

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 906 371**

51 Int. Cl.:

F03D 1/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.12.2018 PCT/DK2018/050375**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.06.2019 WO19120419**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2018 E 18830370 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.02.2022 EP 3728832**

54 Título: **Control de equilibrio de empuje de un aerogenerador multirrotor basado en restricciones**

30 Prioridad:

20.12.2017 DK PA201770964

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

18.04.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DALSGAARD, SØREN;
NEUBAUER, JESPER LYKKEGAARD;
SØRENSEN, KIM HYLLING;
BRØCHNER, JACOB;
MIRANDA, ERIK CARL LEHNSKOV;
BØTTCHER, PETER;
NETO, JULIO XAVIER VIANNA y
PETERSEN, TORBEN**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 906 371 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

Control de equilibrio de empuje de un aerogenerador multirrotor basado en restricciones

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un método para controlar un aerogenerador multirrotor, es decir, un aerogenerador que comprende dos o más unidades de generación de energía, en el caso de que exista una diferencia en el empuje que actúa sobre al menos dos de las unidades de generación de energía.

Antecedentes de la invención

10 Cuando el viento actúa sobre las palas de un aerogenerador de una unidad de generación de energía de un aerogenerador, haciendo por ello que gire un rotor de la unidad de generación de energía, esto da como resultado un empuje que actúa sobre la unidad de generación de energía.

15 En el caso de que el aerogenerador sea un aerogenerador multirrotor, es decir, en el caso de que el aerogenerador comprenda dos o más unidades de generación de energía, el empuje que actúa sobre las unidades de generación de energía puede no ser el mismo. Esto se podría deber, por ejemplo, a la cizalladura del viento, notablemente la cizalladura del viento horizontal, es decir, variaciones en la velocidad del viento desde la posición de una unidad de generación de energía a otra unidad de generación de energía, diferencias en la operación de las unidades de generación de energía, producción de energía nula o baja de una de las unidades de generación de energía, por ejemplo, debido a averías o cambio de modo de operación de un generador, etc. En cualquier caso, las diferencias de empuje que actúan sobre las unidades de generación de energía pueden introducir cargas en el aerogenerador, notablemente en una estructura de soporte que soporta las unidades de generación de energía.

20 Los documentos WO 2016/128004 A1 y WO 2016/128002 A1 describen un sistema de control para amortiguar las vibraciones estructurales de un sistema de aerogenerador que tiene múltiples rotores. Los medios de control reciben datos de vibración asociados con una estructura de soporte del sistema de aerogenerador y determinan un comando de control de amortiguación para uno respectivo de los rotores. Los rotores contrarrestan la vibración medida ajustando un paso de pala y/o controlando la potencia del generador. Se puede implementar un modelo de correlaciones estructurales en los medios de control para tener en cuenta que un accionamiento en un módulo de aerogenerador puede tener un efecto en otros módulos de aerogenerador.

30 El documento WO 2016/150447 A1 describe el control de un sistema de aerogenerador que comprende una pluralidad de módulos de aerogenerador montados en una estructura de soporte común. Un sistema de control comprende controladores locales operables para controlar los módulos de aerogenerador de acuerdo con los objetivos de control local y un controlador central configurado para monitorizar la operación del sistema de aerogenerador y en base al mismo calcular los objetivos de control local.

Descripción de la invención

35 Es un objeto de las realizaciones de la invención proporcionar un método para controlar un aerogenerador que comprende dos o más unidades de generación de energía, en el que se contrarresta el desequilibrio de empuje entre las unidades de generación de energía.

Un objeto adicional de las realizaciones de la invención es proporcionar un método para controlar un aerogenerador que comprende dos o más unidades de generación de energía, en el que las cargas sobre el aerogenerador se reducen en comparación con los métodos de la técnica anterior.

40 La invención proporciona un método para controlar un aerogenerador, el aerogenerador que comprende una estructura de soporte y al menos dos unidades de generación de energía montadas en la estructura de soporte, cada unidad de generación de energía que comprende un rotor que comprende un conjunto de palas de aerogenerador, las unidades de generación de energía que son operables dentro de un conjunto de restricciones operativas, el método que comprende los pasos de:

- obtener un primer estado operativo de cada una de las unidades de generación de energía,
- 45 - detectar que está presente una diferencia en el empuje que actúa sobre al menos dos de las unidades de generación de energía,
- ajustar al menos un parámetro de restricción del conjunto de restricciones operativas de acuerdo con las condiciones operativas predominantes y de acuerdo con la diferencia en el empuje detectada,
- 50 - derivar un nuevo estado operativo para al menos una de las unidades de generación de energía, en base al por lo menos un parámetro de restricción ajustado, el nuevo estado o estados operativos que contrarresta la diferencia en el empuje detectada, y

- controlar el aerogenerador de acuerdo con los nuevos estados operativos de las unidades de generación de energía.

De este modo, la invención se refiere a un método para controlar un aerogenerador. El aerogenerador comprende una estructura de soporte que tiene al menos dos unidades de generación de energía montadas en la misma. En el presente contexto, el término 'estructura de soporte' se debería interpretar que significa una estructura que es capaz de transportar las unidades de generación de energía y manejar las cargas implicadas en las mismas. La estructura de soporte puede ser, por ejemplo, o comprender una torre o poste de aerogenerador convencional. En este caso, las unidades de generación de energía se pueden montar directamente en la torre y/o las unidades de generación de energía se pueden montar en una o más estructuras transversales, por ejemplo, en forma de brazos, conectados a la torre. Alternativamente, la estructura de soporte puede comprender dos o más estructuras separadas, cada una que está montada sobre unos cimientos y cada una que está dispuesta para tener una o más unidades de generación de energía montadas en la misma.

Cada una de las unidades de generación de energía comprende un rotor que comprende un conjunto de palas de aerogenerador. El viento que actúa sobre las palas del aerogenerador hace por ello que el rotor gire. Estos movimientos giratorios se suministran a una parte giratoria de un generador, o bien directamente o bien a través de una disposición de engranajes, y el generador produce energía eléctrica, que se suministra a una red eléctrica. Por consiguiente, las unidades de generación de energía forman las partes del aerogenerador que realmente están produciendo energía eléctrica.

Las unidades de generación de energía se pueden operar dentro de un conjunto de restricciones operativas. El conjunto de restricciones operativas para una unidad de generación de energía dada define límites dentro de los cuales se debe operar la unidad de generación de energía. Las restricciones operativas pueden, por ejemplo, relacionarse con diversos tipos de cargas que actúan sobre diversas partes del aerogenerador, la producción de energía de la unidad de generación de energía, etc. El conjunto de restricciones operativas para una unidad de generación de energía dada pueden ser parámetros de diseño en el sentido de que definen, por ejemplo, límites de carga dentro de los cuales el aerogenerador está diseñado para operar, con la debida consideración a la vida útil esperada del aerogenerador.

Dado que el aerogenerador que se controla mediante el método según la invención comprende al menos dos unidades de generación de energía, se puede hacer referencia al aerogenerador como aerogenerador multirrotor.

Según el método de la invención, inicialmente se obtiene un primer estado operativo para cada una de las unidades de generación de energía. El primer estado operativo para una unidad de generación de energía dada es el estado en el que la unidad de generación de energía está operando actualmente. El primer estado operativo obtenido puede incluir información con respecto a diversos ajustes de la unidad de generación de energía, tales como el ángulo de paso de las palas del aerogenerador, la producción de energía, el ángulo de guiñada, la velocidad de rotación del rotor, la velocidad de rotación del generador, etc. Además, el primer estado operativo puede incluir información con respecto a los parámetros ambientales, tales como la velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, humedad, etc., con relación a la unidad de generación de energía.

A continuación, se detecta que está presente una diferencia en el empuje que actúa sobre al menos dos de las unidades de generación de energía. Las unidades de generación de energía están montadas en diversas posiciones de la estructura de soporte. Con el fin de manejar las cargas introducidas en el aerogenerador, notablemente en la estructura de soporte, debido al empuje que actúa sobre las unidades de generación de energía, las unidades de generación de energía se montan normalmente en la estructura de soporte de tal manera que cuando un empuje sustancialmente igual actúa sobre las unidades de generación de energía, las fuerzas aplicadas por las unidades de generación de energía individuales se contrarrestan entre sí, minimizando por ello las cargas totales sobre la estructura de soporte. Por consiguiente, cuando está presente una diferencia en el empuje que actúa sobre al menos dos de las unidades de generación de energía, se puede suponer que se introducen cargas adicionales en el aerogenerador, notablemente en la estructura de soporte. Esto no es deseable y, por lo tanto, es deseable eliminar o reducir la diferencia en el empuje detectada.

El paso de detectar que está presente una diferencia en el empuje que actúa sobre al menos dos de las unidades de generación de energía puede incluir detectar la diferencia real de empuje, o incluso detectar el empuje que actúa sobre cada una de las unidades de generación de energía. Como alternativa, el paso puede incluir simplemente establecer que está presente una diferencia en el empuje sin detectar lo grande que es esta diferencia.

La diferencia detectada en el empuje se puede deber a una serie de causas raíz diferentes. Por ejemplo, la diferencia en el empuje se puede causar por una diferencia en las condiciones ambientales, tales como la velocidad del viento y/o la dirección del viento en las posiciones de las unidades de generación de energía. Alternativamente o además, la diferencia en el empuje se puede causar por diferencias en la operación de las unidades de generación de energía, tal como una de las unidades de generación de energía que opera con producción de energía reducida o nula, una de las unidades de generación de energía que está en proceso de modo de operación de conmutación para el generador, etc. Esto se describirá con más detalle a continuación.

5 A continuación, se ajusta al menos un parámetro de restricción del conjunto de restricciones operativas. Esto se hace de acuerdo con las condiciones de operación predominantes y de acuerdo con la diferencia en el empuje detectada. Por ejemplo, durante la guiñada puede ser adecuado ajustar una restricción de carga de guiñada, permitiendo que la restricción de carga de guiñada sea mayor. Alternativamente o además, durante el tiempo de inactividad de una de las unidades de generación de energía puede ser adecuado ampliar un intervalo de restricción de carga de guiñada.

10 El ajuste de un parámetro de restricción podría, por ejemplo, incluir permitir que al menos una de las unidades de generación de energía opere temporalmente fuera de los límites de restricción normales, por ejemplo, de una manera que introduzca cargas más altas en el aerogenerador, o que de como resultado una producción de energía total más baja o más alta del aerogenerador. Esto puede, por ejemplo, ser aceptable si da como resultado una reducción en la diferencia en el empuje que actúa sobre las al menos dos unidades de generación de energía, lo que es probable que reduzca las cargas en el aerogenerador más que las cargas adicionales esperadas causadas por el parámetro o parámetros de restricción ajustada. O puede ser aceptable si el aerogenerador ha sido operado previamente con cargas menores que las cargas de diseño, en cuyo caso la fatiga acumulada en el aerogenerador puede ser menor de lo esperado. Esto permitirá que el aerogenerador se opere temporalmente con cargas más altas sin afectar la vida útil esperada del aerogenerador. También puede ser aceptable si las cargas más altas están limitadas a un intervalo de tiempo específico y/o número de ocurrencias a lo largo de la vida útil del aerogenerador. En este caso, la fatiga acumulada en el aerogenerador también se limitará a un nivel que no afecte la vida útil esperada del aerogenerador.

20 En cualquier caso, el ajuste del parámetro o parámetros de restricción se realiza con consideración de las condiciones de operación predominantes, por ejemplo, incluyendo las condiciones del viento predominantes, la producción de energía actual, los ajustes actuales de las unidades de generación de energía, por ejemplo, ángulos de paso, ángulos de guiñada, etc.

25 A continuación, se deriva un nuevo estado operativo para al menos una de las unidades de generación de energía, en base al por lo menos un parámetro de restricción ajustado. El nuevo estado o estados operativos se seleccionan de tal manera que la diferencia en el empuje detectada se contrarreste total o parcialmente. Dado que el nuevo estado o estados operativos se derivan sobre la base de al menos un parámetro de restricción ajustado, es posible seleccionar estados operativos que sean capaces de contrarrestar la diferencia en el empuje, incluso si la consecuencia es que el aerogenerador se opera temporalmente fuera de las restricciones operativas normales.

30 Finalmente, el aerogenerador se opera de acuerdo con los nuevos estados operativos para las unidades de generación de energía. Por consiguiente, el aerogenerador se opera de tal manera que se contrarreste la diferencia en el empuje que actúa sobre las al menos dos unidades de generación de energía.

35 En una realización, los nuevos estados operativos pueden ser una parada de cada una de las unidades de generación de energía. Tal parada puede ser necesaria si la diferencia en el empuje determinada está por encima de un umbral dado. También se puede efectuar una parada estableciendo una restricción en la velocidad del rotor, de manera que la velocidad del rotor debería estar en el nivel de ralentí o en cero.

40 El paso de ajuste de al menos un parámetro de restricción puede comprender ajustar una restricción de carga con relación a al menos una de las unidades de generación de energía. Según esta realización, se puede permitir que al menos una de las unidades de generación de energía opere temporalmente de una manera que introduzca cargas en una o más partes de la unidad de generación de energía, que exceden las restricciones de carga normales para esta unidad de generación de energía. Esto podría incluir, por ejemplo, ajustar las restricciones de carga con relación a las palas del aerogenerador, el rotor, el tren de transmisión, el generador, etc. Por consiguiente, el paso de ajuste de al menos un parámetro de restricción puede comprender ajustar un parámetro de carga de una o más partes de al menos una de las unidades de generación de energía.

45 Alternativamente o además, el paso de ajuste de al menos un parámetro de restricción puede comprender ajustar una restricción de carga con relación a la estructura de soporte. Según esta realización, se puede permitir que al menos una de las unidades de generación de energía opere temporalmente de una manera que introduzca cargas en la estructura de soporte, que excedan las restricciones de carga normales con relación a la estructura de soporte. Esto podría incluir, por ejemplo, ajustar las restricciones de carga con relación a los momentos flectores, el par de guiñada, el par base, etc.

55 El paso de ajuste de al menos un parámetro de restricción puede comprender ajustar una restricción de producción de energía con relación a al menos una de las unidades de generación de energía. Esto podría incluir aumentar o disminuir la producción de energía máxima permitida de la unidad de generación de energía. En el caso de que se aumente la producción de energía máxima permitida de la unidad de generación de energía, se permite que la unidad de generación de energía opere temporalmente en un estado por encima del nominal. Esto se podría, por ejemplo, usar para compensar la producción de energía reducida o faltante de una o más de las otras unidades de generación de energía. Tal producción de energía reducida o faltante puede ser la causa de la diferencia detectada en el empuje que actúa sobre las al menos dos unidades de generación de energía.

De manera similar, en el caso de que se disminuya la producción de energía máxima permitida de la unidad de generación de energía, la unidad de generación de energía se opera temporalmente en un estado por debajo del nominal.

5 El paso de ajuste de al menos un parámetro de restricción puede comprender ajustar un intervalo y/o un punto de referencia para al menos una restricción. Las restricciones operativas normales se pueden definir en forma de intervalos, dentro de los cuales se permite que esté un parámetro de restricción dado y/o en forma de valores de punto de referencia que se usan durante el control del aerogenerador.

10 En el caso de que el paso de ajuste de al menos un parámetro de restricción comprenda ajustar un intervalo para al menos una restricción, se puede ajustar el límite superior y/o inferior del intervalo. Por ejemplo, el límite inferior se puede reducir mientras que el límite superior se aumenta, permitiendo por ello mayores fluctuaciones de la restricción. Alternativamente, el límite inferior así como el límite superior del intervalo se pueden aumentar, permitiendo por ello que la restricción sea generalmente más alta, pero sin permitir fluctuaciones mayores de la restricción. De manera similar, el límite inferior así como el límite superior se pueden disminuir, permitiendo por ello que la restricción sea generalmente menor, pero sin permitir fluctuaciones mayores de la restricción.

15 Alternativamente, el límite inferior se puede aumentar mientras que el límite superior se disminuye, permitiendo por ello fluctuaciones más menores de la restricción. Finalmente, solamente se puede ajustar uno de los límites, por ejemplo, permitiendo que la restricción aumente por encima del límite superior original, mientras que se evita que la restricción disminuya por debajo del límite inferior original, etc.

20 En el caso de que el paso de ajuste de al menos un parámetro de restricción comprenda ajustar un punto de referencia para al menos una restricción, esto podría incluir, por ejemplo, ajustar un umbral de activación y/o un punto de referencia de control para un controlador del aerogenerador. Por ejemplo, el controlador puede aplicar temporalmente un punto de referencia más alto o más bajo para una restricción dada.

25 El paso de detección de que está presente una diferencia en el empuje puede comprender detectar que la operación de al menos una de las unidades de generación de energía se ha detenido. Esto se debería interpretar como que incluye cualquier tipo de parada de producción de energía, tal como que el rotor de la unidad de generación de energía se haya frenado, por ejemplo, debido a una parada de emergencia de una parada controlada, que la unidad de generación de energía está inactiva y, por ello, no está produciendo energía, etc. De este modo, en este caso, la diferencia en el empuje está causada por diferentes estados operativos de las unidades de generación de energía.

30 Cuando una de las unidades de generación de energía se detiene, el empuje que actúa sobre la unidad de generación de energía parada será significativamente menor que el empuje que actúa sobre cualquiera de las unidades de generación de energía que están operando normalmente. Por consiguiente, una unidad de generación de energía parada indica que está presente una diferencia en el empuje que actúa sobre esta unidad de generación de energía y el empuje que actúa sobre al menos una de las otras unidades de generación de energía.

35 De manera similar, el paso de detección de que está presente una diferencia en el empuje puede comprender detectar que al menos una de las unidades de generación de energía está en un estado operativo que no se puede cambiar. Tal estado operativo podría ser, por ejemplo, un estado de frenado o un estado de ralentí, como se ha descrito anteriormente, pero también podría ser un estado en el que el generador está en el proceso de cambio del estado operativo, un estado de arranque, etc.

40 De manera similar, el paso de detección de que está presente una diferencia en el empuje puede comprender detectar una producción de energía reducida de al menos una de las unidades de generación de energía. Esto también dará como resultado una disminución en el empuje que actúa sobre la unidad o unidades de generación de energía con una producción de energía reducida.

45 Cuando la diferencia en el empuje es causada por diferentes estados operativos de las unidades de generación de energía, como se ha descrito anteriormente, la presencia de la diferencia en el empuje se puede detectar, por ejemplo, por medio de una señal generada por un controlador del aerogenerador.

50 Alternativamente, el paso de detección de que está presente una diferencia en el empuje puede comprender detectar una diferencia en las condiciones del viento en las al menos dos unidades de generación de energía. Según esta realización, la diferencia en el empuje está causada por una diferencia en las condiciones ambientales, en este caso una diferencia en las condiciones del viento, tales como la velocidad del viento y/o la dirección del viento en las posiciones de al menos dos de las unidades de generación de energía.

55 La velocidad del viento así como la dirección del viento en la posición del rotor de una unidad de generación de energía dada tiene un impacto en el empuje que actúa sobre la unidad de generación de energía. Por ello, una diferencia en la velocidad y/o dirección del viento desde la posición de una unidad de generación de energía a la posición de otra unidad de generación de energía indica que está presente una diferencia en el empuje que actúa sobre las dos unidades de generación de energía. Una diferencia en la velocidad del viento se podría deber, por ejemplo, al cizallamiento del viento o diferentes efectos de estela en las posiciones de las unidades de generación de energía.

Una diferencia en las condiciones del viento se puede detectar, por ejemplo, por medio de un sensor de velocidad del viento, tal como un anemómetro, un Lidar o cualquier otro tipo adecuado de sensor de velocidad del viento, y/o por medio de un sensor de dirección del viento, tal como una veleta o similar. Alternativamente o además, una diferencia en las condiciones del viento se puede detectar por medio de un estimador de viento. Tal estimador de viento puede, por ejemplo, usar ajustes del ángulo de paso, nivel de potencia, par de accionamiento, velocidad de rotación del rotor y/o la derivada del tiempo de la velocidad de rotación del rotor como entrada. Alternativamente o además, se pueden usar bases de datos tales como tablas C_p o tablas de eficiencia del tren motriz.

Alternativamente o además, el paso de detección de que está presente una diferencia en el empuje puede comprender detectar una diferencia en el estado operativo de cada una de las unidades de generación de energía. De este modo, comparando las diferencias en los estados operativos, o los parámetros que definen los estados operativos de las unidades de generación de energía, se puede determinar una diferencia en el empuje. En una realización, la diferencia en el estado operativo incluye detectar una diferencia en al menos el ángulo de paso y la velocidad del rotor. A partir del ajuste del ángulo de paso, en particular el ajuste del ángulo de paso colectivo, y la velocidad del rotor, se puede estimar el empuje aerodinámico en cada rotor y, a partir de esta estimación, se puede determinar una diferencia en el empuje. La estimación también puede incluir la energía producida por cada unidad de generación de energía. La diferencia en el empuje determinada de esta manera, se puede determinar para dos o más unidades de generación de energía colocadas en el mismo plano horizontal.

Como otra alternativa, el paso de detección de que está presente una diferencia en el empuje puede comprender medir cualquier efecto de la diferencia en el empuje en el aerogenerador. Por ejemplo, se puede medir un momento de guiñada en la estructura de soporte o en los cimientos. En el caso de que el sistema de guiñada sea un sistema de guiñada hidráulico, se puede medir la presión hidráulica en el sistema de guiñada.

Además, en el caso de que el sistema de guiñada esté dotado con una característica de deslizamiento, se puede medir la velocidad de guiñada.

Como otra alternativa, la estructura de soporte puede comprender una parte de torre principal que se extiende a lo largo de una dirección sustancialmente vertical y al menos dos brazos, cada brazo que se extiende lejos de la parte de torre principal a lo largo de una dirección que tiene un componente horizontal, cada brazo que está conectado a la parte de torre principal a través de un mecanismo de guiñada, y el paso de detección de que está presente una diferencia en el empuje puede comprender detectar un par en el mecanismo de guiñada.

Según esta realización, la presencia de una diferencia en el empuje se detecta monitorizando el impacto de la diferencia en el empuje en la estructura de soporte, en este caso el par en el mecanismo de guiñada causado por la diferencia en el empuje. Esto podría incluir, por ejemplo, detectar que el par en el mecanismo de guiñada excede un valor umbral predefinido, o detectar que el par en el mecanismo de guiñada está cambiando, por ejemplo, aumentando. Como alternativa, se pueden detectar otros tipos de cargas adecuadas sobre la estructura de soporte, tales como momentos flectores y/o cargas de torsión.

Según esta realización, la estructura de soporte comprende una parte de torre principal y al menos dos brazos que están conectados a la parte de torre principal a través de un mecanismo de guiñada. La parte de torre principal se extiende a lo largo de una dirección sustancialmente vertical y puede ser similar a una torre o poste de aerogenerador convencional. Cada uno de los brazos se extiende lejos de la parte de torre principal a lo largo de una dirección que tiene un componente horizontal. De este modo, cada brazo se extiende a lo largo de una dirección que no es vertical, es decir, que no es paralela a la dirección de la parte de torre principal. Por ello, un extremo libre de cada brazo se dispone a una distancia de la parte de torre principal dispuesta verticalmente.

Preferiblemente, cada brazo se dispone para transportar al menos una de las unidades de generación de energía. Por ello, las unidades de generación de energía se pueden disponer a una distancia de la parte de torre principal. En este caso, los brazos y las unidades de generación de energía se pueden disponer ventajosamente de una manera sustancialmente simétrica con respecto a la parte de torre principal, con el fin de equilibrar las cargas sobre el aerogenerador. Cuando está presente una diferencia en el empuje que actúa sobre al menos dos de las unidades de generación de energía, se introduce un desequilibrio en las cargas, que puede dar como resultado un par en el mecanismo de guiñada. De este modo, cuando se detecta un par en el mecanismo de guiñada, esto es una indicación de que está presente una diferencia en el empuje.

Al menos dos de los brazos pueden formar parte de una estructura transversal común, que se extiende lejos de la parte de torre principal en lados opuestos de la parte de torre principal. En este caso, estos dos brazos se conectan a la parte de torre principal a través de un mecanismo de guiñada común, y los dos brazos se hacen guiñar con relación a la parte de torre principal juntos y simultáneamente.

El paso de derivación de un nuevo estado operativo para cada una de las unidades de generación de energía puede comprender especificar que al menos una de las unidades de generación de energía operará en modo de motor.

En el presente contexto, el término 'modo de motor' se debería interpretar que significa un estado operativo en el que la unidad de generación de energía consume energía en lugar de producir energía. En este caso, la rotación del rotor se mantiene por medio de la energía eléctrica que se suministra al generador.

5 Cuando se hace girar el rotor de esta manera, un empuje actúa sobre la unidad de generación de energía que es mayor que si no se suministrase energía al generador. Esto puede ser útil en algunos casos con el fin de contrarrestar una diferencia en el empuje que actúa sobre al menos dos de las unidades de generación de energía. Además, permitir que una de las unidades de generación de energía opere en modo de motor puede crear una situación donde una o más de las otras unidades de generación de energía sean capaces de aumentar su producción de energía, lo que dará como resultado por ello un aumento de la producción de energía de todo el aerogenerador, aunque una de las unidades de generación de energía consuma energía.

10 El paso de derivación de un nuevo estado operativo para al menos una de las unidades de generación de energía puede comprender ajustar al menos un ajuste de guiñada del aerogenerador. Según esta realización, el ajuste de guiñada de al menos una de las unidades de generación de energía se cambia cuando se aplica el nuevo estado operativo.

15 Por ejemplo, en el caso de que dos de las unidades de generación de energía estén montadas en dos brazos que forman parte de una única estructura transversal, los rotores de las unidades de generación de energía a menudo se dispondrán en un ángulo unos con respecto a otros. Durante la operación normal, la estructura transversal se hará guiñar a una posición donde ninguno de los rotores esté directamente enfrentándose al viento entrante ni, por ello, ninguna de las unidades de generación de energía será capaz de extraer la máxima energía del viento entrante. En el caso de que una de las unidades de generación de energía experimente condiciones que causen una producción de energía baja, tal como la unidad de generación de energía que se para o está por debajo de la nominal, la estructura transversal se puede guiñar a una posición donde el rotor de la otra unidad de generación de energía se enfrenta directamente al viento entrante, aumentando por ello la producción de energía de esta unidad de generación de energía y compensando al menos parcialmente la pérdida de producción de energía de la unidad de generación de energía parada o por debajo de la nominal.

20 Como alternativa, al menos una configuración de guiñada se puede ajustar ajustando un umbral de deslizamiento de guiñada, por ejemplo, aumentando el umbral de deslizamiento de guiñada. Esto podría ser relevante en el caso de que el sistema de guiñada comprenda una característica de deslizamiento con el fin de aliviar las cargas de guiñada extremas. Esto se puede aplicar, por ejemplo, en el caso de que una unidad de generación de energía se detenga o esté por debajo de la nominal.

25 Alternativamente o además, el paso de derivación de un nuevo estado operativo puede comprender ajustar un ajuste de paso, un ajuste de velocidad de rotación y/o cualquier otro tipo adecuado de ajuste operativo para al menos una de las unidades de generación de energía.

30 El método puede comprender además el paso de realización de un cálculo de optimización, optimizando la producción total de energía del aerogenerador, teniendo en cuenta el al menos un parámetro de restricción ajustado y la diferencia detectada en el empuje, y el paso de derivación de un nuevo estado operativo para al menos una de las unidades de generación de energía se puede basar además en el cálculo de optimización.

35 Según esta realización, los nuevos estados operativos para las unidades de generación de energía se derivan además sobre la base de un cálculo de optimización, es decir, los nuevos estados operativos se seleccionan de tal manera que la producción total de energía del aerogenerador se optimice, dadas las restricciones operativas predominantes, cuando se aplican los nuevos estados operativos. Por ello, se asegura que se contrarresta la diferencia en el empuje detectada, mientras que se obtiene una producción de potencia óptima, en las circunstancias dadas.

40 El paso de realización de un cálculo de optimización se puede realizar usando un algoritmo de control predictivo de modelo (MPC). Alternativamente, se puede usar cualquier otro algoritmo adecuado de la teoría de control óptimo.

45 El paso de realización de un cálculo de optimización puede comprender consultar una base de datos. La base de datos podría, por ejemplo, estar en forma de una tabla de búsqueda. La base de datos puede comprender información con respecto a los estados operativos que proporcionan una producción de energía óptima en diversos escenarios operativos. De este modo, cuando está ocurriendo un escenario operativo dado, se consulta la base de datos y se seleccionan los estados operativos que proporcionan la producción de energía óptima para el aerogenerador en este escenario operativo. Esto proporciona un tiempo de respuesta rápido, dado que no necesita ser realizado en tiempo real un cálculo de optimización real. En su lugar, los cálculos de optimización se pueden realizar fuera de línea y proporcionar a la base de datos por adelantado. Además, la consulta de una base de datos se puede combinar con un cálculo en tiempo real de la optimización. Por ejemplo, se puede consultar una base de datos que comprende tablas C_t y/o C_p , y los valores recuperados de la base de datos se pueden usar durante el cálculo en tiempo real.

Breve descripción de los dibujos

55 La invención se describirá ahora con más detalle con referencia a los dibujos que se acompañan en los que

la Fig. 1 es una vista superior de un aerogenerador que se controla de acuerdo con un método según una realización de la invención,

la Fig. 2 es una vista esquemática de un aerogenerador que se controla de acuerdo con un método según una realización de la invención, y

las Figs. 3-5 ilustran el ajuste de diversos parámetros de restricción.

Descripción detallada de los dibujos

5 La Fig. 1 es una vista superior de un aerogenerador 1 que se controla de acuerdo con un método según una realización de la invención. El aerogenerador 1 comprende una estructura de soporte que comprende una parte de torre principal 2 y dos brazos 3 conectados a la parte de torre principal 2 a través de un mecanismo de guiñada 4. Los dos brazos 3 forman parte de una estructura transversal común y, por ello, ambos brazos 3 se mueven juntos con relación a la parte de torre principal 2, a través del mecanismo de guiñada 4.

10 Cada uno de los brazos 3 lleva una unidad de generación de energía 5 que comprende un rotor 6 con un conjunto de palas de aerogenerador 7. El empuje que actúa sobre una de las unidades de generación de energía 5a es significativamente mayor que el empuje que actúa sobre la otra unidad de generación de energía 5b. Por consiguiente, está presente una diferencia en el empuje que actúa sobre las dos unidades de generación de energía 5a, 5b. Esto da como resultado un par en el mecanismo de guiñada 4 como se ilustra por la flecha 8. Por ello, la presencia de la diferencia en el empuje se puede detectar detectando el par en el mecanismo de guiñada 4.

15 La diferencia en el empuje que actúa sobre las dos unidades de generación de energía 5a, 5b se puede causar, por ejemplo, por una diferencia en las condiciones ambientales, tales como las condiciones del viento. Esto podría incluir, por ejemplo, una diferencia en la velocidad del viento en las posiciones de las unidades de generación de energía 5a, 5b, por ejemplo, debido a una diferencia en los efectos de estela o cizalladura horizontal del viento, etc.
 20 Como alternativa, la diferencia en el empuje que actúa sobre las dos unidades de generación de energía 5a, 5b se puede causar por acciones de control internas, tales como una de las unidades de generación de energía 5b que se para, está al ralentí o que opera con producción de energía reducida.

25 En cualquier caso, cuando se detecta una diferencia en el empuje que actúa sobre las dos unidades de generación de energía 5a, 5b, se deriva un nuevo estado operativo para al menos una de las unidades de generación de energía 5a, 5b. Los nuevos estados operativos se seleccionan de tal manera que se contrarresta la diferencia en el empuje.

30 Además, los nuevos estados operativos se derivan con la debida consideración a un conjunto de restricciones operativas, donde se ha ajustado al menos un parámetro de restricción. Normalmente, el aerogenerador 1 se opera dentro de un conjunto de restricciones operativas que se pueden seleccionar de tal manera que el aerogenerador 1 se pueda operar sin causar daños al aerogenerador 1 y de una manera que limite la fatiga en el aerogenerador 1 hasta un nivel que permite que se obtenga una vida útil de diseño del aerogenerador 1. Las restricciones operativas pueden, por ejemplo, relacionarse con cargas en diversas partes del aerogenerador 1, producción de energía, etc. Las restricciones operativas se pueden definir durante el diseño del aerogenerador 1. Cuando se ajusta al menos un parámetro de restricción del conjunto de restricciones operativas, se permite que el aerogenerador 1 opere temporalmente fuera de las restricciones normales, por ejemplo, con cargas más altas en algunas partes del aerogenerador 1. El parámetro de restricción ajustado podría, por ejemplo, incluir un intervalo ajustado o un valor de punto de referencia ajustado para una restricción. Esto se describirá con más detalle a continuación con referencia a las Figs. 3-5.

40 El aerogenerador 1 se controla entonces de acuerdo con los nuevos estados operativos y, por ello, se contrarresta la diferencia en el empuje que actúa sobre las unidades de generación de energía 5a, 5b. Además, dado que los nuevos estados operativos también se derivan sobre la base de los parámetros de restricción ajustados, los nuevos ajustes operativos pueden requerir que el aerogenerador 1 se opere temporalmente fuera de las restricciones operativas normales. No obstante, esto se considera aceptable siempre que los nuevos ajustes operativos hagan que se contrarreste la diferencia en el empuje, y siempre que no se excedan las cargas de diseño del aerogenerador en última instancia.

45 La Fig. 2 es una vista esquemática de un aerogenerador 1 que se controla de acuerdo con un método según una realización de la invención. El aerogenerador 1 podría ser, por ejemplo, el aerogenerador 1 de la Fig. 1. De este modo, similar al aerogenerador 1 de la Fig. 1, el aerogenerador 1 de la Fig. 2 comprende una estructura de soporte que comprende una parte de torre principal 2 y dos brazos 3 que están conectados a la parte de torre principal 2 a través de un mecanismo de guiñada 4. Cada brazo 3 lleva una unidad de generación de energía 5 que comprende un rotor 6 con un juego de palas de aerogenerador 7.

50 Cada una de las unidades de generación de energía 5 comprende un controlador de producción 9 dispuesto para controlar la operación de la unidad de generación de energía 5 correspondiente. Se debería observar que los controladores de producción 9 no necesitan estar dispuestos físicamente en las unidades de generación de energía 5, sino cada uno de los controladores de producción 9 está dedicado a controlar una unidad de generación de energía 5 dada. Además, el aerogenerador 1 comprende un controlador de aerogenerador multirrotor 10 dispuesto para controlar la operación de todo el aerogenerador 1, incluyendo la coordinación de la operación de las unidades de generación de energía 5 individuales.

El aerogenerador 1 de la Fig. 2 se puede operar de la siguiente manera. Durante la operación normal, los controladores de producción 9 de cada una de las unidades de generación de energía 5 reenvían sus estados operativos al controlador de aerogenerador multirrotor 10. Los estados operativos incluyen el ángulo de paso, θ , la velocidad de rotación del rotor, ω , la producción de energía, P , y la velocidad del viento, v .

- 5 En un cierto momento, se detecta un par, $M_{\text{guiñada}}$, como se indica por la flecha 8, en el mecanismo de guiñada 4 y se informa al controlador de aerogenerador multirrotor 10. Esto se considera como una indicación de que está presente una diferencia en el empuje que actúa sobre las unidades de generación de energía 5. Por consiguiente, el controlador de aerogenerador multirrotor 10 ajusta al menos un parámetro de restricción del conjunto de restricciones operativas que se aplican normalmente, y deriva un nuevo estado operativo para al menos una de las unidades de generación de energía 5. Los nuevos estados operativos se derivan de tal manera que se contrarreste la diferencia detectada en el empuje que actúa sobre las unidades de generación de energía 5, y de tal manera que se tenga en cuenta el al menos un parámetro de restricción ajustado, es decir, se puede seleccionar un estado operativo que haga que el aerogenerador 1 se opere fuera del conjunto normal de restricciones operativas pero dentro del conjunto ajustado de restricciones. Los nuevos estados operativos se pueden derivar además de tal manera que se obtenga una producción de energía óptima del aerogenerador 1, dadas las condiciones operativas predominantes y el conjunto ajustado de restricciones operativas.

En la realización ilustrada en la Fig. 2, un nuevo estado operativo en forma de nuevos ajustes para la velocidad de rotación del rotor, ω y el ángulo de paso, θ , se envía al controlador de producción 9 de cada una de las unidades de generación de energía 5.

- 20 Finalmente, las unidades de generación de energía 5 se controlan de acuerdo con los nuevos estados operativos recibidos del controlador de aerogenerador multirrotor 10.

La Fig. 3 es un gráfico que muestra un par, $M_{\text{guiñada}}$, en un mecanismo de guiñada de un aerogenerador multirrotor en función del tiempo, t . Una restricción operativa en forma de intervalo dentro del cual se permite que esté el par, $M_{\text{guiñada}}$, se ilustra como líneas discontinuas, que indican los límites superior e inferior del intervalo.

- 25 Los parámetros de restricción en forma del límite superior del intervalo del intervalo y del límite inferior del intervalo se ajustan durante un intervalo de tiempo limitado. Esto se hace de tal manera que el límite superior se aumenta temporalmente y el límite inferior se disminuye temporalmente. Por ello, se permite que el par, $M_{\text{guiñada}}$, fluctúe más de lo normal, pero el valor medio del par, $M_{\text{guiñada}}$, no se cambia.

- 30 La Fig. 4 también es un gráfico que muestra un par, $M_{\text{guiñada}}$, en un mecanismo de guiñada de un aerogenerador multirrotor en función del tiempo, t . También en la Fig. 4, una restricción operativa en forma de un intervalo dentro del cual se permite que esté el par, $M_{\text{guiñada}}$, se ilustra como líneas discontinuas, que indican los límites superior e inferior del intervalo.

- 35 No obstante, en la Fig. 4, el ajuste de los parámetros de restricción se realiza de tal manera que se aumenta el límite superior del intervalo así como el límite inferior del intervalo. Por ello, no se permite que el par, $M_{\text{guiñada}}$, fluctúe más de lo normal, pero se permite en general que el par, $M_{\text{guiñada}}$, esté en un nivel más alto de lo normal.

La Fig. 5 también es un gráfico que muestra un par, $M_{\text{guiñada}}$, en un mecanismo de guiñada de un aerogenerador multirrotor en función del tiempo, t . En la Fig. 5, una restricción en forma de un valor de punto de referencia para el par, $M_{\text{guiñada}}$, se ilustra como una línea discontinua.

- 40 Un parámetro de restricción en forma de punto de referencia se ajusta para un intervalo de tiempo limitado, aumentando temporalmente el valor del punto de referencia. Por consiguiente, el aerogenerador se controla temporalmente de acuerdo con un par, $M_{\text{guiñada}}$, más alto en el mecanismo de guiñada.

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar un aerogenerador (1), el aerogenerador (1) que comprende una estructura de soporte y al menos dos unidades de generación de energía (5) montadas en la estructura de soporte, cada unidad de generación de energía (5) que comprende un rotor (6) que comprende un conjunto de palas de aerogenerador (7), las unidades de generación de energía (5) que son operables dentro de un conjunto de restricciones operativas, el método que comprende los pasos de:
- obtener un primer estado operativo de cada una de las unidades de generación de energía (5),
 - detectar que está presente una diferencia en el empuje que actúa sobre al menos dos de las unidades de generación de energía (5),
 - ajustar al menos un parámetro de restricción del conjunto de restricciones operativas de acuerdo con las condiciones operativas predominantes y de acuerdo con la diferencia en el empuje detectada,
 - derivar un nuevo estado operativo para al menos una de las unidades de generación de energía (5), en base al por lo menos un parámetro de restricción ajustado, el nuevo estado o estados operativos que contrarrestan la diferencia en el empuje detectada, y
 - controlar el aerogenerador (1) de acuerdo con los nuevos estados operativos de las unidades de generación de energía (5).
2. Un método según la reivindicación 1, en donde el paso de ajustar al menos un parámetro de restricción comprende ajustar una restricción de carga con relación a al menos una de las unidades de generación de energía (5).
3. Un método según la reivindicación 1 o 2, en donde el paso de ajuste de al menos un parámetro de restricción comprende ajustar una restricción de carga con relación a la estructura de soporte.
4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el paso de ajustar al menos un parámetro de restricción comprende ajustar una restricción de producción de energía con relación a al menos una de las unidades de generación de energía (5).
5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el paso de ajuste de al menos un parámetro de restricción comprende ajustar un intervalo y/o un punto de referencia para al menos una restricción.
6. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el paso de detección de que está presente una diferencia en el empuje comprende detectar que se ha detenido la operación de al menos una de las unidades de generación de energía (5).
7. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde el paso de detección de que está presente una diferencia en el empuje comprende detectar una diferencia en las condiciones del viento en las al menos dos unidades de generación de energía (5).
8. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el paso de detección de que está presente una diferencia en el empuje comprende detectar una diferencia en el estado operativo de cada una de las unidades de generación de energía.
9. El método según la reivindicación 8, en donde detectar la diferencia en el estado operativo incluye detectar una diferencia en al menos el ángulo de paso y la velocidad del rotor.
10. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde la estructura de soporte comprende una parte de torre principal (2) que se extiende a lo largo de una dirección sustancialmente vertical y al menos dos brazos (3), cada brazo (3) que se extiende lejos de la parte de torre principal (2) a lo largo de una dirección que tiene un componente horizontal, cada brazo (3) que está conectado a la parte de torre principal (2) a través de un mecanismo de guiñada (4), y en donde el paso de detección de que está presente una diferencia en el empuje comprende detectar un par en el mecanismo de guiñada (4).
11. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el paso de derivación de un nuevo estado operativo para cada una de las unidades de generación de energía (5) comprende especificar que al menos una de las unidades de generación de energía (5) operará en modo de motor.
12. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el paso de derivación de un nuevo estado operativo para al menos una de las unidades de generación de energía (5) comprende ajustar al menos un ajuste de guiñada del aerogenerador (1).
13. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el nuevo estado operativo para al menos una de las unidades de generación de energía (5) es una parada de las unidades de generación de energía.

- 5 14. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además el paso de realización de un cálculo de optimización, optimizando la producción total de energía del aerogenerador (1), teniendo en cuenta el al menos un parámetro de restricción ajustado y la diferencia detectada en el empuje, y en donde el paso de derivación de un nuevo estado operativo para al menos una de las unidades de generación de energía (5) se basa además en el cálculo de optimización.
15. Un método según la reivindicación 14, en donde el paso de realización de un cálculo de optimización se realiza usando un algoritmo de control predictivo de modelo (MPC).

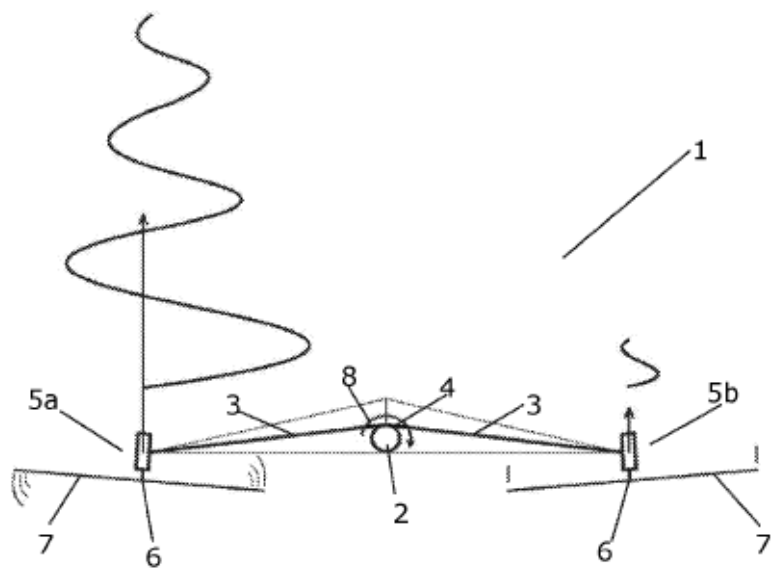


Fig. 1

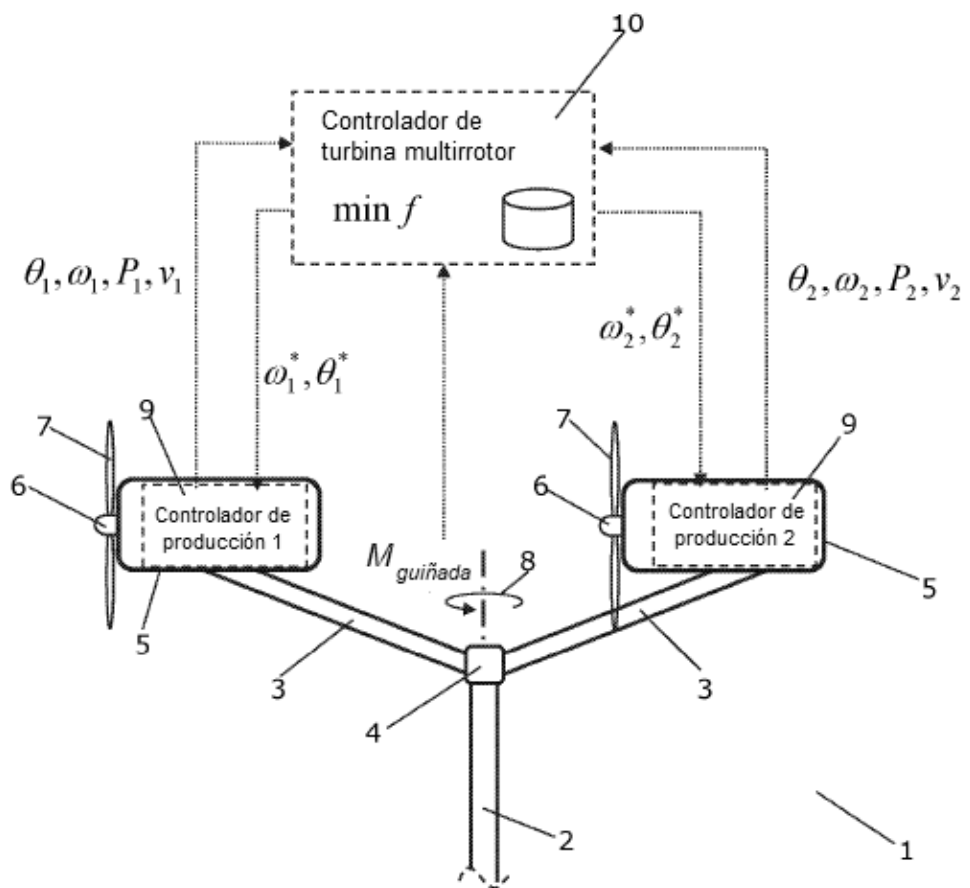


Fig. 2

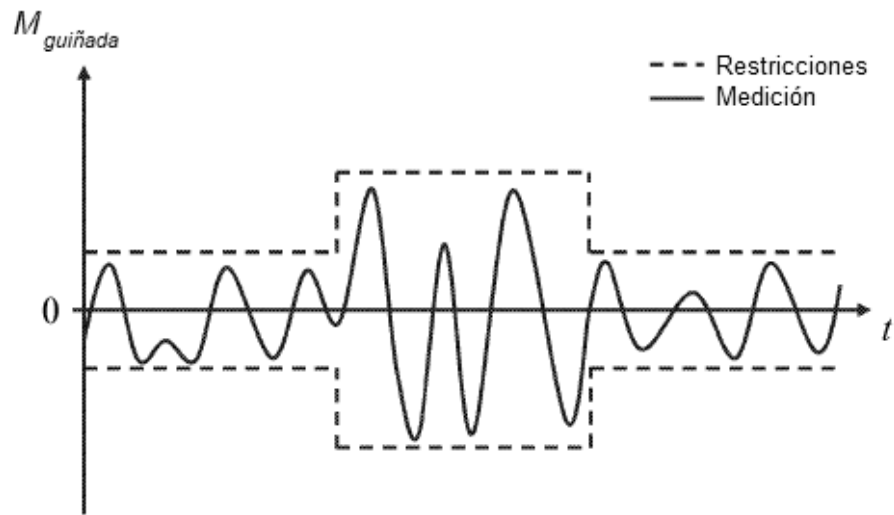


Fig. 3

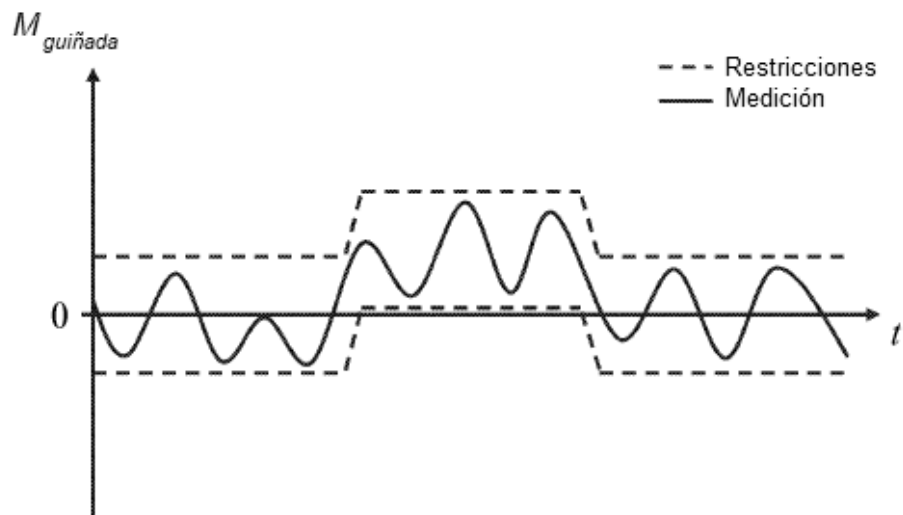


Fig. 4

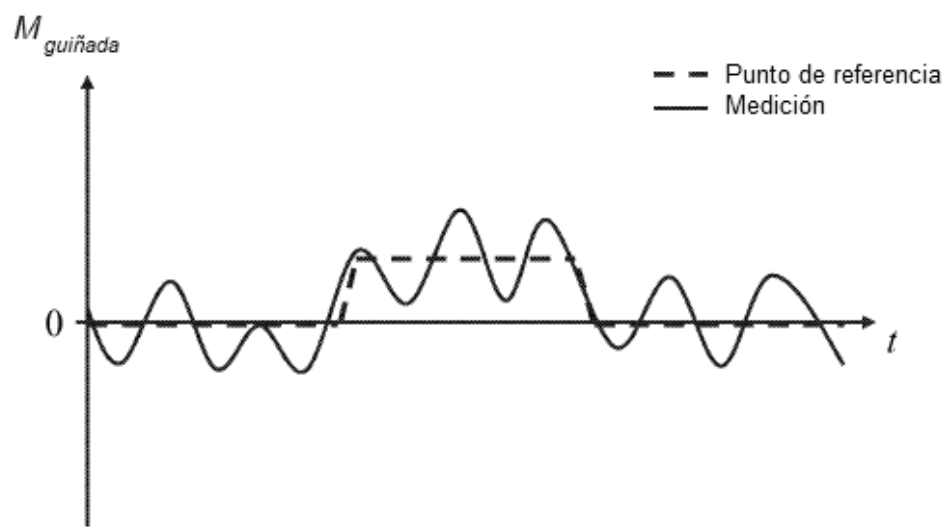


Fig. 5