

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 385 369**

51 Int. Cl.:  
**F03D 11/02** (2006.01)  
**F03D 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08156209 .2**  
96 Fecha de presentación: **14.05.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2119910**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.11.2009**

54 Título: **Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales en el tren de potencia de un aerogenerador**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**23.07.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**23.07.2012**

73 Titular/es:  
**ALSTOM WIND, S.L.U.**  
**C/ ROC BORONAT 78**  
**08005 BARCELONA, ES**

72 Inventor/es:  
**Castell Martínez, Daniel y**  
**Casanovas Bermejo, Carlos**

74 Agente/Representante:  
**Zea Checa, Bernabé**

ES 2 385 369 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**

Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales en el tren de potencia de un aerogenerador.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de control de un aerogenerador. Más concretamente, se refiere a un procedimiento de control de un aerogenerador en el caso de pérdida de red.

10 Los aerogeneradores modernos se utilizan comúnmente para suministrar electricidad a la red eléctrica. Los aerogeneradores de este tipo generalmente comprenden un rotor con una pluralidad de palas. El rotor con las palas gira bajo la influencia del viento sobre las palas. El giro del eje del rotor acciona directamente el rotor del generador ("accionamiento directo") o bien mediante el uso de un reductor.

15 Durante el funcionamiento normal, la velocidad de giro del aerogenerador se controla mediante el par magnético que actúa sobre el generador y el par aerodinámico que actúa sobre el rotor. Además, normalmente se prevén sistemas de frenado.

20 Son conocidas diversas maneras de controlar el par aerodinámico que actúa sobre el rotor de los aerogeneradores. En aerogeneradores con regulación de la inclinación de las palas, las palas del rotor pueden girar alrededor de su eje longitudinal para controlar el ángulo de ataque del viento sobre las palas. En aerogeneradores con orientación de las palas fija, a medida que aumenta la velocidad del viento por encima de una determinada velocidad se produce automáticamente un bloqueo en las palas. Por ello, el par aerodinámico está limitado.

25 Los sistemas de frenado actúan, en general, mecánicamente sobre el eje de baja velocidad o sobre el eje de alta velocidad. También son conocidos sistemas de frenado que actúan eléctricamente en el generador. En aerogeneradores con regulación de la inclinación de las palas, la inclinación de las palas hacia su posición en la que ofrecen la mínima resistencia se utiliza para reducir la velocidad del aerogenerador. El freno (mecánico) sólo se utiliza para detener completamente el aerogenerador, o para mantener el aerogenerador en su posición de parada.

30 Tal como se ha mencionado anteriormente, durante el funcionamiento normal la velocidad de giro del aerogenerador se controla mediante, entre otros, el par magnético que actúa sobre el generador. Los componentes del tren de potencia (eje del rotor o eje de baja velocidad, reductor, eje de alta velocidad, generador) se deforman elásticamente bajo la influencia del par aerodinámico que actúa sobre el rotor y el par magnético que actúa sobre el generador. En esta deformación elástica se almacena energía potencial. Cuando se produce una pérdida de red, el par magnético en el generador se pierde de repente y la energía potencial del tren de potencia se convierte en energía cinética. Como resultado, el tren de potencia sufre oscilaciones torsionales. Estas oscilaciones pueden ser muy perjudiciales especialmente para el reductor y pueden reducir significativamente su vida útil.

35 En la técnica anterior, son conocidos varios procedimientos para tratar una pérdida de red y para reducir oscilaciones torsionales. WO 2007/082642 describe un procedimiento para tratar una pérdida de red reduciendo el ángulo de inclinación de las palas del rotor, seguido de la aplicación de un freno mecánico sobre el eje de alta velocidad. WO 2004/098968 describe un procedimiento de frenado en caso fallo de la red. El dispositivo de frenado actúa sobre el eje de alta velocidad. La presión hidráulica del freno se controla hasta que el aerogenerador se detiene completamente. El dispositivo y su procedimiento de control están especialmente adaptados para ser utilizados en aerogeneradores con orientación de las palas fija. WO 03/040556 describe un procedimiento para frenar el aerogenerador destinado a evitar oscilaciones torsionales. En el procedimiento, el par de deceleración del freno se regula en una secuencia de tiempo predeterminada, en base a la frecuencia natural del convertidor de energía eólica. US 6.254.197 describe un sistema alternativo de frenado hidráulico y un procedimiento para controlarlo. Un procedimiento particular descrito prescribe aplicar primero unos frenos aerodinámicos (puntas móviles de las palas) y tras un período de 15 segundos aplicar el freno mecánico.

50 Los procedimientos de la técnica anterior son complicados y por lo tanto costosos. Además, no siempre han dado resultados satisfactorios. Así, existe la necesidad de un procedimiento mejorado de control de un aerogenerador en el caso de pérdida de red, que sea fiable y fácilmente aplicable a aerogeneradores actuales.

55 La presente invención pretende conseguir este objetivo. El objetivo se consigue mediante un procedimiento según la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se describen otras realizaciones ventajosas.

60 En el caso de pérdida de red, se aplica un par de frenado al tren de potencia durante un período de tiempo, dicho período de tiempo se determina como una función de la frecuencia de resonancia torsional del tren de potencia. El tren de potencia del aerogenerador tiene una frecuencia de resonancia torsional que es única para cada tren de potencia y por lo tanto para cada tipo de aerogenerador. Tras una pérdida de red, el par magnético del generador desaparece y el tren de potencia comenzará a oscilar con una frecuencia que es su frecuencia de resonancia torsional. Al determinar el período de frenado, por lo tanto, esta frecuencia debe tenerse en cuenta. De este modo, la manera de poner en práctica la invención es determinar la frecuencia de resonancia del tren de potencia, para determinar (calcular) el período de frenado deseado como una función de esta frecuencia de resonancia y tras una pérdida de red, aplicar el freno durante el período de frenado determinado.

Preferiblemente, dicho período de tiempo se determina también como una función del retardo que se produce entre el momento en que se produce una pérdida de red y el momento de aplicar el par de frenado. Para obtener resultados óptimos en la reducción de oscilaciones torsionales, el freno sólo debe activarse en el período inmediatamente posterior a la pérdida de red en el que el par del eje de baja velocidad disminuye, es decir, el período en que el tren de potencia “se relaja”. Aplicar el freno cuando el par en el eje de baja velocidad aumenta podría tener el resultado de aumentar las oscilaciones torsionales. Por lo tanto, preferiblemente también se tiene en cuenta el retardo que se produce entre el momento de pérdida de red y el momento de aplicar el par de frenado para determinar el período de frenado. De acuerdo con este procedimiento preferido, la manera de poner en práctica la invención es, por lo tanto, determinar la frecuencia de resonancia del tren de potencia para determinar el retardo que se produce entre el momento de pérdida de red y el momento de aplicar el par de frenado y entonces determinar (calcular) el período de frenado deseado como una función de estos dos parámetros y tras una pérdida de red, aplicar el freno durante el período de frenado determinado.

Preferiblemente, el freno se activa de manera sustancialmente inmediata tras detectar una pérdida de red.

Puede utilizarse cualquier sistema de frenado en el procedimiento de acuerdo con la invención y cada sistema de frenado tendrá un tiempo de reacción mínimo inherente. Cuanto antes reaccione el sistema de frenado a la pérdida de red, mayor duración tendrá el par de frenado que puede aplicarse mientras el tren de potencia se encuentra todavía relajado.

Preferiblemente, se determina que dicho período de tiempo es entre un 50% y un 100% de un período máximo permitido, determinándose dicho período permisible máximo como la mitad del período de resonancia torsional del tren de potencia menos el retardo entre el momento en que se produce una pérdida de red y el momento en el que se aplica el par de frenado.

Más preferiblemente, dicho período de tiempo se determina que es entre un 70% y un 100%, y más preferiblemente entre un 80% y un 100% de dicho período máximo permitido.

En otras palabras, dicho período de tiempo se selecciona idealmente para que sea menos de la mitad del período de resonancia torsional del tren de potencia menos el retardo que se produce entre el momento de la pérdida de red y el momento en el que se aplica el par de frenado, es decir, se determina que el período de frenado máximo sea de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$T_{max\_brake} = 0,5 \cdot t_{resonance\_period\_power\_train} - t_{delay}$$

Tal como se ha mencionado anteriormente, para obtener resultados óptimos en la reducción de las oscilaciones torsionales, el freno sólo debe activarse en el período inmediatamente posterior a la pérdida de red en el que el par del eje de baja velocidad disminuye, es decir, el período en el que el tren de potencia “se relaja”. El tren de potencia se relaja durante la primera mitad del primer período de oscilación torsional. Idealmente, el freno debe activarse durante todo este tiempo. Sin embargo, ningún sistema de frenado puede reaccionar sin retardo. Por lo tanto, este retardo (el tiempo entre el momento de pérdida de red y el momento en el que se aplica el par de frenado) debe descontarse de este período de media oscilación para determinar el período máximo de frenado. De este modo, la fórmula proporciona el período de frenado máximo. El freno se aplica idealmente mientras sea posible (para que tenga su máximo efecto) en este período de frenado máximo.

Preferiblemente, el período de frenado es de aproximadamente 0,4 segundos. Se ha encontrado que un período de frenado de aproximadamente 0,4 segundos es lo suficientemente largo para reducir significativamente las oscilaciones torsionales y al mismo tiempo es tan corto que el par del eje de baja velocidad todavía está disminuyendo.

Preferiblemente, el par de frenado se aplica durante un único período de tiempo corto. Tras desactivar el freno, no es necesario reactivar el freno para reducir más las oscilaciones torsionales.

Preferiblemente, el par de frenado que se aplica mediante el freno se determina teniendo en cuenta la velocidad del viento en el momento de la pérdida de red. Más preferiblemente, el par de frenado se determina teniendo en cuenta el par aerodinámico que actúa sobre el rotor. Alternativamente, el par de frenado se determina teniendo en cuenta la energía eléctrica generada por el generador en el momento de la pérdida de red. Los resultados más ventajosos no se obtienen necesariamente aplicando el mayor par de torsión de frenado disponible. Más bien existe un par de frenado óptimo para utilizarse en el procedimiento.

Durante el funcionamiento de un aerogenerador normalmente se miden las velocidades del viento existente. Por lo tanto, una manera de determinar el par de frenado óptimo es tener en cuenta la velocidad del viento en el momento de la pérdida de red.

Una manera más precisa de determinar el par de frenado óptimo tiene en cuenta el par aerodinámico en el momento de la pérdida de red. El par de aerodinámico en ese momento no sólo depende de la velocidad del viento, sino también por ejemplo, del ángulo de inclinación de las palas. Más preferiblemente, el par de frenado óptimo se determina teniendo en cuenta el período de frenado, el retardo que se produce entre el momento de la pérdida de red y el momento en que se aplica el par de frenado, y el par aerodinámico en el momento de pérdida de red. Esto puede expresarse mediante la siguiente fórmula:  $M_{brake,opt} = k \cdot M_{aero}$

En esta fórmula,  $M_{brake,opt}$  es el par de frenado óptimo y  $M_{aero}$  es el par aerodinámico en el rotor en el momento de la pérdida de red.  $k$  es un coeficiente que se determina para cada tipo de aerogenerador de acuerdo con el período de frenado y el retardo que se produce entre el momento de la pérdida de red y el momento en que se aplica el par de frenado.  $k$  por lo tanto tendrá un valor único para cada tipo de aerogenerador.

Una complicación es que generalmente los aerogeneradores no comprenden un sistema para medir directamente el par aerodinámico. Para superar esta complicación, se mide la energía eléctrica y el par aerodinámico puede determinarse entonces utilizando la siguiente fórmula:

$$M_{aero\_HSS} = \frac{P_{electr}}{\omega_{HSS}}$$

En esta fórmula,  $M_{aero\_HSS}$  es el par (aerodinámico) en el eje de alta velocidad,  $P_{electr}$  es la energía eléctrica generada por el generador en el momento de la pérdida de red y  $\omega_{HSS}$  es la velocidad de giro del eje de alta velocidad. La fórmula proporciona una estimación muy buena del par aerodinámico. Por lo tanto, utilizando la energía eléctrica generada por el generador en el momento de la pérdida de red (que de todos modos se mide en los aerogeneradores actuales) es una buena manera de determinar el par de frenado óptimo.

En conclusión, el par de frenado óptimo puede determinarse teniendo en cuenta el par aerodinámico que actúa sobre el rotor en el momento de la pérdida de red. Una etapa intermedia en este procedimiento puede ser la estimación del par aerodinámico utilizando la fórmula anterior. Alternativamente, el par de frenado óptimo se determina directamente a través de la medición de la energía eléctrica generada por el generador en el momento de la pérdida de red.

Opcionalmente, el freno sólo se activa si la pérdida de red se produce en un momento de altas velocidades de viento. De este modo se reduce la complejidad del sistema, lo cual da lugar a una reducción de costes adicional. Esta opción es especialmente preferible si se determina que el efecto de las oscilaciones torsionales a bajas velocidades de viento no produce un daño inaceptable.

Otra opción es aplicar el procedimiento de frenado cada vez que se produzca una pérdida de red, independientemente de la velocidad del viento. El sistema será más complicado dado que será necesario un algoritmo de control más complejo. Sin embargo, las oscilaciones torsionales pueden reducirse ventajosamente en cualquier situación de pérdida de red.

Preferiblemente, se dispone un sistema de inclinación en el aerogenerador y el sistema de inclinación también se activa inmediatamente tras una pérdida de red de manera que, tras liberar el freno, el control de la inclinación de las palas del rotor se utiliza para reducir más la velocidad del aerogenerador. El freno mecánico actúa sobre el tren de potencia más directamente que el sistema de inclinación. El freno mecánico, por lo tanto, es más adecuado para reducir las oscilaciones torsionales inmediatamente. Tras liberar el freno, sólo se requiere que el sistema de inclinación reduzca la velocidad del aerogenerador. En caso de pérdida de red, ambos sistemas se activan. La combinación del freno mecánico y la inclinación de las palas reduce significativamente las oscilaciones torsionales y puede garantizar una desactivación adecuada del aerogenerador. El freno sólo se utiliza de nuevo para detener completamente el aerogenerador, o para mantener el aerogenerador en su posición de parada.

En el procedimiento puede utilizarse en principio cualquier tipo de freno. Ventajosamente, el freno, que está presente para desactivar completamente el aerogenerador también se utiliza en el procedimiento de frenado en caso de pérdida de red de acuerdo con la invención. No es necesario disponer un freno independiente.

En principio puede utilizarse cualquier forma de mecanismo de accionamiento (hidráulico, eléctrico, etc.) para el sistema de frenado. Sin embargo, es necesario que el sistema sea operativo en caso de pérdida de red. Esto significa que el sistema debe ser capaz de funcionar en ausencia de suministro de electricidad de red. Puede disponerse una batería en caso de sistema de frenado eléctrico. Para un aerogenerador que comprende un freno hidráulico puede disponerse un depósito de líquido hidráulico.

Otras posibles realizaciones de la invención y sus ventajas se explicarán con referencia a las figuras. Las figuras muestran:

- La figura 1 un aerogenerador con un sistema de frenado en el cual puede aplicarse el procedimiento de acuerdo con la invención.
- 5 La figura 2 una simulación de oscilaciones torsionales en el eje del rotor tras una pérdida de red a una velocidad del viento de 7 m/s.
- La figura 3 una vista más detallada de los dos segundos tras la pérdida de red de la figura 2.
- 10 La figura 4 es una simulación de oscilaciones torsionales en el eje del rotor tras una pérdida de red a una velocidad del viento de 12 m/s.
- La figura 5 una vista más detallada de los dos segundos tras la pérdida de red de la figura 4.
- 15 La figura 6 una simulación de oscilaciones torsionales en el eje del rotor tras una pérdida de red a una velocidad del viento de 25 m/s.
- La figura 7 una simulación de oscilaciones torsionales en el eje del rotor tras una pérdida de red a una velocidad del viento de 7 m/s para diferentes pares de frenado, ambos aplicando el procedimiento de acuerdo con la presente invención.
- 20 La figura 8 una simulación de oscilaciones torsionales en el eje del rotor tras una pérdida de red a una velocidad del viento de 12 m/s para diferentes pares de frenado, ambos aplicando el procedimiento de acuerdo con la presente invención.
- 25 Con referencia a la figura 1, se muestra un dibujo esquemático de un aerogenerador. El rotor 10 comprende una pluralidad de palas. Las palas están montadas en el eje del rotor (también: eje de baja velocidad) 12. El reductor 11 transforma el movimiento giratorio del eje del rotor en un movimiento giratorio del eje de alta velocidad 13. Un disco de freno 14 está montado en el eje de alta velocidad. El signo de referencia 15 indica un freno hidráulico. En esta figura se muestra una posible realización del sistema de frenado que puede utilizarse en el procedimiento de acuerdo con la presente invención. En principio, podría aplicarse, sin embargo, cualquier forma de freno en el procedimiento de acuerdo con la invención.
- 30 El eje de alta velocidad 13 pone en movimiento el rotor del generador 16. La electricidad generada por el generador se suministra a la red eléctrica 18 a través de unos componentes eléctricos adecuados, indicados en conjunto con el signo de referencia 17. El signo de referencia 19 indica un sistema de inclinación de las palas, que puede girar las palas alrededor largo de su eje longitudinal. En el procedimiento de acuerdo con la presente invención no es necesario un sistema de inclinación. Sin embargo, es preferible disponer uno.
- 35 La figura 2 muestra los resultados de una simulación de la oscilación torsional en el tren de potencia de un aerogenerador. En el instante  $t = 5$  se produce una pérdida de red. La velocidad del viento existente en el momento en que se produce la pérdida de red es de 7 m/s. Las oscilaciones torsionales en el tren de potencia se muestran para dos casos distintos. En el primer caso (línea de puntos de la figura 2), no se aplica ningún par de frenado, es decir, el freno no está activado. Puede observarse que las oscilaciones torsionales son de una magnitud elevada y las oscilaciones solamente se extinguen de manera muy gradual. En el segundo caso (línea continua de la figura 2), se aplica un par de frenado durante un período de 0,4 segundos, con un retardo tras la pérdida de red de 0,05 segundos. El freno se aplica preferiblemente tan pronto como sea posible tras la pérdida de red. En la simulación se utilizó el retardo de 0,05 segundos, ya que se estimó que era el tiempo de reacción mínimo del sistema de frenado.
- 40 Para el procedimiento de acuerdo con la invención, el período de frenado no tiene que ser necesariamente de 0,4 segundos. Pueden obtenerse también resultados ventajosos con diferentes períodos de frenado (que se encuentran dentro del alcance de las reivindicaciones).
- 45 En la figura 2 puede apreciarse que la aplicación del par de frenado durante un único período de tiempo corto reduce significativamente la magnitud de las oscilaciones torsionales. Adicionalmente, y como resultado de esto, las oscilaciones torsionales se extinguen antes.
- 50 La figura 3 muestra los resultados de la misma simulación que en la figura 2, pero muestra una vista más detallada de los primeros 2 segundos tras producirse una pérdida de red.
- 55 Las figuras 4 y 5 muestran simulaciones similares, pero a una velocidad de viento de 12 m/s. También aquí, la pérdida de red se produce en el instante  $t = 5$ , se aplica un período de frenado de 0,4 segundos tras un retardo de 0,05 segundos. Se obtienen resultados similares. Aplicando el procedimiento de acuerdo con la invención se reducen las oscilaciones torsionales. Comparando los resultados de las figuras 4 y 5 con los de las figuras 2 y 3, es evidente que la magnitud de las oscilaciones torsionales es mayor a una velocidad del viento de 12 m/s que a una velocidad del viento de 7 m/s.
- 60
- 65

La figura 6 muestra las oscilaciones torsionales cuando se produce una pérdida de red a una velocidad del viento de 25 m/s. Una vez más se muestra la reducción de oscilaciones torsionales (línea continua en la figura 6) que puede obtenerse utilizando el procedimiento de acuerdo con la invención.

5 Las oscilaciones torsionales resultantes a diferentes velocidades del viento varían en magnitud. A velocidades de viento mayores, las oscilaciones torsionales son mayores y por lo tanto el daño potencial a los componentes del tren de potencia también es mayor. Si la reducción de costes es el objetivo más importante, puede seleccionarse, por lo tanto, implementar el procedimiento de frenado solamente si la pérdida de red se produce en un momento de alta  
10 velocidad del viento existente. Si la pérdida de red se produce a velocidades de viento bajas, los frenos no se activarían y las oscilaciones torsionales continuarían durante un tiempo más largo. Esto podría considerarse aceptable en determinados casos.

15 Sin embargo, si esto no se considera aceptable, el procedimiento de frenado podría implementarse en cualquier caso de pérdida de red, tanto a altas como a bajas velocidades del viento.

La figura 7 muestra los resultados de una simulación de oscilaciones torsionales en el tren de potencia tras una pérdida de red a una velocidad del viento de 7 m/s para diferentes pares de frenado, ambos aplicando el  
20 procedimiento de acuerdo con la presente invención. A partir de esta figura puede apreciarse que los resultados más ventajosos no se obtienen necesariamente aplicando el mayor par de frenado. Las oscilaciones torsionales se reducen si se aplica un par de frenado de 3000 Nm en comparación a cuando se aplica un par de frenado de 4000 Nm.

25 La figura 8 muestra los resultados de una simulación de oscilaciones torsionales en el tren de potencia tras una pérdida de red a una velocidad del viento de 12 m/s para diferentes pares de frenado, ambos aplicando el procedimiento de acuerdo con la presente invención.

Las figuras 7 y 8 muestran que al aplicar el procedimiento de acuerdo con la invención existe una determinada torsión de frenado óptima. El aumento del par de frenado más allá de este óptimo aumenta las oscilaciones  
30 torsionales respecto a la situación óptima. En el procedimiento de acuerdo con la invención es preferible determinar el par de frenado teniendo en cuenta la velocidad del viento. Es más preferible tener en cuenta el par aerodinámico que actúa sobre el rotor en el momento de una pérdida de red para determinar el par de frenado óptimo.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales en el tren de potencia de un aerogenerador en caso de pérdida de red, caracterizado por el hecho de que
- tras una pérdida de red se aplica un par de frenado al tren de potencia durante un período de tiempo, determinándose dicho período de tiempo como una función de la frecuencia de resonancia torsional del tren de potencia.
- 10 2. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que dicho período de tiempo también se determina como una función del retardo que se produce entre el momento de pérdida de red y el momento en que se aplica el par de frenado.
- 15 3. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el par de frenado sustancialmente se aplica inmediatamente después de producirse una pérdida de red.
- 20 4. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según la reivindicación 2 o 3, caracterizado por el hecho de que se determina que dicho período de tiempo es entre un 50% y un 100% de un período máximo permitido, determinándose dicho período máximo permitido como la mitad del período de resonancia torsional del tren de potencia menos el retardo que se produce entre el momento en que se produce una pérdida de red y el momento en que se aplica el par de frenado.
- 25 5. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de que se determina que dicho período de tiempo se encuentra entre un 70% y un 100%, y preferiblemente entre un 80% y un 100% de dicho período máximo permitido.
- 30 6. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que dicho período de tiempo es de aproximadamente 0,4 segundos.
- 35 7. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el par de frenado se aplica durante un único período de tiempo.
8. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el par de frenado que se aplica al tren de potencia se determina teniendo en cuenta la velocidad del viento en el momento en que se produce una pérdida de red.
- 40 9. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según la reivindicación 8, caracterizado por el hecho de que el par de frenado que se aplica al tren de potencia se determina teniendo en cuenta el par aerodinámico que actúa sobre el rotor en el momento de pérdida de red.
- 45 10. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el par de frenado que se aplica al tren de potencia se determina teniendo en cuenta la energía eléctrica generada por el generador en el momento de pérdida de red.
- 50 11. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según la reivindicación 8, 9 o 10, caracterizado por el hecho de que el par de frenado que se aplica al tren de potencia se determina teniendo en cuenta también el retardo entre el momento en que se produce una pérdida de red y el momento en que se aplica el par de frenado, y el período de frenado.
- 55 12. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el par de frenado se aplica solamente si la pérdida de red se produce a una velocidad del viento por encima de una velocidad del viento mínima predeterminada.
- 60 13. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el par de frenado se aplica independientemente de la velocidad del viento existente en la pérdida de red.
- 65 14. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que un sistema de control de la inclinación de las palas del aerogenerador también se activa sustancialmente inmediatamente después de una pérdida de red de manera que, tras liberar el freno, el control de la inclinación de las palas del rotor se utiliza para reducir la velocidad del aerogenerador.
15. Procedimiento para reducir oscilaciones torsionales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el par de frenado actúa sobre el eje de alta velocidad del tren de potencia.

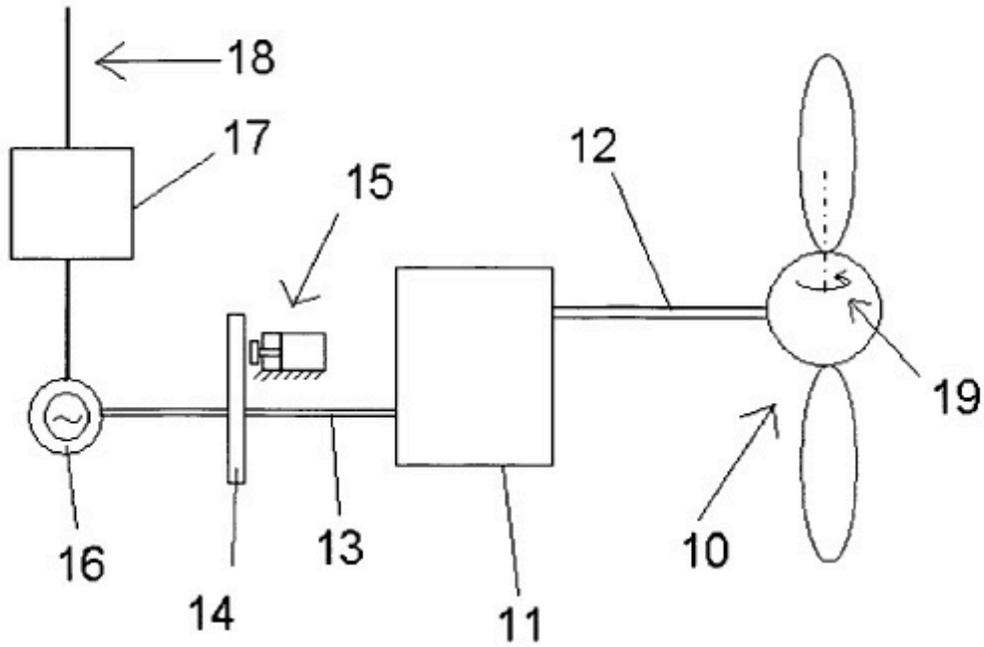


Figura 1

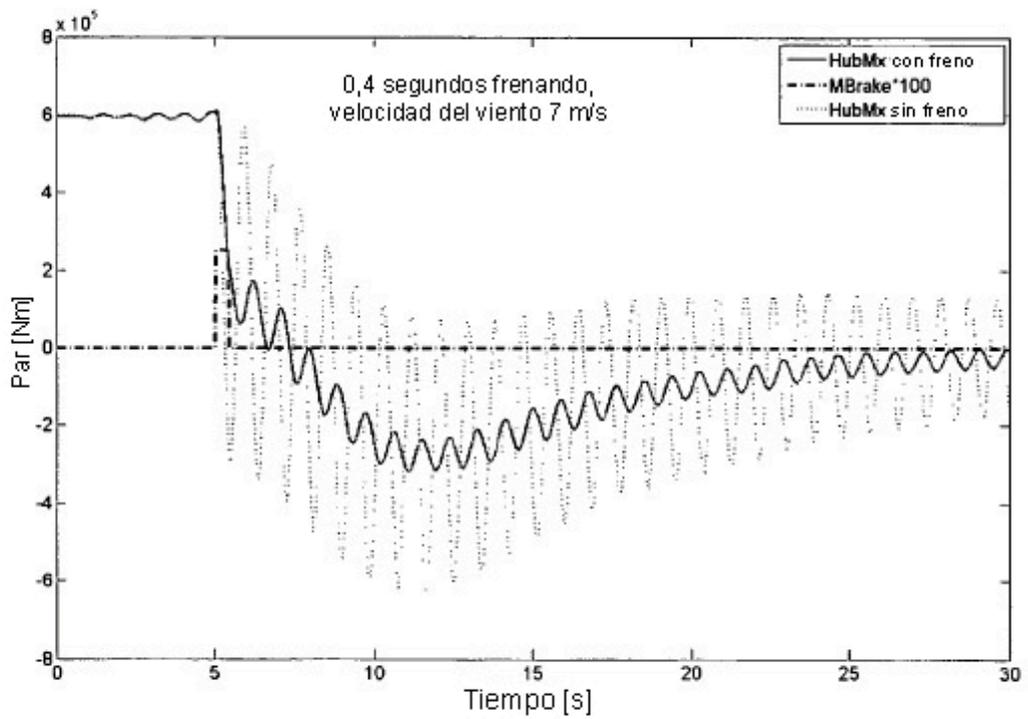


Figura 2

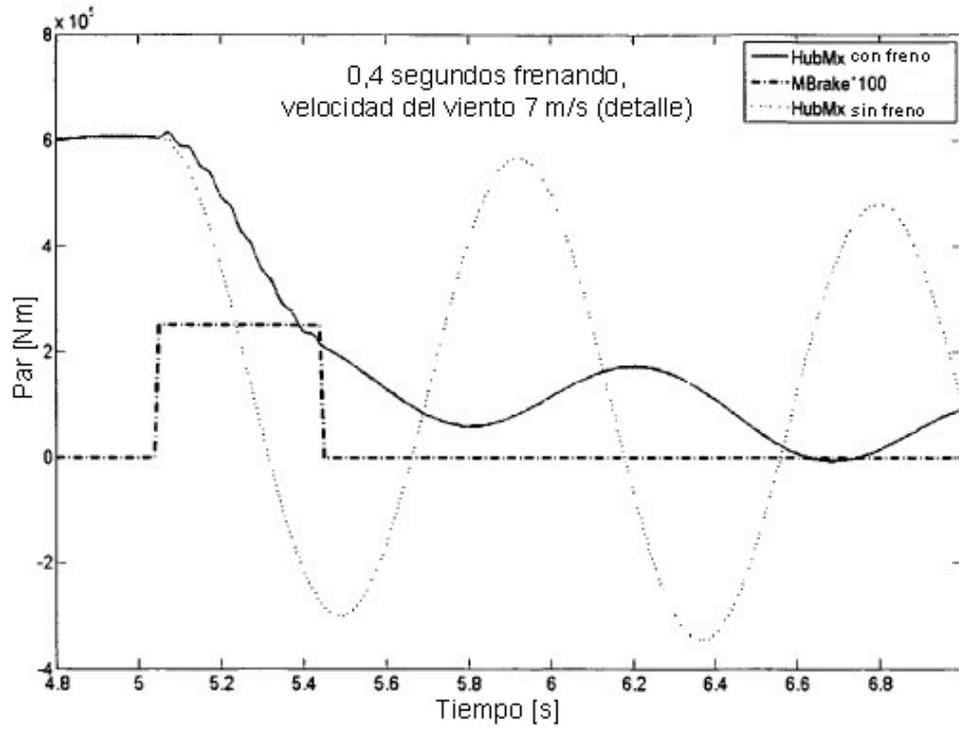


Figura 3

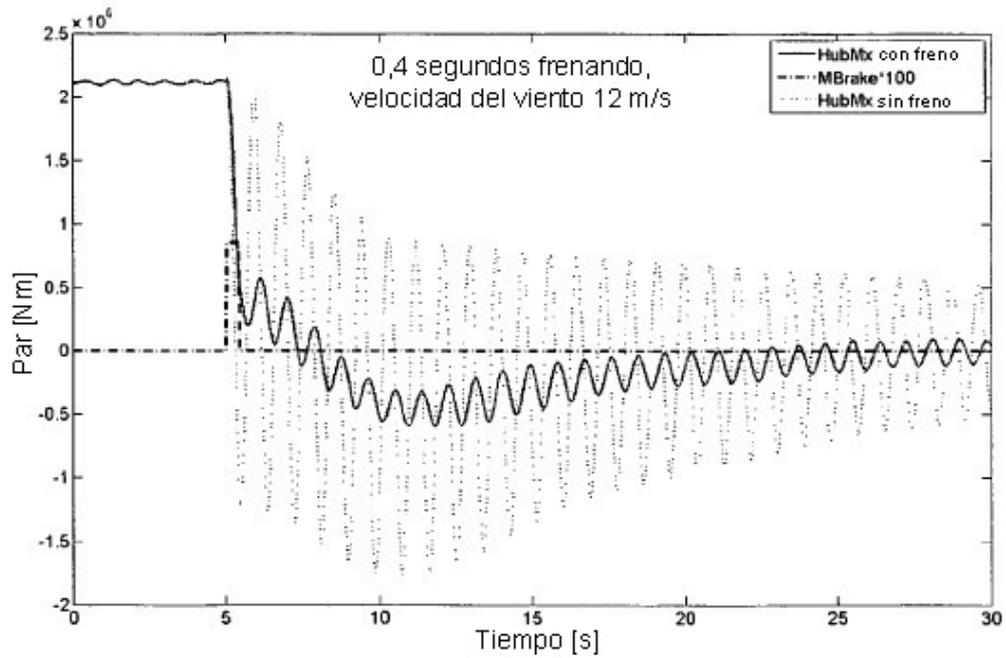


Figura 4

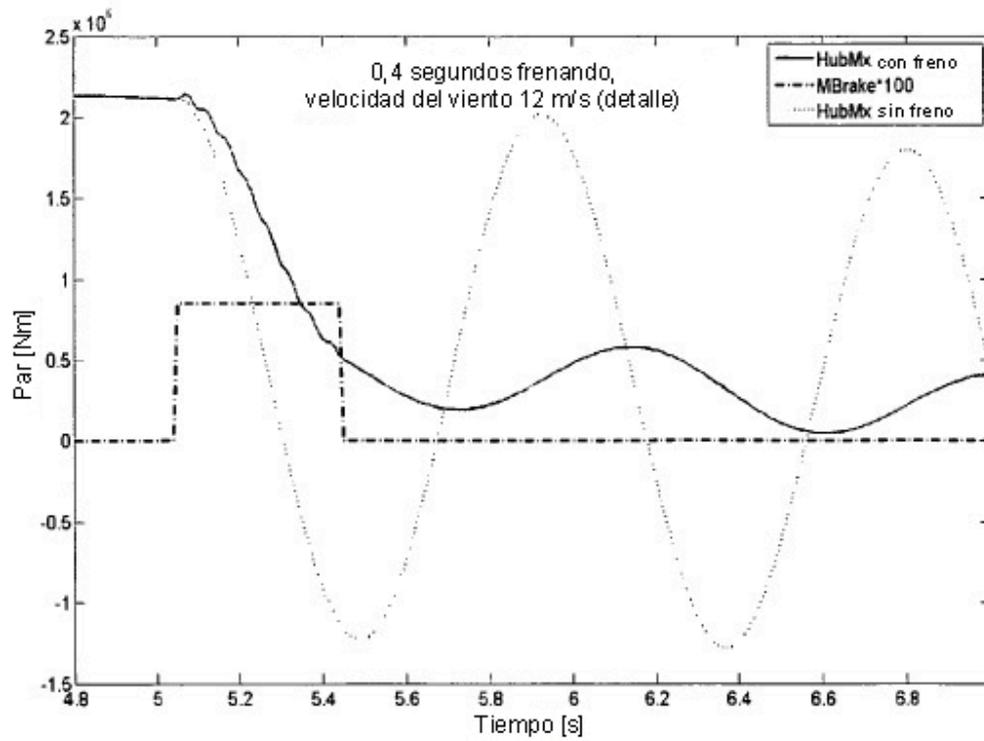


Figura 5

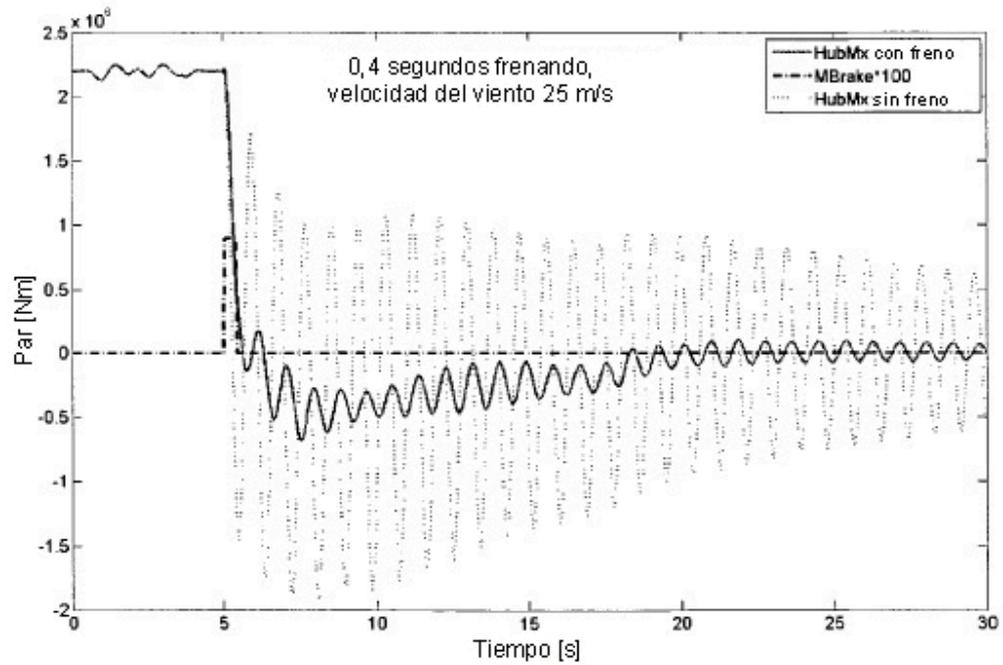


Figura 6

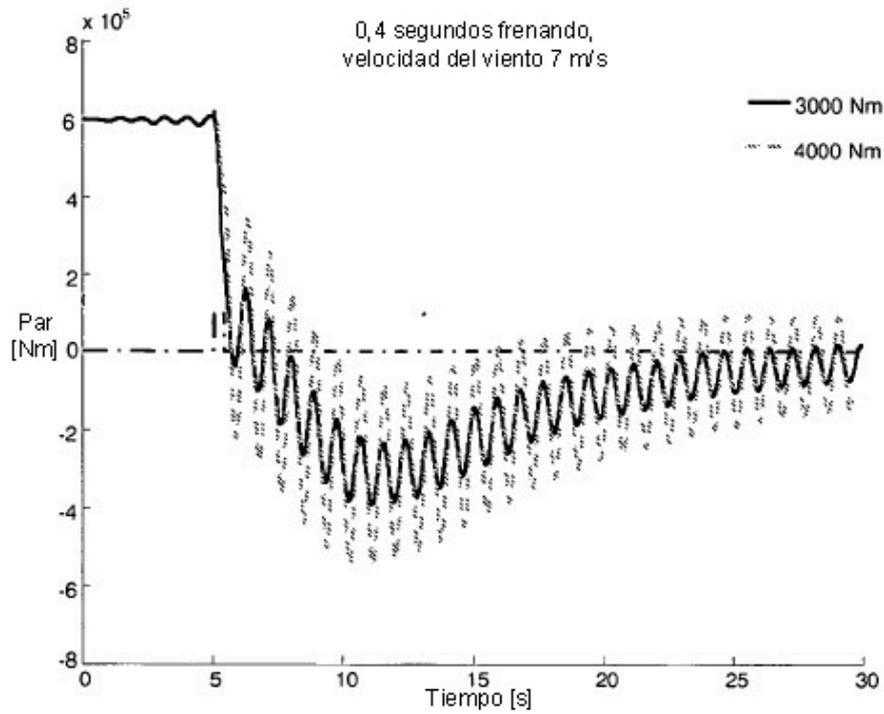


Figura 7

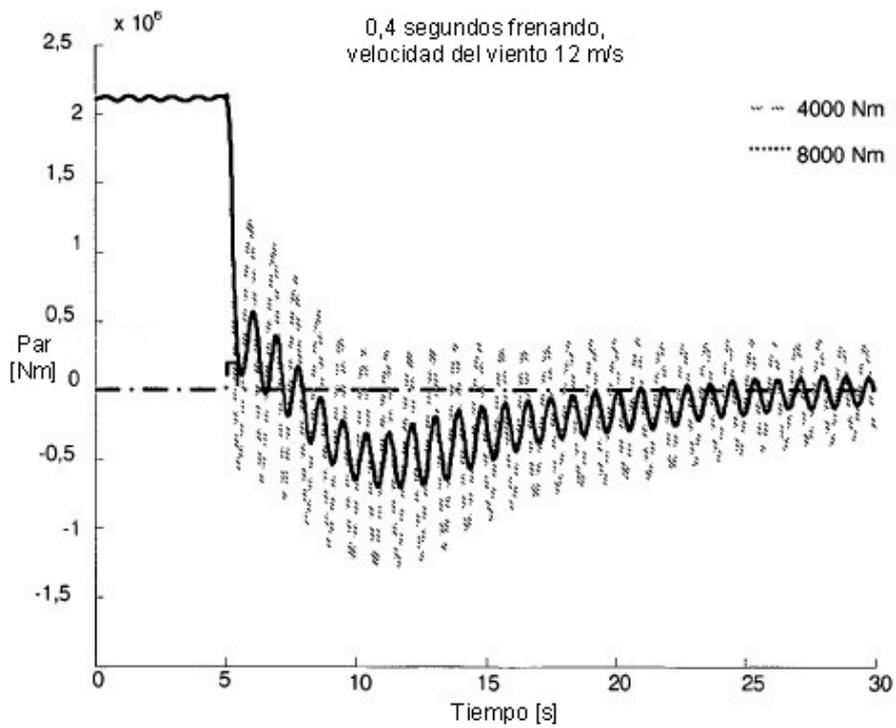


Figura 8

**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

5 *Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.*

**Documentos de patentes citados en la descripción**

- 10 • WO 2007082642 A           • WO 03040556 A  
• WO 2004098968 A           • US 6254197 B