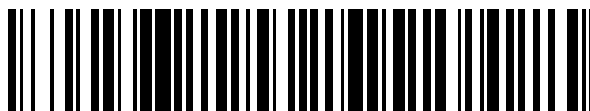


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 755 000**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.09.2007 PCT/DK2007/000404**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.03.2008 WO08031433**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2007 E 07801372 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2019 EP 2061967**

54 Título: **Métodos para controlar una turbina eólica conectada a la red de suministro eléctrico, turbina eólica y parque eólico**

30 Prioridad:

14.09.2006 DK 200601186

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

21.04.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

NYBORG, ANDERS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 755 000 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

Métodos para controlar una turbina eólica conectada a la red de suministro eléctrico, turbina eólica y parque eólico

5 Campo de la invención

La invención se refiere a métodos para controlar una turbina eólica conectada a la red de suministro eléctrico, una turbina eólica y un parque eólico.

10 Descripción de la técnica relacionada

Las empresas de redes de suministro eléctrico nacionales exponen las estrategias y los requisitos para la conexión de los equipos de generación de energía a la red de suministro eléctrico. Estos requisitos de conexión están detallados en los Códigos de red y varían de una nación a otra.

15 Uno de los temas tratados en los códigos de red es la capacidad de una turbina eólica cuando la red de suministro eléctrico experimenta un fallo. Es esencial para la operación de una turbina eólica y para un suministro confiable de energía que una turbina eólica pueda permanecer conectada y sincronizada a la red de suministro eléctrico durante dicho fallo de red.

20 Los fallos de sistema suelen ser cortocircuitos y pueden ser cualquier combinación de tres fases y cortocircuitos a tierra. Cuando se produce un cortocircuito, el flujo de las corrientes produce caídas de tensión (situación de baja tensión) a través de la red de suministro eléctrico y la magnitud depende de la magnitud de la corriente de fallo, la impedancia de la trayectoria de cortocircuito y el tipo de cortocircuito. Además, una situación de baja tensión puede comprender más de una caída de tensión, por ejemplo, dos caídas de tensión sucesivas.

30 Cuando una turbina eólica experimenta un fallo de red de suministro eléctrico, la velocidad del generador aumenta casi inmediatamente como resultado de la excesiva energía aerodinámica que no puede convertirse en energía eléctrica. Por lo tanto, la energía aerodinámica debe reducirse drásticamente a lo largo del período del fallo de red de suministro eléctrico.

35 Un método de la técnica anterior es girar las palas de turbina eólica desde una posición de operación a una posición de estacionamiento y permitir que el generador de turbina eólica se desconecte cuando se produce el fallo de red de suministro eléctrico. Pero como los códigos de red establecen en general los requisitos para un recorrido de baja tensión (LVRT), esto requiere que el generador de turbina eólica permanezca conectado, dicho método de la técnica anterior no es compatible con los códigos de red.

40 La patente de Estados Unidos 6.921.985 desvela un sistema LVRT para una turbina eólica conectada a una red de suministro eléctrico El ángulo de inclinación de pala varía cuando se detecta una baja tensión con el fin de mantener la velocidad de rotor por debajo de un límite de disparo por exceso de velocidad.

El documento W02004040748 desvela un método para controlar una turbina eólica conectada a la red, si se detecta un fallo en la red, la turbina se estabiliza usando una maniobra de inclinación.

45 Es un objeto de la presente invención proporcionar métodos ventajosos para operar una turbina eólica para volver a las configuraciones de turbina eólica de operación en modo normal de red.

La invención

50 La invención proporciona un método para controlar una turbina eólica conectada a la red de suministro eléctrico que comprende las etapas de:
 detectar un estado de la red de suministro eléctrico,
 detectar unas oscilaciones y/o unas cargas mecánicas de la turbina eólica, y
 controlar una o más palas de rotor y/o emitir energía a la red en función de dichas oscilaciones y/o cargas
 55 mecánicas al volver a las configuraciones de turbina eólica de operación en modo normal de red.

60 De este modo, se garantiza que cuando la pala o las palas de rotor se inclinan de nuevo a las configuraciones de ángulo de inclinación de operación en modo normal de red, pueden controlarse de tal manera que las oscilaciones y/o cargas provocadas de este modo no se sumen significativamente a las oscilaciones y/o cargas ya existentes de la turbina eólica.

65 En otro aspecto de la invención, dicho estado de detección de la red de suministro eléctrico comprende detectar al menos un valor que indica el estado de la red de suministro eléctrico, por ejemplo, un modo normal de red o un modo de fallo de red. De este modo, se garantiza que la turbina eólica pueda volver a las configuraciones de turbina eólica de operación tan pronto como sea posible después de la recuperación de un fallo de red, tal como un fallo de red de baja tensión.

En otro aspecto de la invención, volver a las configuraciones de operación del modo normal de red comprende volver a aplicar un empuje en fase contraria a dichas oscilaciones y/o cargas mecánicas de la turbina eólica, por ejemplo, la oscilación de torre, la oscilación de pala de rotor, la oscilación de cimentación o combinaciones de las mismas.

5 De este modo, se garantiza que las oscilaciones y/o las cargas producidas en la turbina eólica al volver a las configuraciones de operación del modo normal de red no provocan una interferencia constructiva de dichas oscilaciones y/o cargas. La interferencia constructiva puede provocar cargas excesivas en dicha turbina eólica que superarán los límites de carga y dañarán la turbina eólica.

10 Además, se garantiza que las oscilaciones y/o las cargas producidas en la turbina eólica al volver a las configuraciones de operación del modo normal de red pueden provocar interferencias destructivas de dichas oscilaciones y/o cargas, por lo que dichas oscilaciones se amortiguan.

15 En otro aspecto de la invención, dichas oscilaciones y/o cargas mecánicas se detectan por medios localizados en la turbina eólica, por ejemplo, en la torre, la góndola, las palas de rotor y/o la cimentación. De este modo, se garantiza que los medios para detectar las oscilaciones y/o las cargas se localizan en los componentes de turbina eólica que están bajo la influencia de dichas oscilaciones y/o cargas, por lo que puede obtenerse una detección más precisa.

20 En otro aspecto de la invención, dicho estado de detección de la red de suministro eléctrico comprende la detección de la tensión de red y/o la pendiente tensión/segundos de una tensión de red de suministro eléctrico alterna. De este modo, se garantiza que se detecten parámetros vitales para dar una detección válida de dicho estado.

25 La invención también se refiere a una turbina eólica conectada a una red de suministro eléctrico que comprende: al menos un sistema de inclinación de pala para controlar la inclinación de una o más palas de rotor, y al menos un sistema de control de turbina eólica que incluye un sistema que realiza un método de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores al volver a la configuración de operación del modo normal de red.

30 De este modo, se garantiza que la turbina eólica se controla con unos valores de control que se adaptan a la situación de operación específica cuando se vuelve de un modo de fallo de red a un modo normal de red.

Aún más, la invención se refiere a una turbina eólica que comprende además al menos un detector para detectar fallos en la red de suministro eléctrico, por ejemplo, al menos un detector de tensión. De este modo se garantiza un control ventajoso de la turbina eólica.

35 La invención también se refiere a un parque eólico que comprende al menos dos turbinas eólicas de acuerdo con la reivindicación de turbina eólica y al menos un detector para detectar fallos en la red de suministro eléctrico.

Figuras

40 A continuación, se describirá la invención haciendo referencia a las figuras en las que

la figura 1 ilustra una gran turbina eólica moderna que incluye tres palas de turbina eólica en el rotor de turbina eólica,

45 la figura 2 ilustra esquemáticamente una realización preferida de una turbina eólica con un sistema de control para controlar los ángulos de inclinación de las palas de turbina eólica,

50 la figura 3 ilustra el estado-secuencia conceptual para la presente invención.

la figura 4 ilustra dos de al menos tres condiciones que deben cumplirse con el fin de detectar un evento de fallo de red de suministro eléctrico,

55 la figura 5 ilustra las condiciones que deben cumplirse con el fin de detectar que se ha recuperado la red de suministro eléctrico,

la figura 6 ilustra un diagrama de tiempo para una realización preferida de la invención,

60 la figura 7 ilustra un diagrama de tiempo para otra realización preferida de la invención.

Descripción detallada

65 La figura 1 ilustra una turbina eólica moderna 1 con una torre 2 y una góndola de turbina eólica 3 colocadas en la parte superior de la torre.

El rotor de turbina eólica, que comprende al menos una pala, tal como tres palas de turbina eólica 5 como se ilustra,

está conectado al buje 4 a través de los mecanismos de inclinación 4a. Cada mecanismo de inclinación incluye un cojinete de pala y un medio de accionamiento de inclinación que permite que la pala se incline. El proceso de inclinación se controla por un controlador de inclinación.

5 Como se ilustra en la figura, el viento sobre un cierto nivel activará el rotor y le permitirá rotar en una dirección perpendicular al viento. El movimiento de rotación se convierte en energía eléctrica, que en general se suministra a la red de suministro eléctrico, como sabrán los expertos en la materia.

10 La figura 2 ilustra esquemáticamente una realización preferida de un sistema de control para controlar los ángulos de inclinación de las palas de turbina eólica.

15 Los datos de la turbina eólica 1 se miden con unos medios de sensor 7, tales como unos sensores de posición de inclinación, sensores de carga de pala, sensores de azimut de rotor, sensores de aceleración de torre, etc. Los datos de sensor medidos se suministran a los medios informáticos 8 con el fin de convertir los datos en señales de retroalimentación. Las señales de retroalimentación se usan en diversos sistemas de control, por ejemplo, el sistema de control de inclinación 9 para controlar el ángulo de inclinación estableciendo valores de control para controlar dicha al menos una pala de turbina eólica 5.

20 Los medios informáticos 8 incluyen preferentemente un microprocesador y unos medios de almacenamiento informático para el control continuo de dicha señal de retroalimentación.

25 Como se indica mediante las flechas discontinuas en la góndola 3, la torre de turbina eólica 2 puede oscilar dando como resultado un desplazamiento de dicha góndola 3. Como sabrán los expertos en la materia, dicha torre puede oscilar a su frecuencia propia, por ejemplo, como resultado de un cambio repentino en el empuje aplicado al rotor. Dicha oscilación puede resultar en cargas excesivas en dicha torre y, en el peor de los casos, provocar daños.

La figura 3 ilustra esquemáticamente para una realización preferida de la invención, un diagrama de estado-secuencia conceptual para el algoritmo de control inventado que comprende las etapas de:

- 30
- operación normal (estado 0)
 - detectar un evento de fallo de red de suministro eléctrico,
 - un control inicial de una turbina eólica 1 con el fin de estabilizar la velocidad de rotor de turbina eólica con unos nuevos parámetros de control como respuesta a dicho evento de fallo de red de suministro eléctrico (estado 1),
 - un control intermedio de la turbina eólica en un nivel estabilizado durante el evento de fallo (estado 2),

35

 - detectar una recuperación de la red, y
 - un control final de la turbina eólica mientras vuelve a las condiciones de operación normales (estado 3 o estado 13). Como se indica en la figura, el estado 3 se introduce si están presentes unos medios para medir los valores de las oscilaciones y/o las cargas mecánicas (una realización preferida). El estado 13 se introduce si dichos medios no están presentes.

40

Para una realización de la invención que comprende una turbina eólica 1 que comprende unos medios de sensor para medir los valores que representan las oscilaciones y/o las cargas mecánicas de la turbina eólica, una descripción de cada estado y las condiciones de cambio de estado entre dichos estados es:

	Estado	Acción en estado	Condición de cambio (para pasar al siguiente estado)
	0	Operación normal	Si se detecta un fallo en la red de suministro eléctrico, cambiar al estado 1.
Control Inicial	1	Estimación del ángulo de inclinación de no aceleración (NOPA). Inclinación hacia el NOPA con parámetros de control predefinidos, p. ej., velocidad de inclinación.	Si "caída corta", cambiar al estado 0. Si se ha detectado una recuperación de red antes de alcanzar el NOPA, cambiar al estado 2. Si se ha alcanzado el NOPA estimado, cambiar al estado 2.
Control intermedio	2	Si se alcanza el NOPA: el controlador de turbina eólica se carga con nuevas configuraciones de parámetros temporales en un rotor con sobre velocidad. Si no se alcanza el NOPA: el controlador de turbina eólica se carga con parámetros de control predefinidos.	Si se ha detectado una recuperación de red <i>AND</i> las oscilaciones y/o las cargas de la turbina eólica indican que se producirá una inclinación en fase contraria con dichas oscilaciones y/o cargas, cambiar al estado 3.

	Estado	Acción en estado	Condición de cambio (para pasar al siguiente estado)
Control final	3	Inclinar de nuevo al valor de ángulo de inclinación obtenido antes de detectar un fallo en la red con unos parámetros de control predefinidos p. ej., con velocidad de inclinación máxima.	Si valor de ángulo de inclinación real = valor de ángulo de inclinación obtenido antes del fallo de red detectado, cambiar al estado 0.

Para una turbina eólica 1 sin medios de sensor para medir los valores que representan las oscilaciones y/o las cargas mecánicas de turbina eólica, una descripción de cada estado y las condiciones de cambio de estado entre dichos estados es:

5

	Estado	Acción en estado	Condición de cambio (para pasar al siguiente estado)
	0	Operación normal	Si se detecta un fallo en la red de suministro eléctrico, cambiar al estado 1.
Control Inicial	1	Estimación del ángulo de inclinación de no aceleración (NOPA). Inclinación hacia el NOPA con parámetros de control predefinidos, p. ej., velocidad de inclinación.	Si "caída corta", cambiar al estado 0. Si se ha detectado una recuperación de red antes de alcanzar el NOPA, cambiar al estado 2. Si se ha alcanzado el NOPA estimado, cambiar al estado 2.
Control intermedio	2	Si se alcanza el NOPA: el controlador de turbina eólica se carga con nuevas configuraciones de parámetros temporales en un rotor con sobre velocidad. Si no se alcanza el NOPA: el controlador de turbina eólica se carga con parámetros de control predefinidos.	Si se ha detectado una recuperación de red, cambiar al estado 13.
Control final	13	Inclinar de nuevo al valor de ángulo de inclinación obtenido antes de detectar un fallo en la red con unos parámetros de control predefinidos p. ej., velocidad de inclinación fija.	Si valor de ángulo de inclinación real = valor de ángulo de inclinación obtenido antes del fallo de red detectado, cambiar al estado 0.

Los estados 0, 1 y 2 son comunes para ambas realizaciones:

Estado 0:

10 El modo de operación normal.

Si la energía generada por la turbina eólica está por debajo de un límite predefinido, tal como el 25 % de la energía nominal, dicho modo de fallo no se iniciará tras detectar un fallo de red, ya que el algoritmo de control normal podrá evitar el exceso de velocidad del rotor durante dicho evento de fallo de red y continuará operando en modo normal ya que no hay peligro inminente debido a la baja energía del viento.

15

Estado 1 (control inicial):

Cuando se ha detectado un fallo de red, se introduce dicho estado 1. La base de este estado del algoritmo de control inventado es inclinar una o más palas de rotor de turbina eólica 5 fuera del viento inmediatamente después de que se detecte un fallo en la red de suministro eléctrico con el fin de evitar el exceso de velocidad del rotor debido a la energía aerodinámica excesiva que actúa sobre dicho rotor.

20

Para una realización de la invención, las palas de rotor de turbina eólica 5 se inclinan un ángulo de inclinación sin aceleración (NOPA) que se define como el ángulo de inclinación que proporciona el equilibrio entre la energía aerodinámica y cualquier pérdida de la turbina eólica y la energía eléctrica generada, por lo que no proporciona sustancialmente ninguna aceleración del generador. Para una realización, se calcula el NOPA inmediatamente después de que se detecte el fallo de red mediante una búsqueda de tablas en una tabla Cp. Para otra realización, se establece el NOPA mediante el cálculo, por ejemplo, con un algoritmo matemático.

25

Para una realización de la invención, si el fallo de red es lo suficientemente corto (una caída corta) para tener solo un bajo impacto en la carga de turbina, se detecta una situación de caída corta y se prefiere obtener una operación

30

normal y una producción de energía activa como antes de dicha caída corta tan pronto como sea posible. En consecuencia, para esta realización, el algoritmo inventado es capaz de determinar el nivel de cargas significativas en la turbina y, sobre esa base, determinar si la secuencia de control de fallos de red puede abandonarse o debe completarse.

5 Para otra realización de la invención donde el fallo de red dura demasiado tiempo para detectarse como dicha caída corta pero se produce una recuperación de red antes de que se alcance el NOPA, se prefiere obtener una operación normal y una producción de energía activa como antes del fallo de red, tan pronto como sea posible. Para esta situación, un salto directo al modo de operación normal tendría un impacto demasiado alto en la turbina eólica. En
10 consecuencia, para la presente realización, el algoritmo inventado salta directamente al estado 2 donde los parámetros de control predefinidos vuelven a obtenerse como se explica a continuación.

Un buen indicador de cuánto se ha visto afectada la turbina, es cuánto se ha reducido dicho impulso aerodinámico. El ángulo de inclinación, la aceleración de torre, la carga de torre, el tiempo o las combinaciones de los mismos
15 pueden ser suposiciones justas en el presente documento. Para el ejemplo del ángulo de inclinación como dicho indicador, para determinar cuándo usar dicha estrategia de control de caída corta o para continuar con la estrategia de control de fallo de red al siguiente estado, dicho algoritmo supervisa continuamente cómo de lejos está el ángulo de inclinación real del ángulo de inclinación reciente antes del fallo de red. En consecuencia, si se detecta una recuperación de red y la diferencia entre el ángulo de inclinación real y el ángulo de inclinación reciente
20 inmediatamente antes de dicho fallo de red supera un cierto nivel predefinido, dicho algoritmo de control continuará el algoritmo de control de fallo de red. De lo contrario, el algoritmo de control de fallo de red terminará tan rápido como sea posible volviendo al estado 0, es decir, estableciendo las referencias para, por ejemplo, el ángulo de inclinación, la energía y las rpm de generador a la configuración inmediatamente anterior a la detección de dicho fallo de red.

25 Estado 2 (control intermedio):
La base de este estado del algoritmo de control inventado es mantener la operación de turbina eólica dentro de un intervalo definido controlable por el controlador de turbina eólica y conectada a la red de suministro eléctrico hasta que la red se haya recuperado.

30 Para una realización cuando se alcanza el NOPA, el control de turbina eólica se inicializa con las configuraciones de control actuales como referencia, por ejemplo, las rpm de generador y el ángulo de inclinación, con el fin de mantener las rpm de generador constantes o casi constantes en un nivel por encima de la velocidad nominal.

35 Para una realización donde la inclinación se ha detenido debido a la recuperación de red detectada antes de alcanzar dicho NOPA, se inicia dicho estado 2 y se vuelven a obtener los parámetros de control predefinidos.

La secuencia de control permanece en este estado con la configuración de control actual al menos hasta que se detecte la recuperación de la red de suministro eléctrico.

40 Para una realización preferida, cuando están presentes unos medios para medir los valores que representan las oscilaciones y/o las cargas mecánicas de turbina eólica, puede iniciarse un cambio al siguiente estado (estado 3) cuando se produzca la inclinación en las palas de rotor en una fase opuesta a las oscilaciones y/o las cargas mecánicas de la turbina eólica, por ejemplo, las oscilaciones que resultan de una aceleración de torre. Es decir, la
45 inclinación de dichas palas de rotor se realizará de tal manera que las oscilaciones y/o las cargas que se generarán inclinando de nuevo dichas palas de rotor a la operación normal se controlan y generan en fase contraria a las oscilaciones y/o las cargas existentes que provocan un amortiguamiento de las oscilaciones y/o las cargas resumidas.

50 Para otra realización preferida, cuando no están presentes unos medios para medir los valores que representan las oscilaciones y/o las cargas mecánicas de turbina eólica, dicho cambio al siguiente estado (estado 13) puede iniciarse tan pronto como se haya detectado la recuperación de la red de suministro eléctrico.

55 Estado 3: (control final, si están presentes unos medios de sensor para medir las oscilaciones y/o las cargas mecánicas de turbina eólica).

Con el fin de volver a la producción normal, es necesario volver a aplicar el empuje inclinando de nuevo las palas de rotor a su posición de operación.

60 Como ejemplo de esta realización preferida, el par aerodinámico alterno bajo el que se ha influenciado a la torre provocado por la caída repentina en el empuje cuando se inclina hacia el NOPA (estado 1), hará oscilar la torre con su frecuencia propia cuando el fallo de red se haya recuperado como resultado de unas cargas físicas excesivas en los componentes de turbina eólica, especialmente en la construcción de torres.

65 Para este ejemplo, se ha iniciado un cambio al estado 3 cuando la señal de aceleración de torre está dentro de una ventana predefinida con respecto a la amplitud y la dirección.

El ángulo de inclinación vuelve a aumentar hacia el ángulo de inclinación de producción normal con una velocidad de inclinación máxima. Dicho ángulo de inclinación puede ser, por ejemplo, el valor anterior al evento de fallo de red detectado o si las condiciones han cambiado durante el evento de fallo de red, un nuevo ángulo de inclinación deseado. De este modo, se logra que se obtenga una amortiguación máxima de dicha oscilación de torre así como que la velocidad de rotor disminuya hacia la velocidad de rotor antes del evento de fallo de red.

Estado 13: (control final, si no están presentes los medios de sensor para medir las oscilaciones y/o las cargas de la turbina eólica).

Con el fin de volver a la producción normal, es necesario volver a aplicar el empuje inclinando las palas de rotor a su posición de operación, es decir, el valor de inclinación obtenido antes de detectar un fallo de red con unos parámetros de control predefinidos, por ejemplo, una velocidad de inclinación fija.

Como ejemplo de la presente realización preferida, la pendiente de la velocidad de inclinación puede calcularse como:

$$\text{Velocidad de inclinación} = \frac{(\theta_{\text{real}} - \theta_{\text{predip}})}{T_{\text{volveraumentar}}}$$

donde

θ_{real} = es el ángulo de inclinación real
 θ_{predip} = es el ángulo de inclinación antes del evento de fallo de red o, si las condiciones han cambiado durante el evento de fallo, un nuevo ángulo de inclinación deseado.
 $T_{\text{volveraumentar}}$ = un tiempo de volver a aumentar predefinido

En una realización, el $T_{\text{volveraumentar}}$ debe definirse para ser más largo que un período de la frecuencia de torre de turbina eólica con el fin de no provocar una interferencia positiva en la oscilación de torre cuando vuelve a aumentar, es decir, para una torre de turbina eólica con una frecuencia propia de, por ejemplo, 0,5 Hz, el $T_{\text{volveraumentar}}$ debe definirse para que sea más largo de 2 segundos, tal como de hasta 4 segundos.

En otra realización para otro tipo de torre con una frecuencia propia de, por ejemplo, 1 Hz, el $T_{\text{volveraumentar}}$ debe definirse para que sea más largo de 1 segundo, tal como 1,5 segundos.

Para una realización de una torre de turbina eólica en la que la torre es muy rígida, por ejemplo, una torre corta, el $T_{\text{volveraumentar}}$ puede elegirse para un período de tiempo más corto que una torre más alta y más flexible, tal como las realizaciones mencionadas anteriormente.

La figura 4 ilustra, para una realización de la invención, las condiciones que deben cumplirse para la detección de dicho evento de fallo de red y, por lo tanto, el inicio de un modo de seguridad donde la turbina eólica se controla por el algoritmo de control de fallo de red inventado.

En primer lugar (no ilustrado), la energía generada recientemente debe ser más alta que un límite predefinido. Si la energía generada es menor, el algoritmo de control normal podrá evitar el exceso de velocidad del rotor durante un evento de fallo de red y la turbina eólica continuará operando en modo normal ya que no existe un peligro inminente, por ejemplo, un exceso de velocidad del rotor para una baja energía del viento.

En segundo lugar, la pendiente de la caída de tensión de red debe ser mayor que un límite de pendiente predefinido. El límite de pendiente se define por el intervalo de operación del controlador de turbina eólica normal y su capacidad de adaptarse a las tensiones de red alternas con el fin de mantener el control y evitar un exceso de velocidad del rotor.

En tercer lugar, la caída de tensión debe ser de un cierto tamaño predefinido, es decir, la tensión de red debe caer por debajo de un valor umbral U_{umbral} .

Si se cumplen dichas tres condiciones, la tensión de red está dentro del área cruzada, lo que significa que se detecta un fallo de red de suministro eléctrico y se inicia dicho algoritmo de control de la red.

La figura 5 ilustra, para una realización de la invención, las condiciones que deben cumplirse para la detección de una recuperación de red y, permitir de este modo que el algoritmo de control avance hacia la operación normal.

En primer lugar, si la tensión de red aumenta por encima de un límite de baja tensión predefinido para la operación normal U_{umbral} , la turbina puede obtener la operación normal.

De lo contrario, la turbina puede obtener una operación normal si la tensión de red aumenta una cantidad predefinida $U_{\text{red,aumento}}$ por encima del nivel de baja tensión actual $U_{\text{red,mínima}}$ durante el fallo de red Y la tensión es una cierta

cantidad predefinida $U_{\text{convertidor,sumada}}$ por encima del límite $U_{\text{convertidor,mínima}}$ donde el convertidor de turbina eólica es capaz de producir energía activa.

5 Si se cumplen dichas condiciones, la tensión de red se encuentra dentro del área cruzada 14, lo que significa que la red se ha recuperado y se permite que dicho algoritmo de control de fallos de red avance hacia la producción normal.

10 La figura 6 ilustra esquemáticamente una realización de la invención, donde están presentes unos medios de sensor para medir la aceleración de torre, un diagrama de tiempo simplificado que muestra la relación entre los estados de control, el ángulo de inclinación, la aceleración de torre, el desplazamiento de torre y las rpm de generador durante un fallo de red.

Estado 0:

15 El ángulo de inclinación, la aceleración de torre, el desplazamiento de torre y las rpm de generador, son constantes ideales durante la operación normal.

Estado 1:

20 Cuando se detecta un fallo de red de suministro eléctrico 15, la pala o las palas de rotor de turbina eólica se inclinan hacia el NOPA 16. El cambio repentino en el empuje aerodinámico se refleja en la aceleración y el desplazamiento de torre 17, 18. Además, las rpm de generador aumentan debido a una cantidad excesiva de energía aerodinámica 19.

Estado 2:

25 Cuando dicho ángulo de inclinación alcanza el NOPA 20, se produce otro cambio en dirección opuesta en el empuje y la torre comenzará a oscilar a su frecuencia propia 21, 22. Las rpm de generador se estabilizan en este caso en un nivel de sobre velocidad 23 ya que ahora hay un equilibrio entre las entradas de energía aerodinámica y la energía generada.

Estado 3:

30 La pala o palas de rotor se inclinan de nuevo a las configuraciones de operación 24 cuando se detecta una recuperación de red y para la presente realización se entra en el estado 3 cuando dicha aceleración de torre se vuelve negativa 25, es decir, volver a aplicar el empuje aerodinámico está en fase contraria a la aceleración de torre. El resultado es la aceleración de torre amortiguada 26 cuando se vuelve al modo normal de operación (estado 0), produciendo solo un desplazamiento de torre amortiguado 27, por lo que se reducen las cargas en la torre. Además, las rpm de generador se reducen 28 idealmente al nivel como antes de entrar en dicho modo de fallo de red 29.

40 La figura 7 ilustra esquemáticamente un ejemplo de una situación, donde no están presentes los medios de sensor para medir las oscilaciones y/o las cargas mecánicas, y un diagrama de tiempo simplificado que muestra la relación entre los estados de control, el ángulo de inclinación, la aceleración de torre y las rpm de generador durante un fallo de red.

La descripción para los estados 0, 1 y 2 es la misma para esta realización como se ha descrito para la figura 6 y no se repetirá en este caso.

45 Estado 13:

50 La pala o las palas de rotor se inclinan de nuevo a las configuraciones de operación 30 con unos parámetros de control predefinidos, por ejemplo, $T_{\text{volveraumentar}}$. Para esta realización, el estado 13 se introduce inmediatamente después de que se haya detectado la recuperación de red. La velocidad de inclinación se elige para que sea un valor que no dé lugar a oscilaciones mecánicas excesivas además de significativas, por ejemplo, la aceleración de torre 31, 32.

55 El resultado es una aceleración de torre 31, 32 cuando vuelve al modo normal de operación (estado 0), lo que produce un desplazamiento de torre 33 por el que las cargas en la torre se mantienen dentro de los límites permitidos. Además, las rpm de generador disminuyen 34 idealmente al nivel como antes de entrar en dicho modo de fallo de red 29.

60 La invención descrita se ha ejemplificado anteriormente haciendo referencia a ejemplos específicos de los algoritmos de control para una turbina eólica durante el LVRT. Sin embargo, debería entenderse que la invención no se limita a los ejemplos específicos, sino que puede diseñarse y alterarse en una multitud de variedades dentro del alcance de la invención como se especifica en las reivindicaciones, por ejemplo, con el uso de otros estados de algoritmo o valores medidos/detectados/establecidos/estimados.

Lista de referencia

65 En los dibujos los siguientes números de referencia se refieren a:

ES 2 755 000 T3

1. Turbina eólica o sistema de turbina eólica
2. Torre de turbina eólica
3. Góndola de turbina eólica
4. Árbol de baja velocidad
- 5 4a. Mecanismos de inclinación
5. Pala de rotor de turbina eólica
6. Rotación de pala de rotor de turbina eólica
7. Medios de sensor
8. Medios informáticos
- 10 9. Sistema de control de inclinación
10. Pendiente de caída de tensión (Pendiente)
11. Límite de pendiente predefinido (PendienteLím)
12. U_{umbral} predefinido
13. Área de inicialización del algoritmo de control de fallo de red
- 15 14. Área de recuperación de red
15. Detección de fallo de red
16. Estado 1 ángulo de inclinación hacia NOPA
17. Estado 1 aceleración de torre
18. Estado 1 desplazamiento de torre
- 20 19. Estado 1 rpm de generador
20. NOPA
21. Estado 2 aceleración de torre
22. Estado 2 desplazamiento de torre
23. Estado 2 rpm de generador - nivel de sobre velocidad
- 25 24. Estado 3 ángulo de inclinación de vuelta a la configuración de operación
25. Estado 2 cruces de aceleración de torre 0
26. Estado 0 aceleración de torre amortiguada
27. Estado 0 desplazamiento de torre amortiguada
28. Estado 3 rpm de generador – decreciente
- 30 29. Estado 0 rpm de generador
30. Estado 13 velocidad de inclinación predefinida
31. Estado 13 aceleración de torre
32. Estado 0 aceleración de torre
33. Estado 0 desplazamiento de torre
- 35 34. Estado 13 rpm de generador

REIVINDICACIONES

1. Método para controlar una turbina eólica conectada a la red de suministro eléctrico que comprende las etapas de:
operar la turbina eólica en un estado de operación normal (estado 0),
5 detectar un estado de la red de suministro eléctrico,
introducir un estado de operación (estado 1), en respuesta a la detección de un fallo de red de suministro eléctrico,
donde la turbina eólica se controla para estabilizar la velocidad de rotor de turbina eólica con unos nuevos
parámetros de control,
operar la turbina eólica en el nivel estabilizado (estado 2) durante el evento de fallo de red,
10 controlar la turbina eólica para volver al estado de operación normal (estado 3) tras la detección de la recuperación
de la red,
donde controlar la turbina eólica para volver al estado de operación normal con la
comprende:
detectar unas oscilaciones y/o unas cargas mecánicas de la turbina eólica, y
15 controlar una o más palas de rotor y/o emitir energía a la red en función de dichas oscilaciones y/o cargas
mecánicas.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho estado de detección de la red de suministro eléctrico
comprende detectar al menos un valor que indique el estado de la red de suministro eléctrico, por ejemplo, un modo
20 normal de red o un modo de fallo de red, tal como un fallo de red por baja tensión.
3. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2,
en el que volver a las configuraciones de operación del modo normal de red comprende volver a aplicar un empuje
en fase contraria a dichas oscilaciones y/o cargas mecánicas de la turbina eólica, por ejemplo, la oscilación de torre,
25 la oscilación de pala de rotor, la oscilación de cimentación o combinaciones de las mismas.
4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dichas oscilaciones y/o cargas
mecánicas se detectan por medios localizados en la turbina eólica, por ejemplo, en la torre, la góndola, las palas de
rotor y/o la cimentación.
30
5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicho estado de detección de la red de
suministro eléctrico comprende la detección de la tensión de red y/o la pendiente tensión/segundo de una tensión de
red de suministro eléctrico alterna.
- 35 6. Turbina eólica conectada a una red de suministro eléctrico que comprende:
al menos un sistema de inclinación de pala para controlar la inclinación de una o más palas de rotor, y al menos un
sistema de control de turbina eólica que incluye un sistema que realiza un método de acuerdo con una o más de las
reivindicaciones anteriores al volver a la configuración de operación del modo normal de red.
- 40 7. Turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende además al menos un detector para detectar
fallos en la red de suministro eléctrico, por ejemplo, al menos un detector de tensión.
8. Un parque eólico que comprende al menos dos turbinas eólicas de acuerdo con la reivindicación 6 y al menos un
45 detector para detectar fallos en la red de suministro eléctrico.

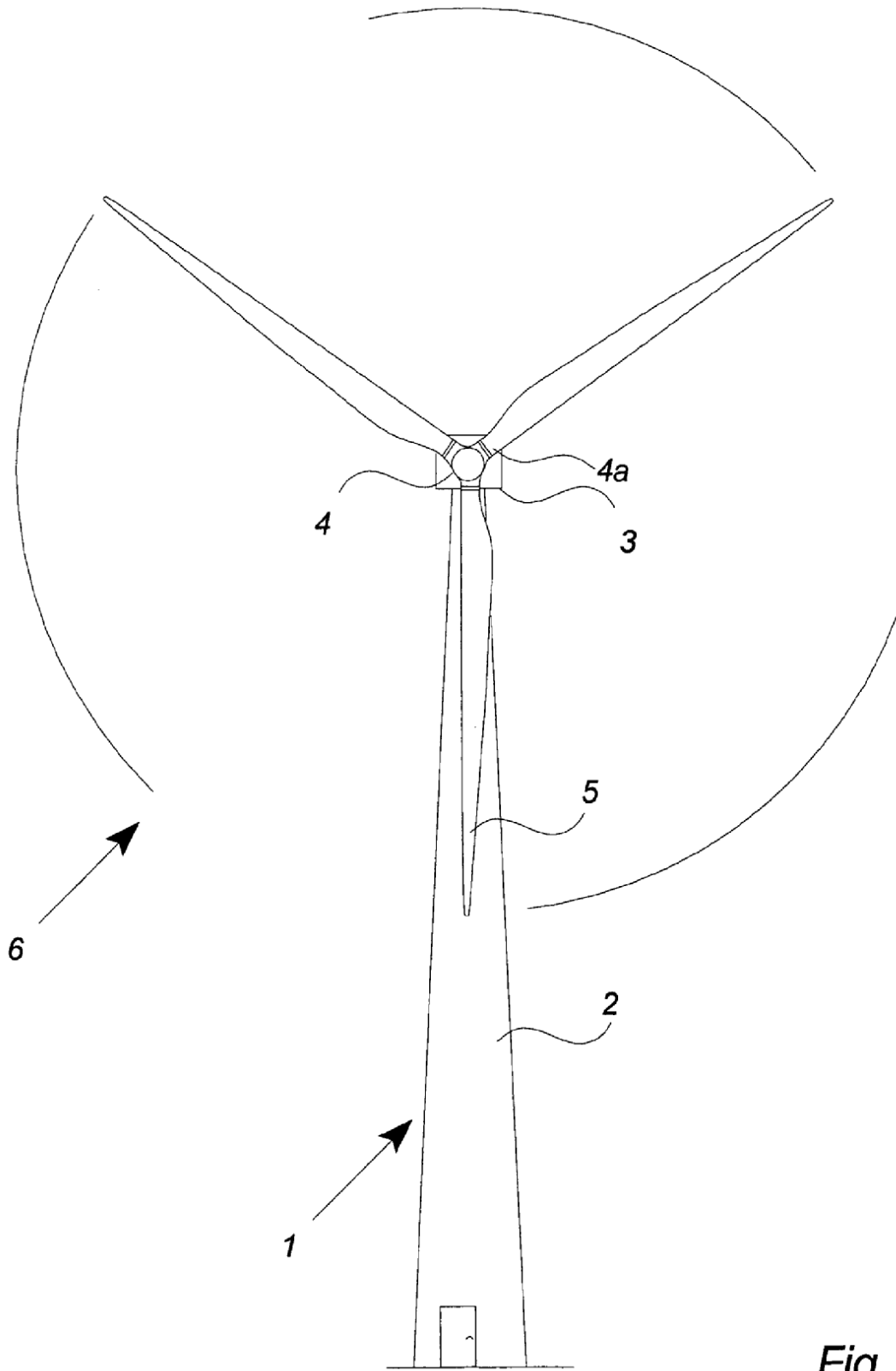


Fig. 1

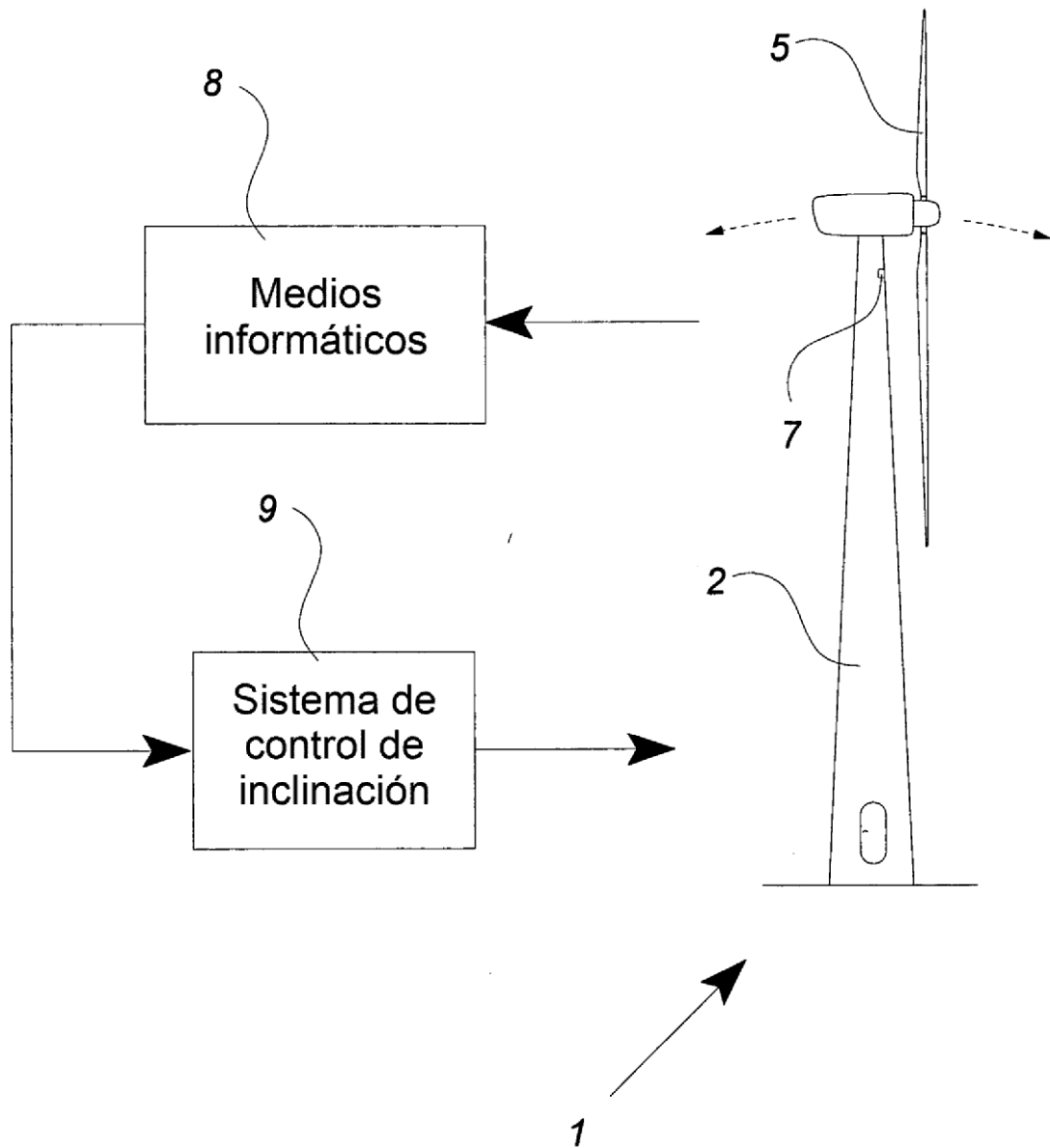


Fig. 2

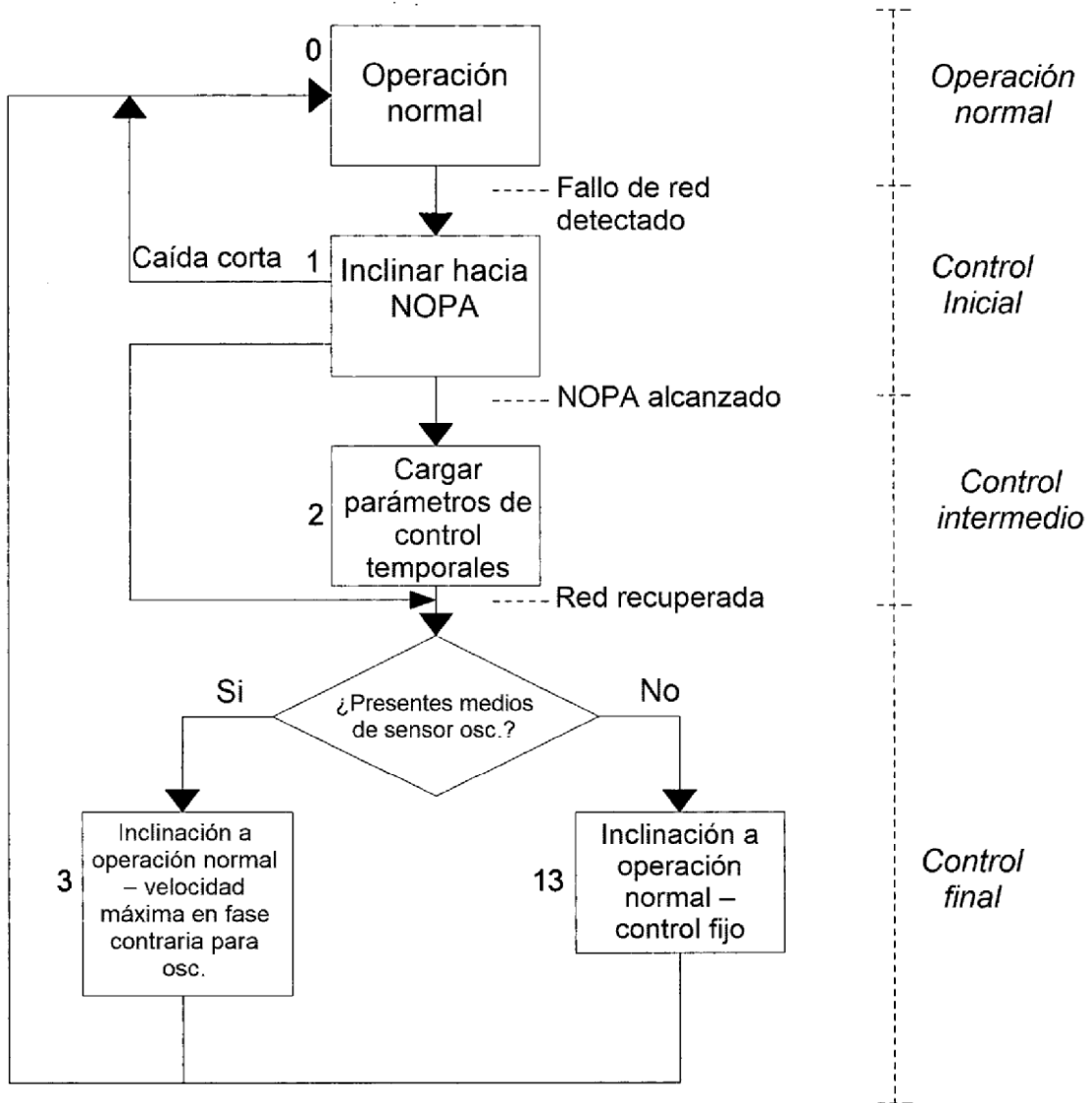


Fig. 3

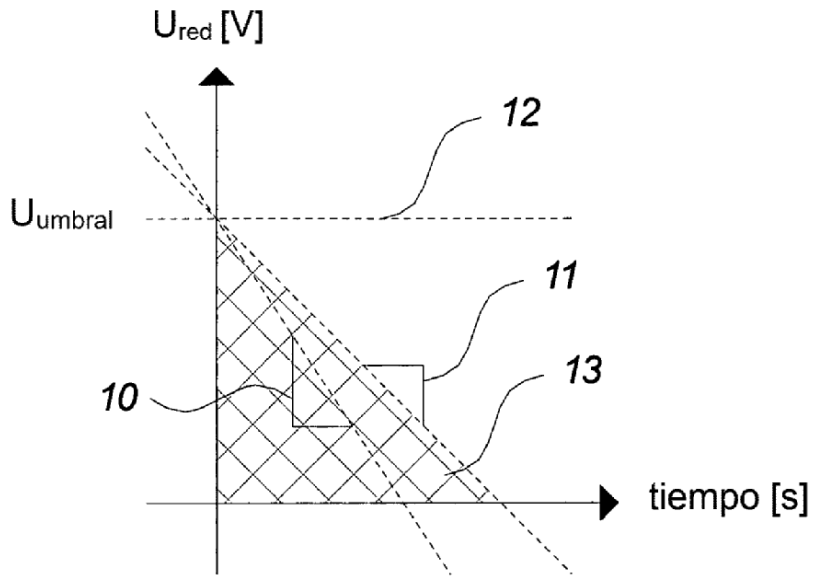


Fig. 4

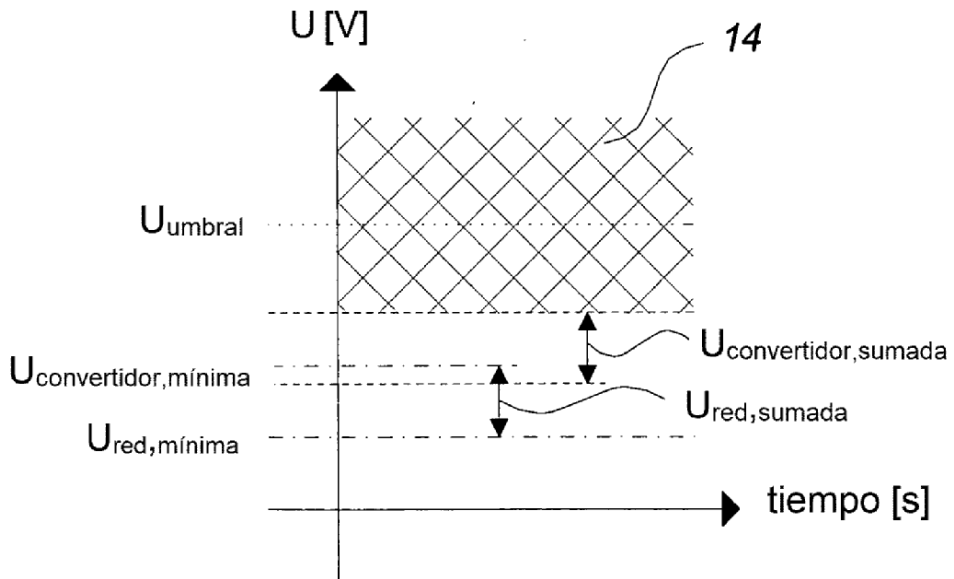


Fig. 5

