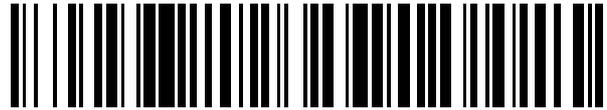


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 676 421**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.10.2015 PCT/DK2015/050304**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.04.2016 WO16058610**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.10.2015 E 15781018 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018 EP 3207246**

54 Título: **Un sistema de control para turbinas eólicas para reducir las alteraciones en una red eléctrica**

30 Prioridad:

13.10.2014 DK 201470633

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

19.07.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KJÆR, MARTIN ANSBJERG;
CAPONETTI, FABIO;
COUCHMAN, IAN;
THOMSEN, JESPER SANDBERG;
KRÜGER, THOMAS y
GARCIA, JORGE MARTINEZ**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 676 421 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

Un sistema de control para turbinas eólicas para reducir las alteraciones en una red eléctrica

5 Campo de la invención

La invención se refiere al control de al menos una turbina eólica, en particular, al control de un controlador de mitigación de una o más turbinas eólicas.

10 Antecedentes de la invención

Las oscilaciones estructurales en las turbinas eólicas, provocadas, por ejemplo, por el viento, pueden mitigarse activamente mediante la producción de oscilaciones de oposición. Tales oscilaciones de oposición pueden producirse mediante la inducción de variaciones en el par del eje, por ejemplo, mediante la variación de un valor nominal de energía o par para el generador de la turbina eólica. Las variaciones pueden producirse por medio de un controlador de mitigación.

Para mejorar el rendimiento de la turbina eólica existe la necesidad de mejorar el control de los controladores de mitigación.

El documento US 2008/067815 divulga una técnica de mitigación de la vibración para un sistema de turbina eólica. El sistema de turbina eólica incluye un amortiguador de la vibración, que proporciona una señal variable para controlar el par producido por un generador del sistema de turbina eólica. La señal variable se basa en la velocidad del generador y presenta un primer valor máximo local en función de una frecuencia resonante de la oscilación de la torre de lado a lado.

Sumario de la invención

Un objeto de la invención es mejorar el control de una turbina eólica en relación con la mitigación de una turbina eólica.

Otro objeto de la invención es reducir las alteraciones eléctricas en la red, que son provocadas por las turbinas eólicas.

En un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para controlar al menos una turbina eólica y reducir las alteraciones espectrales en una red eléctrica, comprendiendo la al menos una turbina eólica

- un rotor, adaptado para accionar un generador de energía a través de un eje, en la que el generador puede conectarse a la red eléctrica, y
- al menos un controlador de mitigación, configurado para compensar las oscilaciones estructurales de la turbina eólica mediante el control de un par del eje, en la que el al menos un controlador de mitigación está configurado para establecer un límite de la acción de control sobre el eje, que depende de un valor de limitación, en el que el método comprende
 - determinar la información de alteración de una pluralidad de turbinas eólicas, que describe una alteración eléctrica en un punto de medición, conectado eléctricamente a la pluralidad de turbinas eólicas,
 - determinar los valores de limitación de turbina eólica de la pluralidad de turbinas eólicas en función de la información de alteración determinada,
 - asignar los valores de limitación de turbina eólica a la pluralidad de turbinas eólicas, y
 - asignar el valor de limitación al controlador de mitigación de la al menos una turbina para establecer el límite de la acción de control.

Ventajosamente, la acción de control llevada a cabo por parte de los controladores de mitigación puede limitarse dependiendo de la información de alteración medida, determinada a partir de la energía medida en un punto de medición. En consecuencia, si la información de alteración indica alteraciones, por ejemplo, amplitudes de variación energética a una frecuencia determinada, por encima de un umbral determinado, puede aplicarse una limitación de la acción de control de mitigación para así evitar o, al menos, reducir aumentos adicionales de la información de alteración.

Cada turbina eólica puede comprender un controlador de mitigación, dispuesto para mitigar una oscilación estructural específica, o una pluralidad de controladores de mitigación, dispuestos para mitigar diferentes oscilaciones estructurales. El valor de limitación determinado puede determinarse para uno del uno o más controladores de mitigación de una turbina eólica. Por consiguiente, para una pluralidad de controladores de mitigación de una turbina eólica puede determinarse una pluralidad de valores de limitación, posiblemente, diferentes valores de limitación.

Dicho punto de medición de la alteración eléctrica puede ubicarse en cualquier lugar de una conexión de energía

eléctrica entre y que incluya la salida de la turbina eólica y la red eléctrica. En otras realizaciones, dicho punto de medición de la alteración eléctrica puede ubicarse en cualquier lugar de una conexión de energía eléctrica entre la turbina eólica (pero sin incluir la salida directa de la turbina eólica) y la red eléctrica. El punto de medición puede comprender un medidor de energía capaz de medir la energía activa. La red eléctrica puede definirse brevemente como una red eléctrica interconectada para suministrar electricidad desde un punto, por ejemplo, una fuente de energía, hasta otro punto, por ejemplo, un consumidor. La red eléctrica puede presentar diferentes niveles de tensión, por ejemplo, para la transmisión y distribución. En el contexto de la presente invención, en ocasiones, para ser más breves, la red eléctrica puede denominarse "la red". En algunas realizaciones, dicho punto de medición de la alteración eléctrica puede ubicarse en, o cerca de la red eléctrica, en particular, en o cerca del punto de conexión (PoC) entre la al menos una turbina eólica y la red eléctrica.

En el caso de una pluralidad de turbinas eólicas, puede determinarse una pluralidad de valores de limitación, posiblemente distintos valores de limitación, para una pluralidad de controladores de mitigación o para la pluralidad de turbinas eólicas. Por consiguiente, puede asignarse una pluralidad de valores de limitación a la pluralidad de controladores de mitigación de las turbinas eólicas. En realizaciones con una pluralidad de turbinas eólicas, puede ser particularmente ventajoso que dicho punto de medición de la alteración eléctrica pueda ubicarse en o cerca de la red eléctrica, en particular, en o cerca del punto de conexión (PoC) entre la pluralidad de turbinas eólicas y la red eléctrica.

Debería observarse que la presente invención es particularmente ventajosa cuando se controla una pluralidad de turbinas eólicas, por ejemplo, los denominados "parques eólicos" o "granjas eólicas", de acuerdo con la invención, porque las oscilaciones combinadas de las turbinas eólicas no suelen estar en fase y, por lo tanto, la contribución combinada de esta oscilación con la alteración eléctrica en la red podría ser menor que la de la suma simple, pero sin embargo, puede haber una alteración eléctrica significativa que merezca la pena reducir con la presente invención por medio de la medición en o cerca de la red eléctrica, en particular, en o cerca del punto de conexión (PoC) entre la pluralidad de turbinas eólicas y de la red eléctrica.

De acuerdo con una realización, el método comprende además la selección de al menos uno de los controladores de mitigación en función de la información de alteración, y asignar el valor de limitación al controlador de mitigación seleccionado.

La información de alteración puede contener información, tal como información espectral, que puede utilizarse para identificar un controlador de mitigación en particular, y los niveles de alteración, que pueden utilizarse para determinar si la alteración es lo suficientemente significativa para aplicar una limitación en la actividad de mitigación del controlador de mitigación en particular, mediante la selección de dicho controlador en particular.

De acuerdo con una realización, el método comprende además la selección de al menos uno de los controladores de mitigación en función de los valores de compensación de mitigación que describen los niveles de compensación de mitigación conseguidos por los controladores de mitigación, y asignar el valor de limitación al controlador de mitigación seleccionado.

Los valores de compensación de mitigación pueden utilizarse para identificar qué controlador de mitigación induce las mayores variaciones del par de eje. Estos controladores pueden seleccionarse para limitar la actividad de mitigación de los controladores de mitigación más activos. De acuerdo con una realización, los valores de compensación de mitigación se determinan en función de valores de salida desde los controladores de mitigación.

Un controlador de mitigación puede seleccionarse además en función de ambos, los valores de compensación de mitigación y la información de alteración, de modo que el valor de limitación puede asignarse al controlador de mitigación seleccionado.

De acuerdo con las realizaciones que comprenden la selección de al menos uno de los controladores de mitigación en función de la información de alteración y/o de la compensación de mitigación, la pluralidad de controladores de mitigación puede estar comprendida por una única turbina eólica o por una pluralidad de turbinas eólicas. En caso de que cada una de la pluralidad de turbinas eólicas comprenda uno o más controladores de mitigación, puede llevarse a cabo la selección del al menos un controlador de mitigación y la asignación de uno o más valores de limitación entre todos los controladores de mitigación de la pluralidad de turbinas eólicas. Esto puede suponer seleccionar en un principio una o más turbinas eólicas que contengan controladores de mitigación que tengan que ser limitados. Sin embargo, la selección de los controladores de mitigación también podría realizarse directamente cuando el sistema de control para controlar la al menos una turbina eólica sea capaz de recibir los valores de compensación de mitigación desde los controladores de información de las diferentes turbinas eólicas y/o contenga información, por ejemplo, información sobre la ubicación espectral de los picos de variación energética, lo que permite la selección de los controladores de mitigación de diferentes turbinas eólicas en función de la información de alteración.

De acuerdo con una realización, el método comprende además determinar los valores de limitación de una turbina eólica en función del valor de limitación de una pluralidad de turbinas eólicas, asignando los valores de limitación de turbina a las turbinas eólicas y asignando el valor de limitación de turbina para una de las turbinas eólicas al

controlador de mitigación de la turbina eólica, para así establecer el límite de la acción de control.

5 Ventajosamente, en un parque de turbinas eólicas que comprende una pluralidad de turbinas eólicas que suministran energía a la red, el valor de limitación, es decir, el valor de limitación total, está dividido en valores de limitación de turbinas eólicas para una o más de las turbinas eólicas. Los valores de limitación de turbina eólica pueden determinarse simplemente dividiendo el valor de limitación total a partes iguales entre las turbinas eólicas, o mediante otros métodos, por ejemplo, dependiendo de la actividad de mitigación llevada a cabo por cada turbina eólica individual o dependiendo de la información de alteración, por ejemplo, las ubicaciones espectrales de los picos de alteración en un espectro de amplitud. Los valores de limitación de turbina eólica individuales determinados se asignan al uno o más controladores de mitigación de cada una de las turbinas eólicas que se han provisto de un valor de limitación de turbina eólica.

15 De acuerdo con una realización, el método comprende además la selección de al menos una de las turbinas eólicas en función de la información de alteración, y la asignación de los valores de limitación de turbina eólica a las turbinas eólicas seleccionadas. Alternativa o adicionalmente, el método puede comprender además la selección de al menos una de las turbinas eólicas en función de los valores de compensación de mitigación que describen los niveles de compensación de mitigación que llevan a cabo los controladores de mitigación de las turbinas eólicas, y asignar los valores de limitación de turbina a las turbinas eólicas seleccionadas. Por consiguiente, también puede seleccionarse la turbina eólica en función de una combinación de información de alteración y valores de compensación de mitigación.

20 De acuerdo con una realización, el valor de limitación, es decir, el valor de limitación total, se determina como una función de una diferencia entre un valor de alteración, determinado a partir de la información de alteración, y un valor de alteración deseado. Por consiguiente, el valor de limitación puede determinarse de manera que los controladores de mitigación estén continuamente limitados, si es necesario, para así mantener el valor de alteración a un nivel aceptable.

25 De acuerdo con una realización alternativa, el valor de limitación se determina comparando un valor de alteración, determinado a partir de la información de alteración, con uno o más valores de umbral predeterminados.

30 Se entiende que la información de alteración puede comprender información de alteración resuelta de forma espectral, por ejemplo, un espectro de amplitud que contiene la distribución espectral de las amplitudes de variación de energía dentro de un intervalo de frecuencia.

35 Un segundo aspecto de la invención se refiere a un sistema de control para controlar al menos una turbina eólica y reducir las alteraciones espectrales en una red eléctrica, comprendiendo la al menos una turbina eólica

- 40 - un rotor, adaptado para accionar un generador de energía a través de un eje, en la que el generador puede conectarse a la red eléctrica, y
- al menos un controlador de mitigación, configurado para compensar las oscilaciones estructurales de la turbina eólica mediante el control de un par del eje, en la que el al menos un controlador de mitigación está configurado para establecer un límite de la acción de control sobre el eje, que depende de un valor de limitación, en la que el sistema de control comprende
- 45 - un detector, configurado para determinar la información de alteración, que describe una alteración eléctrica en un punto de medición, conectado eléctricamente a turbina eólica,
- un controlador de compensación, configurado para determinar el valor de limitación en función de la información de alteración determinada, y para asignar el valor de limitación al controlador de mitigación, para así establecer el límite de la acción de control, y
- 50 - un distribuidor (502) de turbina eólica, configurado para determinar los valores de limitación de turbina eólica en función del valor de limitación para una pluralidad de turbinas eólicas, y para asignar los valores de limitación de turbina a las turbinas eólicas.

55 El sistema de control comprende además un distribuidor, configurado para asignar el valor de limitación a al menos uno de los controladores de mitigación.

De acuerdo con una realización, el sistema de control comprende además un distribuidor de turbina eólica, configurado para determinar los valores de limitación de turbina eólica en función del valor de limitación para una pluralidad de turbinas eólicas, y para asignar los valores de limitación de turbina a las turbinas eólicas.

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

65 Un cuarto aspecto de la invención se refiere a un controlador de planta energética adaptado para controlar una pluralidad de turbinas eólicas en un parque eólico, comprendiendo el controlador de planta energética un sistema de control de acuerdo con el segundo aspecto.

En general, los diversos aspectos de la invención pueden combinarse y acoplarse de cualquier manera posible dentro del alcance de la invención. Estos y otros aspectos, rasgos y/o ventajas de la invención resultarán evidentes y claros a partir de y con referencia a las realizaciones descritas a continuación.

5 Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirán las realizaciones de la invención únicamente a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos, en los que

- 10 la figura 1 muestra una turbina eólica,
- la figura 2 ilustra un ejemplo de oscilaciones estructurales y variaciones en el par del eje y en la energía del generador,
- la figura 3 ilustra un espectro de amplitud de las variaciones de energía de un generador,
- 15 la figura 4 muestra un sistema de control para controlar una turbina eólica y reducir las alteraciones espectrales en una red eléctrica, y
- la figura 5 muestra un sistema de control para controlar una pluralidad de turbinas eólicas y reducir las alteraciones espectrales en una red eléctrica.

Descripción de las realizaciones

20 La figura 1 muestra una turbina eólica 100 que comprende una torre 101 y un rotor 102 con al menos una pala de rotor 103, por ejemplo, tres palas. El rotor está conectado a una góndola 104, que está montada en la parte superior de la torre 101 y que está adaptada para accionar un generador ubicado dentro de la góndola. El rotor 102 gira por la acción del viento. La energía giratoria inducida por el viento de las palas del rotor 103 se transmite a través de un eje hasta el generador. Así, la turbina eólica 100 es capaz de convertir la energía cinética del viento en energía mecánica gracias a las palas del rotor y, posteriormente, en energía eléctrica gracias al generador. En este documento, la turbina eólica 100 también puede denominarse con su abreviatura habitual "WTG" (generador de turbina eólica, por sus siglas en inglés).

30 De acuerdo con una realización, la turbina eólica 100 puede configurarse para que el par del eje y/o la energía eléctrica producida por el generador puedan controlarse a través de una entrada de control hasta el generador, por ejemplo, a través de una entrada de control hasta un invertidor de energía o convertidor de energía conectado eléctricamente al generador. La entrada de control puede tener forma de referencia energética o referencia de par. La entrada de control puede suministrarse directamente al generador, invertidor o convertidor, o indirectamente a través de un controlador de energía o controlador de par, que controla el generador. Además, también se controla el cabeceo de las palas, para así controlar la velocidad de giro del eje.

40 Los componentes estructurales de la turbina eólica, como la torre, pueden verse influidos por el viento y otros efectos, y oscilar. Tales oscilaciones estructurales afectan a los componentes estructurales con cargas de fatiga y, por lo tanto, se desea mitigar tales oscilaciones.

45 En una realización, la turbina eólica comprende un controlador de mitigación (véase el controlador de mitigación 414-416 de la figura 4), configurado para mitigar las oscilaciones estructurales mediante la inducción de variaciones en el par del eje. Las variaciones del par provocan oscilaciones estructurales en componentes estructurales. Es posible mitigar las oscilaciones no deseadas mediante la inducción de variaciones de par, que provocan oscilaciones estructurales que contrarrestan las oscilaciones no deseadas. Las variaciones del par pueden producirse en respuesta a las variaciones en la entrada de control del generador (es decir, la entrada de control en forma de referencia energética o referencia de par).

50 Por ejemplo, el controlador de mitigación puede ser un controlador de mitigación de torre, configurado para mitigar las oscilaciones de la torre. El controlador de mitigación de torre puede configurarse para modificar, en el generador, una entrada de control de energía, es decir, un valor nominal, de modo que la entrada de control comprende variaciones sinusoidales. Las variaciones en la entrada de control producen variaciones en el par del eje, que producen oscilaciones de torre que presentan una frecuencia y una fase que contrarresta las oscilaciones de torre inducidas por el viento.

60 Ya que la entrada de control para el generador contiene variaciones, la energía generada por el generador varía en respuesta a las variaciones de entrada de control. La energía del generador y, por tanto, también las variaciones de energía se suministran a la red. Pueden ser aceptables ciertas amplitudes de variaciones de energía, pero por lo general, no se desean las variaciones de salida de energía debido a las actividades de mitigación del par de una turbina eólica.

65 La figura 2 ilustra un ejemplo de oscilaciones estructurales 201 (Osc) como una función del tiempo t, tal como las vibraciones laterales de la parte superior de la torre. Las oscilaciones 201 se mitigan mediante la inducción de variaciones del par 202 en el eje desde el tiempo t1. La variación del par pueden ser variaciones del valor nominal (ΔV_{nom}) superpuestas sobre la señal de valor nominal de energía. La señal 202 puede reflejar la variación del valor

- nominal (ΔV_{nom}) de energía que debe superponerse sobre el valor nominal de energía para contrarrestar las vibraciones de la torre de 201. Las variaciones del par inducirán, en sí, oscilaciones estructurales, que cuando están adecuadamente programadas, contrarrestarán las oscilaciones estructurales 201 a través de oscilaciones estructurales inducidas por las variaciones del par y, por lo tanto, las oscilaciones estructurales empiezan a reducirse tras el tiempo t_1 . Ya que las variaciones del par del eje se producen por el generador, por ejemplo, mediante la variación del valor nominal de energía, la amplitud de la energía desde el generador Efuera varía en correspondencia con las variaciones del par y con la misma o sustancialmente la misma frecuencia. Las variaciones en la salida de energía 203 se ilustran con una amplitud exagerada de las variaciones.
- Las variaciones de energía 203 provocadas por un controlador de mitigación pueden producirse a una frecuencia en particular o pueden hacerlo a un intervalo espectral, correspondiente al intervalo espectral de la señal de control generada por el controlador de mitigación. Una turbina eólica 100 puede presentar más de un controlador de mitigación, donde cada controlador de mitigación puede estar configurado para mitigar diferentes oscilaciones estructurales. En consecuencia, los diferentes controladores de mitigación de un generador de turbina eólica pueden producir variaciones de energía 203 a distintos intervalos espectrales.
- En el presente documento, el término "intervalo espectral" o "espectro" se refiere a un intervalo de frecuencias que describe las frecuencias de la señal de control, la energía del generador, las variaciones de energía u otros parámetros relacionados con cantidades físicas. En consecuencia, un "intervalo espectral" también puede denominarse intervalo de frecuencia y un espectro también puede denominarse espectro de frecuencia.
- Las variaciones de energía 203 provocadas por los controladores de mitigación, es decir, las variaciones de energía en un intervalo espectral, también se denominan alteraciones espectrales 203 o alteraciones de energía 203, pues aparecen como variaciones de energía alterantes en intervalos espectrales particulares que normalmente están a frecuencias por debajo de los 2 Hz. Las alteraciones espectrales pueden estar presentes en la red eléctrica u otros cables de red conectados a una turbina eólica, por ejemplo, cables de red que conectan las turbinas eólicas con la red.
- La figura 3 muestra un ejemplo esquemático de un espectro de amplitud 301 de amplitudes Efuera de variaciones de energía 202 dentro de un espectro de frecuencia o banda de frecuencia entre 0 y 2 Hz. Los distintos picos de altitud 302-305 pueden corresponderse con alteraciones espectrales debido a las acciones de mitigación desde diferentes controladores de mitigación. La figura 3 también muestra una línea de umbral 305 que indica las amplitudes aceptables de las alteraciones espectrales.
- La figura 4 muestra un sistema de control 401 de acuerdo con una realización de la invención para al menos una turbina eólica 100 capaz de suministrar energía eléctrica a una red eléctrica 430. El sistema de control está configurado para reducir las alteraciones espectrales 203 en la red eléctrica 430.
- El generador de la turbina eólica 100 puede conectarse a la red eléctrica 430, por ejemplo, a través de un cable de red 420. La turbina eólica 100 puede configurarse de diferentes maneras, por ejemplo, tal y como se describe en relación con la figura 1.
- De acuerdo con esta realización, la turbina eólica comprende al menos un controlador de mitigación 414-416 (Mit1-Mit3) configurado para compensar las oscilaciones estructurales de la turbina eólica mediante el control de un par sobre el eje, a través de una entrada de control hacia el generador. Cada uno de los controladores de mitigación comprende una salida para suministrar una señal de control, por ejemplo, hacia un controlador de par, para así producir variaciones del par del eje gracias al generador de energía.
- Las señales de control de mitigación de los distintos controladores de mitigación pueden combinarse en una única señal de control, por ejemplo, una señal de control combinada, destinada a producir las variaciones del par del eje por medio del generador de energía, por ejemplo, a través del controlador de par.
- El componente de turbina eólica 417 (Generador) ilustra principalmente los sistemas de la turbina eólica, por ejemplo, el controlador del par, que recibe las señales de control de mitigación o la señal de control combinada y los sistemas que producen la energía eléctrica e introducen la energía en la red 430. En consecuencia, el componente de turbina eólica 417 incluye el acoplamiento entre las variaciones del par del eje inducidas en respuesta a la señal de control de mitigación y las variaciones de energía 203 de la energía eléctrica suministrada a la red eléctrica.
- Uno o más de los controladores de mitigación 414-416 están configurados para establecer un límite de la acción de control sobre el eje, que depende de un valor de limitación o de un valor obtenido a partir de un valor de limitación suministrado a través de una entrada en cada uno de los controladores de mitigación. Por acción de control se entiende, por ejemplo, la amplitud de las variaciones en la señal de control de mitigación. Al limitar la acción de control, la amplitud de las variaciones del par 202 producidas en respuesta a la señal de control de mitigación y, por tanto, la amplitud de las variaciones de energía 203 están limitadas correspondientemente.
- Por ejemplo, el controlador de mitigación 414 puede estar configurado con una función límite ajustable, dispuesta

para establecer un límite en la salida del controlador de mitigación, por ejemplo, la salida desde un algoritmo de control PI, de modo que la acción de control puede reducirse si la salida del algoritmo de control sobrepasa el límite. El límite se ajusta en respuesta al valor de limitación o en respuesta a un valor obtenido a partir del valor de limitación. El controlador de mitigación con una función de control integral, por ejemplo, una función de control PI, puede estar provisto de una función anti-finalización para gestionar la función de límite.

El sistema de control comprende un detector 411 (Detector) configurado para determinar la información de alteración, que describe una alteración eléctrica en un punto de medición 431, conectado eléctricamente a la turbina eólica. El punto de medición 431 puede ubicarse en cualquier lugar de una conexión de energía eléctrica entre y que incluya la salida de la turbina eólica y la red 430. El punto de medición 431 puede ubicarse alternativamente en cualquier lugar de una conexión de energía eléctrica entre la turbina eólica y la red 430. El punto de medición 431 puede comprender un medidor de energía capaz de medir la energía activa. La información de alteración puede tener forma de valor que describa las variaciones en la energía.

Por ejemplo, el detector puede configurarse para determinar una señal de energía filtrada por paso bajo (para eliminar el componente normal de CA, por ejemplo, el componente de 50 Hz) y para determinar la información de alteración como variaciones en la señal filtrada por paso bajo.

En otro ejemplo, el detector puede configurarse para determinar la información de alteración mediante la determinación de las amplitudes de las variaciones de energía 203 dentro de un espectro de frecuencia, que posiblemente esté en forma de espectro de amplitud 301. Con tal fin, el detector 411 puede configurarse con un analizador de espectro, tal como un analizador FFT (Transformada rápida de Fourier, por sus siglas en inglés). En consecuencia, la información de alteración puede tener forma de valor que describa un valor de amplitud promedio de los picos de amplitud 302-305, o de valores que describan las amplitudes de los diferentes picos de amplitud 302-305 dentro de un espectro de frecuencia.

El detector puede estar configurado con una función de umbral, para que así la información de alteración se configure, por ejemplo, a cero, en caso de que la información de alteración determinada se encuentre por debajo de un umbral determinado. Por ejemplo, si un pico de amplitud 302-305 está por debajo de la línea de umbral 305, la información de alteración puede configurarse a cero o a otro valor adecuado.

El sistema de control comprende también un controlador de compensación 412 (Cont. de comp.), configurado para determinar un valor de limitación para uno de los controladores de mitigación 414-416, y/o configurado para determinar los valores de limitación para dos o más controladores de mitigación. El controlador de compensación 412 emite el valor de limitación determinado como un valor de salida. El valor de limitación se determina en función de la información de alteración determinada desde el detector 411.

El controlador de compensación 412 puede configurarse para determinar el valor de limitación mediante la comparación de un valor de alteración, determinado a partir de la información de alteración, con uno o más valores de umbral predeterminados. Por ejemplo, el controlador de compensación puede configurarse para determinar el valor de limitación como un simple valor de salida binario, por ejemplo, 0 y 1, o un valor de ENCENDIDO y APAGADO, que depende de una magnitud de la información de alteración, por ejemplo, en comparación con un umbral 305. El controlador de compensación también podría estar configurado para producir un número predeterminado de valores de salida, por ejemplo, tres o más valores en el intervalo de 0 a 1, por ejemplo, en comparación con un número correspondiente de valores umbral predeterminados.

Como alternativa, el controlador de compensación puede comprender un controlador de retroalimentación, por ejemplo, un controlador PI, configurado para determinar el valor de limitación que depende de una diferencia entre un valor de alteración, determinado a partir de la información de alteración, y un valor de alteración deseado, es decir, un valor de alteración de referencia proporcionado a través de la entrada 451. De esta manera, el valor de limitación puede determinarse para que sea proporcional a la diferencia y para que dependa posiblemente de un valor de tiempo integrado de la diferencia entre la información de alteración y la referencia.

El controlador de mitigación 414 puede estar configurado para que el límite ajustable del controlador de mitigación se establezca de acuerdo con una tabla de consulta predeterminada o con una función que defina una relación entre el valor de limitación y el límite del controlador de mitigación, es decir, que dependa de un valor obtenido del valor de limitación. Por ejemplo, el controlador de mitigación puede contener una tabla de consulta que define los límites en porcentajes, relativos a un límite nominal o límites absolutos. Como ejemplo, el límite puede establecerse en 100% o cero en caso de que el valor de limitación sea igual a uno que suponga que la acción de control de mitigación del controlador de mitigación 414 afectado se reduzca a cero. Cuando la acción de control se reduce a cero, se elimina cualquier variación de energía 203 provocada posiblemente por el controlador de mitigación afectado.

Por lo general, el límite del controlador de mitigación puede establecerse como valor absoluto, reducción absoluta (por ejemplo, reducir el límite en un determinado porcentaje), o valor relativo o reducción (por ejemplo, relativo a un nivel de actividad real o reciente del controlador de mitigación). El valor absoluto, la reducción absoluta o el cambio relativo se determinan dependiendo del valor de limitación, por ejemplo, mediante una tabla de consulta.

Como alternativa, el valor del límite ajustable del controlador 414-116 puede ser idéntico al valor de limitación, de modo que no se necesita una conversión por medio de, por ejemplo, una tabla de consulta.

5 El sistema de control puede comprender además un distribuidor 413 (Distribuidor), configurado para asignar el valor de limitación a uno o más de los controladores de mitigación 414, para así establecer el límite de la acción de control. Claramente, no se necesita un distribuidor para las turbinas eólicas con un solo controlador de mitigación 414, pues la asignación de los valores de limitación puede ser una asignación fija o la asignación podría realizarla, por ejemplo, el controlador de compensación 412.

10 Por ejemplo, el distribuidor 413 puede estar configurado para asignar el valor de limitación, es decir, el mismo valor de limitación, a todos los controladores de mitigación 414-416 de una turbina eólica.

15 El distribuidor 413 también puede estar configurado para distribuir el valor de limitación entre una pluralidad de controladores de mitigación. Por ejemplo, el valor de limitación puede distribuirse mediante la asignación de una fracción del valor de limitación a cada uno de los controladores de mitigación. Por ejemplo, si tienen que limitarse tres controladores de mitigación, los valores de limitación obtenidos, que son igual a un tercio del valor de limitación original, pueden distribuirse entre los controladores de mitigación.

20 El distribuidor 413 puede estar configurado para seleccionar al menos uno de los controladores de mitigación 414-416 en función de la información de alteración, y para asignar el valor de limitación (valor de limitación original u obtenido) al controlador de mitigación seleccionado.

25 Por ejemplo, la información de alteración puede estar en forma de valores que describen las amplitudes de distintos picos de amplitud 302-305 dentro de un espectro de frecuencia de las variaciones de energía 203. Ya que los picos de amplitud particulares pueden estar asociados a controladores de mitigación 414-416 particulares, pueden seleccionarse uno o más controladores de mitigación de acuerdo con los niveles de los picos de amplitud 302-305.

30 El sistema de control 401 puede comprender además un monitor de actividad 418 (Monitor), configurado para determinar los valores de compensación que describen los niveles de compensación de mitigación que llevan a cabo los controladores de mitigación 414-416. Los valores de compensación pueden determinarse en función de valores de salida de los controles de mitigación 414-416, por ejemplo, de señales de control de mitigación individuales desde distintos controladores de mitigación 414-416 o de una señal de control de mitigación combinada, por ejemplo, mediante la determinación de valor(es) eficaz(es) de las señales de control de mitigación.

35 El distribuidor 413 puede estar configurado para seleccionar al menos uno de los controladores de mitigación 414-416 en función de los valores de compensación de distintos controladores de mitigación 414-416, y para asignar el valor de limitación al/los controlador(es) de mitigación seleccionado(s). Por ejemplo, el valor de limitación puede asignarse al controlador de mitigación que tiene los valores de compensación de mitigación mayores, o una pluralidad de valores de limitación puede asignarse o distribuirse a los controladores de mitigación que tienen los valores de compensación de mitigación mayores.

45 La figura 5 ilustra una realización de la invención en la que se dispone un sistema de control 501 para controlar una pluralidad de turbinas eólicas 100 para reducir las alteraciones espectrales en la red eléctrica 430. El sistema de control 501 es equivalente al sistema de control 401, lo que significa que los elementos de las figuras 4 y 5 que tienen los mismos signos de referencia realizan las mismas o funciones equivalentes. El sistema de control 501 se diferencia principalmente del sistema de control 401 por tener una pluralidad de distribuidores 413 (Distribuidor) y por tener un distribuidor de turbina eólica adicional 502 (Distribuidor de WTG). La figura 5 indica una primera y segunda turbinas eólicas WTG1 y WTG2, que comprenden cada una componentes 413-417. Como alternativa, los distribuidores 413 podrían ubicarse por el exterior de las turbinas eólicas, por ejemplo, podrían estar comprendidos en un controlador de planta energética central. Tal y como observa en la figura 5, el punto de medición 431 para la alteración eléctrica se ubica en la red eléctrica 430. El punto de medición 431 podría estar alternativamente en, o cerca del punto de conexión (PoC) entre las dos turbinas eólicas WTG1 y WTG2 y la red eléctrica (que no se muestra aquí).

55 El distribuidor 502 de la turbina eólica (Distribuidor de WTG) está configurado para determinar los valores de limitación de la turbina eólica en función del valor de limitación determinado por el controlador de compensación 412 (Cont. de Comp.). Los valores de limitación de turbina eólica se determinan a partir de una pluralidad de turbinas eólicas. El distribuidor 502 de turbina eólica está configurado además para asignar los valores de limitación de turbina a las turbinas eólicas, es decir, a los distribuidores 413 asociados a las turbinas eólicas. De manera similar a la realización de la figura 4, cada uno de los distribuidores 413 está configurado para asignar el valor de limitación recibido, en este caso, el valor de limitación de turbina recibido para la turbina eólica asociada al uno o más controladores de mitigación de la turbina eólica, para así establecer el límite de la acción de control del uno o más controladores de mitigación.

65 El distribuidor 502 de turbina eólica puede configurarse además para seleccionar al menos una de las turbinas eólicas en función de la información de alteración, y asignar los valores de limitación de turbina eólica a las turbinas

- eólicas seleccionadas. El distribuidor 502 de turbina eólica puede configurarse de manera similar al distribuidor 413 para llevar a cabo la selección de las turbinas eólicas en función de la información de alteración. Por ejemplo, el distribuidor 502 puede estar configurado para seleccionar turbinas eólicas en función de la información de alteración que contiene información sobre los picos de amplitud 302-305, que pueden asociarse a controladores de mitigación 414-416 en particular. Ya que los controladores de mitigación de las distintas turbinas eólicas pueden presentar distintas frecuencias de los picos de amplitud 302-305, el distribuidor 502 de turbina eólica puede seleccionar las turbinas eólicas responsables de los picos de amplitud 302-305 más altos.
- Adicional o alternativamente, el distribuidor 502 de turbina eólica puede configurarse para seleccionar al menos una de las turbinas eólicas en función de los valores de compensación de mitigación que describen los niveles de compensación de mitigación que llevan a cabo los controladores de mitigación de las turbinas eólicas, y asignar los valores de limitación de turbina a las turbinas eólicas seleccionadas.
- Tal como se muestra en la figura 5, los valores de compensación determinados por el monitor de actividad 418 (Monitor) pueden suministrarse a los distribuidores 413 del controlador de mitigación y/o al distribuidor 502 de turbina eólica. En consecuencia, en función de los valores de compensación que describen los niveles de compensación de mitigación llevados a cabo por los controladores de mitigación 414-416, el distribuidor 502 de turbina eólica puede seleccionar las turbinas eólicas que presentan los valores de compensación de mitigación mayores.
- Las funciones de los distribuidores 413 para seleccionar al menos uno de los controladores de mitigación 414-416 de las turbinas eólicas WTG1-WTG2, en función de la información de alteración y/o de los valores de compensación de mitigación, pueden alojarse en las turbinas eólicas WTG1-WTG2 o en una unidad de control central, tal como un controlador de planta de energía configurado para controlar una pluralidad de turbinas eólicas WTG1-WTG2. En consecuencia, el distribuidor 502 de turbina eólica puede comprender adicionalmente las funciones de los distribuidores 413, de modo que se pueda prescindir de los distribuidores 413 ubicados en cada turbina eólica.
- Uno o más de los componentes 411, 412, 413, 418 del sistema de control 401 pueden estar comprendidos en una turbina eólica, por ejemplo, en un sistema de control de una turbina eólica, o uno o más de los componentes 411, 412, 413, 418 puede ubicarse por fuera de la turbina eólica, por ejemplo, uno o más de los componentes pueden estar comprendidos en una unidad de control central, tal como un controlador de planta energética configurado para controlar una pluralidad de turbinas eólicas. En consecuencia, algunos de los componentes pueden estar comprendidos en una turbina eólica, y otros componentes pueden estar comprendidos en una unidad de control central.
- Ya que el sistema de control 501 está configurado para controlar una pluralidad de turbinas eólicas, al menos los componentes 411, 412, 502 pueden estar comprendidos, preferentemente, en una unidad de control central, tal como un controlador de planta energética, mientras que los distribuidores 413 del controlador de mitigación pueden estar comprendidos en la unidad de control central o en distintas turbinas eólicas.
- En consecuencia, un controlador de planta energética, configurado para controlar la pluralidad de turbinas eólicas en un parque eólico, puede comprender el sistema de control 401, donde el distribuidor 413 está configurado para asignar los valores de limitación a los controladores de mitigación 414-416 de una pluralidad de turbinas eólicas, o el controlador de la planta energética puede comprender el sistema de control 501 o parte del sistema de control 501, tal como los componentes 411, 412, 502.
- Si bien la invención se ha ilustrado y descrito en detalle en los dibujos y en la descripción precedente, tal ilustración y descripción han de considerarse como meras ilustraciones o ejemplos y no como limitaciones; la invención no está limitada a las realizaciones divulgadas. Los expertos en la materia pueden entender y efectuar otras variaciones de las realizaciones divulgadas a la hora de poner en práctica la invención reivindicada, a partir de un estudio de los dibujos, de la divulgación y de las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones, la expresión "que comprende/comprendiendo" no excluye otros elementos o etapas y los artículos indefinidos "un(os)" o "una(s)" no excluyen una pluralidad. El mero hecho de que se enumeren ciertos rasgos en diferentes reivindicaciones mutuamente dependientes no indica que no pueda utilizarse ventajosamente una combinación de tales rasgos. Ningún símbolo de referencia de las reivindicaciones deberá interpretarse como una limitación del alcance.

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar al menos una turbina eólica (100) para reducir las alteraciones espectrales (203) en una red eléctrica (430), comprendiendo la al menos una turbina eólica
- 5 - un rotor (102), adaptado para accionar un generador de energía a través de un eje, en la que el generador puede conectarse a la red eléctrica, y
- al menos un controlador de mitigación (414-416), configurado para compensar las oscilaciones estructurales (201) de la turbina eólica mediante el control de un par del eje, en la que el al menos un controlador de mitigación está
- 10 configurado para establecer un límite de la acción de control sobre el eje, que depende de un valor de limitación, en el que el método comprende
- determinar la información de alteración de una pluralidad de turbinas eólicas, que describe una alteración eléctrica en un punto de medición (431), conectado eléctricamente a la pluralidad de turbinas eólicas,
- 15 - determinar los valores de limitación de turbina eólica de la pluralidad de turbinas eólicas en función de la información de alteración determinada,
- asignar los valores de limitación de turbina eólica a la pluralidad de turbinas eólicas, y
- asignar el valor de limitación al controlador de mitigación de la al menos una turbina para establecer el límite de la acción de control.
- 20 2. Un método de acuerdo con 1, que comprende además la selección de al menos uno de los controladores de mitigación en función de la información de alteración, y la asignación del valor de limitación al controlador de mitigación seleccionado.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, que comprende además la selección de al menos uno de los controladores de mitigación en función de los valores de compensación de mitigación que describen los niveles de compensación de mitigación conseguidos por los controladores de mitigación, y la asignación del valor de limitación al controlador de mitigación seleccionado.
- 25 4. Un método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que los valores de compensación de mitigación se determinan en función de valores de salida desde los controladores de mitigación.
- 30 5. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además la selección de al menos una de las turbinas eólicas en función de la información de alteración, y asignar los valores de limitación de turbina eólica a las turbinas eólicas seleccionadas.
- 35 6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, que comprende además la selección de al menos una de las turbinas eólicas en función de los valores de compensación de mitigación que describen los niveles de compensación de mitigación que llevan a cabo los controladores de mitigación de las turbinas eólicas, y asignar los valores de limitación de turbina a las turbinas eólicas seleccionadas.
- 40 7. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor de limitación se determina como una función de una diferencia entre un valor de alteración, determinado a partir de la información de alteración, y un valor de alteración deseado.
- 45 8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que el valor de limitación se determina comparando un valor de alteración, determinado a partir de la información de alteración, con uno o más valores de umbral predeterminados.
- 50 9. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la información de alteración comprende información de alteración resuelta de forma espectral.
10. Un sistema de control (401) para controlar al menos una turbina eólica (100) para reducir las alteraciones espectrales en una red eléctrica (430), comprendiendo la al menos una turbina eólica
- 55 - un rotor (102), adaptado para accionar un generador de energía a través de un eje, en la que el generador puede conectarse a la red eléctrica, y
- al menos un controlador de mitigación (414-416), configurado para compensar las oscilaciones estructurales (201) de la turbina eólica mediante el control de un par del eje, en la que el al menos un controlador de mitigación está configurado para establecer un límite de la acción de control sobre el eje, que depende de un valor de limitación, en la que el sistema de control comprende
- 60 - un detector (411), configurado para determinar la información de alteración que describe una alteración eléctrica en un punto de medición (431), conectado eléctricamente a la turbina eólica,
- un controlador de compensación (412), configurado para determinar el valor de limitación en función de la información de alteración determinada, y para asignar el valor de limitación al controlador de mitigación, para así
- 65 establecer el límite de la acción de control, y
- un distribuidor (502) de turbina eólica, configurado para determinar los valores de limitación de turbina eólica en

función del valor de limitación para una pluralidad de turbinas eólicas, y para asignar los valores de limitación de turbina a las turbinas eólicas.

- 5 11. Un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende además
- un distribuidor (413), configurado para asignar el valor de limitación a al menos uno de los controladores de mitigación.
- 10 12. Una turbina eólica que comprende un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 10.
13. Un controlador de planta energética adaptado para controlar una pluralidad de turbinas eólicas en un parque eólico, comprendiendo el controlador de planta energética un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 10.

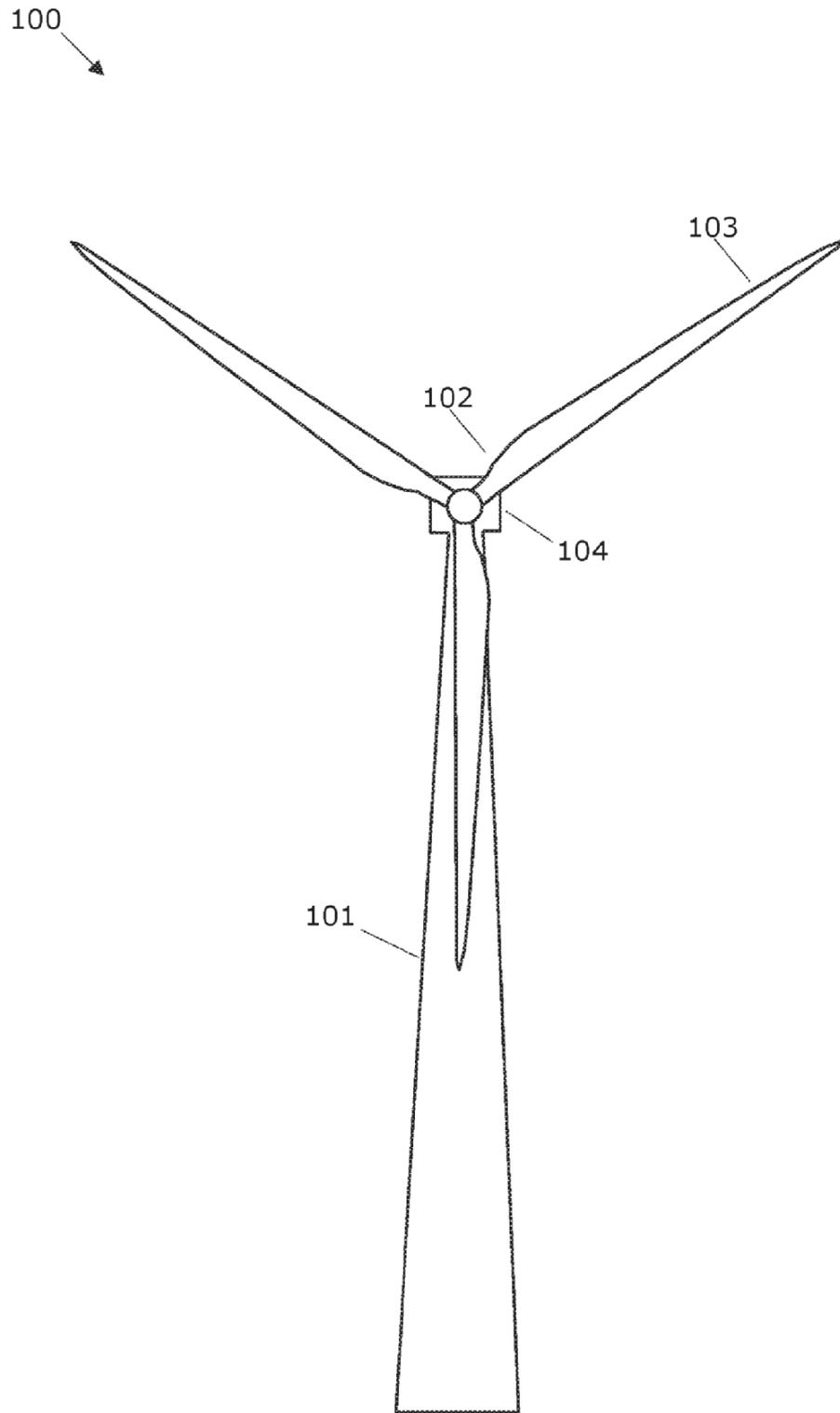


Fig. 1

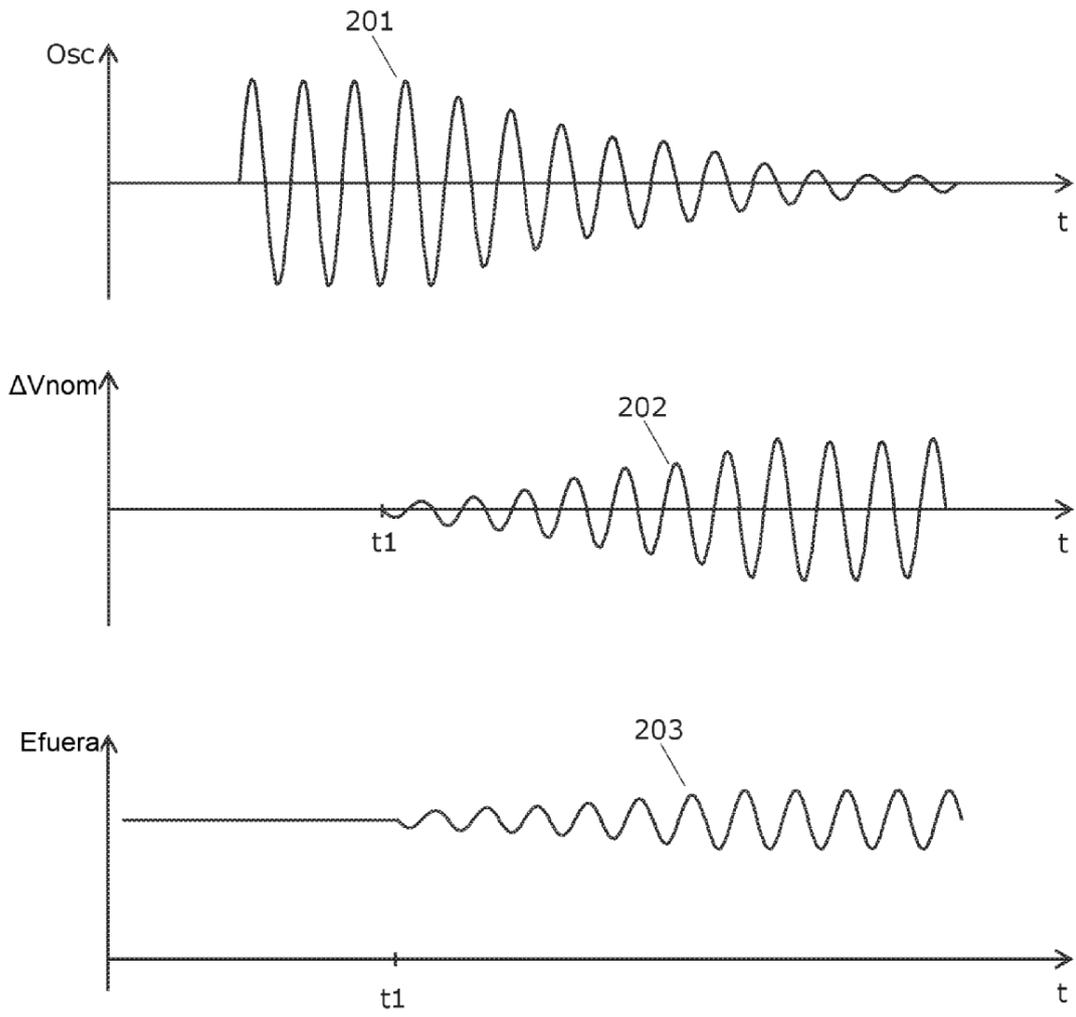


Fig. 2

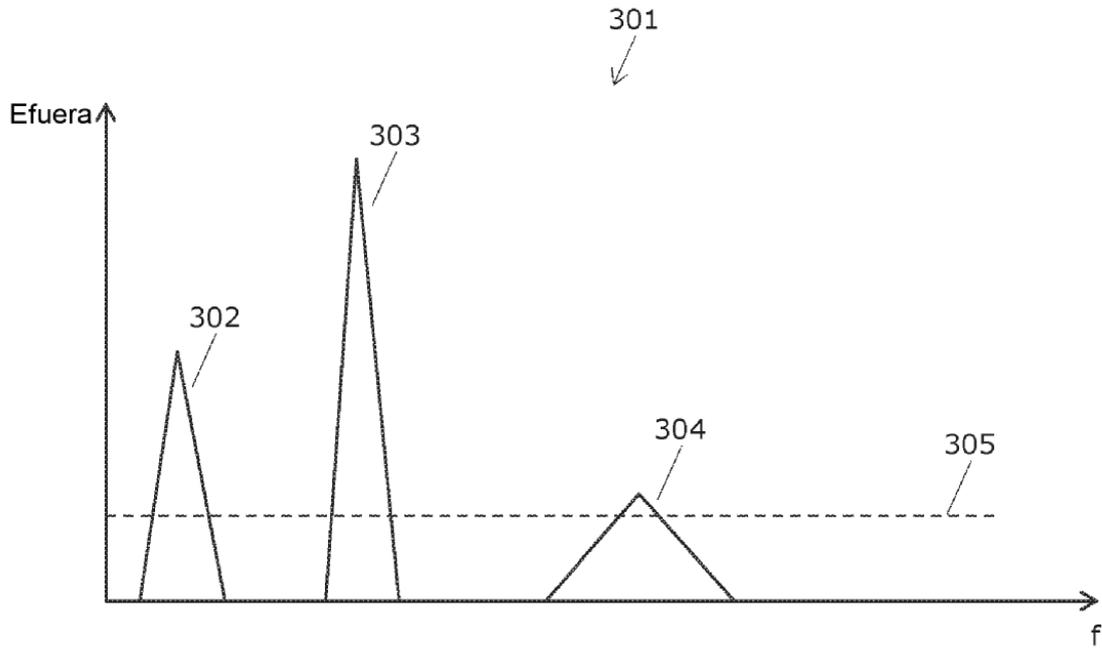


Fig. 3

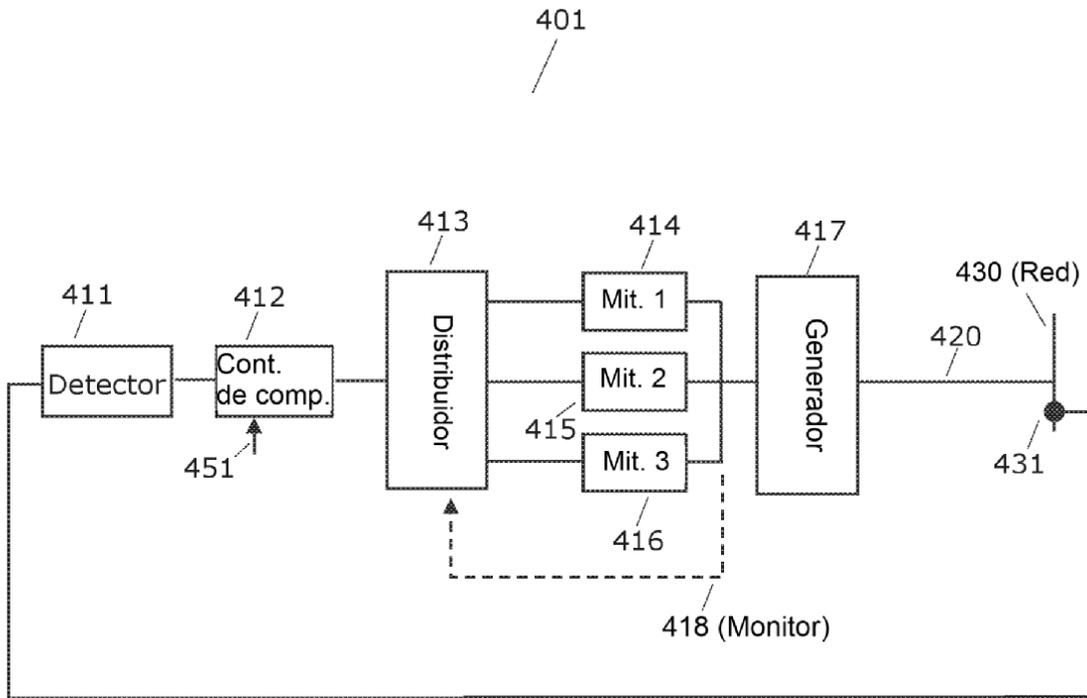


Fig. 4

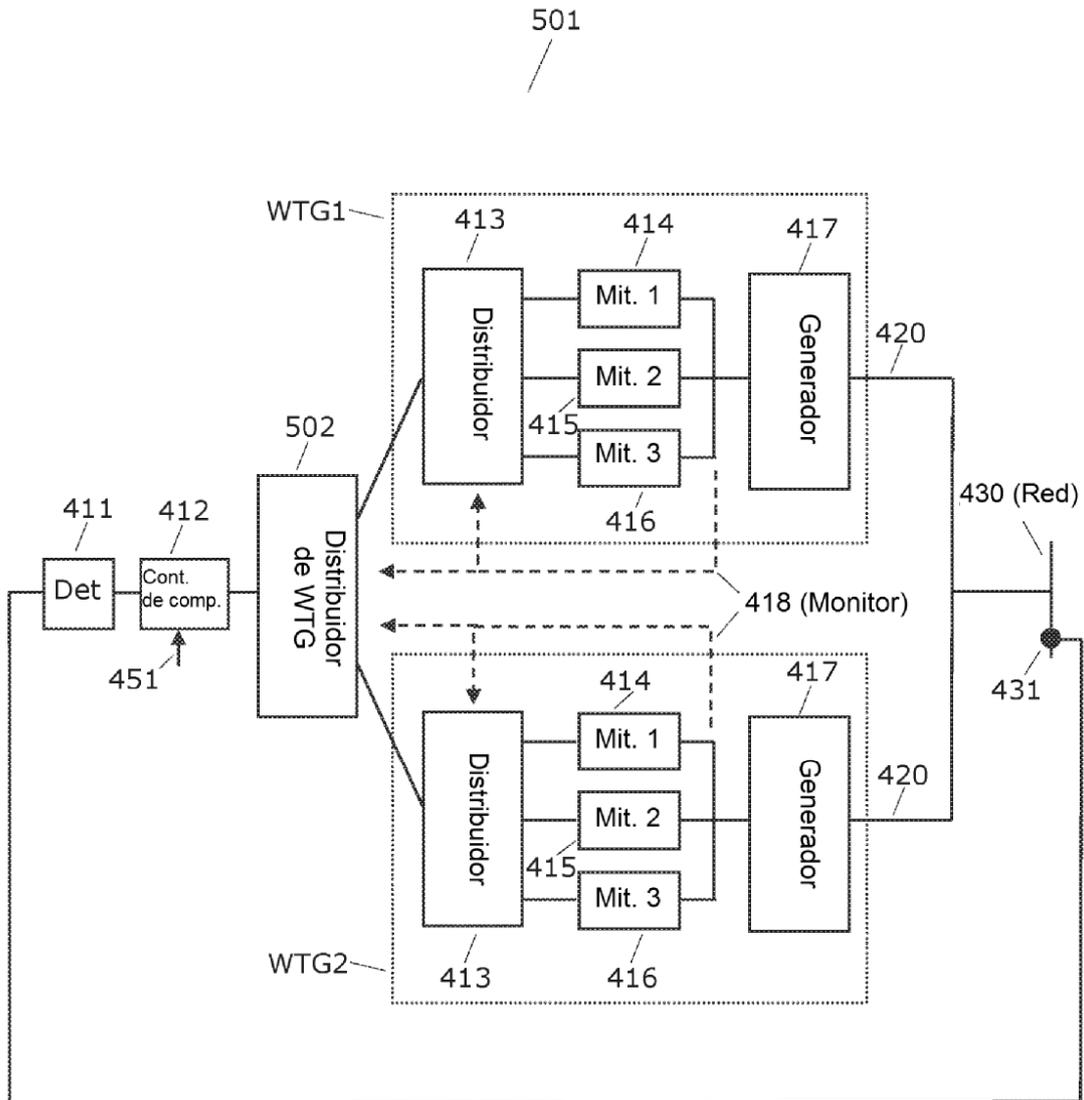


Fig. 5