

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 728 685**

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: **08.06.2015 PCT/DK2015/050149**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2015 WO15192853**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2015 E 15728400 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019 EP 3158190**

54 Título: **Sistema de limitación de empuje de turbinas eólicas**

30 Prioridad:

20.06.2014 DK 201470369

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

28.10.2019

73 Titular/es:

**MITA-TEKNIK A/S (100.0%)
Håndværkervej 1
8840 Rødkjærsbro, DK**

72 Inventor/es:

**BØNDING, JESPER y
BRORSEN, MARTIN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 728 685 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

Sistema de limitación de empuje de turbinas eólicas

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de control de limitación de empuje de las turbinas eólicas, turbinas eólicas que comprenden al menos una torre, que torre que sostiene al menos una góndola, góndola que comprende un árbol rotatorio, árbol que se hace rotar mediante una o más palas, palas que se regulan en inclinación por un sistema de control de inclinación.

Antecedentes de la invención

El documento WO 2011/042369 desvela un método para controlar una turbina eólica, donde se determina una señal de control para un parámetro controlable de la turbina eólica, y el coeficiente de potencia de rotor, el coeficiente de par, y/o un coeficiente de empuje de las turbinas eólicas se estiman en intervalos de tiempo. A partir de esto se determina un parámetro de variación que refleja la variación de la potencia de rotor estimada, el par o el coeficiente de empuje a lo largo del tiempo. A continuación, la turbina eólica se controla de acuerdo con la señal de control solo si el parámetro de variación está por encima de un umbral de alerta, y de otro modo de acuerdo con una estrategia de control modificada. La señal de control puede tener una señal de referencia de potencia o de par para controlar la velocidad de rotación de la turbina o una señal de referencia de inclinación de pala. El método de control modificado puede implicar, por ejemplo, detener o reducir el esfuerzo de la turbina eólica. También se desvela un sistema de control configurado para realizar el método de control anterior, y una turbina eólica que comprende dicho sistema. Este documento desvela en la página 5, línea 9-30 "Un método de control que se basa directamente en la velocidad eólica medida o estimada que puede ser igualmente inexacta e inadecuada, ya que el control se basa en la velocidad eólica en un solo punto en el espacio y los cambios en este parámetro pueden no reflejar cambios similares en la velocidad eólica general".

Objeto de la invención.

El objeto de la presente invención es reducir la carga mecánica y el estrés de una turbina eólica. Otro objetivo es reducir la carga máxima en la torre de una turbina eólica.

Descripción de la invención

El objeto puede cumplirse por un sistema como se desvela en el preámbulo de la reivindicación 1 y además modificado por un sistema de control de limitación de empuje que realiza el control del ángulo de inclinación, sistema de control de limitación de empuje que realiza la regulación del ángulo de inclinación basándose en al menos una primera entrada de un estimador eólico y una segunda entrada de un estimador de turbulencia, pudiendo el estimador eólico recibir una tercera entrada de la medición del ángulo de inclinación medio entre palas, estimador eólico que recibe una cuarta entrada de una referencia de par de generador establecida por un controlador de par, donde el estimador eólico recibe una quinta entrada de una velocidad angular de generador medida, entradas primera y segunda que se combinan para formar una salida (54) que se transmite a una función de resta donde una señal que representa la fuerza de empuje estimada se resta de dicha señal, función de resta que genera una señal adicional, señal adicional que se envía a través de una función de procesamiento posterior para generar una señal para realizar la limitación de empuje de la turbina eólica.

Mediante el control de limitación de empuje, la reducción de la carga mecánica máxima en una torre, palas, o quizás también en una góndola, puede lograrse mediante un porcentaje relativamente alto de la carga de tal manera que solo tenga una influencia muy limitada en la producción de potencia de la turbina eólica. Mediante mediciones y análisis de las turbinas eólicas controladas por inclinación, se ha descubierto que la carga máxima en la torre no está provocada por la velocidad eólica máxima, sino por un intervalo de regulación donde la regulación de inclinación comienza a tener influencia en la producción de potencia. Por lo general, esto ocurre en el intervalo de 8 a 12 metros/segundo de velocidad eólica, ya que con un viento más fuerte que este intervalo, se realiza una regulación a la baja de la producción de potencia regulando la inclinación. Al aumentar la velocidad eólica, la regulación de inclinación controla más o menos perfectamente la carga y no se produce una carga de empuje máxima, ni siquiera a la velocidad eólica máxima, que suele ser de 25 metros/segundo para las turbinas eólicas, velocidad a la que se realiza una parada de seguridad. El control de limitación de empuje está funcionando de manera altamente eficaz debido a que es posible introducir diferentes parámetros. Mediante una primera realización posible de la invención, el sistema de control de limitación de empuje opera con datos de un estimador eólico que calcula la velocidad eólica máxima en una situación dada, y una entrada de un estimador de turbulencia, debido a que el empuje máximo se logrará en una combinación de carga a partir de estos dos parámetros. Mediante una velocidad eólica relativamente alta y una alta intensidad de turbulencia, esta turbulencia sumará efectos positivos y negativos al empuje. Por lo tanto, debido a las actividades de alta turbulencia, es necesario realizar una limitación eficaz del empuje regulando el ángulo de inclinación. Por supuesto, para la limitación de empuje, pueden tener influencia un gran número de parámetros para lograr el efecto máximo donde el empuje se reduce en un gran

número de diferentes situaciones de operación. No solo la torre está estresada por la carga máxima, sino que las placas se ven muy afectadas por el empuje máximo. Mediante la presente invención es posible realizar un recorte de empuje en un área muy pequeña de la producción y de ese modo lograr una reducción muy alta en el empuje máximo que se mide en la turbina eólica. El sistema puede realizarse mediante diversos modos de operación, simplemente debido a que por una carga muy débil, no hay necesidad de ninguna limitación de empuje, y también en el caso de carga máxima, los mecanismos de seguridad existentes también proporcionarán la limitación de empuje. Por lo tanto, la presente invención es altamente eficaz para intervalos medios de velocidad eólica.

Mediante una realización preferida adicional de la invención puede lograrse que se usen parámetros adicionales de una turbina eólica en operación como entradas para el sistema de limitación de empuje. También es obvio usar datos de, por ejemplo, el controlador de par, debido a que dichos datos existen en la mayoría de las turbinas eólicas. También, la velocidad angular de generador es un parámetro que ya existe en los sistemas de control para turbinas eólicas. Por lo tanto, combinando estos dos parámetros críticos, puede lograrse que el sistema de limitación de empuje pueda ser más eficaz.

Mediante una realización preferida adicional de la invención puede obtenerse una sexta entrada para el estimador eólico de la aceleración de inercia de rotor. De este modo, puede lograrse la aceleración de inercia de rotor real para un parámetro adicional de limitación de empuje de una turbina eólica.

Mediante una realización preferida adicional de la invención, el estimador de turbulencia puede recibir una sexta entrada de aceleración de góndola medida de adelante hacia atrás. De este modo, puede lograrse que otras señales de los acelerómetros colocados, por ejemplo, en la góndola, o tal vez de acelerómetros colocados directamente en la torre, puedan tener influencia en el proceso de limitación de empuje.

Mediante una realización preferida adicional de la invención, el estimador eólico puede generar una primera señal interna basándose en la velocidad eólica promedio de rotor estimada, primera señal interna que se transmite tanto para el estimador de turbulencia como para el sistema de limitador de empuje de condición adaptativa. Al usar la misma entrada para diferentes módulos de cálculo, es posible que el sistema procese además los datos y puede ser que también reduzca la influencia de un segmento de datos.

Mediante una realización preferida adicional de la invención, el sistema de limitación de empuje puede comprender al menos las siguientes actividades operacionales tal como una función de avance de alimentación de limitador de empuje de condición adaptativa, función de avance de alimentación de limitador de empuje de condición adaptativa que recibe la entrada de la primera señal interna basándose en la velocidad eólica promedio de rotor estimada y en la entrada de la velocidad angular de generador medida, función de avance de alimentación que tiene una salida. Al usar la regulación de avance de alimentación es posible acelerar el proceso de regulación de tal manera que la limitación de empuje pueda realizarse muy rápidamente después de que se hayan detectado cambios en los parámetros. Especialmente la combinación de la velocidad eólica promedio y la velocidad angular de generador proporciona los parámetros que necesitan una operación muy rápida si cambian de manera crítica.

Mediante una realización preferida adicional de la invención, el sistema de control puede comprender además una función de conmutación de modo seguro, función de conmutación de modo seguro que recibe la entrada que controla el límite de empuje, función de conmutación de modo seguro que recibe además la entrada de un limitador de empuje escalado de turbulencia dado por un detector de turbulencia, función de conmutación de modo seguro que basándose en las entradas genera una salida, salida que se transmite a la función de avance de alimentación de limitador de empuje de condición adaptativa. De este modo, puede lograrse que si se activa un conmutador de seguridad ya existente en un modo seguro, este modo seguro tiene influencia de inmediato en la función de avance de alimentación de limitador de empuje, debido a que podría ser necesario un cambio rápido del ángulo de inclinación debido a que está activado el conmutador de seguridad. Por lo tanto, puede ser necesaria una reducción en el empuje.

Mediante una realización preferida adicional de la invención, la salida puede transmitirse a una función de resta, donde una señal que representa la fuerza de empuje estimado se resta de la señal, función de resta que genera una señal, señal que se envía a través de una función de procesamiento posterior para generar una señal. De este modo, puede lograrse que diferentes señales que representan más o menos los mismos parámetros tengan una influencia reducida en la regulación debido a que sus valores se restan unos de otros.

Mediante una realización preferida adicional de la invención, la señal puede transmitirse a una función de control PID, función de control PID que recibe además la entrada de la salida de la función de avance de alimentación, función de control PID que recibe además la entrada de la medición del ángulo de inclinación medio entre palas, función de control PID que genera una salida. A esta salida, se suma la señal para formar una señal que representa el ángulo de inclinación mínimo. De este modo, puede lograrse que las señales se transmitan además a la regulación PID, y a continuación estas señales se usen directamente para regular el ángulo de inclinación. De este modo, se logra un sistema de limitación de empuje altamente eficaz que procesa una pluralidad de parámetros medidos en una turbina eólica. Todos estos parámetros de entrada se calculan internamente; algunos en los módulos de control existentes, otros se procesan en el nuevo módulo de limitación de empuje. Sin embargo, en

general, se logra una limitación de empuje de una turbina eólica que es altamente eficaz y que puede reducir la carga adicional en la torre, la góndola y el rotor.

La solicitud de patente pendiente desvela además un método adaptado de limitación de empuje de las turbinas eólicas como se desvela en la descripción anterior, por lo que el método desvela al menos las siguientes etapas de operación:

- a. recibir una primera entrada de un estimador eólico,
- b. dejar que el estimador eólico (20) reciba una tercera entrada (24) de la medición del ángulo de inclinación medio entre palas (26),
- c. dejar que el estimador eólico (20) reciba una cuarta entrada (28) de una referencia de par de generador (30) establecida por un controlador de par (32),
- d. dejar que el estimador eólico (20) reciba una quinta entrada (34) de una velocidad angular de generador medida (36),
- e. recibir una segunda entrada de un estimador de turbulencia,
- f. combinar las señales de entrada primera y segunda para formar una salida,
- g. realizar la resta de una señal que representa el empuje estimado de la señal de salida,
- h. generar una señal, señal que se envía a través de una función de procesamiento posterior para generar una señal para realizar la limitación de empuje de la turbina eólica.

De este modo, la limitación de empuje eficaz puede realizarse basándose en un número de parámetros medidos en la turbina eólica; otros parámetros no desvelados en esta solicitud de patente pueden incorporarse en el método de limitación de empuje.

A continuación, se describe una posible realización del limitador de empuje de condición adaptativa escalado de turbulencia. El limitador de empuje de condición adaptativa escalado de turbulencia es una característica del controlador que restringe el ángulo de inclinación mínimo permitido para limitar el empuje de rotor de operación máximo. Hay varias condiciones externas relacionadas con el empuje que necesita aliviarse de carga antes de que pueda reducirse la carga de diseño de pala. Esta es la motivación del propio limitador de empuje de condición adaptativa. Sin embargo, siempre será un beneficio de carga establecer este límite de empuje bajo, lo que provocará una reducción en la producción anual de energía (AEP). Hasta cierto punto, la reducción resultante de la AEP se compensa al escalar el límite de empuje sobre la base de los indicadores de carga.

La turbina está equipada con un sistema de control que regula la operación de la turbina (entre éstos están la inclinación, la potencia y la velocidad). El comportamiento del controlador en términos de inclinación y potencia (estrategia operativa) gobierna el empuje operativo en el rotor.

La turbina funcionando en una trayectoria de potencia óptima experimentará un pico de empuje alto y pronunciado cerca de la operación nominal. Parte de la carga en los componentes principales está vinculada principalmente con el empuje del rotor, la pala y la torre en particular, por lo tanto, estos componentes se diseñarán para sobrevivir a eventos exteriores extremos en este pico de empuje. Este vínculo entre el empuje máximo y las cargas en los componentes es la motivación principal para desarrollar funciones de control de limitación de empuje. Además de las cargas extremas asociadas con el empuje medio alto, el pico pronunciado de empuje también afectará a las cargas de fatiga, especialmente de la torre. Esto se debe a la turbulencia, que impulsará el empuje a través del pico de empuje repetidamente, provocando de este modo una carga de fatiga por empuje excesiva.

Para limitar el empuje de operación máximo, la estrategia de control se modifica de una manera por la que se determina el ángulo de inclinación mínimo permisible.

El propio limitador de empuje de condición adaptativa comprende varias subfuncionalidades:

- Estimar el viento del rotor usando la inclinación, la velocidad del rotor de potencia, la aceleración del rotor, la inercia del rotor.
- Basándose en el viento del rotor y el modelo aerodinámico del rotor, se estima el empuje del rotor
- Basándose en la estimación de empuje y el límite de empuje (establecido por la escala de turbulencia) se calcula un error de empuje.

- El error de empuje se usa en un controlador PID que inclina la pala cuando el empuje estimado es mayor que el límite de empuje establecido por la escala de turbulencia.
- La estimación de empuje también se usa en una funcionalidad de avance de alimentación basándose en el modelo aerodinámico que calcula el ángulo de inclinación esperado lo que mantiene la estimación de empuje por debajo del límite establecido por la escala de turbulencia.

El limitador de empuje de condición adaptativa resaltado anteriormente será capaz de restringir el empuje de operación máximo. Las fluctuaciones de alta frecuencia impulsadas por turbulencia del empuje del rotor por encima del límite no se eliminarán completamente. Este método de control de limitación de empuje se escala en función de una estimación del nivel de turbulencia actual. Esto permite que el limitador de empuje de condición adaptativa tenga un límite de empuje bajo en situaciones de alta turbulencia y un límite de empuje alto en situaciones de baja turbulencia. La ganancia de este comportamiento es un aumento en la producción de potencia en condiciones de baja turbulencia en comparación con el limitador de empuje de condición adaptativa sin escala de turbulencia. La escala debe efectuarse de tal manera que las cargas extremas se mantengan bajo control durante las situaciones de baja turbulencia donde el empuje medio aumenta con la escala.

La escala consiste en:

- Estimar el viento del rotor usando la inclinación, la potencia y la velocidad del rotor y el conocimiento de la aerodinámica del rotor y las pérdidas en el sistema.
- Medir la aceleración de adelante hacia atrás de góndola en la parte superior de la torre.

Con el fin de evaluar las condiciones de operación de turbina, debe conocerse la fuerza del viento aplicada sobre el rotor. Esto se obtiene mediante un estimador eólico que estima la velocidad eólica promedio de rotor, lo que conduce a una “medición” confiable del viento, en comparación con un anemómetro de altura de buje. Esta velocidad eólica promedio de rotor estimada se alimentará tanto a la estimación de empuje de turbina, usada para el control de limitación de empuje, como a la estimación de turbulencia para escalar el límite de empuje aplicado, en función de las condiciones de turbulencia del viento que operan en la turbina.

Son posibles diferentes diseños de un estimador eólico. La idea general del estimador eólico es usar un modelo del comportamiento aerodinámico del rotor para estimar una velocidad eólica representativa del viento que pasa a través del rotor. Esto se realiza usando el conocimiento de los principales parámetros operativos en la turbina inclinación, potencia y velocidad del rotor.

Al menos los siguientes parámetros puede usarse para el estimador eólico:

1. Sensibilidad al error de guiñada. Debido a que el estimador eólico “detecta” el viento resultante/representativo basándose en la inclinación, la potencia y la velocidad del rotor, no podrá distinguir el viento bajo de la operación en un error de guiñada alta.
2. Sensibilidad al cambio aerodinámico. Debido al uso intensivo del modelo aerodinámico para estimar el viento, el estimador será sensible a los cambios en el modelo. Dichos cambios pueden originarse a partir de diversas fuentes, tal como la formación de hielo, la suciedad, los errores de inclinación u otros fenómenos que cambian las características del rotor.
3. Dependencia de la densidad. La potencia/par del rotor es linealmente proporcional a la densidad del aire. Actualmente, esto se incluye como un parámetro en el estimador eólico, pero es sencillo incluir esto como una entrada. El desafío es entonces estimar la densidad del aire con precisión. La sensibilidad hacia la densidad del aire es bastante alta, de acuerdo con una variable ambientalmente cambiante. El único otro parámetro que cambia a lo largo del tiempo se debe al hielo en las palas, al desgaste y el deterioro, etc. Esto puede mitigarse incluyendo una medición de la densidad del aire en el sistema de control combinado.

Descripción del dibujo

- La figura 1 muestra una curvatura relativa a la potencia de generador estático.
- La figura 2 muestra una curvatura que muestra la fuerza de empuje estática.
- La figura 3 muestra un diagrama de bloques que comprende una función de limitación de empuje.
- La figura 4 muestra un diagrama de bloques que indica una posible divulgación de una función de limitación de empuje.
- La figura 5 muestra una turbina eólica.

Descripción detallada de la invención

La figura 1 muestra una posible curvatura que indica la velocidad eólica frente a la potencia. En la curvatura, puede verse que la invención, tal como se describe a continuación en el presente documento, tiene una influencia muy

limitada sobre la potencia generada. Solo en una ventana muy pequeña de la velocidad eólica hay cambios. Se indica que el sistema de limitación de empuje solo reducirá la producción de potencia en esta área tan limitada, y en este caso la influencia es menor que el 1 % de la producción de potencia.

5 La figura 2 indica, en cambio, la velocidad eólica frente a la fuerza de empuje. Las dos curvas indican que la fuerza de empuje máxima se logra mediante una velocidad eólica de poco más de 10 metros/segundo. La curva superior indica un pico que se reduce por la curva inferior. La curva inferior indica una limitación de empuje activa debido a que la inclinación tiene ventajas adicionales, tal como la velocidad de reacción y las opciones de giro con solo unos pocos cambios de carga secundarios. El tiempo de reacción es una motivación para las funciones de control de limitación de empuje con el fin de reducir el pico de empuje y para reducir la carga asociada con eventos externos extremos. Debido al tiempo de reacción, el ligero cambio en la inclinación para reducir el empuje tiene una influencia muy limitada en la producción de potencia del sistema como tal. Por lo tanto, la limitación de empuje se realiza solo con cambios muy pequeños en la producción de potencia, pero debido a que la limitación de empuje se realiza en un área donde la turbina eólica opera normalmente la mayor parte del tiempo, es decir, en el intervalo de aplicación de 10 metros/segundo, la limitación de empuje puede tener una gran influencia en la carga total, por ejemplo, en una torre o quizás también en todo el sistema de rotor. De esta manera, se reduce el estrés mecánico en la torre y tal vez también en las palas.

20 La figura 3 indica un sistema que comprende una función de limitación de empuje 2. Esta función de limitación recibe una primera entrada 18 de un estimador eólico 20. Una segunda entrada 21 se genera por un estimador de turbulencia 22. La señal 21 controla el nivel de reducción de potencia y de reducción de empuje. Este estimador eólico 20 tiene una primera entrada 26 basada en la medición del ángulo de inclinación medio entre palas. Además, el estimador eólico 20 recibe la entrada 30 de una referencia de par de generador. Además, el estimador eólico 20 recibe la entrada 34 de la velocidad angular de generador medida. El estimador eólico 20 genera una salida 40 enviada al estimador de turbulencia 22 y directamente al limitador de empuje de condición adaptativa 2. El estimador de turbulencia 22 recibe una entrada 36 basada en la aceleración de adelante hacia atrás de góndola.

30 Como puede verse a partir de la figura 3, existe una pluralidad de entradas de señal que se usan como entradas para el estimador eólico 20 y para el estimador de turbulencia 22 que se usan para el limitador de empuje de condición adaptativa, limitador de empuje de condición adaptativa que tiene una salida 27, que es la señal que controla la posición de inclinación real.

35 La figura 4 muestra una divulgación más detallada del limitador de empuje de condición adaptativa 2. El limitador de empuje de condición adaptativa 2 comprende al menos una función de avance de alimentación de limitador de empuje de condición adaptativa 42, un conmutador de seguridad suave 48, una función de procesamiento posterior 60 y un control PI 64. El limitador de empuje de condición adaptativa recibe una entrada 40 generada por el estimador eólico 20 lo que puede verse en la figura 3. Además, la función de avance de alimentación de limitador de empuje de condición adaptativa 42 recibe otra entrada 34 que representa la velocidad angular de generador medida. Además, el conmutador de modo seguro 48 puede tener una primera entrada 50, entrada que puede controlar la función de limitación de empuje. De esta manera es posible activar o desactivar el sistema de limitación de empuje desde un control externo. Además, el conmutador de modo seguro recibe una entrada 52 de un limitador de empuje de condición adaptativa escalado de turbulencia dado por un detector de turbulencia. El conmutador de modo seguro 48 tiene una salida 54 que al principio se transmite a la función de avance de alimentación de limitador de empuje de condición adaptativa 42, y además a la función de resta 56. En este caso, una señal 59 representa la fuerza de empuje estimada restada de la señal 54 que proviene del conmutador de modo seguro 48. De este modo, se genera una nueva señal 58 que se transmite a un módulo de procesamiento posterior 60. Este módulo genera una señal 62. Esta señal se envía a un control PI 64. Este control PI recibe además una entrada 46 que se genera por un módulo de avance de alimentación de limitador de empuje de condición adaptativa 42. Además, una señal 26 representa la medición del ángulo de inclinación medio entre palas enviado también al control PI. El control PI tiene una salida 68 que se envía a un sumador 70 donde la señal 46 generada por el módulo de avance de alimentación de limitador de empuje de condición adaptativa 42 se suma a la señal 46 que genera la señal de salida para controlar la posición de inclinación 72.

55 La figura 5 muestra una turbina eólica 4, que comprende una torre 6, una góndola 8, y un rotor con palas 12. Además, se indica un sistema de control de potencia e inclinación 14.

Mediante la presente invención es posible reducir el empuje máximo, tanto en la torre 6 como en el sistema de rotación 12. La ventaja de la presente invención es que puede realizarse esta reducción del empuje.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de control (2) de limitación de empuje de las turbinas eólicas (4), turbina eólica que comprende al menos una torre (6), torre (6) que sostiene al menos una góndola (8), góndola (8) que comprende un árbol rotatorio (10), árbol (10) que se hace rotar mediante una o más palas (12), palas (12) que están configuradas para regularse en inclinación por un sistema de control de inclinación (14), estando el sistema de control de limitación de empuje (2) caracterizado por que realiza el control del ángulo de inclinación (16), sistema de control de limitación de empuje (2) que realiza la regulación del ángulo de inclinación (16) basándose en al menos una primera entrada (18) de un estimador eólico (20) y una segunda entrada (21) de un estimador de turbulencia (22), recibiendo el estimador eólico (20) una tercera entrada (24) de la medición del ángulo de inclinación medio entre palas (26), estimador eólico (20) que recibe una cuarta entrada (28) de una referencia de par de generador (30) establecida por un controlador de par (32), estimador eólico (20) que recibe una quinta entrada (34) de una velocidad angular de generador medida (36), entradas primera (18) y segunda (21) que se combinan para formar una salida (54), salida (54) que se transmite a una función de resta (56) donde una señal (59) que representa la fuerza de empuje estimada se resta de la señal (54), función de resta que genera una señal (58), señal (58) que se envía a través de una función de procesamiento posterior (60) para generar una señal (62) para realizar la limitación de empuje de la turbina eólica.
2. Sistema de control (2) de limitación de empuje de turbinas eólicas (4) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que se obtiene una sexta entrada al estimador eólico (20) de la aceleración de inercia de rotor.
3. Sistema de control (2) de limitación de empuje de turbinas eólicas (4) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el estimador de turbulencia (22) recibe una séptima entrada (36) de la aceleración de góndola medida de adelante hacia atrás (38).
4. Sistema de control (2) de limitación de empuje de turbinas eólicas (4) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1-3, caracterizado por que el estimador eólico genera una primera señal interna (40) basándose en la velocidad eólica promedio de rotor estimada, primera señal interna (40) que se transmite tanto al estimador de turbulencia (22) como al sistema de limitador de empuje de condición adaptativa (2).
5. Sistema de control (2) de limitación de empuje de turbinas eólicas (4) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1-4, estando el sistema de limitación de empuje caracterizado por que comprende al menos las siguientes actividades operativas, tal como una función de avance de alimentación de limitador de empuje de condición adaptativa (42), función de avance de alimentación de limitador de empuje de condición adaptativa (42) que recibe la entrada de la primera señal interna (40) basándose en la velocidad eólica promedio de rotor estimada y la entrada de la velocidad angular de generador medida (34), función de avance de alimentación (42) que tiene una salida (46).
6. Sistema de control (2) de limitación de empuje de turbinas eólicas (4) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1-5, estando el sistema de control caracterizado por que el sistema de control comprende además una función de conmutación de modo seguro (48), función de conmutación de modo seguro que recibe la entrada (50) que controla el límite de empuje, función de conmutación de modo seguro (48) que recibe además la entrada (52) de un limitador de empuje escalado de turbulencia dado por un detector de turbulencia, función de conmutación de modo seguro (48) que basándose en las entradas genera una salida (54), salida (54) que se transmite a la función de avance de alimentación de limitador de empuje de condición adaptativa (42).
7. Sistema de control (2) de limitación de empuje de turbinas eólicas (4) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1-3, caracterizado por que la señal (62) se transmite a una función de control PI (64), función de control PI (64) que recibe además la entrada de la salida (46) de la función de avance de alimentación (42), función de control PI (64) que recibe además la entrada (26) de la medición del ángulo de inclinación medio entre palas (26), función de control PI (64) que genera una salida (68), salida a la que se suma la señal (46) para formar una señal que representa el ángulo de inclinación mínimo (72).
8. Método adaptado de limitación de empuje de turbinas eólicas (4) como se desvela en las reivindicaciones 1-7, caracterizado al menos por las siguientes etapas de operación:
- a. recibir una primera entrada (18) de un estimador eólico
 - b. dejar que el estimador eólico (20) reciba una tercera entrada (24) de la medición del ángulo de inclinación medio entre palas (26),
 - c. dejar que el estimador eólico (20) reciba una cuarta entrada (28) de una referencia de par de generador (30) establecida por un controlador de par (32),
 - d. dejar que el estimador eólico (20) reciba una quinta entrada (34) de una velocidad angular de generador medida (36),
 - e. recibir una segunda entrada (21) de un estimador de turbulencia (22),
 - f. combinar las señales de entrada primera y segunda para formar una salida (54)
 - g. realizar la resta de una señal (59) que representa el empuje estimado de la señal de salida (54),
 - h. generar una señal (58), señal (58) que se envía a través de una función de procesamiento posterior (60) para generar una señal (62) para realizar la limitación de empuje de la turbina eólica.

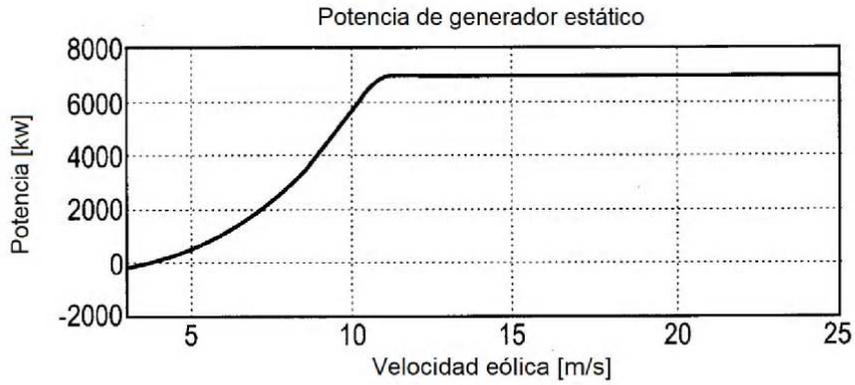


Fig. 1

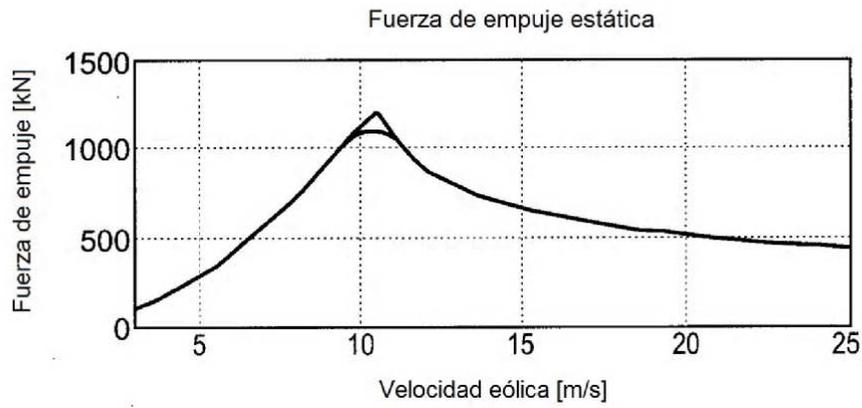


Fig. 2

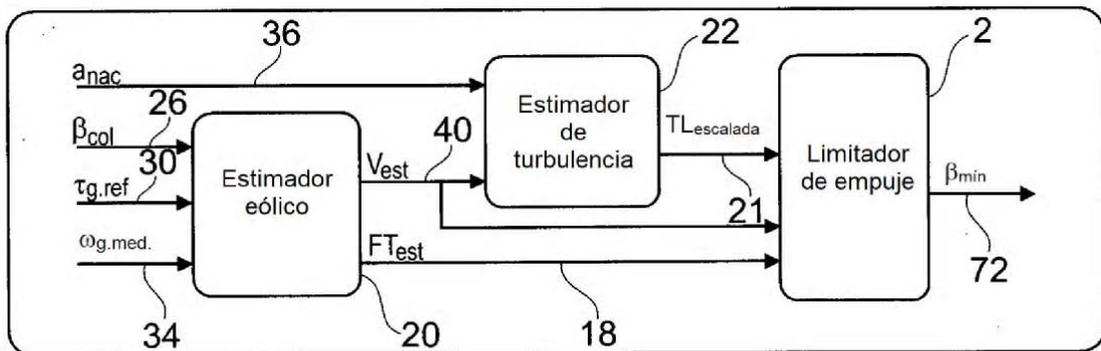


Fig. 3

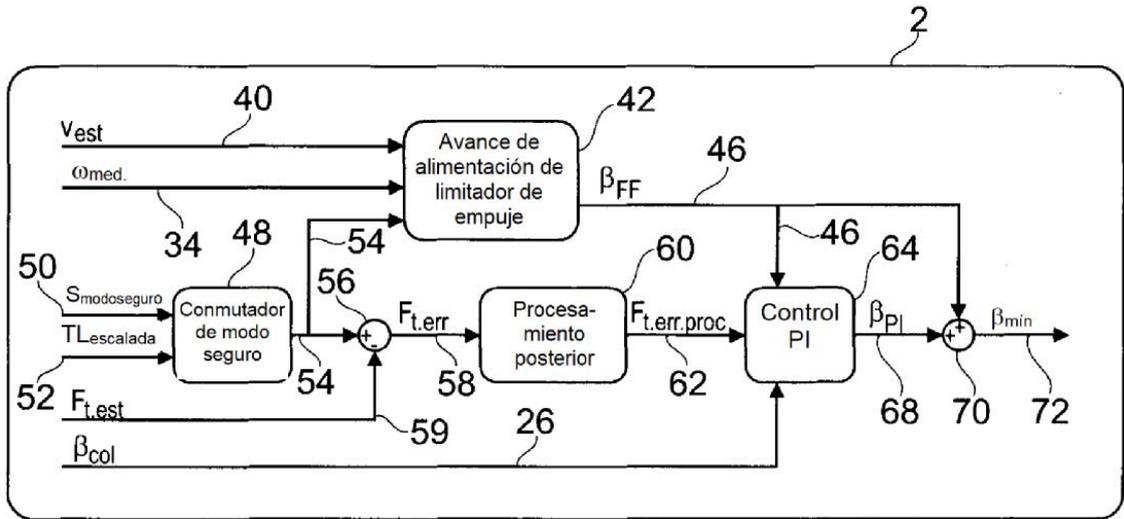


Fig. 4

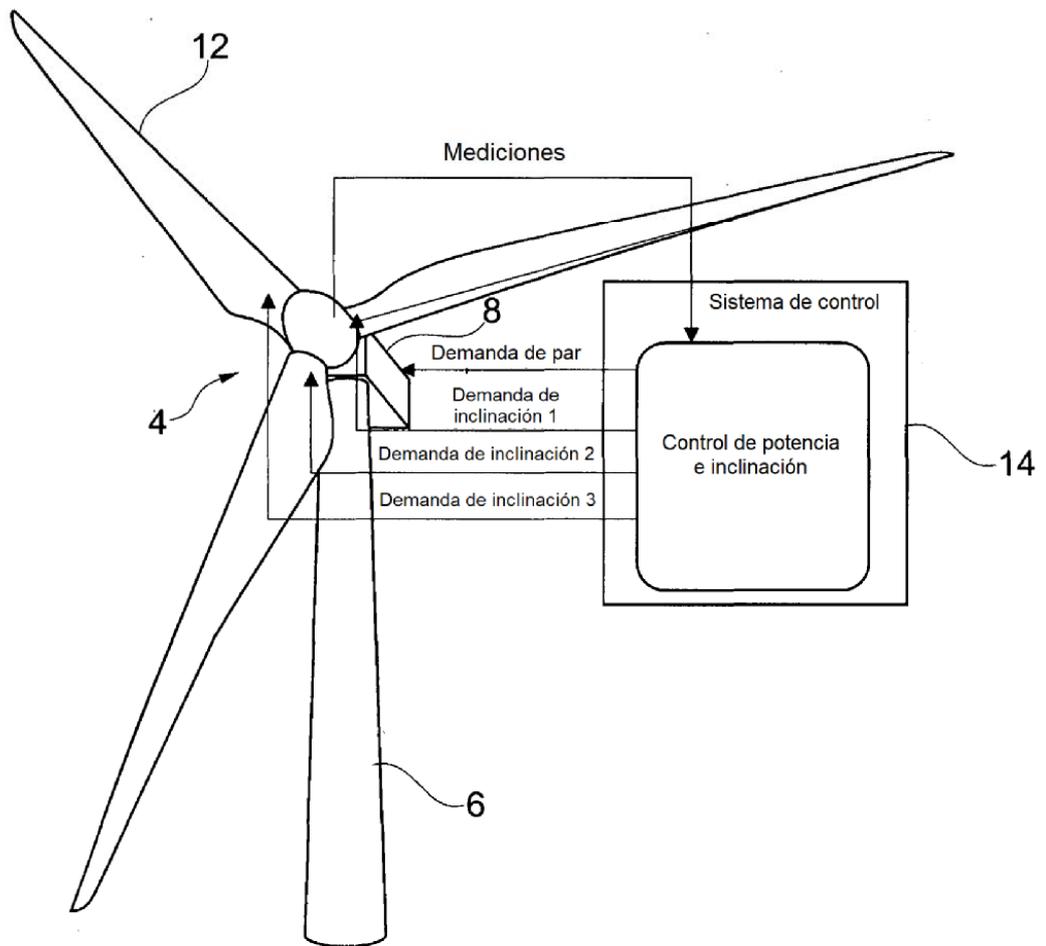


Fig. 5