

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 992 425**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.10.2019 PCT/EP2019/079816**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.06.2020 WO20120010**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2019 E 19801753 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2024 EP 3894696**

54 Título: **Dispositivo y método para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica**

30 Prioridad:

13.12.2018 EP 18212389

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

12.12.2024

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)**

**Borupvej 16
7330 Brande, DK**

72 Inventor/es:

**EGEDAL, PER;
ESBENSEN, THOMAS y
HOEGH, GUSTAV**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 992 425 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

Dispositivo y método para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un dispositivo y a un método para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica.

10 La amortiguación activa de la torre reduce las oscilaciones de la torre al aplicar los cambios de ángulo de paso apropiados. El ángulo de paso es un ángulo que se mide alrededor de un eje longitudinal de cada pala. Un cambio apropiado en el ángulo de paso cambia las propiedades aerodinámicas de la pala de modo que se puedan amortiguar las oscilaciones de la torre. Esto reduce las cargas de flexión de la torre y la base de la torre. Sin embargo, la actividad de paso y los daños del rodamiento de paso aumentarán, ya que se requiere un paso adicional para amortiguar las
15 oscilaciones de la torre además de la operación de paso normal. Si la capacidad del sistema de paso y/o la capacidad del rodamiento de paso son un problema para ciertos diseños de turbinas eólicas, particularmente para palas grandes y pesadas u otras restricciones, el sistema de paso difícilmente puede lograr la amortiguación de la torre.

20 El documento EP 1.320.680 A1 describe aletas que están montadas en una pala de un rotor de turbina eólica. Las aletas cambian el flujo de aire para regular la velocidad de rotación del rotor. El documento EP 2.995.811 A1 es un ejemplo adicional de la técnica anterior.

Resumen de la invención

25 Puede ser necesario un dispositivo y un método para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica que tengan en cuenta las restricciones del rotor y pala. Esta necesidad puede ser satisfecha por el objeto según las reivindicaciones independientes. La presente invención se elabora además tal y como se expone en las reivindicaciones dependientes.

30 Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un método según la reivindicación 1 para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica.

Los miembros accesorios reducirán el empuje del rotor cuando se activen (al igual que el paso de la pala hacia una posición en bandera reducirá el empuje en la configuración tradicional). En consecuencia, si los miembros accesorios se activan cuando la torre se mueve hacia atrás, se puede reducir el empuje y la torre no se balanceará tanto hacia
35 atrás, lo que reducirá las oscilaciones. De la misma manera, cuando la torre se debe empujar hacia delante, los miembros accesorios se pueden activar para aumentar el empuje y luchar contra el movimiento de oscilación de la torre.

40 El método comprende las siguientes etapas: a) medir una señal temporal que representa una aceleración, velocidad o posición hacia delante y hacia atrás de la torre o la góndola; b) filtrar la señal temporal para extraer al menos un componente de frecuencia; y c) generar una señal de accionamiento para cada accionador basándose en el al menos un componente de frecuencia extraído y suministrar las señales de accionamiento a los accionadores para accionar el miembro accesorio correspondiente.

45 La etapa b) comprende además las siguientes subetapas: compensar una fase de la señal temporal para el al menos un componente de frecuencia filtrado y aplicar ganancias para obtener señales de accionamiento individuales para que cada accionador actúe sobre el al menos un componente de frecuencia.

50 La función de amortiguación activa de la torre reduce las cargas en la base de la torre que resultan de los movimientos hacia delante y hacia atrás al aplicar un desfase a los miembros accesorios activos. La señal de amortiguación a los accionadores puede ser una función de la señal de aceleración de la torre. La señal de amortiguación contiene el contenido de frecuencia del movimiento dominante de la torre (el primer modo propio de la torre).

55 La señal de amortiguación puede tener una fase óptima en el primer modo propio de la torre, de modo que los miembros accesorios activos apliquen un cambio de empuje que amortigüe la oscilación de la torre. Por ejemplo, las oscilaciones de la torre se activan cuando una pala rotatoria pasa por la torre. De esta manera, la presión del aire entre esa pala y la torre cambia repentinamente de modo que se activan las oscilaciones de la torre. Dado que se determina la fase de oscilación de la torre, el accionador de cada pala se acciona en un momento correcto.

60 El desfase de los miembros accesorios (ya que se añadirá a las salidas de controlador existentes para los miembros adicionales activos) se puede calcular basándose en la aceleración hacia delante y hacia atrás medida de la torre (o la góndola) y se realiza en las siguientes etapas: 1) medir la aceleración hacia delante y hacia atrás de la góndola o la parte superior de la torre, 2) filtrar la señal de aceleración para garantizar a) que se atraviesen los componentes de
65 frecuencia pertinentes, que de lo contrario se amortiguan; y b) que se tenga en cuenta una fase en el movimiento

dominante (primera frecuencia propia de la torre) para garantizar que las oscilaciones de la torre se amortigüen correctamente mediante los respectivos miembros accesorios.

5 Más preferiblemente, la etapa de aplicar ganancias comprende una subetapa de limitar las señales de activación dentro de los límites superior y/o inferior. De esta manera, la señal de accionamiento se puede saturar para garantizar que el desfase esté dentro de los límites deseados que respetan la capacidad de los miembros accesorios y el rango de uso deseado.

10 Más preferiblemente, la etapa b) se realiza usando al menos uno de un filtro de paso bajo y un filtro de paso de banda. El filtro de paso bajo puede actuar para cambiar la fase de la señal (sintonizado para ajustarla lo suficiente a la frecuencia de la torre), mientras que el filtro de paso de banda solo puede atravesar la primera frecuencia propia de la torre (es decir, el movimiento dominante).

15 Más preferiblemente, la etapa de compensar una fase de la señal temporal se realiza usando una función de transferencia entre la aceleración medida y un cambio de empuje del rotor para compensar los posibles retrasos en la comunicación, la dinámica del accionador y la aerodinámica. La obtención de la fase correcta puede depender de la función de transferencia entre la aceleración medida y el cambio de empuje del rotor, incluyendo los posibles retrasos de comunicación, la dinámica del accionador, los retrasos del accionador, los retrasos del sensor, los retrasos del sistema, la aerodinámica, etc.

20 Más preferiblemente, las ganancias en la etapa de aplicar las ganancias tienen valores fijos. Las ganancias se aplican para convertir la señal de aceleración en una activación apropiada del miembro accesorio activo. Alternativamente, las ganancias en la etapa de aplicar las ganancias tienen valores variables que se determinan basándose en la sensibilidad del miembro accesorio activo correspondiente en un punto operativo determinado y/o que aplican una amortiguación solo en un punto operativo seleccionado. La ganancia se puede programar según los parámetros operativos relevantes para incluir la sensibilidad del accesorio activo en un punto operativo determinado o la ganancia se puede programar para aplicar la amortiguación solo en puntos operativos seleccionados, por ejemplo, solo en ciertas regiones operativas, si no se desea una activación adicional de los accionadores para algunos puntos operativos.

30 Preferiblemente, se puede mover cada pala para alterar un ángulo de paso de la misma; y el accionador correspondiente mueve el miembro accesorio activo de cada pala basándose en la señal de accionamiento, mientras que un ángulo de paso de la misma pala se mantiene sin cambios. De esta manera, el sistema de paso no se somete a esfuerzos en absoluto.

35 Preferiblemente, se puede mover cada pala para alterar un ángulo de paso de la misma; y el accionador correspondiente mueve el miembro accesorio activo de cada pala basándose en la señal de accionamiento, que tiene en cuenta un ángulo de paso de la misma pala. De esta manera, el sistema de paso no tiene que estar necesariamente desconectado, pero no se somete a esfuerzos por el funcionamiento de amortiguación de los miembros accesorios.

40 Se puede mover cada pala para alterar un ángulo de paso de la misma; y el ángulo de paso se determina teniendo en cuenta la señal de accionamiento del accionador correspondiente. Por ejemplo, en torres con frecuencias bajas o cimientos flotantes (que también tienen una frecuencia baja), donde la frecuencia del sistema es tan baja que interferirá con los controladores de velocidad/paso, la activación de los miembros accesorios podría tener un impacto opuesto, ya que el ángulo de paso resultante cambiará el empuje con el signo opuesto. Sin embargo, esta realización combina el ángulo de paso y las activaciones del miembro accesorio, donde la potencia y la velocidad serán las mismas, pero el empuje del rotor variará.

50 Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo según la reivindicación 9 para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica.

55 Preferiblemente, el dispositivo comprende además: un dispositivo de medición configurado para medir una señal temporal que representa una aceleración, velocidad o posición hacia delante y hacia atrás de la torre o la góndola, un dispositivo de filtrado configurado para filtrar la señal temporal para extraer al menos un componente de frecuencia y un dispositivo de generación y suministro configurado para generar una señal de accionamiento para cada accionador basándose en el al menos un componente de frecuencia extraído y para suministrar las señales de accionamiento a los accionadores para que accionen el miembro accesorio correspondiente.

60 Preferiblemente, el dispositivo de filtrado comprende además al menos uno de un dispositivo de compensación configurado para compensar una fase de la señal temporal para el al menos un componente de frecuencia filtrado y un dispositivo de aplicación configurado para aplicar ganancias para obtener señales de accionamiento individuales para que cada accionador actúe sobre el al menos un componente de frecuencia.

65 Más preferiblemente, el dispositivo de aplicación está configurado para limitar las señales de activación dentro de los límites superior y/o inferior.

Más preferiblemente, el dispositivo de filtrado comprende al menos uno de un filtro de paso bajo y un filtro de paso de banda.

5 Más preferiblemente, el dispositivo de determinación está configurado para usar una función de transferencia entre la aceleración medida y un cambio de empuje del rotor para compensar los posibles retrasos de comunicación, la dinámica del accionador, los retrasos del accionador, los retrasos del sensor, los retrasos del sistema y la aerodinámica.

10 Más preferiblemente, las ganancias tienen valores fijos. Alternativamente, las ganancias tienen valores variables que se determinan basándose en la sensibilidad del miembro accesorio activo correspondiente en un punto operativo determinado y/o que aplican una amortiguación solo en un punto operativo seleccionado.

15 Preferiblemente, se puede mover cada pala para alterar un ángulo de paso de la misma; y el accionador correspondiente mueve el miembro accesorio activo de cada pala basándose en la señal de accionamiento, mientras que un ángulo de paso de la misma pala se mantiene sin cambios. Preferiblemente, se puede mover cada pala para alterar un ángulo de paso de la misma; y el accionador correspondiente mueve el miembro accesorio activo de cada pala basándose en la señal de accionamiento, que tiene en cuenta un ángulo de paso de la misma pala. Preferiblemente, se puede mover cada pala para alterar un ángulo de paso de la misma; y el ángulo de paso se determina teniendo en cuenta la señal de accionamiento del accionador correspondiente.

20 **Breve descripción de los dibujos**

25 Los aspectos definidos anteriormente y otros aspectos de la presente invención se infieren de los ejemplos de realización que se describirán a continuación y se explican con referencia a los ejemplos de realización. La invención se describirá con más detalle a continuación en la memoria haciendo referencia a ejemplos de realización, no estando la invención limitada a los mismos.

La figura 1 muestra una pala de turbina eólica que tiene un miembro accesorio;

30 la figura 2 muestra el mismo miembro accesorio en una posición activada, donde el miembro accesorio está girado para obtener un efecto de pérdida de sustentación máximo;

35 la figura 3 muestra una implementación del método para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica según una primera realización;

la figura 4 muestra una relación entre las activaciones de paso y pérdida de compensación;

40 la figura 5 muestra una relación entre el coeficiente de empuje (C_t) y la activación de la pérdida de compensación, donde el ángulo de paso variará según la figura 4;

la figura 6 muestra una implementación del método para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica según una segunda realización; y

45 la figura 7 muestra una implementación del método para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica según una tercera realización.

Descripción detallada

50 Las ilustraciones de los dibujos son esquemáticas. Se señala que en diferentes figuras, los elementos similares o idénticos están provistos de los mismos signos de referencia.

55 La figura 1 muestra una pala 15 de turbina eólica de una turbina eólica (no mostrada). La turbina eólica comprende una torre y un rotor, en donde el rotor está montado en la parte superior de la torre para rotar alrededor de un eje de rotación. Con más detalle, el rotor está montado en un cubo que, a su vez, está montado en una góndola. La góndola está montada en la torre. El rotor tiene una pluralidad de palas 15. Cada pala 15 tiene un miembro accesorio 17 activo que está accionado por un accionador correspondiente para que altere las propiedades aerodinámicas de la pala 15.

60 A través de las palas 15, el rotor aplica una fuerza de empuje a la torre de modo que se produzcan movimientos hacia delante y hacia atrás de la torre y de una góndola de la torre.

65 Cada miembro accesorio 17 está accionado por el accionador correspondiente para alterar las propiedades aerodinámicas de la pala 15 de manera que el rotor esté configurado para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de la torre de la turbina eólica. Es decir, al cambiar las propiedades aerodinámicas de las palas 15, la fuerza de empuje desde el rotor hacia la torre se cambia adecuadamente para contrarrestar los movimientos hacia delante y hacia atrás de la torre.

El miembro accesorio 17 está diseñado como un alerón. El alerón 17 está dispuesto aquí cerca del borde delantero de la pala 15, pero también puede estar dispuesto cerca del borde trasero de la pala 15. El miembro accesorio 17 está alojado en un rebaje 16 en la pala 15 y puede girar alrededor de una bisagra 18 mediante la activación del accionador. En la figura 1, el alerón 17 se muestra en su posición desactivada normal, en donde no se desea ningún efecto de alerón ni pérdida de sustentación.

La **figura 2** muestra el mismo miembro accesorio 17 en una posición activada, donde el miembro accesorio 17 está girado hasta un máximo por parte del accionador de modo que el efecto de pérdida de sustentación es máximo.

Según la presente invención, el miembro de adición 17 no necesariamente debe formarse como un alerón. El miembro accesorio 17 puede tener cualquier otra configuración que sea capaz de alterar las propiedades aerodinámicas de la pala 15.

La **figura 3** muestra una implementación del método para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica según una primera realización.

La referencia 1 designa una referencia de velocidad del rotor; el signo de referencia 2 designa un controlador de pérdida de compensación de velocidad; el signo de referencia 3 designa un sistema de pérdida de compensación; el signo de referencia 4 designa una velocidad del rotor; el signo de referencia 5 designa una referencia de pérdida de compensación; el signo de referencia 6 designa un controlador de paso de pérdida de compensación; el signo de referencia 7 designa un sistema de paso; el signo de referencia 8 designa una aceleración de torre; y el signo de referencia 9 designa un controlador de pérdida de compensación de torre.

Se mide la aceleración hacia delante y hacia atrás de la torre para obtener la aceleración 8 de la torre. La aceleración 8 de la torre se introduce en el controlador 9 de pérdida de compensación de torre. Alternativamente, se puede medir una velocidad hacia delante y hacia atrás de la torre o incluso una posición de la torre en la dirección hacia delante y hacia atrás en lugar de la aceleración.

En el controlador 9 de pérdida de compensación de torre, se filtra la señal temporal para extraer al menos un componente de frecuencia. El filtrado se puede realizar usando al menos uno de un filtro de paso bajo y un filtro de paso de banda. El filtrado se logra mediante un filtro de paso de banda y luego, opcionalmente, mediante un filtro de paso bajo para compensar la fase y, como objetivo secundario, para atenuar aún más el ruido. Opcionalmente, se puede proporcionar además un retardo temporal y/o un filtro de desfase. El filtro usado funciona según la serie temporal (por ejemplo, para la señal de aceleración de torre o góndola medida) y está diseñado para tener una característica que tiene como objetivo emitir una frecuencia particular (el modo torre) de modo que tenga una amplitud (nivel) alta y la fase correcta (adelantamiento/retraso temporal) para fines de amortiguación.

De esta manera, se puede compensar una fase de la señal temporal para el al menos un componente de frecuencia filtrado. Para compensar los posibles retrasos de comunicación, la dinámica del accionador, los retrasos del accionador, los retrasos del sensor, los retrasos del sistema y la aerodinámica, etc., la fase se puede compensar mediante el uso de una función de transferencia entre la aceleración medida y un cambio de empuje del rotor.

Posteriormente, las ganancias se aplican para obtener señales de accionamiento individuales para que cada accionador actúe sobre el al menos un componente de frecuencia. Las señales de accionamiento individuales se suministran entonces a los accionadores del miembro accesorio 17 de cada pala 15. Las ganancias se pueden determinar de modo que las señales de activación estén limitadas dentro de los límites superior y/o inferior. Las ganancias se aplican a la señal temporal, por lo que, en principio, se aplicarán a todas las frecuencias presentes en la señal. Sin embargo, el filtro normalmente se establece de modo que la frecuencia de la torre exista principalmente en la señal.

Las ganancias pueden tener un valor fijo o un valor variable. El valor variable se puede determinar basándose en la sensibilidad del miembro accesorio 17 activo en un punto operativo determinado. El valor variable solo puede aplicar una amortiguación en un punto operativo seleccionado.

Las señales de accionamiento generadas de este modo se suministran desde el controlador 9 de pérdida de compensación al sistema 3 de pérdida de compensación. El sistema 3 de pérdida de compensación comprende los miembros accesorios 17 activos y los accionadores de cada pala 15. Cada accionador funciona basándose en la señal de accionamiento asociada suministrada, de modo que los miembros accesorios 17 activos se accionan por los accionadores para alterar las propiedades aerodinámicas de las palas 15 correspondientes.

En la primera realización, se introduce una diferencia entre la referencia 1 de velocidad del rotor y la velocidad 4 del rotor en el controlador 2 de pérdida de compensación de velocidad. La salida del controlador 2 de pérdida de compensación de velocidad se introduce en el sistema 3 de pérdida de compensación junto con la señal de accionamiento que se emite desde el controlador 9 de pérdida de compensación, tal como se ha descrito anteriormente. Por lo tanto, los accionadores de los miembros accesorios 17 de cada pala 15 también tienen en cuenta la velocidad del rotor.

Además, una diferencia entre una salida del controlador 2 de pérdida de compensación de velocidad y la referencia 5 de pérdida de compensación se introduce en el controlador 6 de paso de pérdida de compensación. Una salida del controlador 6 de paso de pérdida de compensación se introduce en el sistema 7 de paso. El sistema 7 de paso comprende un accionador de paso para cambiar un ángulo de paso de la pala 15 correspondiente. El ángulo de paso es un ángulo de la pala 15 que se mide alrededor del eje longitudinal de la pala 15.

En la presente invención, los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica se amortiguan preferiblemente de manera exclusiva mediante el sistema 3 de pérdida de compensación, en donde el sistema 7 de paso no está implicado en el presente documento. Esto es particularmente una ventaja cuando se usan palas 15 grandes y pesadas, ya que el sistema 7 de paso se centra principalmente en el paso y no se sobrecarga por la pérdida de compensación como una tarea adicional. Como resultado, se pueden evitar la actividad de paso y los daños en el rodamiento de paso.

La **figura 4** muestra una relación entre las activaciones de paso y pérdida de compensación y la **figura 5** muestra una relación entre el coeficiente de empuje (C_t) y la activación de la pérdida de compensación, donde el ángulo de paso variará según la figura 4.

Para torres con frecuencias muy bajas o cimientos flotantes (que también tienen una frecuencia baja), donde la frecuencia del sistema es tan baja que interferirá con los controladores de velocidad y paso, la activación del sistema 3 de pérdida de compensación tendrá el impacto opuesto, ya que el ángulo de paso resultante cambiará el empuje con el signo opuesto.

En consecuencia, se aprovechará que hay una combinación de una activación del ángulo de paso y una activación de pérdida de compensación, donde la potencia y la velocidad serán las mismas, pero el empuje del rotor variará.

La **figura 6** muestra una implementación correspondiente del método para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica según una segunda realización que es adecuada para estas frecuencias de torre muy bajas o cimientos flotantes. Los mismos elementos de la primera realización de la figura 3 se designan con los mismos signos de referencia. En la segunda realización, una referencia de pérdida de compensación y una referencia de paso se calculan generalmente en función de las aceleraciones de la torre/góndola.

Con más detalle, se mide la aceleración hacia delante y hacia atrás de la torre para obtener la aceleración 8 de la torre. La aceleración 8 de la torre se introduce en el controlador 9 de pérdida de compensación de torre.

En el controlador 9 de pérdida de compensación de torre, se filtra al menos un componente de frecuencia de la aceleración medida y se determina una fase del al menos un componente de frecuencia filtrado. Posteriormente, las ganancias se aplican al, al menos, un componente de frecuencia filtrado que tiene la fase determinada para obtener señales de accionamiento para cada miembro accesorio 17.

La señal de accionamiento se suministra desde el controlador 9 de pérdida de compensación al sistema 3 de pérdida de compensación.

En la segunda realización, una diferencia entre la referencia 1 de velocidad del rotor y la velocidad 4 del rotor se introduce en el controlador 2 de pérdida de compensación de velocidad. La salida del controlador 2 de pérdida de compensación de velocidad se introduce en el sistema 3 de pérdida de compensación junto con la señal de accionamiento que se emite desde el controlador 9 de pérdida de compensación, tal como se ha descrito anteriormente. Por lo tanto, los accionadores de los miembros accesorios 17 de cada pala 15 también tienen en cuenta la velocidad del rotor.

El sistema 3 de pérdida de compensación comprende los miembros accesorios 17 activos y los accionadores de cada pala 15. Cada accionador funciona basándose en la señal de accionamiento suministrada, de modo que el accionador acciona el miembro accesorio 17 activo para que altere las propiedades aerodinámicas de la pala 15 correspondiente. Además, una diferencia entre una salida del controlador 2 de pérdida de compensación de velocidad y la referencia 5 de pérdida de compensación se introduce en el controlador 6 de paso de pérdida de compensación. Una salida del controlador 6 de paso de pérdida de compensación se introduce en el sistema 7 de paso. El sistema 7 de paso comprende un accionador de paso para cambiar un ángulo de paso de la pala 15 correspondiente. El ángulo de paso es un ángulo de la pala 15 que se mide alrededor del eje longitudinal de la pala.

En la segunda realización, la aceleración 8 de la torre medida se introduce adicionalmente en un controlador 10 de paso de torre. La salida del controlador 10 de paso de torre se introduce en el sistema 7 de paso junto con la salida del controlador 6 de paso de pérdida de compensación descrito anteriormente.

En la segunda realización, la aceleración 8 de la torre se tiene en cuenta en la referencia de paso, de modo que el sistema 7 de paso ayuda a amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de la torre.

La **figura 7** muestra una implementación del método para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica según una tercera realización. Los mismos elementos de la segunda realización de la figura 6 se designan con los mismos signos de referencia. La tercera realización es una alternativa a la segunda realización. En la tercera realización, la parte de pérdida de compensación de la amortiguación se calcula en función de la parte de paso de la amortiguación.

Se mide la aceleración hacia delante y hacia atrás de la torre para obtener la aceleración 8 de la torre. La aceleración 8 de la torre se introduce en el controlador 10 de paso de torre. Una salida del controlador 10 de paso de torre se introduce en el controlador 9 de pérdida de compensación de torre.

En el controlador 9 de pérdida de compensación de torre, se filtra al menos un componente de frecuencia de la aceleración medida y se determina una fase del al menos un componente de frecuencia filtrado. Posteriormente, se aplica una ganancia en el al menos un componente de frecuencia filtrado que tiene la fase determinada para obtener una señal de accionamiento. En la tercera realización, el proceso de filtrado y/o la aplicación de la ganancia se realizan teniendo en cuenta la salida del controlador 10 de paso de torre.

La señal de accionamiento se suministra desde el controlador 9 de pérdida de compensación al sistema 3 de pérdida de compensación. El sistema 3 de pérdida de compensación comprende los miembros accesorios 17 activos y los accionadores de cada pala 15. Cada accionador funciona basándose en la señal de accionamiento suministrada, de modo que el accionador acciona el miembro accesorio 17 activo para que altere las propiedades aerodinámicas de la pala 15 correspondiente.

En la tercera realización, se introduce una diferencia entre la referencia 1 de velocidad del rotor y la velocidad 4 del rotor en el controlador 2 de pérdida de compensación de velocidad. La salida del controlador 2 de pérdida de compensación de velocidad se introduce en el sistema 3 de pérdida de compensación junto con la señal de accionamiento que se emite desde el controlador 9 de pérdida de compensación, tal como se ha descrito anteriormente. Por lo tanto, los accionadores de los miembros accesorios 17 de cada pala 15 también tienen en cuenta la velocidad del rotor.

Además, una diferencia entre una salida del controlador 2 de pérdida de compensación de velocidad y la referencia 5 de pérdida de compensación se introduce en el controlador 6 de paso de pérdida de compensación. Una salida del controlador 6 de paso de pérdida de compensación se introduce en el sistema 7 de paso. El sistema 7 de paso comprende un accionador de paso para cambiar un ángulo de paso de la pala 15 correspondiente. El ángulo de paso es un ángulo de la pala 15 que se mide alrededor del eje longitudinal de la pala 15.

La salida del controlador 10 de paso de torre se introduce en el sistema 7 de paso junto con la salida del controlador 6 de paso de pérdida de compensación como se ha descrito anteriormente.

En la tercera realización, la referencia de pérdida de compensación también se determina basándose en el control de paso.

Cabe señalar que el término “que comprende” no excluye otros elementos o etapas y los artículos “un” o “una” no excluyen una pluralidad. También pueden combinarse elementos descritos asociados a distintas realizaciones. También hay que señalar que los signos de referencia de las reivindicaciones no deben interpretarse como una limitación del alcance de las mismas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica, en donde la turbina eólica comprende la torre y un rotor, estando el rotor montado en la parte superior de la torre para rotar alrededor de un eje de rotación en el que se producen los movimientos hacia delante y hacia atrás de la torre y el rotor tiene una pluralidad de palas (15), en donde cada pala (15) se puede mover para alterar un ángulo de paso de la misma y tiene al menos un miembro accesorio (17) activo correspondiente que se acciona mediante un accionador correspondiente para alterar las propiedades aerodinámicas de la pala (15); en donde cada miembro accesorio (17) está accionado por el accionador correspondiente para alterar las propiedades aerodinámicas de la pala (15) de manera que el rotor esté configurado para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de la torre de la turbina eólica, en donde el método comprende

 - a) medir una señal temporal que representa una aceleración, velocidad o posición hacia delante y hacia atrás de la torre o la góndola;
 - b) filtrar la señal temporal para extraer al menos un componente de frecuencia, en donde la etapa b) comprende además las siguientes subetapas:
 - compensar una fase de la señal temporal para el al menos un componente de frecuencia filtrado; y
 - aplicar las ganancias para obtener señales de accionamiento individuales para que cada accionador actúe sobre el al menos un componente de frecuencia; y
 - c) generar una señal de accionamiento para cada accionador basándose en el al menos un componente de frecuencia extraído y suministrar las señales de accionamiento a los accionadores para accionar el miembro accesorio (17) correspondiente; en donde el ángulo de paso se determina teniendo en cuenta la señal de accionamiento del accionador correspondiente.
2. El método según la reivindicación anterior, en donde la etapa de aplicar ganancias comprende una subetapa de limitar las señales de activación dentro de los límites superior y/o inferior.
3. El método según la reivindicación anterior, en donde la etapa b) se realiza usando al menos uno de un filtro de paso bajo y un filtro de paso de banda.
4. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de compensar una fase de la señal temporal se realiza usando una función de transferencia entre la aceleración medida y un cambio de empuje del rotor para compensar los posibles retrasos en la comunicación, la dinámica del accionador, los retrasos del accionador, los retrasos del sensor, los retrasos del sistema y la aerodinámica.
5. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las ganancias en la etapa de aplicar las ganancias tienen valores fijos.
6. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las ganancias en la etapa de aplicar las ganancias tienen valores variables que se determinan basándose en la sensibilidad del miembro accesorio activo correspondiente en un punto operativo determinado y/o que aplican una amortiguación solo en un punto operativo seleccionado.
7. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde
 - se puede mover cada pala (15) para alterar un ángulo de paso de la misma; y
 - el accionador correspondiente mueve el miembro accesorio (17) activo de cada pala (15) basándose en la señal de accionamiento, mientras que un ángulo de paso de la misma pala (15) se mantiene sin cambios.
8. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde
 - se puede mover cada pala (15) para alterar un ángulo de paso de la misma; y
 - el accionador correspondiente mueve el miembro accesorio (17) activo de cada pala (15) basándose en la señal de accionamiento, que tiene en cuenta un ángulo de paso de la misma pala (15).
9. Un dispositivo para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de una torre de una turbina eólica, en donde la turbina eólica comprende la torre y un rotor, estando el rotor montado en la parte superior de la torre para rotar alrededor de un eje de rotación en el que se producen los movimientos hacia delante y hacia atrás de la torre y el rotor tiene una pluralidad de palas (15), en donde cada pala (15) se puede mover para alterar un ángulo de paso de la misma y tiene al menos un miembro accesorio (17) activo correspondiente

que se acciona mediante un accionador correspondiente para alterar las propiedades aerodinámicas de la pala (15);

5 en donde cada miembro accesorio (17) es accionado por el accionador correspondiente para alterar las propiedades aerodinámicas de la pala (15) de manera que el rotor esté configurado para amortiguar los movimientos hacia delante y hacia atrás de la torre de la turbina eólica, **caracterizada porque** el dispositivo está configurado para realizar el método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

10 10. El dispositivo según la reivindicación anterior, en donde el dispositivo comprende, además:
un dispositivo de medición configurado para medir una señal temporal que representa una aceleración, velocidad o posición hacia delante y hacia atrás de la torre o la góndola;
15 un dispositivo de filtrado configurado para filtrar la señal temporal para extraer al menos un componente de frecuencia; y
un dispositivo de generación y suministro configurado para generar una señal de accionamiento para cada accionador basándose en el al menos un componente de frecuencia extraído y para suministrar las señales de accionamiento a los accionadores para accionar el miembro accesorio (17) correspondiente.

20 11. El dispositivo según la reivindicación anterior, en donde el dispositivo de filtrado comprende además al menos uno de:
un dispositivo de compensación configurado para compensar una fase de la señal temporal para el al menos un componente de frecuencia filtrado; y
25 un dispositivo de aplicación configurado para aplicar ganancias para obtener señales de accionamiento individuales para que cada accionador actúe sobre el al menos un componente de frecuencia.

30 12. El dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 10 y 11 anteriores, en donde el dispositivo de filtrado comprende al menos uno de un filtro de paso bajo y un filtro de paso de banda.

Figura 1

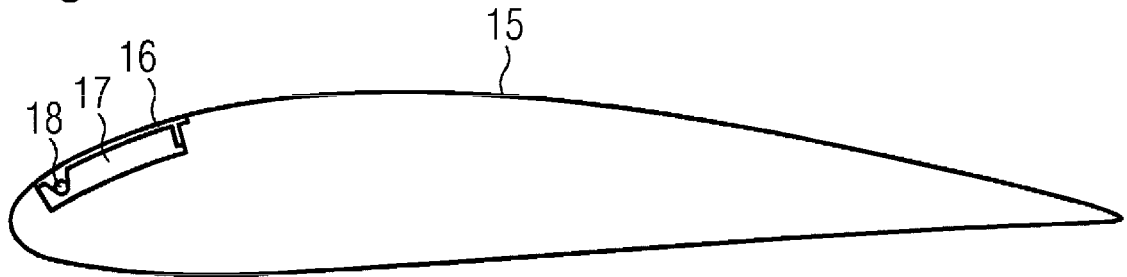


Figura 2

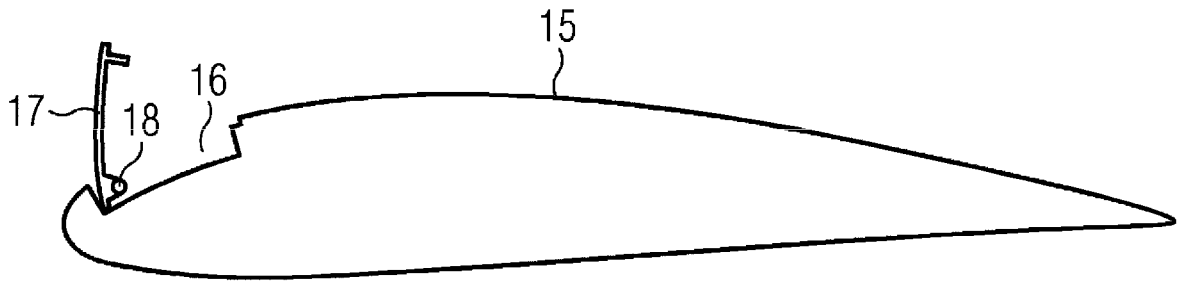


Figura 3

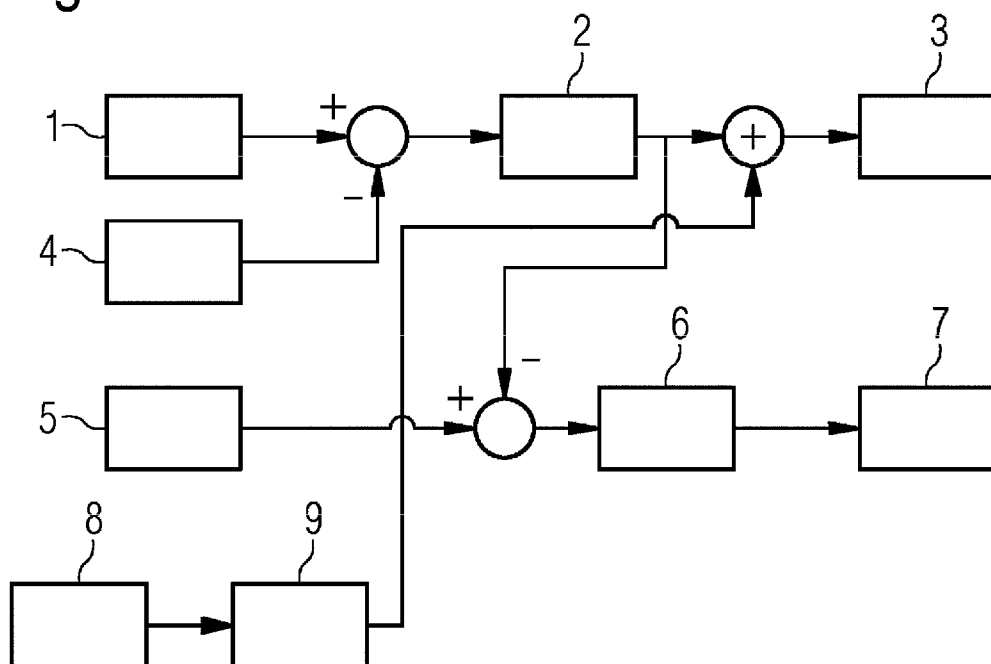


Figura 4

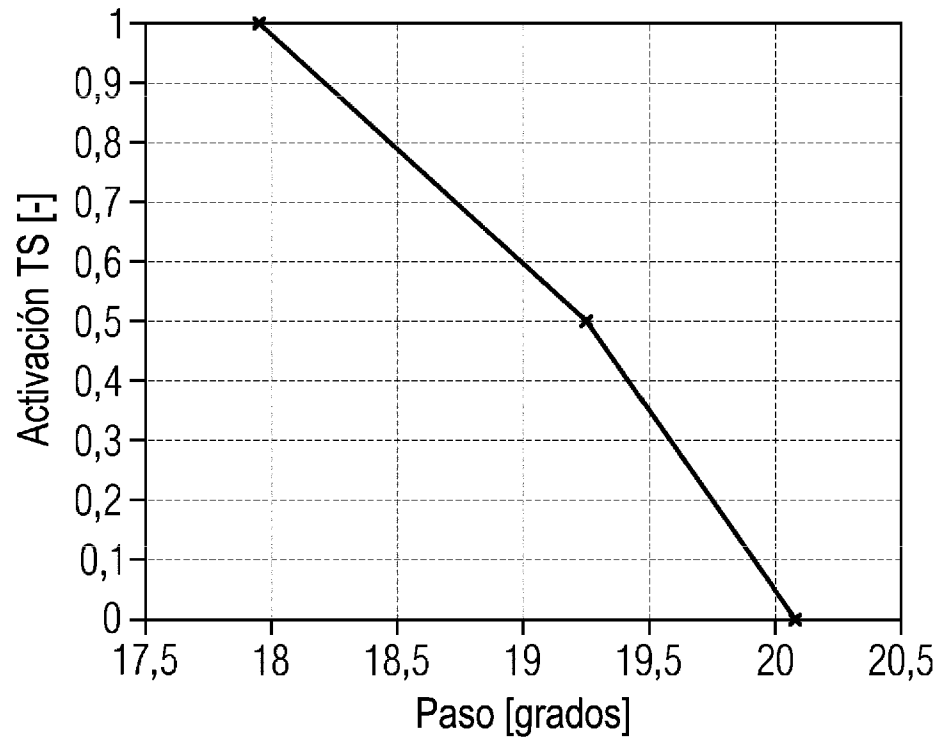


Figura 5

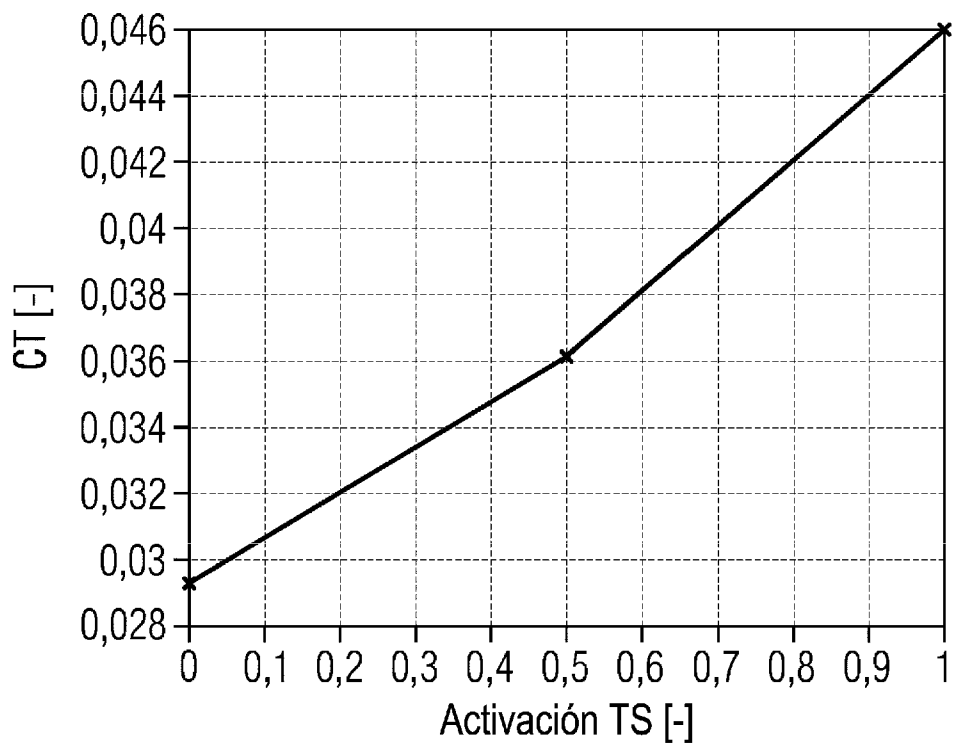


Figura 6

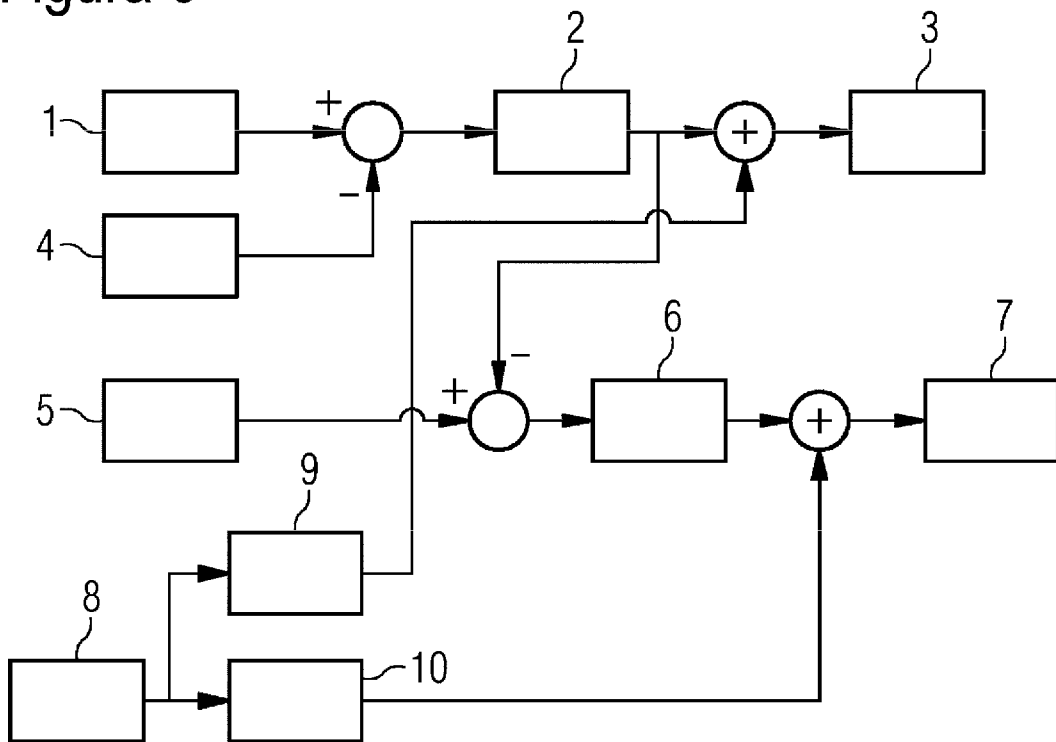


Figura 7

