatiga de la carga de la turbina, y su optimización para operaciones marítimas, el desarrollo de algoritmos de control de potencia de control de paso y control de par de consigna, pero no describe un método para controlar el funcionamiento de un aerogenerador de velocidad variable, siguiendo una curva de potencia incluyendo la región operativa nominal y las regiones operativas sub-nominales.

55 Los controladores adaptativo predictivos conducen las variables controladas a los valores deseados (los valores de consigna) reaccionando a errores aún no producidos. Estos controladores están basados en un modelo interno de la planta de cara a predecir sus futuros estados. Una segunda funcionalidad se introduce cuando se adaptan los parámetros del modelo dinámico interno de cara a tener en cuenta futuras evoluciones. Esta clase de controladores requiere una información en tiempo real que difiere de la usada por los controladores PID. Consecuentemente el uso de estos controladores en áreas particulares no puede llevarse a cabo sin realizar profundos estudios de estrategia.

60 Por tanto, las propuestas conocidas implican el uso de más información (particularmente datos estadísticos) que en los sistemas comerciales de control y/o herramientas mejoradas para el análisis de la información relevante pero ninguna

de ellas proporciona una estrategia de control clara, fácil de implementar, que pueda hacer frente a situaciones con rápidos cambios de la velocidad del viento.

La presente invención está orientada a la solución de ese inconveniente.

SUMARIO DE LA INVENCION

Un objeto de la presente invención es proporcionar métodos y sistemas de control de aerogeneradores que puedan hacer frente a situaciones con rápidos cambios de la velocidad del viento.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar métodos y sistemas de control de aerogeneradores que permitan su adaptación a eventuales evoluciones dinámicas del aerogenerador.

En un aspecto, esos y otros objetos se consiguen proporcionando un método de control de la operación de un aerogenerador de velocidad variable de acuerdo a la reivindicación 1.

En una realización preferente, en el paso a) dicho ángulo de paso demandado θ_d se determina por medio de un segundo algoritmo adaptativo predictivo que tiene como entradas el valor de consigna del par T_{SP} , el par demandado T_d , la velocidad medida del generador Ω y el ángulo de paso medido θ . Se consigue con ello un método de control que mejora la potencia de aerogeneradores en la región nominal por su mejor adaptación a la evolución dinámica del aerogenerador y la consiguiente reducción de la desviación típica de las variables de control respecto de sus valores de consigna.

En otra realización preferente, en el paso a) la velocidad del viento V y la aceleración adelante-atrás de la góndola a_x se usan como perturbaciones de dicho algoritmo adaptativo predictivo. Se consigue con ello un método de control que permite una reducción de las cargas del aerogenerador al tener en cuenta factores específicos relevantes para dichas cargas.

En otra realización preferente, en el paso a) también se usa como variable de control adicional la tasa demandada de variación del ángulo de paso $\dot{\theta}_d$ correspondiente al ángulo de paso demandado θ_d que se determina por medio de un tercer algoritmo adaptativo predictivo que tiene como entradas al ángulo de paso demandado θ_d y el ángulo de paso medido θ . Se consigue con ello un método de control que permite un control mejorado de la regulación del ángulo de paso.

De acuerdo con la invención, en el paso b) el par demandado T_d se determina por medio de un algoritmo adaptativo predictivo que tiene como entradas el valor de consigna de la velocidad del generador Ω_{SP} , el valor medido de la velocidad del generador Ω y el valor medido del par T . Se consigue con ello un método de control que mejora la potencia del aerogenerador en las regiones sub-nominales debido a su mejor adaptación a la evolución dinámica del aerogenerador y a la consiguiente reducción de la desviación estándar de las variables de control respecto a sus valores de consigna.

En otra realización preferente, el método de control también comprende un paso para implementar una estrategia de control en la región pre-0 basada en el uso del ángulo de paso demandado θ_d , determinado por medio de un cuarto algoritmo adaptativo predictivo para controlar la velocidad del generador Ω . Se consigue con ello un método de control que mejora el procedimiento de arranque del aerogenerador.

En otro aspecto, los objetos mencionados anteriormente se consiguen mediante un sistema de control de un aerogenerador de velocidad variable que comprende dispositivos de medida para medir al menos la velocidad del viento V , la velocidad del generador Ω , el ángulo de paso θ , la potencia P y la aceleración adelante-atrás de la góndola a_x , así como una unidad de control conectada a dichos dispositivos de medida y a los actuadores del control del ángulo de paso y del par del generador del aerogenerador, siendo la unidad de control adaptada para realizar un método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1-7 y preferiblemente comprendiendo uno o más de los siguientes controladores implementando algoritmos adaptativo predictivos que tienen en cuenta la dinámica de los componentes físicos del aerogenerador involucrados:

- Un Controlador Adaptativo Predictivo del Par con el Ángulo de Paso que tiene como entradas el valor de consigna del par T_{SP} , el par demandado T_d , el valor medido de la velocidad del generador Ω y el ángulo de paso medido θ , y como salida el ángulo de paso demandado θ_d en la región operacional nominal.

- Un Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Ángulo de Paso que tiene como entradas la velocidad medida del generador Ω y como salida el ángulo de paso óptimo θ en las regiones operacionales sub-nominales.

- Un Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Par que tiene como entradas el valor de consigna de la velocidad del generador Ω_{SP} , la velocidad medida del generador Ω y el par medido T y como salida el par demandado T_d en las regiones operacionales sub-nominales.

- Un Controlador Adaptativo Predictivo de la Tasa de Variación del Ángulo de Paso que tiene como entradas el ángulo de paso demandado θ_d y el ángulo de paso medido θ y como salida la tasa demandada de variación del ángulo de paso θ_{rd} .

Se consigue con ello un sistema de control de un aerogenerador fácil de implementar porque no requiere un conocimiento previo de la dinámica de cada componente individual como sucede en los sistemas de control conocidos. También facilita una reducción de los costes de los componentes del aerogenerador porque conlleva unos menores requerimientos respecto a sus tolerancias dimensionales que los de los sistemas de control conocidos.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la descripción detallada que sigue de una realización ilustrativa y no limitativa de su objeto en relación con las figuras que se acompañan.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

La Figura 1 muestra esquemáticamente los componentes principales de un aerogenerador.

La Figura 2 muestra una curva de potencia ideal de un aerogenerador de velocidad variable.

La Figura 3 muestra una curva ideal par vs. velocidad del rotor, normalmente utilizada en un sistema de control de un aerogenerador de velocidad variable.

La Figura 4 es un diagrama de bloques funcionales que ilustra un método de control de un aerogenerador según la presente invención.

La Figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de control de un aerogenerador según la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

Un aerogenerador 11 convencional comprende una torre 13 soportando una góndola 21 que alberga un generador 19 para convertir la energía rotacional del rotor del aerogenerador en energía eléctrica. El rotor del aerogenerador comprende un buje de rotor 15 y, normalmente, tres palas 17. El buje del rotor 15 está conectado al bien directamente o a través de una multiplicadora al generador 19 del aerogenerador para transferir el par generado por el rotor 15 al generador 19 incrementando la velocidad del eje a fin de alcanzar una velocidad rotacional apropiada del rotor del generador.

La potencia de salida un aerogenerador moderno está controlada normalmente por medios de un sistema de control para regular el ángulo de paso de las palas del rotor y el par del generador. La velocidad rotacional del rotor y la potencia de salida de un aerogenerador pueden ser pues controladas inicialmente, es decir, antes de una transferencia de energía a una red de distribución eléctrica a través de un convertidor.

El objetivo de la estrategia de control en la región nominal es una producción de potencia lo más cercana posible al valor nominal.

El objetivo de la estrategia de control en las regiones sub-nominales (cuando no hay suficiente viento disponible para la producción nominal) es que la operación alcance la producción ideal aerodinámica. La estrategia de control usada generalmente para un aerogenerador de velocidad variable en una región sub-nominal está basada en el ajuste eléctrico del par del generador para alcanzar la máxima producción y ello se consigue mediante un controlador que recibe señales indicando la velocidad del generador y la potencia producida por el generador y proporciona una señal de un valor de consigna del par al convertidor para obtener la potencia requerida.

Así pues, el controlador del aerogenerador usa una curva que define la deseada relación funcional entre potencia y velocidad para alcanzar la potencia ideal. Una curva de ese tipo en la curva 25 de la Figura 2. De cara a seguir la curva de potencia de la Figura 2, la estrategia de control de los aerogeneradores está normalmente dividida en las regiones operacionales 3, 2, 1, 0, mostradas también en el diagrama Par-Velocidad del Rotor de la Figura 3, que se corresponden con intervalos pre-definidos de la velocidad del viento / la velocidad del rotor, más una pre-región 0 correspondiente al arranque.

Como ya se ha dicho, los controladores conocidos de los aerogeneradores no son capaces de regular la potencia de salida de forma tan próxima como sea posible a la potencia de salida prescrita por dicha curva de potencia en todas las situaciones de viento y particularmente en casos de ráfagas y turbulencias.

5 Los métodos y sistemas de control de aerogeneradores según esta invención están basados en una nueva estrategia de control que se implementa usando técnicas adaptativas predictivas de control. En una realización preferente la estrategia de control en las regiones mencionadas implementada en el sistema de control del aerogenerador es la siguiente:

10 Operación Nominal: Región 3

El objetivo del control en esta región es mantener la velocidad nominal del rotor y las condiciones nominales de potencia, evitando la captura de energía excedente del viento mediante la regulación del ángulo de paso de las palas.

15 Estrategia de control: La potencia generada P se controla con el par "medido" T_3 , y este par "medido" T_3 se controla con el ángulo de paso a través de un controlador adaptativo predictivo que identifica en tiempo real la dinámica entre la acción de regulación del ángulo de paso y el par "medido" T_3 . El valor de consigna de la potencia P_{sp} es igual al valor de la potencia nominal de la máquina. El valor de consigna del par T_{sp} es igual al par nominal de la máquina. Debe advertirse que en el estado de la técnica la estrategia de control está basada en dos mecanismos independientes: potencia P está controlada con el par T , y la velocidad del generador Ω está controlada con el ángulo de paso θ .

20 Siguiendo la Figura 4, puede verse que en la región 3:

- La entrada a la Unidad de Selección&Control Ángulo de Paso&Par 49 es el modo operacional determinado en la Unidad de Cambio de Modo 41 de acuerdo con los valores medidos de velocidad del viento V , ángulo de paso θ , velocidad del generador Ω y potencia generada P . Las salidas en la región 3 son el ángulo de paso demandado θ_d y el par demandado T_d correspondientes al par "medido" T_3 y al ángulo de paso demandado θ_3 proporcionados por el Controlador de Potencia 43 y el Controlador Adaptativo Predictivo del Par con el Ángulo de Paso 51 (ver más abajo).

30 - Las entradas al Controlador Adaptativo Predictivo de la Tasa de Variación del Ángulo de Paso 59 son dicho ángulo de paso demandado θ_d y el ángulo de paso medido θ . La salida es la tasa demandada de variación del ángulo de paso θ_{rd} para que el ángulo de paso medido θ pueda converger eficazmente hacia el ángulo de paso demandado θ_d . El Controlador Adaptativo Predictivo de la Tasa de Variación del Ángulo de Paso 59 se usa para identificar la dinámica del actuador de variación del ángulo de paso para seguir el ángulo de paso demandado θ_d a través de trayectorias predeterminadas configuradas en el Controlador Adaptativo Predictivo de la Tasa de Variación del Ángulo de Paso 59.

35 - Las entradas al Controlador de Potencia 43 son el valor de consigna de potencia P_{sp} (la potencia nominal) y la velocidad medida del generador Ω . La salida es el par "medido" T_3 calculado según la ecuación $T = P/\Omega$.

40 - Las entradas al Controlador Adaptativo Predictivo del Par con el Ángulo de Paso 51 son el valor de consigna del par T_{sp} (el par correspondiente a la potencia nominal), el par "medido" T_3 , la velocidad medida del generador Ω y el ángulo de paso medido θ . La velocidad medida del viento V y la aceleración adelante-atrás medida de la góndola $a_{x\ se}$ introducen como perturbaciones. La salida es el ángulo de paso demandado θ_3 . El Controlador Adaptativo Predictivo del Par con el Ángulo de Paso 51 identifica en tiempo real la relación causa-efecto entre el par "medido" T_3 y el ángulo de paso medido θ así como la dinámica de la velocidad del viento V y la aceleración adelante-atrás de la góndola a_x en el par "medido" T_3 para actualizar su modelo dinámico interno.

45 - El aerogenerador 11 se controla pues en la región 3 a través de dos variables de control: el par demandado T_d y el ángulo de paso demandado θ_d .

50 Operación Sub-nominal: Regiones 2, 1, 0

Región 2

55 El objetivo de control en esta región es mantener la velocidad nominal del generador generando la máxima potencia posible, capturando pues la máxima energía disponible del viento.

Estrategia de control: La velocidad del generador Ω se controla con el par T_2 a través del Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Par 55. Por tanto, la dinámica entre las dos variables se identifica en tiempo real. El valor de consigna de la velocidad del generador Ω_{sp} es constante e igual a la velocidad nominal del generador. El ángulo de paso θ_2 se posiciona en su valor óptimo. La velocidad medida del viento V y el ángulo de paso medido θ se usan como perturbaciones, porque la lógica interna del controlador puede introducir movimientos en el ángulo de paso.

Región 1

El objetivo de control en esta región es maximizar la captura de la energía del viento manteniendo por tanto constante la relación λ e igual a su valor analítico óptimo.

Estrategia de control: Para mantener constante la relación λ en su valor óptimo se aplica al aerogenerador un par T_1 deducido analíticamente. La velocidad del generador Ω se mantiene entre la velocidad de conexión y la velocidad nominal. El ángulo de paso θ_1 se posiciona en su valor óptimo.

Región 0

El objetivo de control en esta región es mantener la velocidad del generador Ω a la velocidad de conexión para proceder al procedimiento de arranque.

Estrategia de control: La velocidad del generador Ω se controla con el par T_0 a través del Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Par 55. El valor de consigna de la velocidad del generador Ω_{SP} es constante e igual a la velocidad de conexión del generador. El ángulo de paso θ_0 se posiciona en su valor óptimo.

Siguiendo la Figura 4, puede apreciarse que las Regiones 2, 1, 0:

- La entrada a la Unidad de Selección&Control Ángulo de Paso&Par 49 es el modo operacional determinado en la Unidad de Cambio de Modo 41 de acuerdo con los valores medidos de velocidad del viento V , ángulo de paso θ , velocidad del generador Ω y potencia generada P . Las salidas son el ángulo de paso demandado θ_d y el par demandado T_d correspondientes a los pares demandados T_2, T_1, T_0 y a los ángulos de paso demandados $\theta_2, \theta_1, \theta_0$ proporcionados por el Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Par 55 y el Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Ángulo de Paso 53 en cada región.

- El ángulo de paso demandado θ_d se mantiene constante en su valor óptimo en las Regiones 2, 1 y 0, por tanto el Controlador Adaptativo Predictivo de la Tasa de Variación del Ángulo de Paso 59 no debería ser usado aunque de hecho se usa porque la lógica interna del controlador puede pedir cambios del ángulo de paso.

- Las entradas al Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Ángulo de Paso 53 son la velocidad medida del generador Ω , la velocidad medida del viento V y el ángulo de paso medido θ , las dos últimas usadas como perturbaciones. La salida es el ángulo de paso demandado $\theta_2, \theta_1, \theta_0$ que se fija en su valor óptimo en las Regiones 2, 1 y 0.

- Las entradas al Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Par 55 son el valor de K_{opt} proporcionado por el Controlador de K_{opt} 47, el valor medido del par T y la velocidad medida del generador Ω . La velocidad medida del viento V y el ángulo de paso medido θ se usan como perturbaciones de la velocidad del generador Ω . El ángulo de paso medido θ se usa como una perturbación porque, aunque se supone que no debe cambiar en las Regiones 2, 1 y 0, puede requerir algunos cambios en circunstancias especiales. El Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Par 55 identifica la dinámica entre el par demandado T_2, T_1, T_0 y la velocidad medida del generador Ω .

- El aerogenerador 11 se controla pues en las regiones 2, 1 y 0 a través del par demandado T_d .

Región pre- 0

El objetivo de control en esta región es llevar la velocidad del generador Ω desde cero hasta la velocidad de conexión y mantenerla en torno a este valor.

Estrategia de control: La velocidad del generador Ω se controla con la acción de variación del ángulo de paso a través del Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Ángulo de Paso 53. El valor de consigna de la velocidad del generador Ω_{sp} es la velocidad de conexión. El Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Ángulo de Paso 53 identifica la dinámica entre el ángulo de paso aplicado θ_{pre-0} y la velocidad medida del generador Ω . La velocidad medida del viento V y el par medido T durante la conexión se usan como perturbaciones de la velocidad del generador Ω , que es la variable de control en esta Región.

Los anteriormente mencionados Controlador Adaptativo Predictivo del Par con el Ángulo de Paso 51, Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Ángulo de Paso 53, Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Par 55 y Controlador Adaptativo Predictivo de la Tasa de Variación del Ángulo de Paso 59 son controladores basados en algoritmos adaptativos predictivos según las enseñanzas de ES 460649. Estos controladores junto con la

Unidad de Cambio de Modo 41, el Controlador de Potencia 43, el Controlador de K_{opt} 47 (implementando todos ellos modelos analíticos entre las variables de salida y entrada) y la Unidad de Selección&Control Ángulo de Paso&Par 49 son los componentes básicos del sistema de control según la presente invención.

5 El uso de esa tecnología de control y la estrategia asociada en un aerogenerador mejora la captura de la energía del viento y la calidad de la potencia respecto a los controladores PID debido a una mejor adaptación a las evoluciones dinámicas del aerogenerador.

10 Un sistema de control de un aerogenerador según la presente invención combina medios de control disponibles de aerogeneradores conocidos de velocidad variable con los controladores mencionados como se muestra esquemáticamente en la Figura 5.

15 Los medios de control del ángulo de paso se comprenden de palas 17, actuadores 61, transmisiones de ajuste 63 y la unidad principal de control 65. Similarmente, los medios de control del par comprenden el generador 19, la unidad de comando del generador 67 y la unidad principal de control 65.

20 La unidad principal de control 65, que incluye todos los controladores mencionados anteriormente, recibe datos de entrada tales como velocidad de viento V , velocidad del generador Ω , ángulo de paso θ , Potencia P , aceleración adelante-atrás de la góndola a_x , de los dispositivos de medida 71, 73, 75, 77 y envía datos de salida θ_d , T_d a, respectivamente, los actuadores 61 para cambiar la posición angular de las palas 17 y a la unidad de comando del generador 67 para cambiar el valor de consigna de la producción de potencia.

25 Aunque la presente invención se ha descrito enteramente en conexión con realizaciones preferidas, es evidente que se pueden introducir aquellas modificaciones dentro de su alcance, no considerando éste como limitado por las anteriores realizaciones, sino por el contenido de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Un método de control de la operación de un aerogenerador de velocidad variable (11), siguiendo una curva de potencia (25, 27) que incluye una región operacional nominal (3) y regiones operacionales sub-nominales (2,1, 0), que comprende pasos de:
- 10 a) Implementar una estrategia de control para seguir dicha curva de potencia (25, 27) en dicha región operacional nominal (3) basada en el uso del par demandado T_d para controlar la potencia P y en el uso del ángulo de paso demandado θ_d para controlar el par demandado T_d ;
- 15 b) Implementar una estrategia de control para seguir dicha curva de potencia (25, 27) en las regiones operacionales sub-nominales (2, 1, 0) basada en el uso del par demandado T_d para controlar la potencia P y en la fijación de un valor constante óptimo para el ángulo de paso demandado θ_d en cada una de las regiones operacionales sub-nominales (2, 1, 0),
- 20 caracterizado porque en el paso b) el par demandado T_d se determina por medio de un algoritmo adaptativo predictivo que tiene como entradas el valor de consigna de la velocidad del generador Ω_{SP} , la velocidad medida del generador Ω y el par medido T .
- 25 2.- Un método de control de la operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según la reivindicación 1, caracterizado porque en el paso a) dicho ángulo de paso demandado θ_d se determina por medio de un segundo algoritmo adaptativo predictivo que tiene como entradas el valor de consigna del par T_{SP} , el par demandado T_d , la velocidad medida del generador Ω y el ángulo de paso medido θ .
- 30 3.- Un método de control de la operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según la reivindicación 2, caracterizado porque la velocidad del viento V y la aceleración adelante-atrás de la góndola a_x se usan como perturbaciones de dicho algoritmo adaptativo predictivo.
- 35 4.- Un método de control de la operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, caracterizado porque en el paso a) también se usa como variable de control adicional la tasa demandada de variación del ángulo de paso θ_{rd} correspondiente al ángulo de paso demandado θ_d .
- 40 5.- Un método de control de la operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según la reivindicación 4, caracterizado porque dicha tasa demandada de variación del ángulo de paso θ_{rd} se determina por medio de un tercer algoritmo adaptativo predictivo que tiene como entradas el ángulo de paso demandado θ_d y el ángulo de paso medido θ .
- 45 6.- Un método de control de la operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, caracterizado porque la velocidad del viento V y el ángulo de paso medido θ se usan como perturbaciones de dicho primer algoritmo adaptativo predictivo.
- 50 7.- Un método de control de la operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según la reivindicación 1, caracterizado porque también comprende un paso para implementar una estrategia de control en la región pre-0 basada en el uso del ángulo de paso demandado θ_d , determinado por medio de un cuarto algoritmo adaptativo predictivo, para controlar la velocidad del generador Ω .
- 55 8.- Un método de control de la operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1-7.
- 60 9.- Un sistema de control de un aerogenerador de velocidad variable (11) que comprende dispositivos de medida (71, 73, 75, 77) para medir al menos la velocidad del viento V , la velocidad del generador Ω , el ángulo de paso θ , la potencia P , la aceleración adelante-atrás de la góndola a_x , y una unidad de control (65) conectada a dichos dispositivos de medida (71, 73, 75, 77) y a los actuadores (61, 67) del control del ángulo de paso y del par del aerogenerador, caracterizado porque la unidad de control (65) está adaptada para ejecutar un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-7.
- 10.- Un sistema de control de un aerogenerador de velocidad variable (11) según la reivindicación 9, caracterizado porque dicha unidad de control (65) comprende uno o más de los siguientes controladores implementando algoritmos adaptativos predictivos que tienen en cuenta la dinámica de los componentes físicos del aerogenerador involucrados:

- Un Controlador Adaptativo Predictivo del Par con el Ángulo de Paso (51) que tiene como entradas el valor de consigna del par T_{SP} , el par demandado T_d , la velocidad medida del generador Ω y el ángulo de paso medido θ , y como salida el ángulo de paso demandado θ_d en la región operacional nominal (3);
 - 5 - Un Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Ángulo de Paso (53) que tiene como entradas la velocidad medida del generador Ω y como salida el ángulo de paso óptimo θ en las regiones operacionales sub-nominales (2, 1, 0);
 - 10 - Un Controlador Adaptativo Predictivo de la Velocidad con el Par (55) que tiene como entradas el valor de consigna de la velocidad del generador Ω_{SP} , la velocidad medida del generador Ω y el par medido T y como salida el valor demandado del par T_d , en las regiones operacionales sub-nominales (2, 1, 0);
 - 15 - Un Controlador Adaptativo Predictivo de la Tasa de Variación del Ángulo de Paso (59) que implementa algoritmos adaptativos predictivos que tiene como entradas el ángulo de paso demandado θ_d y el ángulo de paso medido θ y como salida la tasa demandada de variación del ángulo de paso θr_d .
- 11.- Un aerogenerador de velocidad variable (11) comprendiendo un sistema de control como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 9-10.

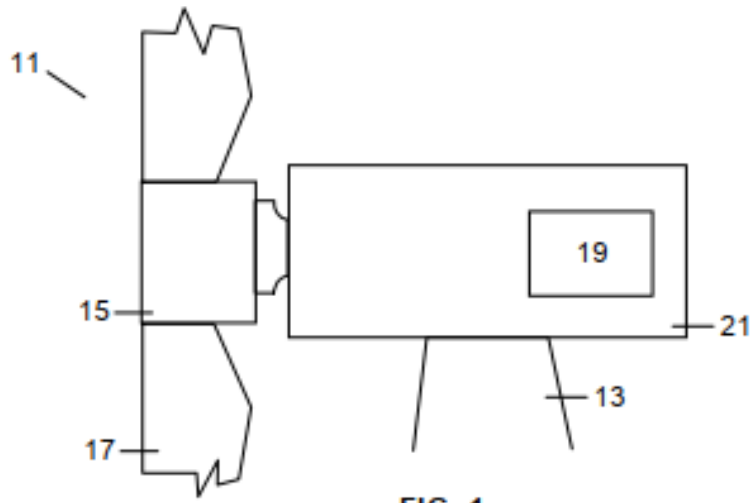


FIG. 1

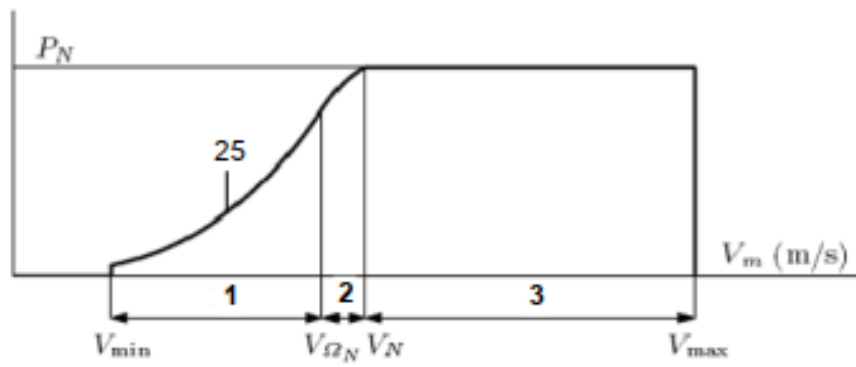


FIG. 2

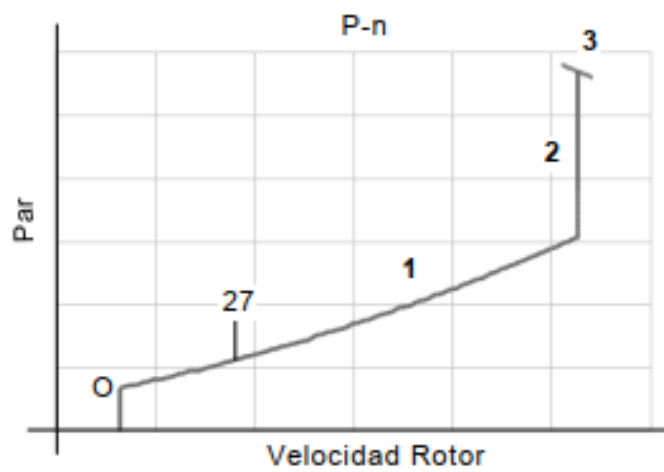


FIG. 3

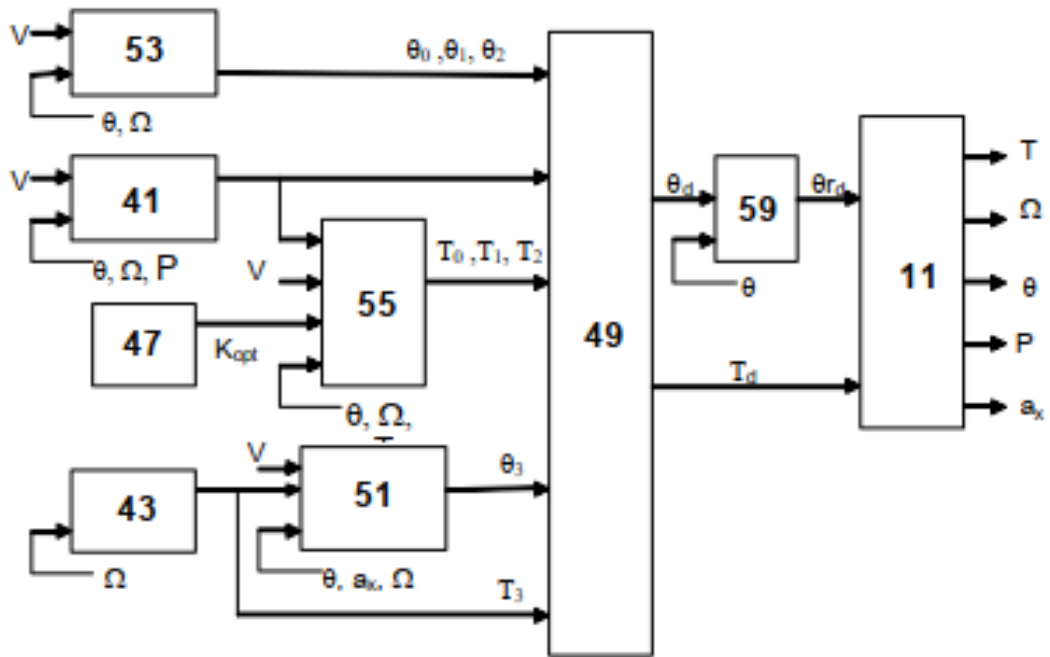


FIG. 4

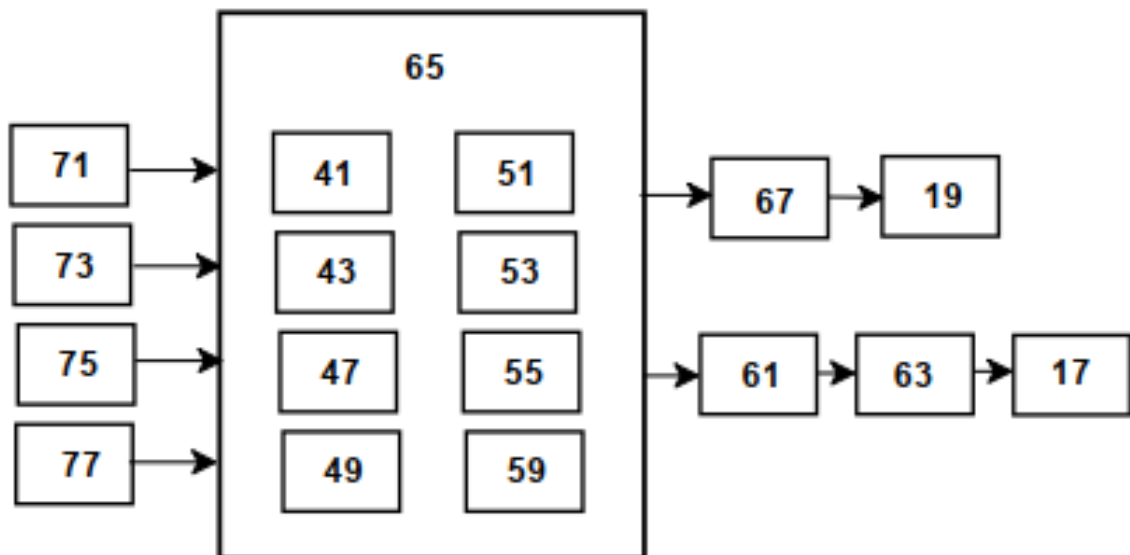


FIG. 5