

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 554 552**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.07.2006 E 06807857 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.09.2015 EP 1961957**

54 Título: **Método para mantener operativos los componentes de una turbina eólica y una turbina con componentes que permitan el mantenimiento operativo**

30 Prioridad:

22.07.2005 ES 200501796

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

21.12.2015

73 Titular/es:

**GAMESA INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L.
(100.0%)**

**Avenida Ciudad de la Innovación 9-11
31621 Sarriguren, Navarra, ES**

72 Inventor/es:

LLORENTE GONZÁLEZ, JOSÉ IGNACIO

ES 2 554 552 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

METODO PARA MANTENER OPERATIVOS LOS COMPONENTES DE UNA TURBINA EOLICA Y UNA TURBINA CON COMPONENTES QUE PERMITAN EL MANTENIMIENTO OPERATIVO

5 Campo de la invención

Esta invención se refiere al campo de la generación de energía eléctrica de una turbina eólica conectada a una red de suministro eléctrico y específicamente a los generadores de energía eólica capaces de mantener operativos los sistemas de la turbina eólica tras una interrupción de la red de suministro eléctrico.

Antecedentes de la invención

Un primer aspecto de las turbinas eólicas se refiere al requisito de poder frenar las palas del rotor en caso de producirse una emergencia, por ejemplo una interrupción en la red de suministro eléctrico. Por ello las turbinas eólicas suelen estar equipadas con sistemas de frenado aerodinámicos. El sistema de frenado aerodinámico funciona rotando las palas del rotor, normalmente colocándolas en posición de bandera, de forma que las palas del rotor no pueden tomar energía del viento consiguiendo así una desaceleración de la velocidad del rotor. El frenado suele combinarse también con un sistema de frenado mecánico.

Tras frenar el rotor, la turbina eólica no es capaz de suministrar energía eléctrica a menos que se utilicen baterías, condensadores o generadores impulsados por motores diesel. El propio generador no podrá volver a generar energía eléctrica hasta que se haya solucionado la interrupción de la red y se haya restablecido la conexión a la red de suministro eléctrico y la turbina eólica vuelva a

estar operativa. Esto significa que se detendrán las funciones esenciales de los diversos sistemas de la turbina eólica, como los sistemas de lubricación, refrigeración, calefacción, descongelación, etc. o bien que funcionarán
5 sólo mientras las baterías, condensadores o motores diesel estén operativos durante el período de interrupción de la red de suministro eléctrico, dando a entender que la turbina eólica podría no ser capaz de generar energía eléctrica en el momento de la recuperación de la
10 interrupción de la red de suministro eléctrico, si esta interrupción dura un determinado período de tiempo.

Un segundo aspecto de las turbinas eólicas se refiere al hecho de que la turbina eólica necesita tiempo para que
15 los componentes críticos vuelvan a estar operativos antes de que sea posible la nueva conexión a la red de suministro eléctrico. La duración del período de preparación puede variar de segundos a horas, o incluso días, según factores como la duración de la interrupción de la red de suministro
20 eléctrico y la temperatura exterior, la humedad y el viento. Todos estos factores influyen en las funciones esenciales de la turbina eólica. Por ejemplo, podría ser necesario calentar la multiplicadora a una temperatura operativa, un proceso que puede tardar horas en
25 completarse.

Durante la interrupción de la red de suministro pueden utilizarse fuentes de alimentación auxiliares para mantener operativos como mínimo algunos de los componentes críticos
30 de la turbina eólica durante el período de interrupción y, de esta forma, lograr que el período de tiempo necesario para restablecer la conexión no dependa de la duración de la interrupción de la red de suministro eléctrico,

reduciendo de este modo a un mínimo el período necesario para restablecer la conexión. Sin embargo, el período de tiempo en el que los componentes críticos pueden mantenerse operativos suele ser limitado, debido a la capacidad limitada de almacenamiento de energía de la fuente de alimentación auxiliar, a no ser que se utilicen fuentes de generación como generadores impulsados por motores diesel.

Un tercer aspecto de las turbinas eólicas se refiere al frenado del rotor durante la interrupción de la red de suministro eléctrico. Según el primer aspecto, es decir el requisito de poder frenar las palas del rotor en caso de emergencia (como una interrupción de la red de suministro eléctrico) mediante sistemas de frenado aerodinámicos, el frenado aerodinámico debe ser muy rápido para que la velocidad de rotación del rotor no se acelere hasta tal punto que resulte difícil frenar el rotor o que las cargas mecánicas sobre el eje principal y los cojinetes sean excesivas. Por lo tanto, deberán dimensionarse la estabilidad estructural y la fuerza de las partes vitales de la turbina eólica en relación con las potentes fuerzas y elevados momentos de giro que puedan surgir durante el proceso de frenado.

EP 1 128 064 muestra un dispositivo de cambio de paso eléctrico para una turbina eólica que conste de una unidad de alimentación de reserva con, como mínimo, un generador de imanes permanentes auxiliar asignado al eje del rotor. El generador de imanes permanentes auxiliar proporcionará energía eléctrica a los motores, que se utilizará para hacer girar las palas del rotor en posición de bandera en caso de emergencia, por ejemplo durante una interrupción de la red de suministro eléctrico. Los generadores estarán conectados a los motores eléctricos mediante un contacto de

forma que, cuando se active el contacto, las palas del rotor se colocarán en posición de bandera y de esta forma se frenará el rotor. Además, cuando el rotor deje de girar, la posición angular de las palas del rotor no cambiará. Por lo tanto, EP 1 128 064 describe un método de frenar con seguridad el rotor de una forma eficaz, pero no proporciona un método para restablecer la conexión a la red de suministro eléctrico.

10 WO 02/44561 describe una turbina eólica que posee un generador auxiliar para suministrar energía eléctrica a partir de la energía cinética del eje del rotor. Se incorpora un dispositivo de conmutación para conmutar entre la conducción de energía eléctrica desde el generador principal durante el funcionamiento normal y la conducción de energía eléctrica desde el generador auxiliar durante una desconexión de la red de suministro eléctrico. La energía eléctrica suministrada durante la desconexión de la red de suministro eléctrico se utiliza para colocar las palas del rotor en posición de bandera y, de este modo, frenar el rotor y el generador principal. WO 02/44561 describe el frenado del rotor mediante un generador auxiliar cuando la turbina eólica está desconectada de la red de suministro eléctrico, pero no proporciona un método para restablecer rápidamente la conexión a la red de suministro eléctrico.

DK 174 411, publicado en inglés, describe un método para controlar el ángulo de paso de las palas mientras la red de suministro eléctrico está desconectada. Se establece un control que garantiza una velocidad de giro del rotor y del generador dentro del abanico habitual de velocidades (también durante la desconexión de la red de suministro eléctrico) y en el que la velocidad de giro del rotor y del generador ya se encuentra en el rango normal de velocidades cuando la turbina eólica vuelve a conectarse a la red de suministro eléctrico. De esta forma es posible conseguir restablecer rápidamente la conexión. Sin embargo, DK 174

411 no menciona ningún método para los sistemas operativos de la turbina eólica, como el sistema de control de paso de la pala, durante la desconexión de la red de suministro eléctrico.

5

US 5,907,192 describe una turbina eólica en la que la energía de rotación presente en el rotor y el eje del rotor se utiliza para generar energía para el sistema de control de paso durante el frenado de emergencia posterior a la
10 desconexión de la turbina eólica de la red de suministro eléctrico. US 5,907,192 describe el frenado del rotor utilizando la energía cinética presente en las partes en rotación de la turbina eólica cuando ésta se desconecta de la red de suministro eléctrico, pero no proporciona un
15 método para restablecer rápidamente la conexión a la red de suministro eléctrico. Otros ejemplos del estado del arte son WO2004/070936 A1, WO2004/040748 A1 y WO2005/015012 A1

20 **Sumario de la invención**

Un objetivo de esta invención puede ser facilitar un método para conseguir que el período de tiempo necesario para restablecer la conexión de una turbina eólica a una
25 red de suministro eléctrico sea independiente de la duración de la interrupción de la red y, de este modo, minimizar el período de tiempo necesario para restablecer la conexión después de la interrupción de la red de suministro eléctrico. También puede ser objeto de esta
30 invención proporcionar una turbina eólica que, después del frenado (es decir durante la desconexión de la red de suministro eléctrico), no sufra ni agrave ningún daño mecánico o térmico durante la interrupción. Finalmente, otro objetivo de esta invención es facilitar una turbina
35 eólica que durante un frenado producido como consecuencia de una desconexión de la red de suministro eléctrico no sufra ni agrave ningún daño mecánico o térmico durante la

interrupción de la red.

Uno o varios de los objetivos de la invención pueden alcanzarse mediante un primer aspecto de la invención que se refiere a la aplicación de un método para mantener operativo como mínimo un componente crítico de una turbina eólica, en la que como mínimo uno de los componentes críticos mencionados comprende un consumo de energía eléctrica y en la que la turbina eólica mencionada está conectada a la red de suministro eléctrico y comprende como mínimo un control del paso de la pala del rotor. Dicho método implica:

- mantener operativo el mencionado componente crítico durante un período de tiempo durante el cual la turbina eólica está desconectada de la red de suministro eléctrico,
- utilizar un generador de imanes como único elemento generador de energía eléctrica durante los períodos de tiempo en los que la turbina eólica está conectada a la red de suministro eléctrico, así como durante los períodos de tiempo en los que la turbina eólica está desconectada de dicha red,
- seguir generando energía eléctrica del viento durante una desconexión de la red de suministro eléctrico,
- ajustar una cantidad de la energía eléctrica producida para mantener la energía eléctrica producida en equilibrio con un consumo energético estocástico requerido, dependiente del tiempo, de como mínimo una carga que es consumidora de energía eléctrica de la turbina eólica.

Según un segundo aspecto de la invención, dicho método incluye la utilización del generador de imanes como el único elemento generador de energía eléctrica cuando la turbina eólica vuelva a conectarse a la red de suministro eléctrico, con lo cual el generador de imanes se utilizaría para generar energía activa y energía reactiva. Cuando se conecta un generador a la red de suministro eléctrico, ya

sea inicialmente o tras una desconexión de la red, es necesario proporcionar energía eléctrica reactiva si se utilizan generadores asíncronos. Ésta deberá aplicarse desde la red de suministro eléctrico y, si uno o varios
5 generadores de imanes se conectan a la red de suministro eléctrico, estos generadores pueden ayudar a suministrar la energía reactiva para otros generadores como los generadores asíncronos que están también conectados a la red de suministro eléctrico.

10

Según el tercer aspecto de la invención, dicho método incluye un posicionamiento de como mínimo un control del paso de la pala del rotor ajustado mediante un motor de paso con accionamiento eléctrico con un consumo de energía
15 eléctrica estocástico, dependiente del tiempo, en equilibrio con la energía eléctrica generada. Utilizando un generador de imanes de la turbina eólica que activa un actuador del paso de la pala para posicionar al menos una pala con regulación de paso podrá definir el paso de la
20 pala de una forma controlada, pues dispondrá de energía eléctrica para un período prolongado de tiempo tras la desconexión de la red de suministro eléctrico. El paso de pala controlado, en comparación con el paso de pala de emergencia, reduce las fuerzas y momentos de giro que se
25 aplican a los diversos componentes de la turbina eólica.

Para el paso de pala controlado pueden utilizarse diversos parámetros. De esta forma el ángulo de paso se ajusta en relación con como mínimo uno de los parámetros
30 seleccionados de un grupo que incluye la velocidad del viento, la velocidad de giro del eje del rotor, el momento de giro del rotor, la velocidad de giro del generador y el consumo de energía eléctrica. El parámetro utilizado al definir el paso de pala depende de la integridad
35 estructural de la turbina eólica en cuestión y de las condiciones medioambientales, como el tiempo del lugar en el que se encuentra la turbina eólica.

Un tipo preferente de generador de imanes es un generador de imanes permanentes con la capacidad de generar energía independientemente del suministro externo de energía eléctrica. Otros tipos de generadores de imán que
5 también podrían utilizarse son aquellos que incluyen imanes magnetizados mientras la turbina eólica está conectada a la red de suministro eléctrico, los generadores que incluyen imanes creados a partir de bobinas superconductoras y los generadores con imanes integrados estructuralmente con un
10 generador de inducción síncrono o asíncrono.

En lo que se refiere a esta invención, "operativo" significa que todos los componentes críticos de la turbina eólica están en un estado tal que la turbina eólica es
15 capaz de generar energía eléctrica en el mismo momento en el que se restablece la conexión de la red de suministro eléctrico.

Los componentes críticos de la turbina eólica constan de como mínimo un componente de la siguiente lista no exhaustiva: sistema de orientación, sistema del paso de la pala, sistema de lubricación, sistema de refrigeración y sistema de calefacción. Mantener operativos los componentes críticos se refiere a mantener operativos o activos los
20 componentes críticos para evitar problemas de adherencia, congelación, calentamiento, enfriamiento y humedad. La activación puede incluir la rotación, desplazamiento mecánico, etc. de un componente crítico, o puede incluir el calentamiento, enfriamiento, descongelación o
25 deshumidificación de un componente crítico.
30

Una ventaja de la presente invención es que la turbina eólica puede generar energía eléctrica durante una avería en la red eléctrica o durante un apagón en la red de
35 suministro eléctrico. La energía eléctrica generada puede utilizarse para abastecer a los consumidores de energía eléctrica de la turbina eólica e incluso puede utilizarse para abastecer a los consumidores conectados a una red de

suministro eléctrico local, como los consumidores de una isla u otros consumidores dentro de una sección limitada de la red global. Además, la turbina eólica puede utilizarse como fuente de energía para los parques eólicos de zonas desérticas o remotas y, de esta forma, prescindir de los generadores impulsados por motores diesel durante la interrupción de la red de suministro eléctrico.

Además, la capacidad de la invención de generar energía eléctrica durante una interrupción de la red de suministro eléctrico puede utilizarse en sustitución de dispositivos auxiliares de generación de energía, como generadores impulsados por motores diesel, durante el arranque de otras turbinas eólicas o centrales eléctricas en una situación de arranque desde cero.

Una ventaja de esta invención es que la turbina eólica no necesita un tiempo de preparación para poner en funcionamiento los componentes críticos antes de restablecer la conexión a la red de suministro eléctrico. De este modo se evitan inconvenientes como la pérdida de producción de energía y la reducción de la energía utilizable. Otra ventaja radica en el hecho de que no se necesita ninguna fuente de energía adicional aparte del generador de imanes para mantener operativos componentes críticos y para ayudar en el restablecimiento de la conexión a la red de suministro eléctrico.

Una ventaja adicional es que la turbina eólica puede mantenerse operativa durante todo el período de interrupción de la red de suministro eléctrico, aunque sea prolongado, siempre que la velocidad del viento esté por encima de 0,5 metros por segundo. También es positivo que se eviten los daños mecánicos y térmicos durante la interrupción de la red de suministro eléctrico. Además, pueden relajarse los requisitos de resistencia de los componentes expuestos, como las palas del rotor y la torre, en comparación con las anteriores turbinas eólicas, pues es

posible utilizar el sistema de orientación incluso durante interrupciones de la red de suministro eléctrico.

En una realización ideal de la invención, se ajustará
5 como mínimo un control del paso de la pala del rotor de forma que la cantidad especificada de energía eléctrica generada esté en equilibrio con el mencionado consumo de energía eléctrica estocástico, dependiente del tiempo. El control del paso de la pala del rotor incluirá el motor
10 para posicionar la pala del rotor y, por lo tanto, el control del paso de la pala del rotor se convierte en un componente crítico y en un consumidor de energía eléctrica. Una ventaja de esta realización radica en el hecho de que la energía eléctrica generada puede ajustarse según el
15 consumo actual de energía eléctrica y que es posible controlar la velocidad de giro del rotor para mantener la velocidad de rotación dentro de un intervalo predeterminado.

20 Si se mantiene la velocidad de giro del rotor dentro de un intervalo predeterminado, se evitan los daños mecánicos y térmicos durante una interrupción de la red de suministro eléctrico. Además, otra ventaja es que pueden relajarse los requisitos de resistencia de los componentes
25 expuestos, como las palas del rotor y la torre, en comparación con las anteriores turbinas eólicas, pues es posible utilizar el sistema de orientación incluso durante la interrupción de la red de suministro eléctrico.

30 En una realización ideal de la invención, el ángulo de paso se ajustaría en función de la velocidad del viento. Resulta ventajoso tener en cuenta la velocidad del viento en la determinación de un cambio en el ángulo de paso, pues ello permite una predicción más precisa de la velocidad
35 resultante del rotor y, por lo tanto, de la producción de energía eléctrica.

En otra posible realización de la invención, el ángulo

de paso se ajusta alternativamente o adicionalmente en función de otros parámetros seleccionados de un grupo en el que se incluyen: la velocidad del rotor, el momento de giro del rotor, la tensión del estator y el consumo de energía eléctrica. Resulta interesante saber que pueden utilizarse parámetros distintos a la velocidad del viento alternativamente o adicionalmente a la medición de la velocidad del viento cuando se determina un cambio en el ángulo de paso. De ahí que pueda evitarse el uso de dispositivos como anemómetros para la medición de la velocidad del viento pues estos parámetros alternativos mensurables pueden proporcionar formas de obtener redundancia en el bucle de control del ángulo de paso.

En una realización ideal de la invención, la energía eléctrica generada se mantiene en equilibrio con la energía eléctrica consumida midiendo la frecuencia de tensión de señal producida por el generador y utilizando esta medición para ajustar el paso de la pala. Resulta beneficioso que el método para mantener la energía eléctrica generada en equilibrio con la energía eléctrica consumida esté basado en la medición de la frecuencia de la tensión de señal producida por el generador, pues se trata de un método sencillo y fiable.

En otra posible realización de la invención, la energía eléctrica generada se mantiene en equilibrio con la energía eléctrica consumida midiendo alternativa o adicionalmente, como mínimo, un parámetro seleccionado de un grupo que consta de: la energía eléctrica consumida, la velocidad de giro del eje del rotor y el momento de giro del rotor, y utilizando esta medición para ajustar el ángulo de paso. Resulta útil poder utilizar parámetros distintos a la frecuencia de la tensión producida por el generador y podría utilizarse como alternativa a o de forma adicional a la frecuencia, pues los parámetros alternativos mensurables proporcionan medios para conseguir redundancia en el bucle de control del ángulo de paso.

En otra realización de la invención, la energía eléctrica generada se mantiene en equilibrio con la energía eléctrica consumida midiendo alternativa o adicionalmente la energía transferida a la red de suministro eléctrico de forma que la energía indicada permanezca aproximadamente igual a cero. En esta realización, la medición de la energía se utiliza para ajustar el ángulo de paso y/o los parámetros del controlador. Utilizando este método es posible controlar la energía eléctrica generada por la turbina eólica de forma que no se transfiera energía a la red de suministro eléctrico incluso sin desconectar la turbina eólica de la red de suministro eléctrico.

Una posible realización de la invención utiliza un convertidor eléctrico para ajustar la frecuencia de la señal de la tensión eléctrica generada por el generador de imanes. De esta forma es posible mantener la frecuencia de la señal de la tensión de salida del convertidor eléctrico en un número constante independiente de la frecuencia de la señal de la tensión del generador e independiente de la velocidad de giro del rotor.

Una realización ideal de la invención incluye un convertidor eléctrico para ajustar la tensión de pico de la señal de la tensión generada por el generador de imanes permanentes. De esta forma, la tensión de pico de la señal de la tensión de salida del convertidor eléctrico puede mantenerse a un nivel constante independiente de la tensión de pico de la señal de la tensión procedente del generador e independientemente de la velocidad de giro del rotor.

Una posible realización de la invención incluiría una forma de filtrar la señal de la tensión eléctrica generada por el generador de imanes para la reducción de armónicos en la señal de la tensión.

Una posible realización de la invención incluye formas

de transformar señal de la tensión eléctrica producida por el generador de imanes para conseguir la separación galvánica y la adaptación de la tensión de la mencionada señal de la tensión.

5

En una realización de la invención, se mantiene operativo durante una interrupción de la red de suministro eléctrico como mínimo uno de los siguientes componentes críticos: sistema de orientación, sistema del paso de la pala, sistema de lubricación, sistema de refrigeración, sistema de calefacción y cojinetes del sistema de orientación, de las palas o de la multiplicadora. La ventaja es que la turbina eólica no requiere ningún tiempo de preparación para que los componentes críticos vuelvan a estar operativos antes de restablecer la conexión a la red de suministro eléctrico. De este modo se evitan inconvenientes como la pérdida de producción de energía y la reducción de la energía utilizable.

En una posible realización de la invención, se disiparía la energía durante la transición de un estado de generación de energía a otro estado de generación de energía. El resultado es que durante el intervalo de tiempo entre el momento en que se produce la interrupción de la red de suministro eléctrico y el momento en que se establece un equilibrio entre producción de energía eléctrica y consumo energético, se disipará una cantidad de energía residual. Por lo tanto, la turbina eólica puede pasar de un estado de producción de energía eléctrica a otro estado de producción de energía eléctrica sin riesgos de daños eléctricos y mecánicos.

En una posible realización de la invención, la velocidad del viento se estimaría a partir de mediciones de como mínimo un parámetro seleccionado de un grupo que incluye la energía eléctrica producida, la velocidad de giro del eje del rotor y el momento de giro del rotor, evitando de este modo el uso de medios de medición de la

velocidad del viento como anemómetros.

En otra posible realización de la invención, se conecta un consumo en espera sólo operativo durante los
5 períodos de tiempo en que la turbina eólica está conectada a la red de suministro eléctrico para consumir una cantidad de energía eléctrica constante y superior a cero durante el período de interrupción de la red de suministro eléctrico. La variación relativa del consumo de energía eléctrica
10 provocada por los consumidores de energía eléctrica que se conectan y desconectan de forma imprevista se reduce, pues la cantidad consumida de energía eléctrica nunca desciende por debajo de la cantidad constante de energía consumida por el consumo en espera. La ventaja es que las variaciones
15 relativas del ángulo de paso también se reducen correspondientemente.

Uno o varios de los objetivos de la invención se consigue mediante una turbina eólica diseñada para ser
20 conectada a una red de suministro eléctrico,

- dicha turbina eólica consta de como mínimo un control del paso de la pala del rotor y un generador de imanes para producir energía eléctrica durante los períodos de tiempo en que la turbina eólica se desconecta de la red
25 de suministro eléctrico y
- dicha turbina eólica se dota con medios que permiten ajustar una cantidad de la energía eléctrica producida de forma que la energía eléctrica producida esté en equilibrio con un consumo estocástico necesario,
30 dependiente del tiempo, de una carga
- de la cual como mínimo una carga es un consumidor de energía eléctrica de la turbina eólica y dicha turbina eólica comprende un elemento generador de energía capaz de producir energía eléctrica durante los períodos de
35 tiempo en que la turbina eólica está desconectada de la red de suministro eléctrico
- siendo dicho elemento generador de energía el mencionado generador de imanes.

Resulta ventajoso poder ajustar la energía eléctrica producida según el consumo de energía eléctrica del momento y que pueda controlarse la velocidad de giro del rotor para
5 mantenerla dentro de un intervalo predeterminado. Cuando se mantiene la velocidad de giro del rotor dentro de un rango predeterminado, una ventaja derivada es que se evitan los daños mecánicos y térmicos durante una interrupción de la red de suministro eléctrico, en comparación con un estado
10 operativo en el que la turbina eólica se conecta realmente a la red. Además, otra ventaja es que pueden relajarse los requisitos de resistencia de los componentes expuestos, como las palas del rotor y la torre, en comparación con las anteriores turbinas eólicas, pues es posible utilizar el
15 sistema de orientación incluso durante la interrupción de la red de suministro.

Otra ventaja es que la turbina eólica es capaz de producir energía eléctrica durante una interrupción de la
20 red de suministro eléctrico. La energía eléctrica generada puede utilizarse para abastecer a los consumidores de energía eléctrica de la turbina eólica e incluso puede utilizarse para abastecer a los consumidores conectados a una red de suministro eléctrico local, como los
25 consumidores de una isla u otros consumidores dentro de una sección limitada de la red completa. Además, la capacidad de la invención de producir energía eléctrica durante una interrupción de red de suministro eléctrico puede utilizarse en sustitución de dispositivos auxiliares de
30 generación de energía, como generadores impulsados por motores diesel, durante el arranque de otras turbinas eólicas o centrales eléctricas en una situación de arranque desde cero.

35 En relación con los aspectos positivos mencionados más arriba, una ventaja del invento actual es que la turbina eólica no necesita un tiempo de preparación para que los componentes críticos vuelvan a ser operativos antes de

restablecer la conexión a la red de suministro eléctrico y que se evitan desventajas como la pérdida de producción de energía y la reducción de la energía utilizable.

5 Pueden utilizarse varios tipos de generadores de imanes, ya sea generadores que incluyan imanes permanentes magnetizados totalmente de forma preliminar, generadores con imanes magnetizados durante el período en el que la turbina eólica se conecta a la red de suministro eléctrico,
10 generadores con imanes creados a partir de bobinas superconductoras y generadores con imanes estructuralmente integrados con un generador de inducción síncrono o asíncrono. Cada tipo de generador tiene ventajas sobre el resto, por ejemplo ventajas económicas, de eficacia y
15 fiabilidad. Una ventaja concreta del generador de imanes permanentes es que la capacidad de producción de energía del generador de imanes permanentes es independiente de un suministro externo de energía eléctrica.

20 Una realización ideal de la invención incluirá un convertidor estatórico capaz de modificar la frecuencia de la señal de la tensión generada por el mencionado generador de imanes, adaptando de este modo las propiedades de frecuencia de la tensión producida por el generador para
25 satisfacer las propiedades de frecuencia requeridas por la red de suministro eléctrico en el momento de restablecimiento de la conexión.

Una realización ideal de la invención incluirá un
30 convertidor estatórico capaz de modificar la tensión de pico de la señal de la tensión generada por el mencionado generador de imanes, adaptando de este modo la tensión de pico de la señal de la tensión producida por el generador a la tensión de pico de la red de suministro eléctrico, en el
35 momento de restablecimiento de la conexión.

La turbina eólica consta preferentemente de, como mínimo, un actuador impulsado por un motor eléctrico para

ajustar el paso de la pala de forma que sea posible ajustar la producción de energía eléctrica del generador para satisfacer el consumo energético de los consumidores de energía eléctrica. Alternativamente pueden utilizarse
5 motores hidráulicos o neumáticos para accionar los actuadores del paso de la pala.

Una posible realización de la invención incluiría un filtro para el filtrado de la señal de la tensión eléctrica
10 generada por el generador de imanes permanentes. El resultado de utilizar un filtro es la reducción de la distorsión de armónicos de la tensión de salida procedente del filtro.

15 Una posible realización de la invención incluiría un transformador para la separación galvánica y la adaptación de la tensión de pico. En ese caso, en primer lugar el transformador adapta la tensión de pico de la señal producida por el generador a la tensión de pico de la red
20 de suministro eléctrico. En segundo lugar, el transformador proporciona una separación galvánica entre el generador y la red de suministro eléctrico.

Puede ser que la turbina eólica incluya sólo un
25 sistema operativo seleccionado de un grupo que incluye: el sistema de calefacción, el sistema de refrigeración, el sistema de lubricación, el sistema de deshumidificación y el sistema de descongelación, siendo el objetivo del mencionado sistema operativo el mantenimiento en
30 funcionamiento de los llamados componentes críticos. Por ejemplo, puede ser necesario refrigerar algunos componentes como los componentes electrónicos que de lo contrario se calentarían excesivamente durante el funcionamiento y podría ser necesario calentar componentes como las cajas de
35 engranajes para minimizar el desgaste. Por otra parte, los componentes mecánicos como las cajas de engranajes necesitan lubricación para evitar fallos y minimizar el desgaste. En condiciones temporales adversas, podría ser

necesario utilizar sistemas para la deshumidificación y la descongelación de componentes críticos como componentes electrónicos o las palas del rotor, respectivamente.

5 Una realización posible de la invención incluye como mínimo un interruptor CC. El interruptor CC es capaz de disipar energía residual durante el intervalo de tiempo entre el momento en que se produce la interrupción de la red de suministro eléctrico, cuando el generador de imanes
10 produce una gran cantidad de energía eléctrica y el momento en que se establece un equilibrio entre una producción de energía eléctrica reducida y el consumo energético reducido, facilitando un modo de cambiar el estado de la turbina eólica de un estado de producción de energía
15 eléctrica a otro estado de producción de energía eléctrica sin peligro de que se produzcan daños eléctricos y mecánicos.

Una realización ideal de la invención incluye formas
20 de estimar la velocidad del viento. Éstas se seleccionan a partir de un grupo de medios de medición de la velocidad del viento, como anemómetros, medios para medir la velocidad de giro del eje del rotor, como tacómetros, medios para medir el momento de giro del rotor, como
25 extensímetros y medios de medición de la energía como medidores de potencia. Los anemómetros proporcionan mediciones directas y fiables de la velocidad del viento. Sin embargo, la velocidad del viento puede estimarse alternativa o adicionalmente a partir de otras mediciones
30 como la velocidad de giro del eje del rotor para proporcionar redundancia en el sistema de medición del viento.

Estos y otros aspectos de la invención se describirán
35 de una forma más detallada con ayuda de los dibujos y realizaciones que se describen a continuación.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirá la invención en relación con los dibujos.

5 La Figura 1 ilustra esquemáticamente las interconexiones de los componentes de una turbina eólica y la conexión de la turbina eólica a una red de suministro eléctrico.

10 La Figura 2 muestra un diagrama del cambio de valor de ángulo de paso en función del tiempo cuando se produce una interrupción de la red de suministro eléctrico.

La Figura 3 muestra los cambios de estado de una
15 turbina eólica en relación con la interrupción de la red de suministro eléctrico.

Descripción detallada de la invención

20 La Figura 1 muestra una turbina eólica conectada a una red de suministro eléctrico 23 mediante un interruptor 22. La turbina eólica 1 incluye un rotor 2 que tiene como mínimo una pala del rotor 3, una multiplicadora 4 y un eje del rotor 5 que impulsa un generador de imanes permanentes
25 6. El generador de imanes permanentes 6 produce energía eléctrica que se transfiere a un convertidor 7. El convertidor 7 convierte la tensión de pico, la frecuencia y la fase de la señal eléctrica antes de transferirla a un transformador 8 y a un filtro 9 a través de un interruptor
30 10.

Hay que distinguir entre dos estados operativos de la turbina eólica: un primer estado operativo es la situación normal en que la red de suministro eléctrico no está
35 expuesta a interrupciones; la turbina eólica está conectada a la red de suministro eléctrico y la turbina eólica se encuentra en una situación normal de producción de energía eléctrica. Un segundo estado operativo es aquel en el que

la red de suministro eléctrico está expuesta a una interrupción; la turbina eólica se desconecta de la red de suministro eléctrico y la turbina eólica se encuentra en una situación de producción de energía eléctrica reducida.

5 En el segundo estado operativo, la turbina eólica produce energía eléctrica sólo para sus propios consumos de energía eléctrica y posiblemente también para otras turbinas y quizás para consumos externos no críticos.

10 En la situación de producción normal de energía eléctrica, el transformador 8 transforma la señal de la tensión eléctrica para ajustarla a la tensión de pico de la red de suministro eléctrico y el filtro 9 elimina la distorsión de armónicos de la señal eléctrica. Si el
15 interruptor 10 y el interruptor 22 están cerrados se establece una conexión con la red de suministro eléctrico, mientras que si se produce una interrupción de la red de suministro la turbina eólica se desconecta de la red abriendo el interruptor 10, interruptor 22 o ambos.
20 Cerrando el interruptor 10 y abriendo el interruptor 22, la turbina eólica podrá abastecer energía eléctrica a consumos críticos externos 24 y consumos externos no críticos 25 mientras la red de suministro restante 23 esté desconectada.

25

Tanto el grupo de consumo externo crítico 24, como el grupo de consumo externo no crítico 25 pueden incluir interruptores para la desconexión o conexión de cualquiera de ellos, o de ambos, al transformador 8. El grupo de
30 consumo externo crítico 24 puede incluir consumos que dependan de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI) y el grupo de consumo externo no crítico puede incluir otras turbinas eólicas, los consumos eléctricos domésticos o los consumos eléctricos de fábricas.

35

En otra ramificación 11 del circuito eléctrico de la Figura 1, se transfiere la señal eléctrica del convertidor 7 a un transformador 18 y a un filtro 19. El transformador

18 transformará la tensión de pico según la tensión de pico
requerida por los consumidores de energía eléctrica de la
propia turbina, entre los que se incluye al consumo no
crítico 12 de energía eléctrica y al consumo crítico 13 de
5 energía eléctrica. El filtro 19 es el encargado de eliminar
la distorsión de armónicos. El consumo no crítico 12 y el
consumo crítico 13 pueden desconectarse de la derivación
eléctrica 11, independientemente entre sí, mediante un
interruptor 20 y un interruptor 21.

10

Los consumos de energía eléctrica de la turbina eólica
pueden estar diseñados de forma que el transformador 18 sea
superfluo y pueda omitirse de la realización que se muestra
en la Figura 1. Los filtros 9 y 19 pueden colocarse en
15 otras ubicaciones distintas a las mostradas en la Figura 1,
por ejemplo frente a los transformadores 8 y 18. Además,
los filtros 9 y 10 pueden omitirse y sustituirse por un
único filtro colocado directamente tras el convertidor 7.
Este filtro también podría integrarse con el convertidor 7.

20

Un sistema de control 14 de la turbina eólica se
encarga de ajustar el ángulo de paso de las palas del rotor
3 y de ajustar la velocidad de giro del rotor 2. Este
sistema de control es el responsable de la cantidad de
25 energía eléctrica producida desde el generador de imanes 6.
El sistema de control 14 controla como mínimo un actuador
eléctrico del paso de la pala (no aparece en la imagen)
mediante el control de una señal 15 con el objetivo de
posicionar las palas del rotor 3 hasta conseguir la
30 ubicación deseada. Un dispositivo de medición de red 16
proporciona al sistema de control 14 información sobre el
consumo energético de la propia turbina eólica (consumo no
crítico 12 y consumo crítico 13), así como sobre el consumo
energético de los consumidores de la red de suministro
35 eléctrico 23, otras turbinas 24 y posibles consumos
externos no críticos 25. Además, el sistema de control
también obtiene información a través de otra señal de
control 17 con datos sobre la velocidad del viento y la

velocidad de giro del eje del rotor 5. El sistema de control 14 también se encarga del control del convertidor 7.

5 El generador de imanes 6 puede ser un generador de imanes permanentes, un generador síncrono de imanes permanentes u otro tipo de generador de imanes permanentes. El generador de imanes 6 puede tener imanes magnetizados durante el llamado primer estado operativo en el que la red
10 no está expuesta a ninguna interrupción. Durante el segundo estado operativo en el que la red de suministro eléctrico está expuesta a una interrupción y la turbina eólica está desconectada de la red, los imanes magnetizados permiten producir energía eléctrica. Sin embargo, debido a las
15 propiedades de los imanes magnetizados, el campo magnético de los imanes perderá gradualmente fuerza hasta que se restablezca la conexión a la red de suministro eléctrico tras solucionar la interrupción. Además, los imanes del generador de imanes pueden estar fabricados a partir de
20 bobinas superconductoras. En otra realización, los imanes podrían integrarse con un generador de inducción síncrono o asíncrono de forma que cuando se desconecte la turbina eólica de la red y no exista ningún suministro eléctrico externo disponible para la magnetización de los bobinados
25 del generador síncrono o asíncrono, los imanes seguirán permitiendo la producción de energía eléctrica.

Cualquiera de los tipos de generador que se describen anteriormente se utiliza tanto para la producción de
30 energía eléctrica durante una situación normal cuando no existe ninguna interrupción de la red de suministro eléctrico y para la producción de energía eléctrica durante una interrupción de la red.

35 El generador de imanes tiene la capacidad de producir energía eléctrica sin necesidad de fuentes de energía auxiliares como requieren los generadores de inducción asíncronos. Por lo tanto, la turbina eólica podrá producir

energía eléctrica incluso en una situación de interrupción de la red en la que la turbina eólica se desconecta de suministros energéticos externos.

5 El rotor 2, que incluye como mínimo una pala del rotor 3, transforma la energía eólica en rotaciones del eje del rotor 5. La velocidad de giro del eje del rotor 5 puede reducirse o incrementarse con ayuda de una multiplicadora para obtener una salida de energía máxima del generador de
10 imanes permanentes 6. La multiplicadora no es necesaria en turbinas eólicas con generadores de imanes permanentes caracterizados por un número elevado de polos.

La velocidad de giro de los generadores de imanes
15 puede variar según la velocidad del viento. En ese caso, la frecuencia de la tensión de señal del generador variará del modo correspondiente. Puesto que la frecuencia de la señal de la tensión de la red de suministro eléctrico es constante, deberá transformarse la frecuencia variable de
20 la tensión de señal del generador para satisfacer los requisitos de frecuencia de la red de suministro eléctrico. Para ello se utiliza un convertidor. El convertidor rectifica la señal eléctrica del generador de imanes en una señal CC (señal de corriente continua), que puede filtrarse
25 y amplificarse. Posteriormente, la señal CC se convierte en una señal CA (corriente alterna) con la frecuencia requerida, preferentemente una frecuencia que sea constante e igual a la frecuencia de la tensión de señal de la red de suministro eléctrico. También puede colocarse un filtro
30 tras el inversor para reducir la distorsión de armónicos de la tensión de señal.

Si se produce una interrupción de la red de suministro eléctrico, el dispositivo de medición de la red
35 detectará la interrupción y, a continuación, el controlador 14 abrirá como mínimo uno de los interruptores 10 y 22 y, de este modo, desconectará la turbina eólica de la red de suministro eléctrico 23 y posiblemente de las otras

turbinas 24 y del consumo no crítico 25. Debido a la capacidad del generador de imanes de producir energía eléctrica sin ningún suministro eléctrico externo, el generador podrá seguir produciendo energía mientras la
5 turbina eólica esté desconectada de la red de suministro. Por lo tanto, la turbina eólica podrá producir energía eléctrica para sus propios consumidores de energía (consumo no crítico 12 y consumo crítico 13).

10 El/los consumo/s críticos 13 de energía eléctrica incluyen los componentes de la turbina eólica que deben mantenerse en funcionamiento durante una interrupción de la red de suministro eléctrico o que es conveniente mantener en funcionamiento durante una interrupción de la red de
15 suministro eléctrico. Una lista no exhaustiva de consumos críticos, incluye: como mínimo un actuador del paso de la pala, un controlador, un convertidor, un sistema de orientación, un sistema de lubricación, un sistema de refrigeración, un sistema de calefacción, un sistema de
20 descongelación y un sistema de deshumidificación. Los consumos no críticos de energía eléctrica incluyen aquellos componentes de la turbina eólica que no deben mantenerse operativos durante una interrupción de la red eléctrica, como ordenadores auxiliares, instalaciones con un consumo
25 de energía eléctrica limitado y el equipo de mantenimiento.

El consumo crítico 13 de energía eléctrica de la turbina eólica forma parte de un grupo de componentes críticos que también deben mantenerse operativos durante
30 una interrupción de la red de suministro eléctrico. Además del grupo de consumo crítico, una lista no exhaustiva de componentes críticos incluye: la multiplicadora, uno o varios cojinetes, una pala del rotor como mínimo, un sistema de orientación y un sistema de posicionamiento de
35 la pala.

Por lo tanto, todos los componentes críticos de la turbina eólica pueden mantenerse operativos durante un

error de la red de suministro eléctrico. Mantener los componentes críticos operativos debe entenderse como mantenerlos en funcionamiento u operativos para evitar problemas de adherencia, heladas, calentamiento, 5 enfriamiento y humedad. Mantenerlos en funcionamiento puede implicar el desplazamiento mecánico o rotación de partes mecánicas (como un sistema de posicionamiento de la pala, una multiplicadora, un sistema de orientación y los cojinetes) para evitar problemas tales como la adherencia y 10 las heladas.

Además, mantener en funcionamiento también puede implicar la acción de calentar o refrigerar, por ejemplo en condiciones atmosféricas frías calentar un lubricante de la 15 multiplicadora 4 y calentar los sistemas de lubricación como tal o en condiciones atmosféricas cálidas, por ejemplo, refrigerar el lubricante de la multiplicadora 4 y los componentes eléctricos como el convertidor 7. Mantener en funcionamiento también puede incluir la acción de 20 calentar, refrigerar, descongelar o deshumidificar los componentes críticos o toda la góndola para mantener una turbina eólica en condiciones de temperatura controlada incluso bajo condiciones atmosféricas severas.

25 Una ventaja de mantener operativos los componentes críticos de la turbina eólica durante un fallo de la red de suministro es que el período de tiempo necesario para restablecer la conexión de una turbina eólica a una red de suministro eléctrico tras un fallo de la red será 30 independiente de la duración de la interrupción de la red de suministro y, por lo tanto, se minimiza el período de tiempo requerido para restablecer la conexión. Ello permite restablecer la conexión a la red rápidamente tras su recuperación. Del mismo modo, la turbina eólica no requiere 35 un tiempo de preparación para que los componentes críticos entren en funcionamiento antes de restablecer la conexión a la red de suministro eléctrico. De este modo se evitan inconvenientes como la pérdida de producción de energía

eléctrica y la reducción de la energía utilizable de la turbina eólica. Gracias a las propiedades del generador de imanes no se necesita ninguna fuente de energía adicional además del generador de imanes para mantener operativos los
5 componentes críticos. Por lo tanto, la turbina eólica puede mantenerse operativa incluso durante interrupciones prolongadas de la red de suministro eléctrico, siempre que la velocidad del viento se sitúe por encima de los 0,5 metros por segundo.

10

Al mantener la turbina eólica operativa, también se consigue evitar el desgaste y los daños ya que los componentes como los imanes del generador, la multiplicadora y los cojinetes (por ejemplo los cojinetes
15 de los actuadores del paso de la pala y de los sistemas de orientación)¹⁰ se mantienen a una temperatura y humedad ideales.

Además, pueden relajarse los requisitos de resistencia
20 de los componentes expuestos, como las palas del rotor y la torre, en comparación con las anteriores turbinas eólicas, pues existe la posibilidad de utilizar el sistema de orientación, incluso durante interrupciones de la red de suministro eléctrico. De esta forma es posible ajustar la
25 posición del rotor de forma ideal, por ejemplo para que el rotor mire en la dirección del viento.

Otra ventaja es que la energía eléctrica producida por la turbina eólica además de abastecer a los consumidores de
30 energía de la propia turbina eólica también puede abastecer a otras turbinas, como otras turbinas eólicas equipadas con generadores asíncronos. Los consumos externos no críticos como los de islas y otros con una sección limitada de la red de suministro eléctrico completa también pueden ser
35 abastecidos durante un período de interrupción de la red de suministro eléctrico. La capacidad de producción de energía eléctrica del generador de imanes también puede utilizarse para abastecer a los generadores de una central eléctrica

en caso de un arranque desde cero de una red de suministro eléctrico.

5 Durante el período de interrupción de la red de suministro, mientras la turbina eólica se mantiene operativa, la cantidad de energía eléctrica producida puede ajustarse para equipararla a la cantidad de energía eléctrica consumida para controlar la velocidad de giro del rotor.

10

Si la cantidad producida de energía eléctrica es superior a la cantidad consumida de energía eléctrica, se producirá una situación de fuga. De lo contrario, si la cantidad producida de energía eléctrica es inferior a la
15 cantidad consumida de energía eléctrica, la velocidad del rotor bajará y puede llegar a detenerse.

La energía eléctrica consumida varía según el consumo energético de los consumidores de energía eléctrica (los
20 consumidores pueden conectarse o desconectarse de forma imprevista). Por lo tanto, es preciso ajustar la energía eléctrica producida según el consumo energético estocástico, dependiente del tiempo, de las cargas de los consumidores de la propia turbina eólica y de los
25 consumidores externos de energía, como otras turbinas eólicas y posibles consumos no críticos. La cantidad de energía eléctrica producida se ajusta aumentando o reduciendo el ángulo de paso de la pala del rotor 3.

30 Debido al consumo estocástico, dependiente del tiempo, de energía, la energía consumida puede cambiar instantáneamente de cero a un valor máximo. Esta situación plantea elevadas exigencias sobre el sistema del paso de la pala que debe ajustar el ángulo de paso según las
35 variaciones de energía consumida. Sin embargo, utilizando un consumidor ficticio de energía eléctrica que consume una cantidad de energía constante y superior a cero durante el período de interrupción de la red de suministro eléctrico,

se reduce la variación relativa del consumo eléctrico porque la cantidad consumida de energía nunca baja por debajo de la cantidad constante de energía consumida por el consumidor ficticio y, por lo tanto, las variaciones
5 relativas del ángulo de paso son también menores.

El controlador 14 genera una señal del paso de la pala 15 en forma de tensión de señal eléctrica, utilizada para impulsar o repercutir sobre el actuador del paso de la pala
10 (no consta en el diagrama) como un motor eléctrico o actuador hidráulico, que por su parte aumentará o reducirá el ángulo de paso β de la pala del rotor 3. Si el consumo de energía cae inesperadamente, ello provocaría una aceleración del rotor 2 y un aumento de la velocidad de
15 giro del eje del rotor y, como consecuencia, de la frecuencia de la señal de la tensión generada por el generador de imanes 6.

Por lo tanto, el controlador 14 puede utilizar las
20 mediciones de la velocidad de giro del eje del rotor para determinar la señal del paso de la pala 15, de forma que la cantidad producida de energía sea igual a la cantidad consumida de energía. Alternativamente o adicionalmente, pueden realizarse mediciones de la frecuencia de la tensión
25 de señal del generador en lugar de o además de medir la velocidad de rotación del eje del rotor y el controlador 14 puede utilizar estas mediciones para determinar la señal del paso de la pala 15 de forma que la cantidad producida de energía sea igual a la cantidad consumida de energía. El
30 controlador también puede utilizar individualmente o combinadas otras acciones, como la medición de la velocidad del viento 17, la medición de la energía eléctrica consumida, la medición del momento de giro del rotor y la determinación del ángulo de paso real. El controlador puede
35 utilizar estas acciones alternativa o adicionalmente para determinar la señal del paso de la pala 15.

Alternativamente, la energía eléctrica producida puede mantenerse en equilibrio con la energía eléctrica consumida midiendo alternativa o adicionalmente la energía transferida a la red de suministro eléctrico, de forma que
5 dicha energía sea aproximadamente igual a cero. La energía transferida a la red de suministro eléctrico podría medirse en una posición entre el interruptor 10 y la red 23. Si la energía medida es distinta a cero, el ángulo de paso y/o los parámetros del controlador 14, como la fase entre las
10 señales de corriente y tensión, se ajustan hasta que la energía activa transferida a la red de suministro eléctrico es aproximadamente igual a cero.

Utilizando este método es posible controlar la energía
15 eléctrica generada por la turbina eólica de forma que no se transfiera energía a la red de suministro eléctrico incluso sin desconectar la turbina eólica de la red de suministro eléctrico. Según este método, podrían suprimirse los interruptores 22 y 10.

20

Durante una situación normal de producción energética sin interrupciones, el ángulo de paso se ajusta según otros parámetros que reflejan las condiciones para producir la mayor cantidad posible de energía eléctrica, los requisitos
25 para mantener la velocidad de giro del rotor dentro de un intervalo especificado y/o los requisitos para evitar dañar los componentes de la turbina eólica.

El sistema de control que consta de un controlador 14
30 y del actuador del paso de la pala (no aparece en el diagrama) descrito anteriormente en relación con el método para ajustar el ángulo de paso durante el período de interrupción de la red de suministro eléctrico puede adaptarse para su uso como control de paso durante una
35 situación normal de producción de energía modificando determinados parámetros de control, por ejemplo cambiando

los algoritmos de control y cambiando la influencia de las mediciones de entrada sobre el controlador 14.

La entrada mencionada anteriormente que llega al controlador 14 puede medirse con, como mínimo, uno de los dispositivos siguientes: dispositivos para medir la velocidad de giro del eje del rotor (tacómetros o codificadores), dispositivos para medir la frecuencia de la tensión de señal (contadores de frecuencia), dispositivos para medir la velocidad del viento (anemómetros), dispositivos para medir la energía eléctrica consumida (medidores de potencia) o dispositivos para medir el momento de giro del rotor (medidores del momento de giro).

Las mediciones de cantidades distintas, como la velocidad del rotor, la frecuencia de una tensión de señal, la velocidad del viento y la energía eléctrica consumida, pueden complementarse de forma que, por ejemplo, el controlador 14 tolere la avería de un dispositivo de medición. Por ejemplo, si el tacómetro falla y las mediciones de la velocidad del rotor dejan de ser fiables, en su lugar podrán utilizarse las mediciones del contador de frecuencia; si el anemómetro falla y no se dispone de mediciones de la velocidad del viento, la velocidad del viento podrá estimarse a partir de otras mediciones como la medición de la energía eléctrica producida y la velocidad del rotor.

La Figura 1 muestra un convertidor 7 utilizado para adaptar la frecuencia de la tensión de señal proporcionada por el generador de imanes 6. Dicha frecuencia varía según las variaciones de la velocidad del rotor. Sin embargo, puesto que los consumidores de energía eléctrica requieren una frecuencia constante, el convertidor debe ser capaz de transformar la tensión de señal de entrada con una frecuencia variable a una tensión de señal de salida con una frecuencia constante predeterminada. La tensión de pico de la tensión de señal suministrada por el generador de

imanes 6 también puede variar según las variaciones de la velocidad del rotor. Sin embargo, puesto que los consumidores de energía eléctrica requieren una tensión de pico constante, el convertidor también debe ser capaz de
5 ajustar la tensión de pico de la tensión de señal de forma que la tensión de señal de salida tenga una tensión de pico constante. Además, el convertidor debe ser capaz de cambiar la fase entre las señales de corriente y la tensión para el ajuste de la producción de energía activa y reactiva. El
10 convertidor también puede incluir filtros para la reducción de la distorsión de armónicos. Los convertidores con las propiedades mencionadas anteriormente se conocen como convertidores estatóricos, convertidores de frecuencia, convertidores matriciales, convertidores CA/CC-CC/CA, y
15 convertidores eléctricos.

El transformador 8 se utiliza para adaptar aún más la tensión de pico de la tensión de señal transmitida desde el convertidor 7 para ajustarla a la tensión de pico de la red
20 de suministro eléctrico. Antes o después del transformador 8 puede colocarse un filtro 9 para eliminar la distorsión de armónicos de la tensión de señal. El transformador 8 también proporciona una separación galvánica entre la turbina eólica y la red de suministro eléctrico.

25

Durante el intervalo de tiempo entre el momento en que se produce la interrupción de la red de suministro eléctrico y el momento en que se ha establecido un equilibrio entre la producción de energía y el consumo
30 energético, es preciso disipar una cantidad residual de energía almacenada como energía cinética de las partes giratorias de la turbina eólica. La duración de la transición de un estado de producción de energía a otro normalmente dura entre 0,1 segundos y 10 segundos. Un
35 dispositivo que suele utilizarse para disipar energía eléctrica durante estos breves períodos de tiempo es un interruptor CC. En algunas situaciones, la duración de una interrupción de la red de suministro eléctrico está entre

0,1 segundos y 10 segundos y, en ese caso, el interruptor CC debe ser capaz de controlar por sí sólo la interrupción de la red de suministro eléctrico. La energía eléctrica también podría disiparse permitiendo la aceleración del rotor 2, utilizando un motor para acelerar un volante pesado o simplemente utilizando una resistencia.

La Figura 2 muestra un gráfico que indica la relación entre el ángulo de paso β a lo largo del eje de ordenadas y el tiempo a lo largo del eje de abscisas. Al principio, durante un intervalo de tiempo 30, el ángulo de paso tiene un valor correspondiente a una situación normal de producción energética, en la que el ángulo de paso de las palas del rotor normalmente se sitúa en el intervalo entre -5 y 20 grados o en el intervalo entre 10 y 20 grados. En un momento aleatorio 31, el dispositivo de medición de la red (véase Fig. 1) detecta que no existe una conexión con la red de suministro eléctrico, un indicativo de una posible interrupción de la red. Durante un intervalo de tiempo 32 se verifica si la interrupción de la red de suministro persiste y si, al mismo tiempo, un interruptor CC u otro dispositivo para disipar energía eléctrica disipa la energía residual proporcionada por generadores de imanes. La duración del intervalo de tiempo 32 suele estar entre 3 y 5 segundos.

Si la red de suministro eléctrico no se restablece en un periodo que suele ser de 5 segundos, se abre el interruptor 10 y/o el interruptor 22 (véase Fig. 1) para desconectar intencionadamente la turbina eólica 1 de la red de suministro eléctrico 23. Posteriormente, se cambia el ángulo de paso de las palas del rotor a un valor predefinido durante un período de transición 33. El cambio del ángulo de paso a un valor predefinido puede combinarse con o sustituirse por un procedimiento en el que el ángulo de paso se ajuste en un bucle de control de retroalimentación durante el período de transición 33 hasta que la cantidad de energía producida por el generador de

imanes equivalga a la cantidad consumida de energía de forma que el rotor gire a una velocidad constante.

Un procedimiento típico de actuación ante una
5 interrupción de la red de suministro eléctrico, según el método anterior, es cambiar el ángulo de paso por ejemplo a 90 grados, tal como muestra la línea discontinua 34, de forma que la velocidad de giro del rotor se reduce considerablemente o se detiene. Tras el período de
10 transición 33, la turbina eólica se encuentra en un estado 35 en el que funciona en modo de auto abastecimiento en el que el generador de imanes de la turbina eólica produce energía para sus propios consumidores de energía eléctrica (consumos no críticos 12 y/o consumos críticos 13 (véase
15 Fig. 1)) y posiblemente para otras turbinas 24 (véase Fig. 1) y consumos no críticos externos 25 (véase Fig. 1).

Durante el período en el que la turbina eólica se encuentra en el estado 35, el ángulo de paso se ajusta
20 constantemente de forma que la cantidad producida de energía equivale a la cantidad de energía consumida y, como consecuencia, la velocidad del rotor se mantiene dentro de un rango óptimo en relación con el modo de auto abastecimiento. La duración del estado 35 pueden ser
25 segundos, minutos, horas o días si la velocidad del viento permanece por encima de, por ejemplo, 0,5 metros por segundo, siendo éste un posible límite inferior para el funcionamiento del rotor. Cuando la red de suministro eléctrico se ha recuperado de su interrupción y tras el
30 período de tiempo 36 en el que se verifica si persiste la recuperación, el ángulo de paso se ajusta durante un período 37 hasta que se ha restablecido la situación normal de producción energética.

35 La Figura 3 ilustra las transiciones implicadas en un cambio del estado normal de producción de energía al estado en el que la turbina eólica produce energía para sus propios consumidores de energía eléctrica y posiblemente

otras turbinas y consumos no críticos externos (es decir, el modo de auto abastecimiento). En el primer estado 41 cuando la turbina eólica se encuentra en la situación normal de producción energética, la turbina eólica
5 permanece en el estado 41, indicado por el bucle 42, siempre que el dispositivo de medición de la red 16 (véase Fig. 1) no detecte interrupciones en la red de suministro eléctrico. Si el dispositivo de medición de la red detecta que la red de suministro eléctrico no está presente, es
10 decir, indica una interrupción de la red, la turbina eólica pasa al estado 43, que posteriormente se sustituye por el estado 44 en el que se activa el interruptor CC u otro dispositivo para disipar energía eléctrica con el objetivo de disipar la energía residual.

15

En el estado 44 se verifica si persiste la interrupción de la red de suministro eléctrico. La turbina eólica permanece en el estado 44 durante un período de tiempo, indicado por el bucle 45, durante normalmente entre
20 3 y 5 segundos. Si la red de suministro eléctrico se restablece dentro de un período normalmente de entre 5 y 10 segundos, la turbina eólica puede volver al estado de producción de energía normal 41. De lo contrario, si la red de suministro eléctrico no se restablece en un período de 5
25 segundos, la turbina eólica pasa al estado 47 abriendo los cortacircuitos de la red, es decir el interruptor 10 y/o el interruptor 22. Esta tarea se lleva a cabo en el estado 45 intermedio al estado 46, en el que se verifica la condición de la red de suministro eléctrico, y en el estado 47, en el
30 que se inicia el modo de abastecimiento automático.

En el estado 47, el ángulo de paso de las palas del rotor se cambia a un valor predefinido. El cambio del ángulo de paso a un valor predefinido en el estado 47 puede
35 combinarse con o sustituirse por un procedimiento en el que el ángulo de paso se ajusta en un bucle de control de retroalimentación cuando la cantidad de potencia producida equivale a la cantidad de energía consumida de forma que el

rotor gira a una velocidad constante. Posteriormente al paso en el que se consigue ajustar el ángulo de paso en el estado 47, el estado de la turbina eólica se pasa al estado 48. La turbina eólica permanece en el estado 48 durante la
5 interrupción de la red de suministro, tal como indica el bucle 49. El bucle 49 finaliza si el dispositivo de medición de la red 16 (Véase Fig. 1) detecta el restablecimiento de la red de suministro eléctrico que, por su parte, provocará un cambio en la situación normal de
10 producción energética del estado 41.

El bucle 49 también finaliza si la situación requiere la detención de la turbina eólica. Una situación de este tipo puede venir dada por condiciones climáticas extremas,
15 la necesidad de reparar la turbina eólica o cualquier precaución de seguridad.

Debido a la capacidad de la turbina eólica de producir energía sin necesidad de fuentes de alimentación externas,
20 la turbina eólica puede utilizarse para abastecer energía a generadores de inducción asíncronos de otras turbinas eólicas, turbinas de gas o generadores de diesel durante una interrupción de la red de suministro eléctrico. Por lo tanto, en una sección limitada de una red de suministro
25 eléctrico que consta como mínimo de una turbina eólica con un generador de imanes y otras turbinas eólicas con generadores de inducción asíncronos u otras máquinas generadoras de electricidad con generador de inducción asíncrona, la turbina eólica equipada con el generador de
30 imanes podrá producir la energía eléctrica necesaria para la magnetización de, por ejemplo, las turbinas eólicas con generadores de inducción asíncronos de forma que puedan mantenerse operativas.

35 Otra utilización de la capacidad de la turbina eólica para producir energía sin necesidad de energía externa se encuentra en el llamado arranque desde cero de una red de suministro eléctrico. Posteriormente a una interrupción de

la red de suministro eléctrico y, por lo tanto, a una avería de la red, una central eléctrica necesitará una fuente de energía externa para el abastecimiento de equipos auxiliares antes de que poder restablecer la red de
5 suministro eléctrico. Hoy en día, en ocasiones se utilizan máquinas generadoras de energía como turbinas de gas o generadores diesel que impulsan a un generador como fuente de energía externa para la magnetización del generador de inducción asíncrono de la central eléctrica.

10

REIVINDICACIONES

5

1. Método para mantener operativo como mínimo un componente crítico de una turbina eólica durante el período de tiempo en el que la turbina eólica está desconectada de la red de suministro eléctrico 23, caracterizado porque incluye
- 10 - como mínimo uno de los componentes críticos indicados incluye un consumidor de energía eléctrica, cuando dicha turbina eólica 1 está prevista que se conecte a la red de suministro eléctrico 23 y consta como mínimo de un control del paso de la pala del rotor 3,
- 15 - el uso de un generador de imanes 6 como el único elemento generador de energía eléctrica durante períodos de tiempo en los que la turbina eólica 1 está conectada a la red de suministro eléctrico 23, así como durante períodos de tiempo en los que la turbina eólica está
- 20 desconectada de la red de suministro eléctrico 23,
- seguir generando energía eléctrica del viento durante una desconexión de la red de suministro eléctrico 23,
- ajustar una cantidad de la energía eléctrica producida para mantener la energía eléctrica producida en
- 25 armonía con un consumo energético estocástico requerido, dependiente del tiempo, de una carga de la que como mínimo hay un consumidor de energía eléctrica de la turbina eólica 1.
- 30 2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque incluya la utilización del generador de imanes 6 como el único elemento generador de energía eléctrica cuando la turbina eólica 1 sea reconectada a la red de suministro eléctrico, utilizando de este modo el generador de imanes 6
- 35 para generar energía activa y energía reactiva.

3. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado porque el ángulo de paso de al menos una de dichas palas del rotor con control del paso se ajusta mediante un actuador eléctrico del paso de la pala que presenta un
5 consumo de energía eléctrica estocástico, dependiente del tiempo, en equilibrio con la energía eléctrica producida.

4. Método acorde con la reivindicación 3, caracterizado porque el ángulo de paso se ajusta en relación con como
10 mínimo uno de los parámetros seleccionados del grupo que incluye la velocidad del viento, la velocidad de giro del eje del rotor, el momento de giro del rotor, la velocidad de rotación del generador y el consumo de energía eléctrica.

15

5. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado porque el generador de imanes 6 incluye imanes permanentes cuyos imanes ya están totalmente magnetizados antes de conectar la turbina eólica 1 a la red de suministro
20 eléctrico 23, así como cuando la turbina eólica 1 se desconecta de la red de suministro eléctrico 23.

6. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado porque el generador de imanes incluye imanes que se
25 magnetizan cuando la turbina eólica 1 se conecta a la red de suministro eléctrico 23 y se desmagnetizan gradualmente cuando la turbina eólica se desconecta de la red de suministro eléctrico.

30 7. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado porque el generador de imanes 6 incluye imanes que ya han sido totalmente magnetizados y que están integrados estructuralmente con un generador de inducción síncrono o asíncrono y cuyos imanes son magnéticamente independientes
35 de los bobinados del estator del generador de inducción síncrono o asíncrono.

8. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque el generador de imanes 6 incluye imanes magnetizados por el generador, cuyos imanes están integrados estructuralmente
5 con un generador de inducción síncrono o asíncrono, y cuyos imanes dependen magnéticamente de cualquier bobinado del estator del generador de inducción síncrono o asíncrono.

9. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado
10 porque la energía eléctrica producida se conduce a través de un convertidor 7 antes de abastecerla a al menos un componente crítico y en el que el convertidor 7 se conoce como convertidor estatórico.

15 10. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado porque la energía eléctrica producida se mantiene en equilibrio con la energía eléctrica consumida midiendo como mínimo uno de los parámetros siguientes: la tensión, la corriente o la energía producida por el generador 6 y en el
20 que la medición de la tensión, la corriente o la energía se utiliza para ajustar el ángulo de paso.

11. Método acorde la reivindicación 1, caracterizado porque la energía eléctrica producida se mantiene en equilibrio
25 con la consumida midiendo alternativa o adicionalmente como mínimo un parámetro seleccionado de un grupo que incluye la energía eléctrica consumida, la velocidad de giro del eje del rotor, la velocidad de giro del eje del generador y el momento de giro del rotor, en el que la medición del
30 parámetro en cuestión se utiliza para ajustar el paso.

12. Método acorde con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la energía eléctrica producida se mantiene en equilibrio con la energía
35 eléctrica consumida midiendo alternativamente la energía eléctrica que se abastece a la red de suministro eléctrico 23 de forma que dicha energía eléctrica abastecida a la red de suministro 23 permanece aproximadamente igual a cero, y

en el que la medición de la energía se utiliza para ajustar el ángulo de paso.

13. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado
5 porque la energía eléctrica 23 producida se mantiene en equilibrio con la energía eléctrica consumida midiendo adicionalmente la energía eléctrica abastecida a la red de suministro eléctrico 23 de forma que permanece igual a
10 ajustar el ángulo de paso.

14. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado porque comprende adicionalmente un convertidor eléctrico 7 para ajustar una frecuencia de la señal de la tensión
15 emitida por el convertidor.

15. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado porque comprende adicionalmente medios para ajustar una tensión de pico de la señal de la tensión eléctrica
20 generada por el generador de imanes 6.

16. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado porque comprende adicionalmente medios para filtrar la señal de la tensión eléctrica generada por el generador de
25 imanes 6.

17. Método acorde con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende adicionalmente medios para transformar la señal de la tensión eléctrica
30 generada por el generador de imanes 6.

18. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado porque como mínimo se mantiene operativo uno de los componentes críticos 13 seleccionados del siguiente grupo:
35 sistema de orientación, sistema del paso de la pala, sistema de lubricación, sistema de refrigeración, sistema

de deshumidificación, sistema de descongelación y sistema de calentamiento.

19. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado porque incluye adicionalmente el paso de disipación de energía durante la transición de un estado de producción de energía a otro estado de producción de energía.

20. Método acorde con la reivindicación 1, caracterizado porque incluye adicionalmente el paso de estimar la velocidad del viento a partir de mediciones de como mínimo un parámetro seleccionado del siguiente grupo: energía producida, velocidad del rotor y ángulo de paso.

21. Una turbina eólica diseñada para ser conectada a una red de suministro eléctrico 23 y para permanecer operativa durante el período de tiempo en el que la turbina eólica 1 se desconecte de la red de suministro 23, caracterizada porque

- dicha turbina eólica 1 consta de, como mínimo, un control del paso de la pala del rotor y un generador de imanes para producir energía eléctrica durante los períodos de tiempo en que la turbina eólica se desconecta de la red de suministro eléctrico, y

- dicha turbina eólica 1 se dota con medios que permiten ajustar una cantidad de la energía eléctrica producida de forma que la energía eléctrica producida esté en equilibrio con un consumo estocástico necesario, dependiente del tiempo, de una carga,

- de la cual como mínimo una carga es un consumidor de energía eléctrica de la turbina eólica 1 y dicha turbina eólica 1 comprende un elemento generador de energía capaz de producir energía eléctrica durante los períodos de tiempo en que la turbina eólica está desconectada de la red de suministro eléctrico 23,

- siendo dicho elemento generador de energía dicho

generador de imanes.

22. Turbina eólica acorde con la reivindicación 21, caracterizada porque el generador de imanes 6 incluye 5 imanes permanentes que han sido totalmente magnetizados durante la fabricación.

23. Turbina eólica acorde con la reivindicación 21, caracterizada porque el generador de imanes 6 incluye 10 imanes que pueden magnetizarse durante los períodos de tiempo en los que la turbina eólica está conectada a la red de suministro eléctrico 23 y que están sujetos a una desmagnetización gradual durante los períodos de tiempo en los que la turbina eólica 1 está desconectada de la red 23.

15 24. Turbina eólica acorde con la reivindicación 21, caracterizada porque el generador de imanes 6 incluye imanes que han sido totalmente magnetizados previamente, y cuyos imanes están integrados estructuralmente con un 20 generador de inducción síncrono o asíncrono, y que estos imanes son magnéticamente independientes de cualquier bobinado del estator del generador de inducción síncrono o asíncrono.

25 25. Turbina eólica acorde con la reivindicación 21, caracterizada porque el generador de imanes 6 es del tipo de los que comprende imanes magnetizados por el generador, cuyos imanes están integrados estructuralmente con un generador de inducción síncrono o asíncrono, y cuyos imanes 30 son también magnéticamente dependientes de cualquier bobina del estator del generador de inducción síncrono o asíncrono.

26. Turbina eólica acorde con la reivindicación 21, 35 caracterizada porque el generador de imanes 6 es del tipo

de los que al menos comprende un número de imanes creados a partir de bobinas superconductoras, y que alternativamente sólo comprende imanes creados a partir de bobinas superconductoras.

5

27. Turbina eólica acorde con la reivindicación 21 caracterizada por disponer de un convertidor 7 capaz de modificar la frecuencia de una tensión de señal generada por el mencionado generador de imanes 6.

10

28 Turbina eólica acorde con la reivindicación 21, caracterizada por disponer de un convertidor 7 capaz de modificar la tensión de pico de una señal generada por el mencionado generador de imanes 6.

15

29. Turbina eólica acorde con la reivindicación 21, caracterizada por disponer de un filtro para filtrar una señal eléctrica generada por el generador de imanes 6.

20

30. Turbina eólica acorde la reivindicación 21 caracterizada por disponer de, como mínimo, un sistema operativo seleccionado del grupo siguiente: sistema de calefacción, sistema de refrigeración, sistema de lubricación, sistema de deshumidificación y sistema de descongelación, y en la que dicho sistema operativo es capaz de mantener operativos los componentes críticos.

25

31. Turbina eólica acorde con la reivindicación 21 caracterizada por disponer de, como mínimo, una de las actividades siguientes para disipar energía: abastecer energía eléctrica a un interruptor CC, cambiar mecánicamente el paso de la pala como mínimo una pala, acelerar el rotor y el eje del rotor.

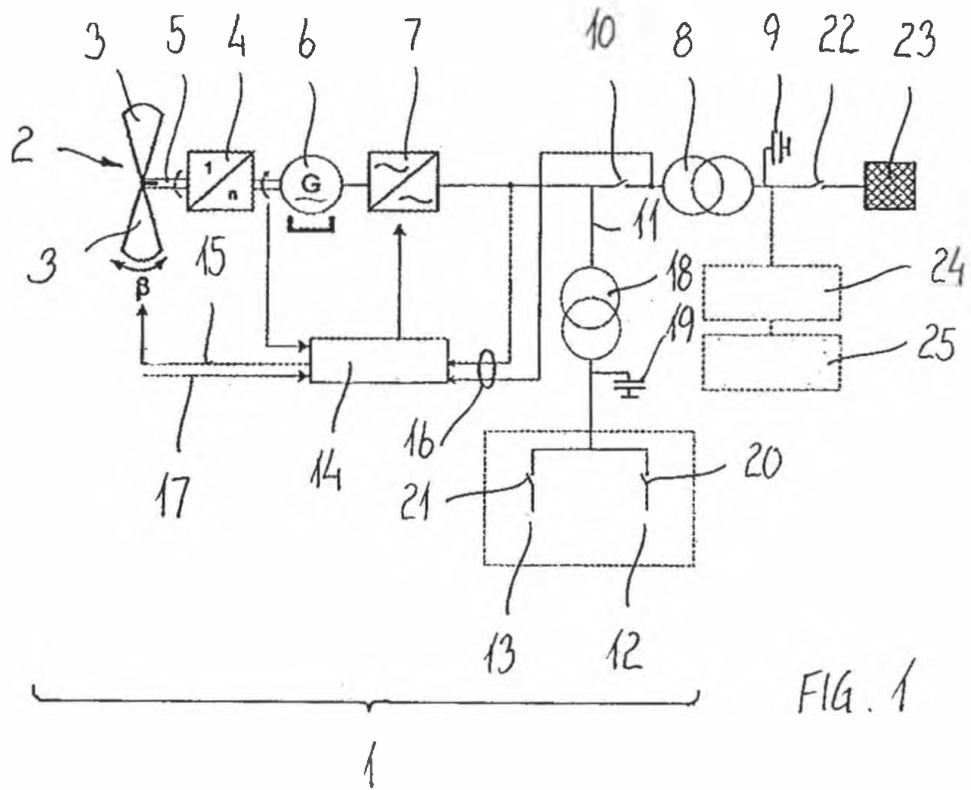
30

35

32. Turbina eólica acorde la reivindicación 21 caracterizada por disponer de medios para estimar la velocidad del viento, dichos medios se seleccionarán de un

grupo de medios de medición de la velocidad del viento compuesto por: anemómetros, medios para medir la velocidad de giro del eje del rotor como tacómetros, medios para medir el momento de giro del rotor como galgas
5 extensiométricas y medios para medir la energía como medidores de energía, y donde el objetivo de dichos medios es ayudar a ajustar la cantidad de energía eléctrica producida.

10 33. Turbina eólica acorde con la reivindicación 21, caracterizada por disponer de un consumo de energía eléctrica que no forma parte de los consumos de energía eléctrica operativos durante el período de tiempo en el que la turbina eólica está conectada a la red de suministro
15 eléctrico, y que es capaz de consumir una cantidad de energía constante y superior a cero a lo largo de un período de tiempo.



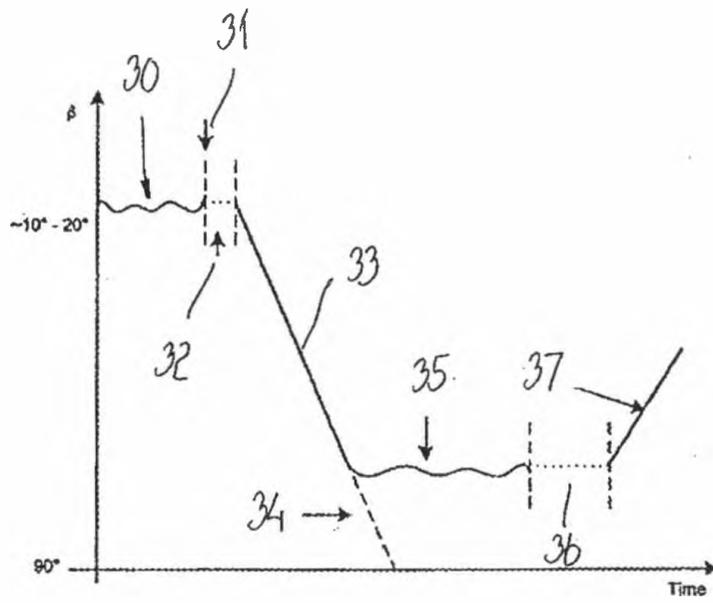


FIG. 2

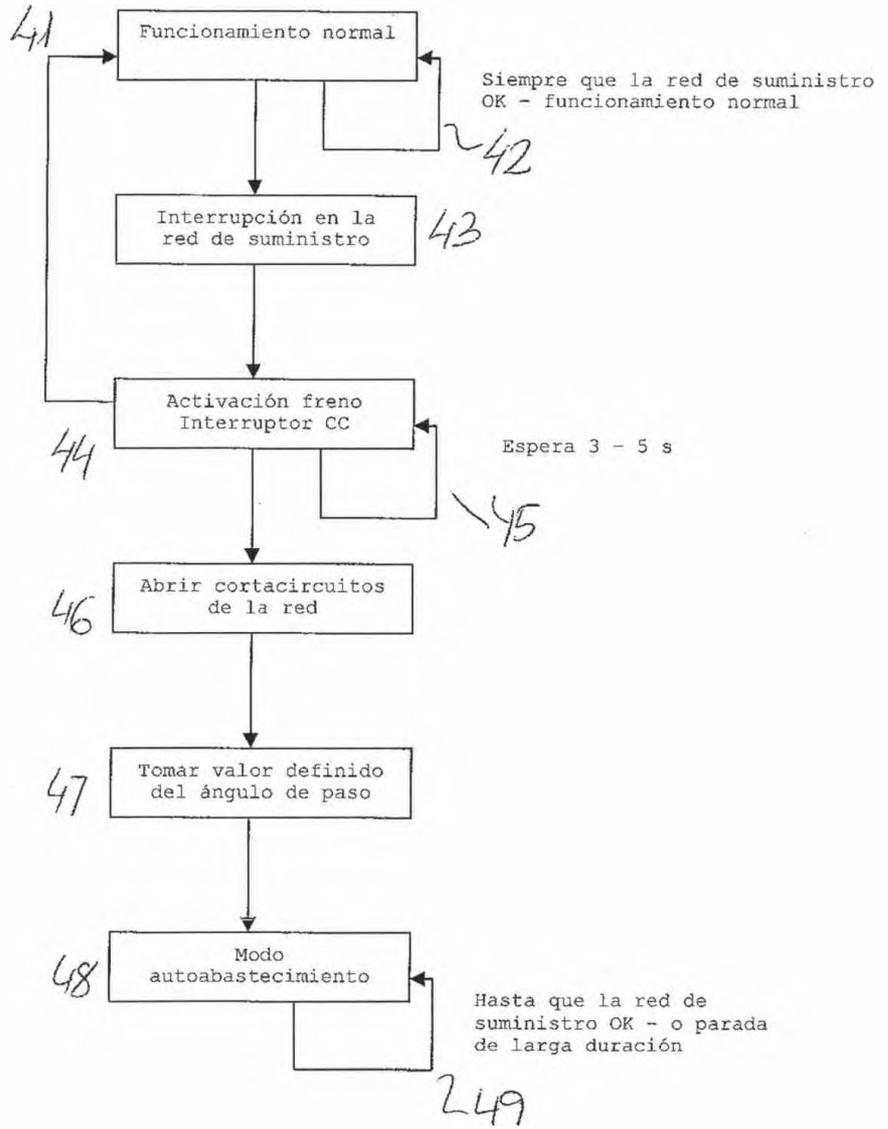


FIG.3