

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 698 561**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.01.2016 PCT/DK2016/050020**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2016 WO16119791**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.01.2016 E 16701904 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018 EP 3250820**

54 Título: **Controladores para carga parcial y plena de una turbina eólica**

30 Prioridad:
29.01.2015 DK 201570050

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.02.2019

73 Titular/es:
**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:
**CAPONETTI, FABIO;
THOMSEN, JESPER SANDBERG y
GRUNNET, JACOB DELEURAN**

74 Agente/Representante:
ARIAS SANZ, Juan

ES 2 698 561 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

Controladores para carga parcial y plena de una turbina eólica

5 Campo de la invención

La invención se refiere al control de turbinas eólicas, particularmente a controladores para carga parcial y plena de una turbina eólica.

10 Antecedentes de la invención

Los generadores de turbina eólica pueden comprender controladores de carga parcial y plena para determinar las referencias de paso y potencia para los actuadores de paso y del generador de potencia, respectivamente. El objetivo del controlador de carga parcial, que se selecciona para velocidad del viento por debajo de una velocidad del viento de diseño, es optimizar la producción de energía a partir de una cantidad dada disponible de energía eólica. El objetivo del controlador de plena carga, que se selecciona para velocidad del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, es producir la potencia nominal del generador de la turbina eólica.

Se requiere la conmutación entre los controladores de carga parcial y plena cuando la velocidad del viento cambia entre velocidad del viento por debajo y encima de la velocidad del viento de diseño. Dicha conmutación puede tener efectos indeseables sobre las cargas estructurales, la utilización de la energía eólica y otras condiciones de operación del generador de turbina eólica.

Por ello, es un problema dado que los esquemas de control conocidos de turbinas eólicas pueden tener dificultades en manejar dicha conmutación entre diferentes esquemas de control. El documento US 2008/136188 A divulga un método de la técnica anterior para el control de una turbina eólica.

Sumario de la invención

Es un objeto de la invención mejorar el control de una turbina eólica durante carga parcial y plena, particularmente para evitar las desventajas asociadas con la conmutación entre los controladores de carga parcial y plena en dependencia de la velocidad del viento.

Es un objeto adicional de la invención reducir las cargas estructurales y oscilaciones de los componentes de la turbina eólica debido a la conmutación entre los controladores de carga parcial y plena.

En un primer aspecto de la invención se proporciona un método para el control de la turbina eólica, en el que la turbina eólica comprende un rotor con al menos una pala que tiene un ángulo de paso que es controlable dependiendo de una demanda del paso, y un generador de potencia conectado al rotor, teniendo el generador de potencia una producción de potencia que es controlable dependiendo de una demanda del generador, en la que una velocidad del generador es controlable a través de la demanda del paso y la demanda del generador, el método comprende

- controlar la velocidad del generador determinando la demanda del generador dependiendo de una primer error de velocidad del generador determinado dependiendo de una referencia de velocidad del generador, de la velocidad del generador y de una primera modificación de velocidad, en el que la demanda del generador se determina minimizando el primer error de velocidad del generador, en el que la primera modificación de velocidad se determina de modo que la velocidad del generador se aproxime a la referencia de velocidad del generador para velocidades del viento por debajo de una velocidad del viento de diseño, en el que la primera modificación de velocidad se determina de modo que la demanda del generador se aproxime a una demanda del generador máxima para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, en el que la demanda del generador máxima es un límite de saturación del controlador de carga parcial, y en el que el primer error de velocidad se amplifica mediante una primera ganancia variable,

- controlar la velocidad del generador determinando la demanda del paso dependiendo de un segundo error de velocidad del generador determinado dependiendo de la referencia de velocidad del generador, de la velocidad del generador y de una segunda modificación de velocidad, en el que la demanda del paso se determina minimizando el segundo error de velocidad del generador, en el que la segunda modificación de velocidad se determina de modo que la velocidad del generador se aproxime a la referencia de velocidad del generador para velocidades del viento por encima de una velocidad del viento de diseño, en el que la segunda modificación de velocidad se determina de modo que la demanda del paso se aproxime a una demanda del paso mínima para velocidades del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño, en el que la demanda del paso mínima es un límite de saturación del controlador de plena carga, y en el que el segundo error de velocidad se amplifica mediante una primera ganancia variable,

- determinar la primera y segunda ganancias variables de modo que la primera ganancia sea mayor que la segunda ganancia al menos para algunas velocidades del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño, de modo

que la primera ganancia sea más pequeña que la segunda ganancia al menos para algunas velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, y de modo que la primera ganancia sea igual a la segunda ganancia al menos para una única velocidad del viento en la proximidad de la velocidad del viento de diseño.

5 Ventajosamente, mediante el control de la velocidad del generador determinando tanto la demanda del generador, como la demanda del paso y las ganancias para el primer y segundo errores de velocidad se hace posible controlar continuamente la velocidad del generador actualizando tanto la demanda del generador como la demanda del paso para velocidad del viento por encima y por debajo de la velocidad del viento de diseño. Dado que tanto la demanda del generador como la demanda del paso se adaptan dependiendo de las ganancias variables y del primer y segundo errores ajustados, no es necesario conmutar entre la determinación de la demanda del generador para velocidad del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño y la demanda del paso para velocidad del viento por encima de la velocidad del viento de diseño.

15 La determinación de la primera modificación de velocidad realizada de modo que la velocidad del generador se aproxime a la referencia de velocidad del generador para velocidades del viento por debajo de una velocidad del viento de diseño puede realizarse mediante el ajuste o determinación de la primera modificación de velocidad a un valor pequeño, por ejemplo cero o próximo a cero.

20 La determinación de la primera modificación de velocidad realizada de modo que la demanda del generador se aproxime a la demanda del generador máxima, es decir al límite de saturación del controlador de carga parcial, puede realizarse modificando el primer error de velocidad del generador, es decir reduciendo o incrementando el primer error de velocidad del generador a valores no cero, para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño. La modificación del error de velocidad puede realizarse modificando la primera referencia de velocidad del generador mediante el primer valor de modificación de velocidad, por ejemplo añadiendo el primer valor de modificación de velocidad modificado a la primera referencia de velocidad del generador.

30 El límite de saturación del controlador de carga parcial es un límite que limita la salida desde el controlador de carga parcial lo que determina la demanda del generador. La determinación de la segunda modificación de velocidad realizada de modo que la velocidad del generador se aproxime a la referencia de velocidad del generador para velocidades del viento por encima de una velocidad del viento de diseño puede realizarse mediante el ajuste o determinación de la primera modificación de velocidad a un valor pequeño, por ejemplo cero o próximo a cero.

35 La determinación de la segunda modificación de velocidad realizada de modo que la demanda del paso se aproxime a la demanda del paso mínima, es decir a un límite de saturación del controlador de plena carga, puede realizarse modificando el segundo error de velocidad del generador, es decir reduciendo o incrementando la velocidad de error a valores no cero, para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño. La modificación del error de velocidad puede realizarse modificando la segunda referencia de velocidad del generador mediante el segundo valor de modificación de velocidad, por ejemplo añadiendo el segundo valor de modificación de velocidad modificado a la segunda referencia de velocidad del generador.

40 El límite de saturación del controlador de plena carga es un límite que limita la salida desde el controlador de plena carga lo que determina la demanda del paso.

45 De acuerdo con una realización el método comprende controlar la velocidad del generador determinando la demanda del generador, la demanda del paso y la primera y segunda ganancias para velocidades del viento por debajo, por encima y a la velocidad del viento de diseño. El método puede comprender además determinar la primera y segunda modificaciones de velocidad.

50 De acuerdo con una realización, la primera y segunda ganancias se determinan de modo que la suma de la primera y segunda ganancias sea sustancialmente constante en todo un intervalo de velocidades del viento que comprende la velocidad del viento de diseño. Por ejemplo, la primera y segunda ganancias se determinan de modo que la suma de la primera y segunda ganancias sea sustancialmente constante en todo un intervalo de velocidades del viento que se extienden desde una velocidad del viento de conexión a una velocidad del viento de corte, en el que el intervalo comprende la velocidad del viento de diseño. Ventajosamente, mediante la restricción de la determinación de la primera y segunda ganancias por el criterio de que la suma de las ganancias debe ser constante, puede asegurarse que la acción de control combinada desde los controladores de carga parcial y plena es constante. A velocidades del viento relativamente grandes y bajas, por ejemplo en carga plena o parcial, puede permitirse que la suma de las ganancias sea mayor que cerca de la velocidad del viento de diseño sin provocar inestabilidad del controlador.

60 De acuerdo con una realización la primera ganancia y/o la segunda ganancia se determinan dependiendo de una diferencia entre un paso real y la referencia de paso. Dado que el paso real está normalmente próximo al paso de referencia durante la carga parcial esto puede utilizarse para determinar las ganancias, por ejemplo mediante el ajuste de la primera ganancia a un valor relativamente grande (mayor que el valor de la segunda ganancia) cuando la diferencia de paso es pequeña, o determinando las ganancias en función de la diferencia de paso.

65

De acuerdo con una realización la primera ganancia y/o la segunda ganancia se determinan dependiendo de la diferencia entre una potencia real y la referencia de potencia. Dado que la potencia real está normalmente próxima a la referencia de potencia durante plena carga esto puede utilizarse para determinar las ganancias, por ejemplo ajustando la segunda ganancia a un valor relativamente grande (mayor que el valor de la primera ganancia) cuando la diferencia de potencia es pequeña, o determinando las ganancias en función de la diferencia de potencia.

De acuerdo con una realización la primera modificación de velocidad se determina dependiendo de una diferencia entre un paso real y el paso de referencia. Al determinar la primera modificación de velocidad en esta forma la primera modificación de velocidad se incrementa (o disminuye) gradualmente cuando se incrementa la diferencia de paso, es decir cuando la turbina eólica entra en operación a plena carga.

De acuerdo con una realización la segunda modificación de velocidad se determina dependiendo de una diferencia entre una potencia real y la potencia de referencia. En consecuencia, la segunda modificación de velocidad se incrementa (o disminuye) gradualmente cuando se incrementa la diferencia de potencia, es decir cuando la turbina eólica entra en operación a carga parcial.

De acuerdo con una realización, el primer error de velocidad del generador se determina dependiendo de una primera referencia de velocidad del generador modificada y de la velocidad del generador, en el que la primera referencia de velocidad del generador modificada se determina mediante la adición de la primera modificación de velocidad a la referencia de velocidad del generador.

De acuerdo con una realización el segundo error de velocidad del generador se determina dependiendo de una segunda referencia de velocidad del generador modificada y de la velocidad del generador, en el que la segunda referencia de velocidad del generador modificada se determina mediante la adición de la segunda modificación de velocidad a la referencia de velocidad del generador.

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un sistema de control para el control de una turbina eólica, en el que la turbina eólica comprende un rotor con al menos una pala que tiene un paso que es controlable dependiendo de una referencia de paso, y un generador de potencia conectado al rotor, teniendo el generador de potencia una producción de potencia que es controlable dependiendo de una referencia del generador, en la que una velocidad del generador es controlable a través de la referencia de paso y la referencia de generador, el sistema de control comprende,

- unidad de cálculo del error de velocidad a carga parcial configurada para determinar un primer error de velocidad del generador dependiendo de una referencia de velocidad del generador, de la velocidad del generador y de una primera modificación de velocidad,

- unidad de cálculo del error de velocidad a plena carga configurada para determinar un segundo error de velocidad del generador dependiendo de una referencia de velocidad del generador, de la velocidad del generador y de una segunda modificación de velocidad,

- una unidad de cálculo de la primera modificación de velocidad configurada para determinar la primera modificación de la velocidad de modo que la velocidad del generador se aproxime a la referencia de velocidad del generador para velocidades del viento por debajo de una velocidad del viento de diseño, y de modo que la demanda del generador se aproxime a una demanda del generador máxima para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, en el que la demanda del generador máxima es un límite de saturación del controlador a carga parcial,

- una unidad de cálculo de la segunda modificación de velocidad configurada para determinar la segunda modificación de la velocidad de modo que la velocidad del generador se aproxime a la referencia de velocidad del generador para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, y de modo que la demanda del paso se aproxime a una demanda del paso mínima para velocidades del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño, en el que la demanda del paso mínima es un límite de saturación del controlador a plena carga,

- un controlador a carga parcial configurado para controlar la velocidad del generador mediante la determinación de la demanda del generador dependiendo del primer error de velocidad del generador minimizando el primer error de velocidad del generador, en el que el controlador a carga parcial se configura para amplificar el primer error de velocidad mediante una primera ganancia variable,

- un controlador a plena carga configurado para controlar la velocidad del generador mediante la determinación de la demanda del paso dependiendo del segundo error de velocidad del generador minimizando el segundo error de velocidad del generador, en el que el controlador a plena carga se configura para amplificar el segundo error de velocidad mediante una segunda ganancia variable, y

- un planificador de ganancia configurado para determinar la primera y segunda ganancias variables de modo que la primera ganancia sea mayor que la segunda ganancia al menos para algunas velocidades del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño, de modo que la primera ganancia sea más pequeña que la segunda ganancia

al menos para algunas velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, y de modo que la primera ganancia sea igual a la segunda ganancia al menos para una única velocidad del viento en la proximidad de la velocidad del viento de diseño.

5 Un tercer aspecto de la invención se refiere a una turbina eólica que comprende el sistema de control de acuerdo con el segundo aspecto.

En general los diversos aspectos de la invención pueden combinarse y acoplarse en cualquier forma posible dentro del alcance de la invención. Estos y otros aspectos, características y/o ventajas de la invención serán evidentes a partir de y clarificados con referencia a las realizaciones descritas en el presente documento a continuación.

Breve descripción de los dibujos

Se describirán realizaciones de la invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos, en los que

15 la Fig. 1 ilustra una turbina eólica,
 la Fig. 2 muestra un sistema de control para una turbina eólica,
 la Fig. 3 muestra variaciones de paso, velocidad del generador y potencia producida en las zonas de carga parcial y plena,
 20 la Fig. 4 muestra un sistema de control alternativo para una turbina eólica,
 la Fig. 5 muestra un ejemplo de las ganancias variables para un sistema de control,
 la Fig. 6 muestra un ejemplo de funciones predeterminadas de modificaciones de la primera y segunda velocidad,
 y
 la Fig. 7 ilustra principalmente cómo deberían determinarse las ganancias variables dependiendo de las diferencias de paso y potencia.

Descripción de realizaciones

La Fig. 1 muestra una turbina eólica 100 que comprende una torre 101 y un rotor 102 con al menos una pala de rotor 103. Se ilustran aquí tres palas, sin embargo el número de palas puede variar. El rotor se conecta a una góndola 104 que se monta en la parte superior de la torre 101. El rotor se adapta para impulsar un generador de potencia situado dentro de la góndola. El rotor 102 es rotativo mediante la acción del viento. La energía de rotación inducida por el viento en las palas del rotor 103 se transfiere a través de un árbol al generador. Por ello, la turbina eólica 100 es capaz de convertir energía cinética del viento en energía mecánica por medio de las palas del rotor y, posteriormente, en energía eléctrica por medio del generador. Puede denominarse también a la turbina eólica 100 con la abreviatura común de WTG (Wind Turbine Generator).

El ángulo de paso de las palas 103 es controlable dependiendo de una demanda del paso. La eficiencia aerodinámica del rotor y, por ello, la velocidad del generador y la producción de potencia pueden ajustarse cambiando el ángulo de paso.

La producción de potencia del generador de potencia es controlable también dependiendo de una demanda del generador al generador de potencia. La demanda del generador puede estar en la forma de una demanda de potencia o una demanda de par lo que fija la cantidad de potencia deseada a ser producida por el generador.

En consecuencia, la velocidad del generador y por ello la producción de potencia, pueden ajustarse mediante el ajuste de la demanda del paso, la demanda del generador o ambas.

La Fig. 2 muestra un sistema de control 200 para una turbina eólica 100. El sistema de control se configura con un controlador de carga parcial 203 que determina la demanda del generador P_{dem} y un controlador de plena carga 204 que determina la demanda del paso θ_{dem} dependiendo de una diferencia entre una referencia de velocidad del generador ω_{ref} , por ejemplo la velocidad de generador óptima ω_{opt} o la velocidad del generador de diseño $\omega_{diseño}$, y una velocidad del generador medida ω_m . El controlador de plena carga 204 puede recibir adicionalmente una referencia de paso θ_{ref} .

La demanda del generador P_{dem} se suministra al generador de potencia 207. El generador de potencia puede contener un controlador de generador que recibe la demanda del generador P_{dem} y controla el generador para producir la potencia solicitada P_{dem} . En consecuencia, el generador de potencia puede definirse como un sistema generador de potencia que contiene el controlador del generador, el generador y otras unidades y configurado para producir potencia de acuerdo con la cantidad solicitada.

La demanda del paso θ_{dem} se proporciona al sistema de paso 208 que realiza el ajuste del paso de las palas 103. El sistema de paso puede contener un controlador de paso que recibe la demanda del paso θ_{dem} y controla los actuadores de paso para fijar el paso en el paso demandado.

- Un estado de carga parcial se caracteriza porque la velocidad del viento v no es suficientemente alta para permitir la generación de la potencia eléctrica nominal o de diseño desde el generador. En este estado el paso θ y la velocidad del rotor se controlan para optimizar la eficiencia aerodinámica de la turbina eólica 100. La velocidad del rotor y la velocidad del generador ω_r están vinculadas por la relación de engranajes de los engranajes que conectan el rotor con el árbol del generador. En la práctica del paso θ solo varía un poco el estado de carga parcial en función de la velocidad del viento y puede fijarse en el paso óptimo θ_{opt} lo que maximiza la eficiencia aerodinámica del rotor. La velocidad del generador ω_r puede controlarse para extraer tanta potencia como sea posible mediante el seguimiento de la velocidad de generador deseada ω_{ref} . En el estado de carga parcial la velocidad del generador ω_r se controla a través de la demanda del generador P_{dem} que afecta al par del generador.
- En consecuencia, a carga parcial, el controlador de carga parcial 203 calcula la demanda del generador P_{dem} (es decir un punto de consigna de potencia o par para el generador de potencia 207) lo que minimiza la diferencia entre la referencia de velocidad del generador ω_{ref} y la velocidad del generador medida ω_m .
- El estado de plena carga se caracteriza porque la velocidad del viento v es suficientemente alta para permitir la generación de la potencia eléctrica nominal o de diseño. Por lo tanto, la velocidad del generador y la potencia del generador pueden controlarse para conseguir una producción de potencia próxima a la potencia nominal. Esto se consigue mediante el ajuste de la referencia del generador ω_{ref} a la velocidad del generador de diseño $\omega_{diseño}$. En el estado de plena carga la velocidad del rotor ω_r se controla a través del paso θ de modo que consiga una extracción controlada de la energía del viento por las palas, por ejemplo sustancialmente constante.
- En consecuencia, a plena carga, el controlador de plena carga 204 calcula la demanda del paso θ_{dem} que minimiza la diferencia entre la referencia de velocidad del generador ω_{ref} (en este caso la $\omega_{diseño}$ o una velocidad del generador por debajo de la de diseño) y la velocidad del generador medida ω_m .
- A carga parcial, el controlador de plena carga puede configurarse para fijar la demanda del paso θ_{dem} a la referencia de paso θ_{ref} , por ejemplo al paso óptimo θ_{opt} . Durante plena carga la entrada θ_{ref} al controlador de plena carga 204 puede ignorarse.
- La velocidad del generador deseada ω_{ref} puede determinarse por un calculador de velocidad 201 dependiendo del contenido de energía en la velocidad del viento estimada o medida para el viento V y las características aerodinámicas predeterminadas de las palas. El paso deseado θ_{ref} , puede determinarse por un calculador de paso 202 dependiendo del contenido de energía en la velocidad del viento estimada o medida para el viento v , otras características aerodinámicas predeterminadas de las palas y posiblemente la velocidad del rotor ω_r .
- Puede invocarse una desviación entre el control a carga parcial y el control a plena carga cuando la cantidad deseada de producción de energía eléctrica es mayor o más pequeña que el contenido de energía del viento. Como ejemplo, dado que la energía del viento depende de la velocidad del viento, puede invocarse una desviación entre el control a carga parcial y el control a plena carga cuando la velocidad del viento v , sobrepasa un umbral dado, por ejemplo dado por la velocidad del viento de diseño, $v_{diseño}$. El conmutador 205 determina cuál de entre el controlador de carga parcial 203 o el controlador de plena carga 204 debería estar activo, por ejemplo comparando la cantidad de producción de energía deseada con el contenido de energía del viento.
- La conmutación entre los controladores de carga parcial y plena puede provocar cambios indeseables o no suaves en diferentes parámetros de operación del WTG. Por ejemplo, una conmutación entre los estados de carga parcial y plena puede provocar sobrevelocidad del rotor, cargas indeseables en la torre, cargas indeseables en las palas y elevadas demandas en el sistema de cambio de paso debido a la elevada velocidad de cambio de paso.
- La Fig. 3 muestra regiones de carga parcial y plena así como variaciones de paso (θ), la velocidad del generador (ω_r) y la potencia (P) producida en función de la velocidad del viento v .
- En el ejemplo mostrado en la Fig. 3, la carga parcial tiene lugar a partir de la velocidad del viento de conexión (en este caso 5 m/s pero puede ser diferente) y hasta la velocidad del viento de diseño (en este caso 13 m/s). En esta región la turbina produce tanta potencia como sea posible con el viento disponible.
- La plena carga tiene lugar a partir de la velocidad del viento de diseño y hasta la velocidad del viento de corte. En esta región la turbina produce la potencia de diseño (por ejemplo 3 MW).
- La velocidad del generador puede elevarse en rampa desde la velocidad del viento de conexión hasta que se alcance el máximo a alguna velocidad del viento (en este caso a 9 m/s).
- A carga parcial el paso óptimo θ_{opt} es casi constante para una velocidad del viento por encima de 5 m/s y hasta la velocidad del viento de diseño. La demanda del paso θ_{ref} puede establecerse para seguir el paso óptimo durante carga parcial.

La Fig. 4 muestra un sistema de control 400 para una turbina eólica. El sistema de control 400 comprende un controlador de carga parcial 403 y un controlador de plena carga 404 configurados para determinar la demanda del generador P_{dem} y la demanda del paso θ_{dem} para el control de la velocidad del generador ω_r durante los modos de carga parcial y plena. Contrariamente al sistema de control 200, el sistema de control 400 se configura de modo que los controladores de carga parcial y plena 403, 404 son operados continuamente tanto a carga parcial como plena sin ninguna conmutación entre los controladores cuando la velocidad del viento se incrementa o disminuye más allá de la velocidad del viento de diseño.

El sistema de control 400 comprende una unidad de cálculo del error de velocidad a carga parcial 401 configurada para determinar un primer error de velocidad del generador $e_{1\omega}$ dependiente de una referencia de velocidad del generador deseada ω_{ref} (por ejemplo la velocidad del generador óptima ω_{opt}), la velocidad del generador ω_m y una primera modificación de la velocidad ΔPLC . El primer error de velocidad del generador $e_{1\omega}$ se proporciona al controlador de carga parcial 403 configurado para determinar la demanda del generador P_{dem} minimizando el primer error de velocidad del generador $e_{1\omega}$. La función para minimizar el error de velocidad puede realizarse mediante un controlador PI, u otros tipos de controladores, compuestos por un primer componente de controlador 411 del controlador de carga parcial 403.

La velocidad del generador ω_m es la velocidad del generador real o medida.

El controlador de carga parcial 403 comprende además un primer limitador de amplitud 412 configurado para limitar la salida máxima desde el primer componente del controlador 411 hasta una demanda del generador máxima P_{max} , por ejemplo hasta una potencia de diseño del generador máxima $P_{diseño}$ o una potencia reducida máxima $P_{reducida}$, y para limitar la salida mínima desde el primer componente del controlador 411 a cero. Los límites del limitador 412 se denominan también como límites de saturación. En consecuencia, la demanda del generador máxima es un límite de saturación del controlador a carga parcial.

La primera modificación de velocidad ΔPLC se determina de modo que la velocidad del generador ω_m se aproxime a la referencia de velocidad del generador ω_{ref} para velocidades del viento por debajo de una velocidad del viento de diseño, y de modo que la referencia de velocidad del generador ω_{ref} (y de ese modo en el primer error de velocidad del generador $e_{1\omega}$) se reduce para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño. Cuando se reduce el primer error de velocidad del generador $e_{1\omega}$, el componente controlador incrementará la demanda del generador producida P_{dem} en un intento por disminuir la velocidad del generador medida ω_m de modo que se incremente el error $e_{1\omega}$ (por ejemplo de vuelta a cero). Dado que la salida desde el primer componente del controlador 411 está limitada a una referencia de generador máxima P_{max} por el primer limitador de amplitud 412, la demanda del generador determinada P_{dem} se aproximará a la referencia de generador máxima P_{max} para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño.

El sistema de control 400 comprende además una unidad de cálculo del error de velocidad a plena carga 402 configurada para determinar un segundo error de velocidad del generador $e_{2\omega}$ determinado sobre la referencia de velocidad del generador ω_{ref} , la velocidad del generador ω_m y una segunda modificación de velocidad ΔFLC . El segundo error de velocidad del generador $e_{2\omega}$ se proporciona al controlador de plena carga 404 configurado para determinar la demanda del paso θ_{dem} minimizando el segundo error de velocidad del generador $e_{2\omega}$. De modo similar al controlador de carga parcial 403, la función para minimizar el error de velocidad puede realizarse mediante un controlador PI compuesto por un segundo componente de controlador 421 del controlador de plena carga 404.

El controlador de plena carga 404 comprende además un segundo limitador de amplitud 422 configurado para limitar la salida máxima desde el segundo componente controlador 421 hasta una demanda del paso máxima θ_{max} , y para limitar la salida mínima desde el segundo componente controlador 421 hasta una demanda del paso mínima θ_{min} , por ejemplo la demanda del paso óptima θ_{opt} . El limitador inferior θ_{min} puede ser un valor fijo, o el limitador inferior θ_{min} puede ajustarse continuamente o regularmente para igualar el paso deseado θ_{ref} , por ejemplo tal como se determina por el calculador de paso 202. Los límites del limitador 422 se denominan también como límites de saturación. En consecuencia, se hace referencia a la demanda del paso mínima θ_{min} como un límite de saturación del controlador de plena carga.

La segunda modificación de velocidad ΔFLC se determina de modo que la velocidad del generador ω_m se aproxime a la referencia de velocidad del generador ω_{ref} para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, y de modo que la referencia de velocidad del generador ω_{ref} y, por ello, el segundo error de velocidad del generador $e_{2\omega}$ se incrementa para velocidades del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño. Cuando se incrementa el segundo error de velocidad del generador $e_{2\omega}$, el segundo componente controlador 421 disminuirá la demanda del paso producida (θ_{dem}) en un intento por incrementar la velocidad del generador medida ω_m de modo que disminuya el segundo error $e_{2\omega}$ (por ejemplo de vuelta a cero). Dado que la salida desde el segundo componente controlador 421 está limitada a una demanda del paso mínima θ_{min} por el segundo limitador de amplitud 422, la demanda del paso determinada θ_{dem} se aproximará al paso mínimo θ_{min} para velocidades del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño $v_{diseño}$.

5 El controlador de carga parcial 403 se configura para amplificar el primer error de velocidad $e1\omega$ mediante una primera ganancia $G1$ variable. La ganancia $G1$ variable puede ser una ganancia proporcional en un controlador PI compuesto por el primer componente controlador 411. De manera similar, el controlador de plena carga 404 se configura para amplificar el primer error de velocidad $e2\omega$ mediante una segunda ganancia $G2$ variable. La ganancia $G2$ puede de modo similar ser la ganancia proporcional en un controlador PI compuesto por el segundo componente controlador 421.

10 El sistema de control 400, por ejemplo un planificador de ganancias 410, se configura para determinar la primera y segunda ganancias variables $G1$, $G2$ de modo que la primera ganancia $G1$ sea mayor que la segunda ganancia $G2$ al menos para algunas velocidades del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño, de modo que la primera ganancia $G1$ sea más pequeña que la segunda ganancia $G2$ al menos para algunas velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, y de modo que la primera ganancia $G1$ sea igual a la segunda ganancia $G2$ al menos para una única velocidad del viento en la proximidad de la velocidad del viento de diseño.

15 Como se ilustra, la unidad de cálculo del error de velocidad a carga parcial 401 puede configurarse para determinar el primer error de velocidad del generador $e1\omega$ dependiendo de una primera referencia de velocidad del generador modificada ω_{refPLC} y de la velocidad del generador ω_m , por ejemplo mediante la resta de ω_m desde ω_{refPLC} . La primera referencia de velocidad del generador modificada puede determinarse mediante la suma (o resta dependiendo del signo de ΔPLC) de la primera modificación de velocidad ΔPLC a la referencia de velocidad del generador ω_{ref} .
20 Claramente, el error de velocidad $e1\omega$ podría determinarse de modo equivalente añadiendo (o restando) ΔPLC desde ω_m y restando esta señal de ω_{ref} .

25 De manera similar, la unidad de cálculo del error de velocidad a plena carga 401 puede configurarse para determinar el segundo error de velocidad del generador $e2\omega$ dependiendo de una segunda referencia de velocidad del generador modificada ω_{refPLC} y de la velocidad del generador ω_m , en el que la segunda referencia de velocidad del generador modificada puede determinarse mediante la adición de la segunda modificación de velocidad ΔFLC a la referencia de velocidad del generador ω_{ref} . Las alternativas mencionadas para determinar el primer error de velocidad del generador $e1\omega$ se aplican de modo equivalente a la determinación de $e2\omega$.

30 La Fig. 5 muestra un ejemplo de la primera y segunda ganancias $G1$, $G2$ en función de la velocidad del viento v . Tal como se muestra, la primera y segunda ganancias $G1$, $G2$ pueden determinarse de modo que la suma de la primera y segunda ganancias sea sustancialmente constante, por ejemplo igual a uno, en todo el intervalo de velocidades del viento comprendiendo la velocidad del viento de diseño, y posiblemente extendiéndose desde la velocidad del viento de conexión a la velocidad del viento de corte. Por ejemplo, la suma de ganancias puede restringirse a un valor
35 constante máximo en todo el intervalo de velocidades del viento en la proximidad de la velocidad del viento de diseño, por ejemplo sobre un intervalo que se extiende desde $(v_{diseño}-0,1 \text{ veces } v_{diseño})$ a $(v_{diseño}+0,1 \text{ veces } v_{diseño})$. En o cerca de la velocidad del viento de diseño la primera ganancia $G1$ es igual a la segunda ganancia $G2$, por ejemplo igual a 0,5. Los valores de la primera y segunda ganancias $G1$, $G2$ en función de la velocidad del viento pueden darse de acuerdo con curvas predeterminadas tal como se muestra en la Fig. 5, es decir a partir de funciones o tablas de
40 búsqueda que proporcionan valores de ganancia predeterminados ($G1$, $G2$) en función de la velocidad del viento. Alternativamente, los valores de la primera y segunda ganancias $G1$, $G2$ pueden determinarse dependiendo de otros parámetros operacionales de la turbina eólica.

45 Para cualquier velocidad del viento ninguna de las ganancias $G1$, $G2$ se hace cero dado que tanto el controlador de carga parcial como de plena 403, 404 necesitan estar activos para asegurar un acoplamiento entre los dos controladores.

50 Puede proporcionarse un planificador de ganancias 410 incluido en el sistema de control 400 para la determinación de las ganancias variables $G1$, $G2$ tanto si se determinan dependiendo de la velocidad del viento como de otros parámetros operacionales (descritos a continuación).

55 Por ejemplo, el planificador de ganancias 410 puede configurarse para determinar la primera y segunda ganancias variables $G1$, $G2$ de modo que la primera ganancia $G1$ sea mayor que la segunda ganancia $G2$ para velocidades del viento por encima o debajo de la velocidad del viento de diseño, de modo que la primera ganancia $G1$ sea más pequeña que la segunda ganancia $G2$ para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, y de modo que la primera ganancia $G1$ sea igual a la segunda ganancia $G2$ a la velocidad del viento de diseño. Adicionalmente, el planificador de ganancias 410 puede configurarse para determinar las ganancias $G1$, $G2$ de modo que la suma de la primera y segunda ganancias sea constante, o sustancialmente constante, en todo el intervalo de
60 velocidades del viento comprendiendo la velocidad del viento de diseño.

65 Las curvas de ganancia ilustradas para $G1$ y $G2$ pueden tener otras formas que las ilustradas en la Fig. 5. Por ello, las pendientes de las curvas más próximas a $v_{diseño}$ pueden ser más o menos agudas. Las pendientes de las curvas adicionalmente distanciadas de $v_{diseño}$ pueden tener también otras pendientes, incluyendo partes generalmente planas (pendiente cero). Las figuras pueden ser curvas suaves tal como se muestra, pero podrían también componerse de elementos de curva lineales en forma de piezas. En general las curvas deberían ser continuas.

Debido a los cambios graduales de la primera y segunda ganancias $G1$, $G2$ en función de la velocidad del viento v no hay necesidad de conmutar entre los controladores de carga parcial y plena. Esto es, para velocidades del viento claramente por debajo de la velocidad del viento de diseño, el controlador de carga parcial 403 tiene una acción de control dominante dado que la ganancia del controlador de plena carga es baja. Para velocidades del viento claramente por encima de la velocidad del viento de diseño, el controlador de plena carga 404 tiene una acción de control dominante dado que la ganancia del controlador de carga parcial es baja. Cuando la velocidad del viento se aproxima y sobrepasa la velocidad del viento de diseño la acción de control del controlador previamente dominante (por ejemplo, el controlador de carga parcial) se reduce y la acción de control del otro controlador (en este caso, el controlador de plena carga) se incrementa gradualmente.

Una finalidad de la primera modificación de velocidad ΔPLC es asegurar que la demanda del generador P_{dem} se dirige hacia la referencia de generador máxima P_{max} para la velocidad del viento creciente por encima de la velocidad del viento de diseño. P_{max} también puede fijarse a una $P_{diseño}$ o $P_{reducida}$ fija. En esta forma, el generador de potencia 207 se controla para limitar la producción de potencia a P_{max} durante plena carga.

Una finalidad de la segunda modificación de velocidad ΔFLC es asegurar que la demanda del paso θ_{dem} se dirige hacia el paso mínimo θ_{min} , por ejemplo al paso óptimo θ_{opt} , para una velocidad del viento disminuyendo por debajo de la velocidad del viento de diseño. En esta forma, el sistema de paso se controla para extraer tanta potencia del viento como sea posible durante la carga parcial.

Una finalidad de la primera y segunda ganancias $G1$, $G2$ es asegurar una distribución ponderada de las acciones de control de los controladores de carga parcial y plena 403, 404 para velocidades del viento alrededor de la velocidad del viento de diseño, es decir para velocidades del viento en un intervalo por encima y debajo de la velocidad del viento de diseño.

Los valores de la primera y segunda modificaciones de velocidad ΔPLC , ΔFLC pueden darse de acuerdo con funciones predeterminadas o tablas de búsqueda que proporcionan valores para las modificaciones de velocidad ΔPLC , ΔFLC en función de la velocidad del viento. La Fig. 6 muestra un ejemplo de funciones de la primera y segunda modificaciones de la velocidad del viento ΔPLC , ΔFLC . Las curvas de ganancia ilustradas para ΔPLC y ΔFLC pueden tener otras formas que las ilustradas en la Fig. 6. Por ello, las pendientes de las curvas más próximas a $v_{diseño}$ pueden ser más o menos agudas. Las pendientes de las curvas adicionalmente distanciadas de $v_{diseño}$ pueden tener también otras pendientes, incluyendo partes generalmente planas (pendiente cero). Las figuras pueden ser curvas suaves tal como se muestra, pero podrían también componerse de elementos de curva lineales en forma de piezas. En general las curvas deberían ser continuas.

Alternativamente, como se muestra en la Fig. 4 el primer y segundo valores de modificación de velocidad ΔPLC , ΔFLC pueden determinarse dependiendo de parámetros operacionales de la turbina eólica.

Para esa finalidad el sistema de control 400 comprende una primera y segunda unidades de cálculo de modificación de la velocidad 405, 406.

La primera unidad de cálculo de modificación de la velocidad 405 se configura para determinar la primera modificación de la velocidad ΔPLC dependiendo de una diferencia entre un paso real θ_m , por ejemplo el paso demandado θ_{dem} , y la referencia de paso θ_{ref} . En consecuencia, en carga parcial en la que el paso solicitado θ_{dem} puede ser igual a la referencia de paso θ_{ref} , la primera modificación de velocidad ΔPLC puede ser igual o próxima a cero. A plena carga cuando el paso solicitado es mayor que el paso óptimo para reducir la eficiencia aerodinámica, los valores de la primera modificación de velocidad ΔPLC se convierten en negativos.

La segunda unidad de cálculo de modificación de la velocidad 406 se configura para determinar la segunda modificación de la velocidad ΔFLC dependiendo de una diferencia entre una potencia real, por ejemplo la potencia demandada P_{dem} , y la potencia de referencia P_{ref} , por ejemplo la potencia de referencia de diseño o reducida $P_{diseño}$, $P_{reducida}$. En consecuencia, a carga parcial en la que la potencia demandada P_{dem} es más pequeña que la potencia de diseño o disminuida de referencia, los valores de la segunda modificación de velocidad ΔFLC se hacen positivos. A plena carga en donde la potencia demandada P_{dem} puede ser igual a $P_{diseño}$ o $P_{reducida}$, la segunda modificación de la velocidad ΔFLC puede ser igual o próxima a cero.

De acuerdo con este ejemplo, las ganancias K_{pl} y K_{fl} tienen valores positivos constantes. Sin embargo, podrían tener también valores negativos constantes.

Se entiende que las unidades de cálculo de la primera y segunda modificaciones de la velocidad 405, 406 pueden realizar también funciones para determinar valores de la primera y segunda modificaciones de velocidad ΔPLC , ΔFLC a partir de funciones predeterminadas o tablas de búsqueda en función de la velocidad del viento.

El planificador de ganancias puede configurarse para determinar la primera ganancia $G1$ o la segunda ganancia $G2$ dependiendo de la diferencia entre el paso real θ_m , por ejemplo el paso demandado θ_{dem} , y la referencia de paso θ_{ref} .

Alternativa o adicionalmente, la primera ganancia G1 o la segunda ganancia G2 pueden determinarse dependiendo de la diferencia entre la potencia real Pm, por ejemplo la potencia demandada Pdem, y la potencia de referencia Pref, por ejemplo Pdiseno.

- 5 La Fig. 7 ilustra principalmente cómo deberían determinarse las ganancias G1, G2 dependiendo de las diferencias de paso y de potencia tal como se ha descrito anteriormente. Las curvas 701 y 702 ilustran valores típicos para valores de paso θ_m y de potencia Pm reales, respectivamente, dependiendo de la velocidad del viento v. El paso θ_a y la potencia Pa se han medido a la velocidad del viento va. La distancia normalizada D1 entre θ_a y el caso óptimo para esa velocidad del viento se determina como $D1=(\theta_a-\theta_{opt})/\theta_{opt} = 0,7$. La distancia normalizada D2 entre Pa y la potencia de diseño se determina como $D2=(P_{diseño}-Pa/P_{diseño} = 0,3$.

En este ejemplo, basándose en D1, D2 o en ambas distancias puede suponerse que la turbina eólica debería operarse en un estado a modo pleno dado que D1 es relativamente grande, D2 es relativamente pequeño, o dado que D1 es mayor que D2. Las ganancias G1 y G2 pueden determinarse basándose en la suposición de operación a modo pleno y basándose en las distancias D1 y D2 mediante la asignación de valores predeterminados a las ganancias G1 y G2. Dado que D1 es grande puede asignarse un valor relativamente pequeño a G1 y dado que D2 es pequeño (comparado con D1) puede asignarse un valor relativamente grande a G2. Los valores de ganancia G1, G2 pueden venir dados por valores de ganancia predeterminados dependiendo de las distancias D1, D2 y proporcionados a través de una tabla de búsqueda o similar.

De acuerdo con una realización las ecuaciones 1-5 a continuación proporcionan un método para determinar las ganancias G1 y G2 basándose en ΔPLC y ΔFLC , es decir basándose en los valores de paso θ_{dem} y θ_{ref} , y valores de potencia Pdem y Pref.

25 Ecuaciones 1-5:

$$R(k) = \frac{\Delta PLC(k - 1)}{\Delta PLC(k - 1) + \Delta FLC(k - 1)}$$

$$G1(k) = G_{inf}; R(k) \leq G_{inf}$$

$$G1(k) = R(k); G_{inf} \leq R(k) \leq G_{sup}$$

$$G1(k) = G_{sup}; R(k) \geq G_{sup}$$

$$G2(k) = 1 - G1(k)$$

30 En las ecuaciones 1-5, k es el número de muestras y Ginf y Gsup son los valores límite inferior y superior para las ganancias. En consecuencia, G1 es igual a Ginf cuando R(k) es menor que o igual a Ginf, igual a R(k) cuando R(k) es mayor que Ginf y más pequeña que Gsup e igual a Gsup cuando R(k) es mayor que o igual a Gsup. G2 viene dada por 1-G1.

35 De acuerdo con otra realización un método alternativo para determinar R(k) basándose en ΔPLC y ΔFLC para su uso en las ecuaciones 1-5 puede proporcionarse por las ecuaciones 6-8:

$$R_{PLC}(k) = 1 - \frac{\Delta PLC(k - 1) - \Omega_{infPLC}}{\Omega_{supPLC} - \Omega_{infPLC}}$$

$$R_{FLC}(k) = 1 - \frac{\Delta FLC(k - 1) - \Omega_{infFLC}}{\Omega_{supFLC} - \Omega_{infFLC}}$$

$$R(k) = \frac{R_{FLC}(k)}{R_{PLC}(k) + R_{FLC}(k)}$$

40 En las ecuaciones 6-8 ω_{infPLC} y ω_{supPLC} son los límites inferior y superior para ΔPLC y ω_{infFLC} y ω_{supFLC} son los límites inferior y superior para ΔFLC . $R_{PLC}(k) + R_{FLC}(k)$ es igual a uno para todos los valores de k.

Se describe un ejemplo de aplicación a las ecuaciones 6-8 en el que las condiciones del viento deberían provocar la operación de la turbina eólica en carga parcial. En este caso ΔPLC debería ser igual a ω_{infPLC} cuando el paso requerido por el viento θ_{dem} debería ser igual a θ_{opt} . Dado que la distancia desde la potencia de diseño es grande ΔFLC debería estar saturado en su límite superior ω_{supFLC} lo que provoca un error de potencia artificial $e_2\omega$. De ese modo el controlador de plena carga 404 ve la velocidad del generador ω_m muy baja comparada con la referencia ω_{refPLC} y reacciona incrementando el paso. Sin embargo, dado que el límite θ_{max} no puede excederse, θ_{dem} convergerá en θ_{max} . En este ejemplo, la autoridad del control debería darse al controlador de carga parcial 403, mientras la ganancia del controlador de plena carga 404 debería reducirse para incrementar los márgenes de estabilidad. En este ejemplo, G_1 debería tener el valor G_{sup} , por ejemplo 0,9. A partir de la ec. 5 se deduce que G_2 será igual a 0,1.

Mientras que la invención se ha ilustrado y descrito en detalle en los dibujos y descripción precedente, dichas ilustración y descripción han de considerarse ilustrativas o ejemplares y no restrictivas; la invención no se limita a las realizaciones divulgadas. Pueden entenderse y efectuarse por los expertos en la materia otras variaciones a las realizaciones divulgadas en la puesta en práctica de la invención reivindicada, a partir de un estudio de los dibujos, la divulgación, y las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones, la palabra "comprendiendo" no excluye otros elementos o etapas, y el artículo indefinido "un" o "una" no excluye una pluralidad. El mero hecho de que ciertas características se enumeren en reivindicaciones dependientes mutuamente diferentes no indica que no pueda usarse como ventaja una combinación de estas características. Cualesquiera signos de referencia en las reivindicaciones no debería interpretarse como limitador del alcance.

REIVINDICACIONES

1. Un método para el control de una turbina eólica, en el que la turbina eólica comprende un rotor con al menos una pala que tiene un ángulo de paso que es controlable dependiendo de una demanda del paso (θ_{dem}), y un generador de potencia conectado al rotor, teniendo el generador de potencia una producción de potencia que es controlable dependiendo de una demanda del generador (P_{dem}), en la que una velocidad del generador (ω_m) del generador es controlable a través de la demanda del paso (θ_{dem}) y la demanda del generador (P_{dem}), el método comprende
 - controlar la velocidad del generador (ω_m) determinando la demanda del generador (P_{dem}) dependiendo de un primer error de velocidad del generador ($e_{1\omega}$) determinado dependiendo de una referencia de velocidad del generador (ω_{ref}), la velocidad del generador (ω_m) y una primera modificación de la velocidad (ΔPLC), en el que la demanda del generador (P_{dem}) se determina minimizando el primer error de velocidad del generador ($e_{1\omega}$), en el que la primera modificación de la velocidad (ΔPLC) se determina de modo que la velocidad del generador (ω_m) se aproxime a la referencia de velocidad del generador (ω_{ref}) para velocidades del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño, y en el que la primera modificación de la velocidad (ΔPLC) se determina de modo que la demanda del generador (P_{dem}) se aproxime a una demanda del generador máxima (P_{max} , $P_{diseño}$) para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño ($v_{diseño}$), en el que la demanda del generador máxima es un límite de saturación del controlador de carga parcial, y en el que el primer error de velocidad ($e_{1\omega}$) se amplifica mediante una primera ganancia variable (G_1),
 - controlar la velocidad del generador (ω_m) determinando la demanda del paso (θ_{dem}) dependiendo de un segundo error de velocidad del generador ($e_{2\omega}$) determinado dependiendo de una referencia de velocidad del generador (ω_{ref}), la velocidad del generador (ω_m) y una segunda modificación de la velocidad (ΔFLC), en el que la demanda del paso (θ_{dem}) se determina minimizando el segundo error de velocidad del generador ($e_{2\omega}$), en el que la segunda modificación de la velocidad (ΔFLC) se determina de modo que la velocidad del generador (ω_m) se aproxime a la referencia de velocidad del generador (ω_{ref}) para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, y en el que la segunda modificación de la velocidad (ΔFLC) se determina de modo que la demanda del paso (θ_{dem}) se aproxime a una demanda del paso mínima (θ_{min}) para velocidades del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño ($v_{diseño}$), en el que la demanda del paso mínima (θ_{min}) es un límite de saturación del controlador de plena carga, y en el que el segundo error de velocidad ($e_{2\omega}$) se amplifica mediante una segunda ganancia variable (G_2),
 - determinar la primera y segunda ganancias variables (G_1 , G_2) de modo que la primera ganancia (G_1) sea mayor que la segunda ganancia (G_2) al menos para algunas velocidades del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño, de modo que la primera ganancia (G_1) sea más pequeña que la segunda ganancia (G_2) al menos para algunas velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, y de modo que la primera ganancia (G_1) sea igual a la segunda ganancia (G_2) al menos para una única velocidad del viento en la proximidad de la velocidad del viento de diseño.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende controlar la velocidad del generador determinando la demanda del generador (P_{dem}), la demanda del paso (θ_{dem}) y la primera y segunda ganancias (G_1 , G_2) para velocidades del viento por debajo, por encima y a la velocidad del viento de diseño.
3. El método de acuerdo con reivindicar cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la primera y segunda ganancias (G_1 , G_2) se determinan de modo que la suma de la primera y segunda ganancias sea sustancialmente constante en todo un intervalo de velocidades del viento comprendiendo la velocidad del viento de diseño.
4. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la primera ganancia (G_1) o la segunda ganancia (G_2) se determinan dependiendo de una diferencia entre un paso real (θ_m , θ_{dem}) y el paso de referencia (θ_{ref}).
5. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la primera ganancia (G_1) o la segunda ganancia (G_2) se determinan dependiendo de una diferencia entre una potencia real (P_m , P_{dem}) y la potencia de referencia (P_{ref} , $P_{diseño}$).
6. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la primera modificación de velocidad (ΔPLC) se determina dependiendo de una diferencia entre un paso real (θ_m , θ_{dem}) y el paso de referencia (θ_{ref}).
7. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la segunda modificación de velocidad (ΔFLC) se determina dependiendo de una diferencia entre una potencia real (P_m , P_{dem}) y la potencia de referencia (P_{ref}).
8. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el primer error de velocidad del generador ($e_{1\omega}$) se determina dependiendo de una primera referencia de velocidad del generador modificada (ω_{refPLC}) y de la velocidad del generador (ω_m), en el que la primera referencia de velocidad del generador modificada se determina mediante la adición de la primera modificación de velocidad (ΔPLC) a la referencia de velocidad del generador (ω_{ref}).

9. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el segundo error de velocidad del generador ($e2_{\omega}$) se determina dependiendo de una segunda referencia de velocidad del generador modificada (ω_{refPLC}) y de la velocidad del generador (ω_m), en el que la segunda referencia de velocidad del generador modificada (ω_{refPLC}) se determina mediante la adición de la segunda modificación de velocidad (ΔFLC) a la referencia de velocidad del generador (ω_{ref}).
10. Un sistema de control (400) para el control de una turbina eólica, en el que la turbina eólica comprende un rotor con al menos una pala que tiene un paso que es controlable dependiendo de una referencia de paso (θ_{ref}), y un generador de potencia conectado al rotor, teniendo el generador de potencia una producción de potencia que es controlable dependiendo de una referencia del generador (P_{ref}), en la que una velocidad del generador es controlable a través de la referencia de paso (θ_{ref}) y la referencia de generador (P_{ref}), el sistema de control comprende,
- unidad de cálculo de error de velocidad a carga parcial (401) configurada para determinar un primer error de velocidad del generador ($e1_{\omega}$) dependiendo de una referencia de velocidad del generador (ω_{ref}), la velocidad del generador (ω_m) y una primera modificación de la velocidad (ΔPLC),
 - unidad de cálculo de error de velocidad a plena carga (402) configurada para determinar un segundo error de velocidad del generador ($e2_{\omega}$) dependiendo de una referencia de velocidad del generador (ω_{ref}), la velocidad del generador (ω_m) y una segunda modificación de la velocidad (ΔFLC),
 - una unidad de cálculo de la primera modificación de velocidad (405) configurada para determinar la primera modificación de la velocidad (ΔPLC) de modo que la velocidad del generador (ω_m) se aproxime a la referencia de velocidad del generador (ω_{ref}) para velocidades del viento por debajo de una velocidad del viento de diseño, y de modo que la demanda del generador (P_{dem}) se aproxime a una demanda del generador máxima (P_{max} , $P_{diseño}$) para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño ($v_{diseño}$), en el que la demanda del generador máxima es un límite de saturación del controlador a carga parcial,
 - una unidad de cálculo de la segunda modificación de velocidad (406) configurada para determinar la segunda modificación de la velocidad (ΔFLC) de modo que la velocidad del generador (ω_m) se aproxime a la referencia de velocidad del generador (ω_{ref}) para velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, y de modo que la demanda del paso (θ_{dem}) se aproxime a una demanda del paso mínima (θ_{min}) para velocidades del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño ($v_{diseño}$), en el que la demanda del paso mínima (θ_{min}) es un límite de saturación del controlador a plena carga,
 - un controlador a carga parcial (403) configurado para controlar la velocidad del generador (ω_m) mediante la determinación de la demanda del generador (P_{dem}) dependiendo del primer error de velocidad del generador ($e1_{\omega}$) minimizando el primer error de velocidad del generador ($e1_{\omega}$), en el que el controlador a carga parcial se configura para amplificar el primer error de velocidad ($e1_{\omega}$) mediante una primera ganancia variable ($G1$),
 - un controlador a plena carga (404) configurado para controlar la velocidad del generador (ω_m) mediante la determinación de la demanda del paso (θ_{dem}) dependiendo del segundo error de velocidad del generador ($e2_{\omega}$) minimizando el segundo error de velocidad del generador ($e2_{\omega}$), en el que el controlador a plena carga (404) se configura para amplificar el segundo error de velocidad ($e2_{\omega}$) mediante una segunda ganancia variable ($G2$), y
 - un planificador de ganancias (410) configurado para determinar la primera y segunda ganancias variables ($G1$, $G2$) de modo que la primera ganancia ($G1$) sea mayor que la segunda ganancia ($G2$) al menos para algunas velocidades del viento por debajo de la velocidad del viento de diseño, de modo que la primera ganancia ($G1$) sea más pequeña que la segunda ganancia ($G2$) al menos para algunas velocidades del viento por encima de la velocidad del viento de diseño, y de modo que la primera ganancia ($G1$) sea igual a la segunda ganancia ($G2$) al menos para una única velocidad del viento en la proximidad de la velocidad del viento de diseño.
11. Una turbina eólica (100) que comprende el sistema de control (400) de acuerdo con la reivindicación 10.

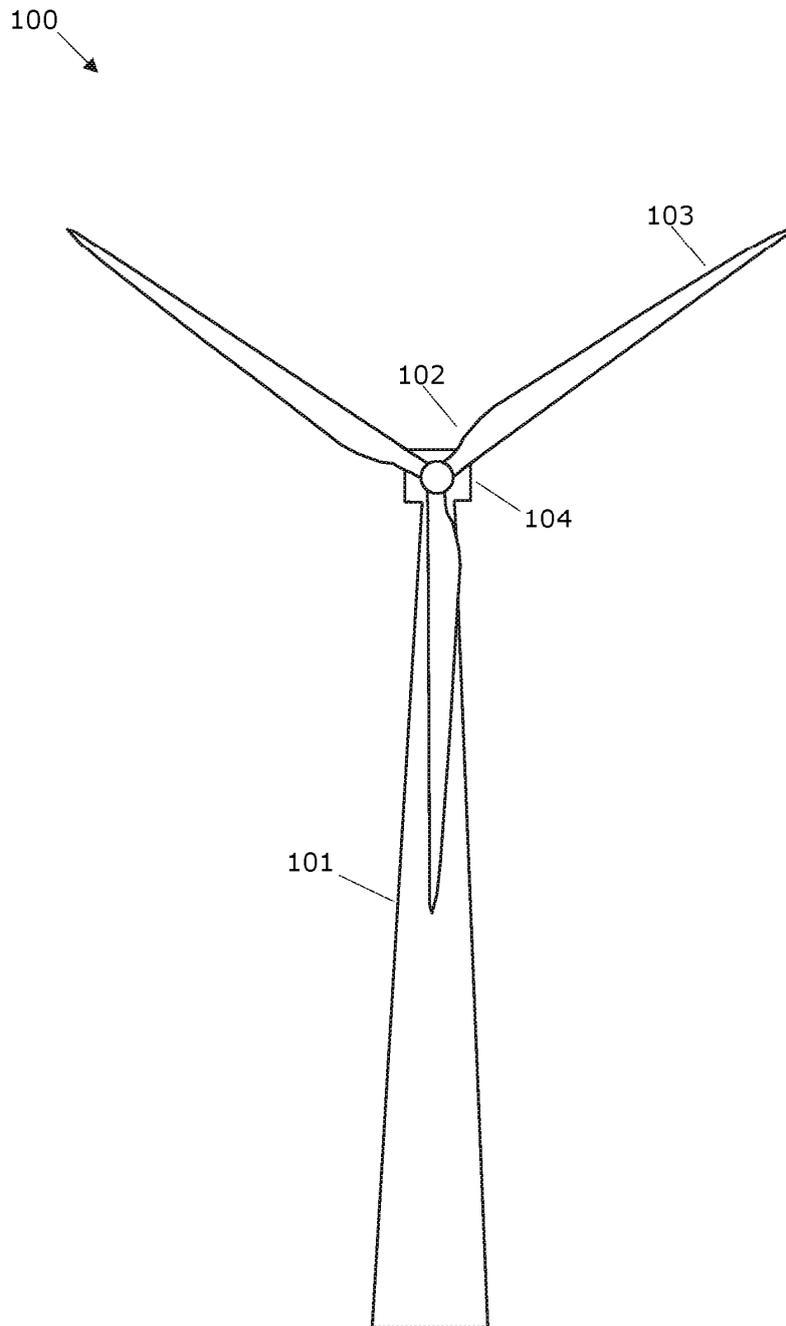


Fig. 1

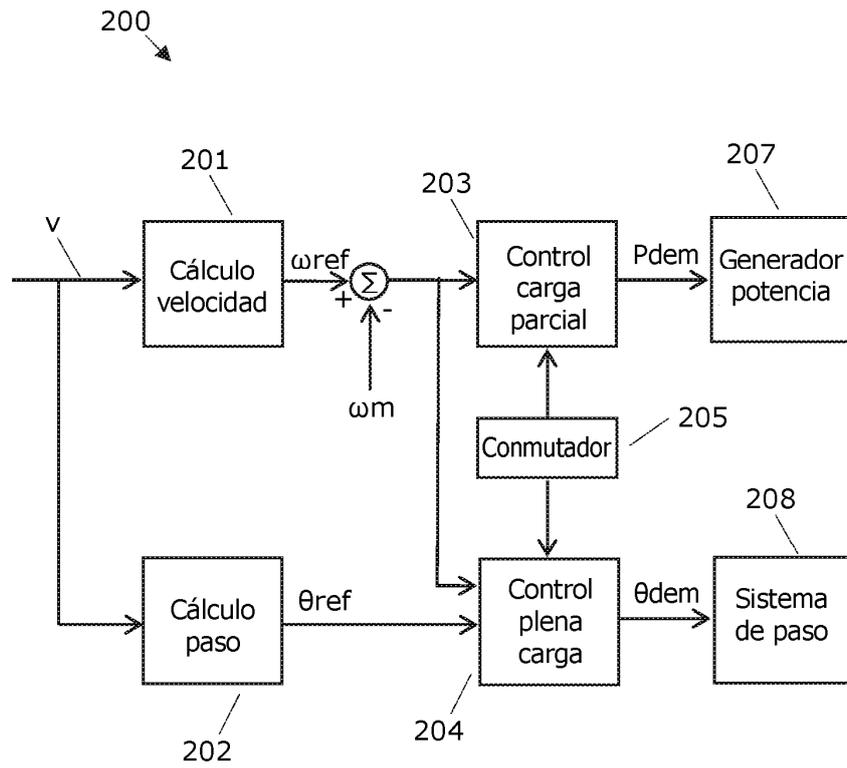


Fig. 2

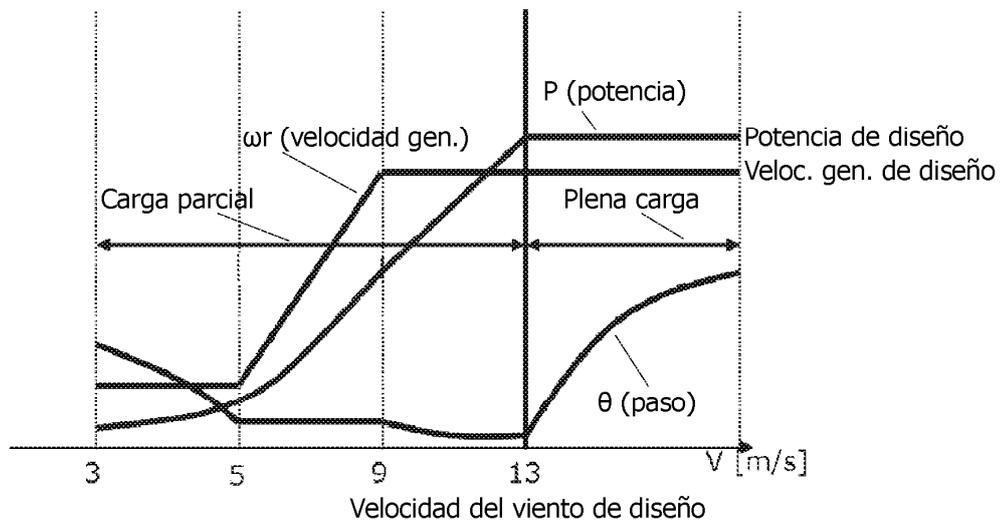


Fig. 3

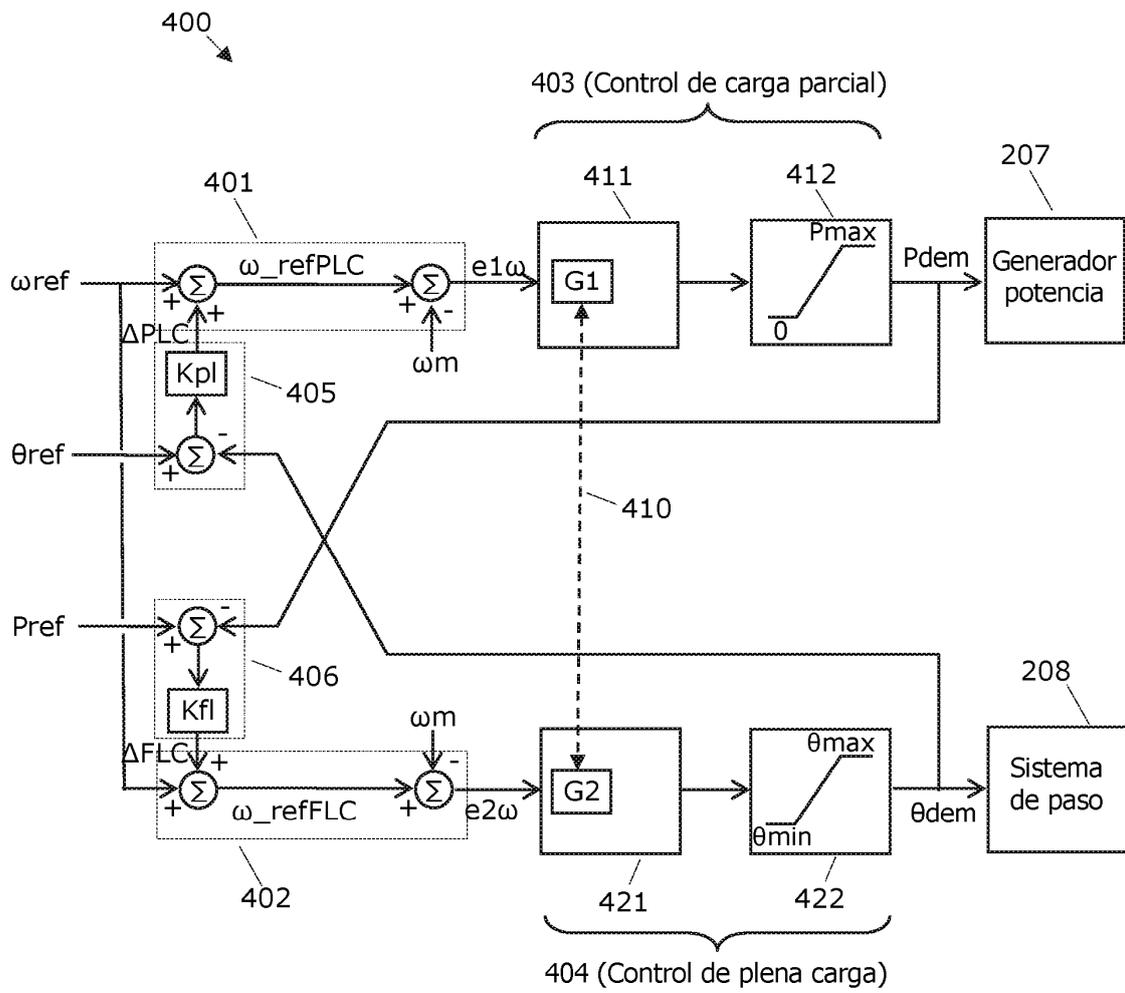


Fig. 4

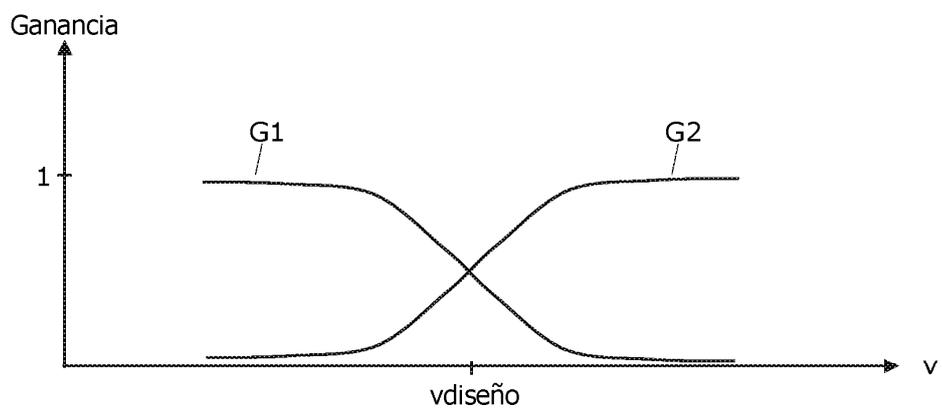


Fig. 5

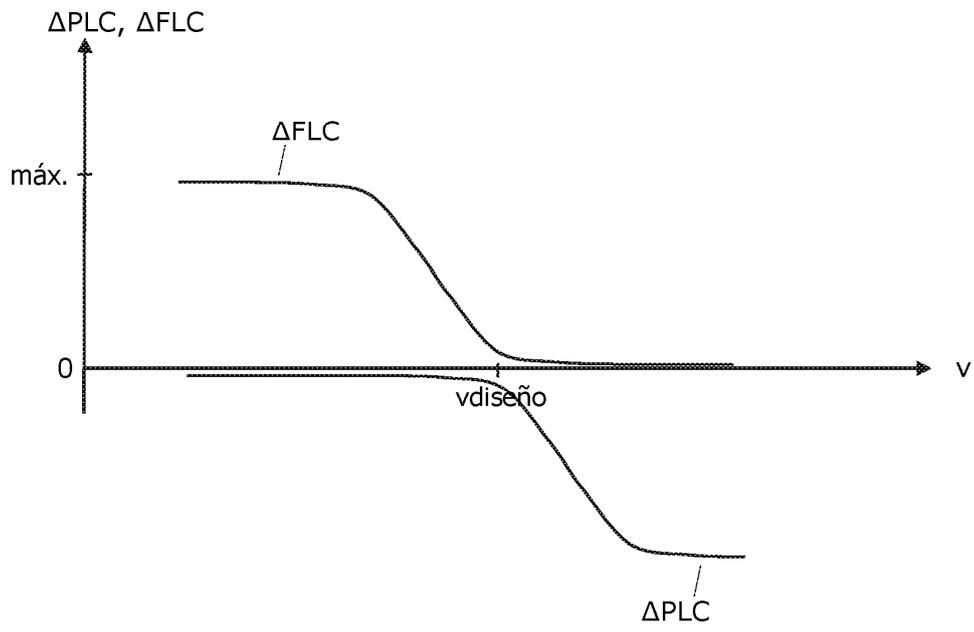


Fig. 6

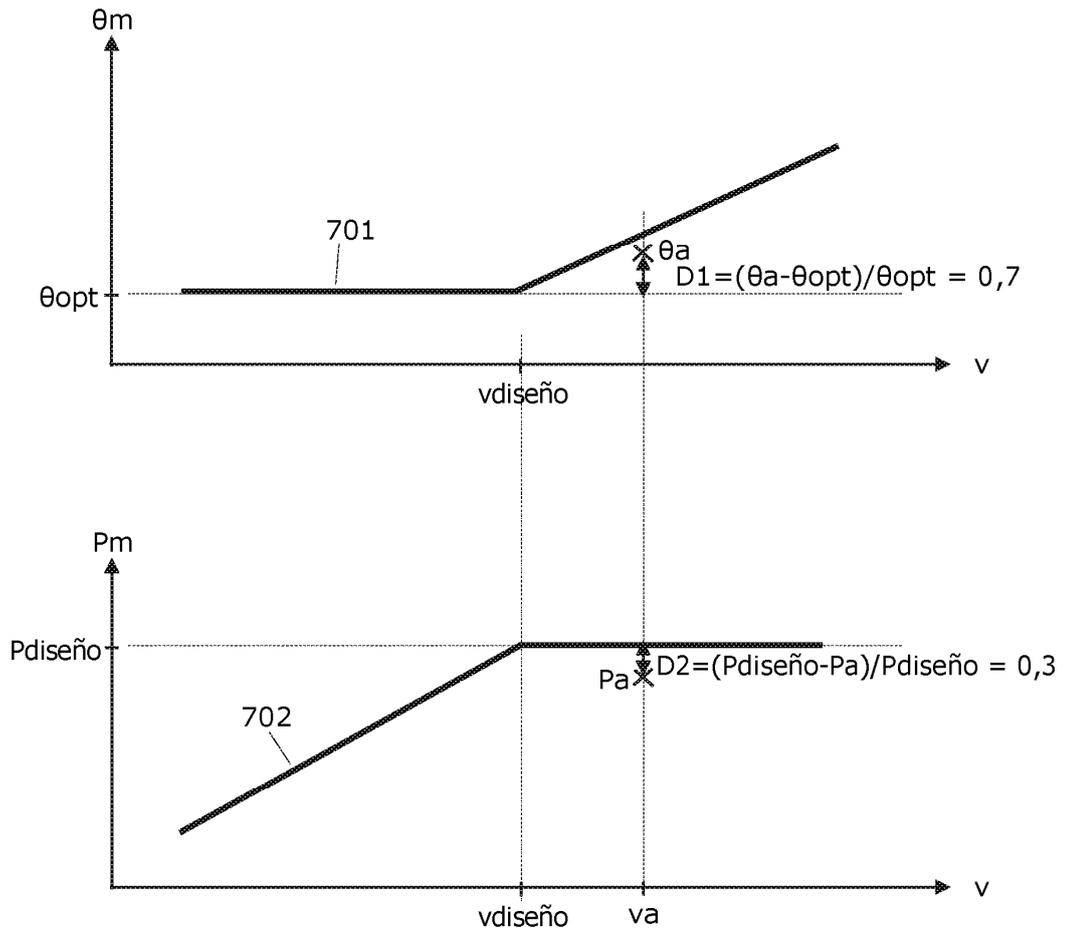


Fig. 7